

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEOTEKSTİL DONATILI ZEMİN İSTİNAT DUVARLARI
İLE
YAMAÇLARDA STABİLİTENİN ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeo. Müh. Duygu KOTAN

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEOTEKSTİL DONATILI ZEMİN İSTİNAT DUVARLARI
İLE
YAMAÇLARDA STABİLİTENİN ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeo. Müh. Duygu KOTAN

501031323

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mete İNCECİK

Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Recep İYİSAN

Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN (Y.T.Ü.)

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca deneyimini ve desteğini benden esirgemeyen Prof. Dr. Mete İncecik'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlık aşamasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Jeoloji Yük. Müh. Feyzi Polat'a, bilgisayar analizlerinde bana yardımcı olan İnşaat Yük. Müh. Yavuz Seymen ve İnşaat Yük. Müh. Çağatay Konuk'a ve kesitlerdeki yardımlarından Jeoloji Müh. Emrah Kurtulan'a teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma, canım annem Ruhan Kotan, babam Oğuz Kotan ve kardeşim Doruk Kotan'a eğitimim ve tez çalışmam süresince gösterdikleri sabır ve anlayış için yürekten teşekkür ederim.

Aralık, 2007

Duygu KOTAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xiii

1. GİRİŞ	1
2. YAMAÇ ve ŞEV STABİLİTESİ	3
2.1. HEYELANLAR İLE İLGİLİ TERİMLER	3
2.1.1. Heyelan Sözlüğü	4
2.1.2. Heyelan Boyutları	6
2.1.3. Heyelanın Etkinlik Durumu	7
2.1.4. Heyelanların Etkinlik Dağılımı	8
2.1.5. Heyelanların Türleri	10
2.2. KİTLE HAREKETLERİNİ OLUŞTURAN ETKENLER	10
2.3. ŞEVLERDE KAYMA HAREKETLERİNİN SINIFLANMASI	12
2.4. YAMAÇ VE ŞEVLERDE SU	13
2.5. YAMAÇ VE ŞEVLERDE KAYMA MUKAVEMETİ	14
2.5.1. Çakıl ve Kumların Kayma Mukavemeti	15
2.5.2. Killerde Kayma Mukavemeti	15
2.6. YAMAÇ VE ŞEVLERDE STABİLİTE ANALİZLERİ	17
2.6.1. İsveç Dilim Yöntemi	19
2.6.2. Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi	20
2.6.3. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi	21
2.6.4. Spencer Yöntemi	22
2.6.5. Sarma Yöntemi	23
2.6.6. Sonlu Elemanlar Analizi	23
2.7. YAMAÇ VE ŞEVLERDE STABİLİTENİN SAĞLANMASI	24
2.7.1. Yamaç veya Şevin Geometrisinin Değiştirilmesi	26
2.7.2. Yamaç ve Şevlerde Suyun Kontrolü	26
2.7.2.1. Suyun Kontrolünde Alınan Yüzeysel Önlemler	27
2.7.2.2. Yeraltı Suyunun Kontrolünde Alınan Önlemler	29
2.7.3. Yamaç ve Şevlerde Alınan Yapısal Önlemler	29
2.7.4. Yamaç ve Şevlerde Ortam Özelliklerinin İyileştirilmesi	31
3. GEOTEKSTİLLER	34
3.1. GEOTEKSTİL TİPLERİ VE ÜRETİMİ	35
3.1.1. Örgülü Geotekstiller	36
3.1.2. Örgüsüz Geotekstiller	37
3.2. GEOTEKSTİLLERDE EK YERLERİ	38
3.2.1. Örgülü Ekler	38
3.2.2. Yapıştırma Ekler	39

3.3.	GEOTEKSTİLLERİN ÖZELLİKLERİ VE TEST YÖNTEMLERİ	40
3.4.	GEOTEKSTİLLERİN DIŞ ETKENLERE KARŞI DİRENCİ	42
3.5.	GEOTEKSTİLİN KULLANIM AMAÇLARI	43
3.5.1.	Filtrasyon	44
3.5.2.	Drenaj	44
3.5.3.	Ayırma	44
3.5.4.	Güçlendirme	44
3.5.5.	Koruma	45
3.5.6.	Yalıtım	45
3.6.	GEOTEKSTİLİN DRENAJ VE FİLTASYON AMAÇLARIYLA KULLANILMASI	45
3.6.1.	Filtre Amacıyla Kullanılan Geotekstillerin Özellikleri	46
3.6.2.	Borulanma Direnci	46
3.6.3.	Geçirimlilik	47
3.6.4.	Düzlem Boyunca Geçirimlilik	48
3.6.5.	Dayanım Özellikleri	48
3.6.6.	Tasarım ve İmalat Özellikleri	49
3.7.	GEOTEKSTİL DONATILI ŞEV VE İSTİNAT YAPILARI	50
3.7.1.	İmalatta Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	52
3.7.2.	Tasarım Metotları	54
3.7.2.1.	İç Stabilite Tahkikleri	55
3.7.2.2.	Dış Stabilite Tahkikleri	57
4.	YALOVA-BURSA KARAYOLU HEYELANLARI	59
4.1.	İNCELEME ALANI VE YAKIN ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ	59
4.1.1.	İnceleme Alanının Genel Jeolojisi	60
4.1.2.	İnceleme Alanının Yapısal Jeolojisi	61
4.2.	İNCELEME ALANINDAKİ BİRİMLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ	62
4.2.1.	Dolgu Tabakası	62
4.2.2.	Katı-Çok Katı Kil Birimleri	62
4.2.3.	Çok Katı- Sert Kil Birimleri	63
4.3.	İNCELEME ALANINDAKİ YERALTI VE YER ÜSTÜ SULARI	63
4.4.	İNCELEME ALANININ YAMAÇ STABİLİTESİ	64
4.4.1.	Örnek Heyelanlı Arazi	64
4.4.2.	İnceleme Sahası Çevresinde Oluşan Heyelanların Nedenleri	66
4.4.3.	İnceleme Sahasının Stabilite Analizleri	66
4.4.3.1.	Geo5 Slope Stability Programı ile Stabilite Analizi	68
4.4.4.	İnceleme Sahasında Oluşabilecek Stabilite Problemlerine Karşı Alınacak Önlemler	74
4.4.4.1.	Yer Altı Suyunun Kontrolünde Alınacak Önlemler	74
4.4.4.2.	Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları	75
5.	SONUÇLAR	86
	KAYNAKLAR	89
	EKLER	91
	ÖZGEÇMİŞ	166

KISALTMALAR

ASTM :	American Society of Testing Materials
AOS :	Görünür Gözenek Açıklığı
CH :	Yüksek Plastisiteli Kil
CL :	Düşük Plastisiteli Kil
EOS :	Eşit Açıklık Oranı
FEM :	Sonlu Elemanlar Metodu
GP :	Kötü Derecelenmiş Çakıl
GW :	İyi Derecelenmiş Çakıl
KAF :	Kuzey Anadolu Fayı
MH :	Yüksek Plastisiteli Silt
ML :	Düşük Plastisiteli Silt
OCR :	Aşırı Konsolidasyon Oranı
POA :	Açıklık Alan Oranı
SP :	Kötü Derecelenmiş Kum
SPT :	Standart Penetrasyon Testi
SW :	İyi Derecelenmiş Kum
WLI :	Dünya Heyelan Envanteri Komisyonu
YAS :	Yeraltı Suyu
YASS :	Yeraltı Suyu Seviyesi

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Yamaç ve Şevlerde Alınan Stabilite Önlemleri (Önalp ve Arel, 2004).....	25
Tablo 3.1 Geotekstillerin Özellikleri (Christopher ve Holtz, 1985)	41
Tablo 3.2 Filtre Amacıyla Kullanılan Geotekstilin Tasarım Kriteri.....	46
Tablo 3.3 Drenaj Amacıyla Kullanılan Geotekstillerin Dayanım Özellikleri.....	48
Tablo 3.4 Dolgu Malzemesi Özellikleri (TS 1900, AASHTO T 89).....	54
Tablo 3.5 Örgülü Geotekstilin Özellikleri	54
Tablo 4.1 Sondajlardaki Yeraltı Suyu Seviyeleri.....	64
Tablo 4.2 Geo5 Slope Stability Programı ile Hesaplanan Güvenlik Sayıları	73
Tablo 4.3 Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı Analizlerinde Kullanılan Değerler.....	76
Tablo 4.4 H=6m için Geotekstil Donatı Boyları ve Aralıkları	77
Tablo 4.5 H=8m için Geotekstil Donatı Boyları ve Aralıkları	78
Tablo 4.6 H=10m için Geotekstil Donatı Boyları ve Aralıkları	79
Tablo 4.7 Geo5 Slope Stability Programı ile Yapılan Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı Kayma Tahkiki Sonuçları	81
Tablo 4.8 Kesit I-I için Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarlarının Genel Şev Stabilitesine Etkisi.....	83
Tablo 5.1 Geo5 Slope Stability Programı ile Hesaplanan Güvenlik Sayıları	87
Tablo 5.2 Geotekstil Donatılı İstinat Duvarlarının Genel Şev Stabilitesine Etkisi....	88

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Heyelanın Bölümleri (Önalp ve Arel, 2004)	4
Şekil 2.2 : Heyelanın Etkinlik Durumuna Göre Sınıflanması (Önalp ve Arel, 2004) .	8
Şekil 2.3 : Heyelanların Etkinlik Durumları Göre Sınıflaması (Önalp ve Arel, 2004)	9
Şekil 2.4 : Kitle Hareketi Türleri (Önalp, 1995)	11
Şekil 2.5 : Suyun Yamaç Duraylılığına Etkisi (Önalp ve Arel, 2004)	13
Şekil 2.6 : Şev Stabilitesi Analizlerinde Bir Dilime Etkiyen Kuvvetler	19
Şekil 2.7 : Geometride Değişiklik Yaparak Stabilitésinin Sağlanması (Önalp ve Arel, 2004)	26
Şekil 2.8 : Suyun Kontrolü İçin Alınan Önlemler (Önalp ve Arel, 2004)	27
Şekil 2.9 : Yatay Drenaj Borusu Ayrıntıları (Önalp ve Arel, 2004)	28
Şekil 2.10 : Drenaj İçin Kanal Detayları (Bromhead, 1986)	29
Şekil 3.1 : Optik Mikroskop ile Çekilmiş Polyester (sol) ve Polietilen Lifleri (sağ).	36
Şekil 3.2 : Elektron Mikroskobu ile Çekilmiş Örgülü Geotekstil Örnekleri	37
Şekil 3.3 : Elektron Mikroskobu ile Çekilmiş Isı Yoluyla Bağlanmış Örgüsüz Geotekstil Örnekleri	38
Şekil 3.4 : Örgülü Geotekstil Tipleri	39
Şekil 3.5 : Geotekstilin Kullanım Alanları	43
Şekil 3.6 : Hendek Drenlerin Uygulama Aşamaları	50
Şekil 3.7 : İlk Geotekstil Donatılı İstinat Duvarı (Roven-Fransa, 1971)	50
Şekil 3.8 : Geotekstil Donatılı İstinat Duvarı (Roven-Fransa, 1971)	51
Şekil 3.10 : Geotekstil Donatılı İstinat Duvarı Elemanları	52
Şekil 3.11 : Geotekstil Donatılı İstinat Duvarı İmalatı (Roven-Fransa, 1971)	55
Şekil 4.1 : İnceleme Alanının Yer Bulduru Haritası	59
Şekil 4.2 : Sondajlardan Alınmış SPT Numuneleri	61
Şekil 4.3 : Yalova-Bursa Karayolu 12+300km ile 12+400km Arası Heyelan Bölgesi	65
Şekil 4.4 : Kesit I-I	67
Şekil 4.5 : Kesit II-II	67
Şekil 4.6 : Kesit III-III	67
Şekil 4.7 : Kesit I-I için Toplam Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri	68
Şekil 4.8 : Kesit I-I için Efektif Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri	69
Şekil 4.9 : Kesit II-II için Toplam Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri	70
Şekil 4.10 : Kesit II-II için Efektif Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri	71
Şekil 4.11 : Kesit III-III için Toplam Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri	72
Şekil 4.12 : Kesit III-III için Efektif Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri	73
Şekil 4.13 : H=6m Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı	80
Şekil 4.14 : H=8m Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı	80

Şekil 4.15 : H=10m Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı	81
Şekil 4.16 : Kesit I-I ve Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları.....	82
Şekil 4.17 : Kesit III-III ve H=8m Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları	81
Şekil 4.18 : Kesit III-III ve H=10m Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları	81

SEMBOL LİSTESİ

A	: Yüzey alanı
α	: Dilim tabanıyla yatay arasındaki açı
B	: Temel genişliği
c	: Kohezyon
Δh	: Geotekstil boyunca oluşan hidrolik yük kaybı
ϕ	: Kayma Mukavemeti Açısı
ϕ'	: Efektif kayma mukavemeti açısı
γ	: Birim hacim ağırlığı
GS_b	: Biyolojik etkilere karşı emniyet faktörü
GS_c	: Sünmeyi önlemek için emniyet faktörü
GS_g	: Global güvenlik sayısı
GS_i	: Hasar emniyet faktörü
GS_{kl}	: Kimyasal etkilere karşı emniyet faktörü
GS_k	: Kopmaya karşı güvenlik faktörü
GS_s	: Sıyrılmaya karşı güvenlik faktörü
H	: Yükseklik
k	: Geçirimsizlik katsayısı
k_c	: Örgüsüz geotekstilin geçirimsizliği
k_p	: Düzlem boyunca akma kapasitesi (hidrolik iletkenlik)
k_s	: Korunan zeminin geçirimsizliği
K_a	: Aktif toprak basıncı katsayısı
k_h	: Yatay sismik katsayısı
k_v	: Düşey sismik katsayısı
L_E	: Ankraj bölgesindeki donatı boyu (efektif boy)
L_f	: Δh yüksekliğinin meydana geldiği akım yolunun uzunluğu (geotekstil kalınlığı)
L_o	: Kıvrım boyu veya bindirme uzunluğu
L_R	: Kayma kaması içi boyu
N	: Dilim tabanına etkiyen normal kuvvet
N'	: Efektif normal kuvvet
N_c, N_q, N_γ	: Temel tabanı altındaki zeminin taşıma gücü katsayıları
P	: Kaydırıcı yatay kuvvetlerin toplamı
R	: Kalıntı direnç katsayısı
q	: Yük etkisi
q_{max}	: Tabandaki maksimum basınç
q_u	: Taşıma gücü kapasitesi
s_{*max}	: Normal efektif gerilmede doruk direnç
s_*	: Normal efektif yumuşamış durumdaki direnç
s_r	: normal efektif gerilmede kalıntı direnç
S_v	: Donatı düşey aralığı
σ_a	: Yatay basınç
σ'	: Efektif normal gerilme
t	: Geotekstilin kalınlığı

T	: Kaymaya karşı koyan yatay kuvvetlerin toplamı
T_m	: Dilim kuvvetlerinin bileşkesi
$T_{müs}$	: Müsaade edilen çekme dayanımı
$T_{nıhai}$	: Geotekstilin nihai çekme dayanımı
τ_{max}	: Maksimum kayma direnci
U_α	: Boşluk suyu itkisi
U_β	: Yüzey suyu itkisi
w	: Geotekstilin kalınlığı
z	: Derinlik

GEOTEKSTİL DONATILI ZEMİN İSTİNAT DUVARLARI İLE YAMAÇLARDA STABİLİTENİN ARTTIRILMASI

ÖZET

Mühendislik uygulamalarında, doğal olarak oluşmuş, arazi yüzeyi ile açığı yapan oluşumlara “yamaç”, insan yapımı olan eğimli toprak yüzeylere ise “şev” denilmektedir. Heyelan ise kaya, zemin veya benzeri malzemenin doğal ya da doğal olmayan sebeplerle eğim yönünde hareketi olarak tarif edilmiştir.

Deprem, su baskını, sel gibi doğal afetlerden biri olan heyelanlar insan yaşamını yakından ilgilendiren ve bazen de tehdit eden önemli olaylardan biridir. Doğal afetler hem can ve mal güvenliğini tehdit etmekte hem de ciddi milli servet kayıplarına neden olmaktadır. Bu sebeple yamaç ve şevlerin stabilitesi inşaat mühendisliğinin temel konularından bir tanesidir ve hareketin başlamadan tespit edilmesi, karşı önlemlerin alınması oldukça önemlidir.

Yamaç ve şevlerin stabilitesi, arazi ve laboratuvar verileri ile gerçekleştirilen limit denge analizleri, sonlu elemanlar gibi farklı yöntemlerle önceden belirlenebilmektedir. Zemin özellikleri, morfolojik etkenler gibi pek çok faktör yamaç veya şevde meydana gelen hareketlerin hem nedenlerini ortaya koymakta hem de çözüm için belirleyici rol oynamaktadır. Yamaç ve şevlerde meydana gelebilecek hareketleri önlemek amacıyla yapılacak işlemler ise yamacın geometrisini değiştirmek, yüzey ve yeraltı sularını kontrol etmek, ortam özelliklerini iyileştirmek ve yapısal önlemler olarak ayrılabilir.

Yapısal önlemlerden bir tanesi içerisine yerleştirilen çeşitli donatı malzemeleri ile zeminin çekme dayanımının artırılmasına yöneliktir. Bu amaçla kullanılan ve günümüzde en çok tercih edilen malzemelerden biri olan geotekstil, başlıca geosentetik türlerinden bir tanesidir. Örgülü veya örgüsüz olarak üretilen geotekstiller ayırma, güçlendirme, filtrasyon gibi çeşitli fonksiyonları yerine getirirler.

Güçlendirme amacıyla kullanılan geotekstillerin başlıca üç uygulama alanı vardır;

1. Çok yumuşak zeminlerde imal edilen dolgu tabanlarını güçlendirmek.
2. Dayanma yapılarının arkasındaki toprak basınçlarını azaltmak.
3. Şevlerde stabiliteyi arttırmak.

Geotekstil donatılı zemin istinat duvarları da şevlerde stabiliteyi arttırmak amacıyla uygulanan yöntemlerden bir tanesidir ve uzun yıllar boyunca ağırlık ve/veya betonarme olarak inşa edilen istinat duvarlarına ciddi bir alternatif olarak hızla gelişmektedir.

Bu tez kapsamında geotekstillerin tipleri, özellikleri, kullanım alanları araştırılmış ve bir vaka analizi üzerinde geotekstil donatılı zemin istinat duvarlarının yamaç stabilitesine etkisi çalışılmıştır.

Bu çalışmanın konusu olan inceleme sahası Yalova İli, Sugören Köyü, Yalova–Bursa Karayolunun 13km–14km arasında, söz konusu karayolunun geliş ve gidiş yönleri arasında yer almaktadır. İnceleme sahasında etkin bir stabilite problemi mevcut değildir. Ancak sahanın bulunduğu bölgeden geçen Yalova–Bursa Karayolunun yapımı sırasında ve sonrasında zaman zaman stabilite problemleri yaşandığı bilinmektedir.

Bu sebeple inceleme sahası ve yakın çevresinde arazi çalışması yapılmış, bölgeyle ilgili farklı çalışmalar, sondajlar ve numuneler üzerinde yapılan deneyler incelenerek saha ve çevresinde meydana gelen/gelebilecek olan stabilite problemlerinin nedenleri araştırılmış, ve karşı önlemler tartışılmıştır.

İnceleme sahası için yapılan stabilite analizlerinde ve geotekstil donatılı zemin istinat duvarlarının analizlerinde Geo5 Slope Stability Programı kullanılmıştır.

INCREASING SLOPE STABILITY

With

GEOTEXTILE REINFORCED EARTH RETAINING WALLS

SUMMARY

In engineering practices, slopes can be defined as the structures that makes an angle with the land which are formed by forces of nature or man-made. On the other hand, landslide is the name given to the movement of rock, ground and the like towards the slope due to natural or unnatural/man-made forces.

Landslides, among other natural catastrophes such as earthquakes, floods, affect and sometimes pose danger to human life. Natural catastrophes do not only threaten the well-being of human life and its accomplishments but also they cause huge amounts of financial loss to nations. Therefore, the stability slopes is one of the most significant issues dealt by civil engineering and determining the movement before it occurs and taking the necessary precautions are crucial in this sense.

The stability of slopes can be determined beforehand through different methods such as the analyses of limit equilibrium by using the data gathered from the field and laboratory or finite element analyses. Various factors such as the features of the ground, morphological factors both disclose the reasons for the movements that occur in slopes and play a determining role for finding solutions to these issues. To transform the geometry of a slope, to control the surface and underground water conditions, to improve the environmental features and to take structural precautions can be counted as the major ways to prevent the possible movements in slopes.

One of the structural precaution aims to improve the ground's tensile strength by inserting various reinforcing materials inside. Geotextiles, a type of geosynthetics, is the most preferred material for this aim. Geotextiles, produced as woven or non-woven, have functions such as separation, reinforcement and filtration.

The geotextiles used for reinforcement have three major practice areas:

- 1) To reinforce the fills constructed on extremely soft foundation soil.
- 2) To diminish the soil pressures that are behind the retaining structures.
- 3) To increase the stability in slopes.

Geotextile reinforced earth retaining wall is one of the methods that aims to increase the stability in slopes and today it is presented as an alternative for the retaining walls that are constructed as gravity and/or reinforced concrete for many years.

In this thesis, the types of geotextiles, their features, areas of practice are investigated and the effect of geotextile reinforced earth retaining walls to increase the stability of slopes on a study case.

The survey field of this study is located on 13km-14km Yalova-Bursa highway, near the village of Sugören in the province of Yalova. There is not any problem concerning the stability in the survey field. However, it is known that there have been certain stability problems at the time of the construction of Yalova-Bursa highway, which passes through the survey field, and its afterwards.

For this reason, in this study a field survey is carried out on the survey field and its nearby areas. The reasons for the occurrence or possible occurrence of stability problems are investigated through experiments on samples, boreholes and various surveys on the above-mentioned area and the precautions against these problems are discussed.

Geo5 Slope Stability Program is used in the analyses of the survey field and the analyses of the geotextile reinforced earth retaining walls .

1. GİRİŞ

Yamaç ve şev stabilitesi problemleri inşaat mühendisliğinde karşılaşılan temel sorunlardan bir tanesidir. Şevin kaymaya karşı duran kuvvetinin, kaydırıcı kuvvetlere oranı güvenlik sayısını (GS) vermektedir. Eğer güvenlik sayısı 1,0'den küçük ise kaydıran kuvvetler, kaymaya karşı duran kuvvetlerden daha büyük olacağı için şev duraylılığını yitirmektedir.

Fellenius, Taylor, Bishop ve diğerleri kayma yüzeyini dairesel kabul ederek güvenlik sayısını hesaplamada kullanılan pek çok yöntem geliştirmişlerdir. Tüm bu yöntemlerde bazı kolaylaştırıcı kabuller yapılmıştır. Bu yöntemler dışında abaklar yardımıyla, plastisite teorisine dayanarak, santrifüjde modelleme yoluyla ya da sonlu elemanlar metodu (FEM) gibi çeşitli yöntemler ile stabilite analizleri yapılmaktadır.

Yamaç ve şevlerde stabiliteyi etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Zemin özellikleri, morfolojik etkenler gibi ana başlıklara ayrılan bu etkiler yamaç veya şevde meydana gelen hareketin nedenini ortaya koyduğu gibi çözümde de belirleyici rol oynamaktadır.

Bu tezin konusu olan inceleme sahası Yalova İli, Sugören Köyü, Yalova–Bursa Karayolu 13km–14km arasında, söz konusu karayolunun geliş ve gidiş yönleri arasında yer almaktadır (EK A). İnceleme sahasının bulunduğu bölgeden geçen Yalova–Bursa Karayolunun yapımı sırasında ve sonrasında stabilite sorunlarının olduğu bilinmektedir.

Bölgedeki stabilite problemlerinin nedenlerini daha iyi kavrayabilmek amacıyla Yalova-Bursa Karayolu'nun 12+300km–12+400km arasında yer alan, benzer jeoloji, yeraltı suyu ve şev eğimi gibi özelliklere sahip olan heyelanlı arazi ve burada yapılmış olan çeşitli çalışmalar da incelenmiştir.

İnceleme sahasında yapılan gözlemler, bölgede yapılmış farklı çalışmalar, sahada yapılmış olan sondajlar ve sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler

incelenerek saha ve çevresinde meydana gelen ve gelebilecek olan stabilite problemlerinin nedenleri araştırılmış ve karşı önlemler tartışılmıştır.

Zemin uygun yoğunluk ve su içeriğinde, belirli bir limit değere kadar basınç ve kayma gerilmelerine karşı koyabilen doğal bir inşaat malzemesi olmasına rağmen çok düşük çekme dayanımına sahiptir. Bu nedenle zemin içerisine yerleştirilen çeşitli donatı malzemeleri ile çekme dayanımının arttırılması düşünülmüştür (Özener, 2001). Yıllarca zemin içerisine konulan ağaç dalları, çalılar, kumaş parçaları ile yapılan uygulamalar, 60'lı yılların sonunda Fransız mühendis Henri Vidal tarafından kullanılan metal şeritler ile büyük bir gelişme göstermiştir. Daha sonra ise inşaat mühendisliği ve özellikle geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan ve sentetik hammaddelerden üretilen geosentetik ürünler donatı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Geotekstil, başlıca geosentetik türlerinden bir tanesidir ve polimer, poliolefin (polipropilen ve polietilen), polyester (terilen), poliamid (naylon) ve polivinil klorür gibi farklı elastisite ve sünme özelliği gösteren malzemelerden oluşmaktadır. Örgülü veya örgüsüz olarak üretilen geotekstiller ayırma, koruma, filtrasyon gibi çeşitli fonksiyonları yerine getirirler.

Güçlendirme amacıyla kullanılan geotekstillerin başlıca üç uygulama alanı vardır:

1. Çok yumuşak zeminlerde imal edilen dolgu tabanlarını güçlendirmek.
2. Dayanma yapılarının arkasındaki toprak basınçlarını azaltmak.
3. Şevlerde stabiliteyi arttırmak.

Bu tez çalışmasında geotekstilin özellikleri, tipleri, kullanım alanları araştırılmış ve bir vaka analizi üzerinde geotekstil donatılı zemin istinat duvarlarının yamaç stabilitesine etkisi araştırılmıştır.

2. YAMAÇ VE ŞEV STABİLİTESİ

Mühendislik uygulamalarında doğal olarak oluşmuş, arazi yüzeyi ile açı yapan oluşumlara “yamaç”, insan yapımı olan eğimli toprak yapılarına ise “şev” denmektedir. Heyelan ise kaya, zemin veya benzeri malzemenin doğal ya da doğal olmayan sebeplerle eğim yönünde hareketi olarak tarif edilmiştir.

Deprem, su baskını, sel gibi doğal afetlerden biri olan heyelanlar insan yaşamını yakından ilgilendiren ve bazen de tehdit eden önemli olaylardan biridir. Doğal afetler hem can ve mal güvenliğini tehdit etmekte hem de ciddi milli servet kayıplarına neden olmaktadır.

Ülkemizde heyelanlar jeolojik, topoğrafik ve meteorolojik şartlar, bilinçsiz yerleşmeler vs. nedeniyle sıkça meydana gelmektedir. Türkiye genelinde rastlanan metamorfik birimler, kumtaşı, kil ve marnlardan oluşan karasal neojen fasiyesler ve denizel çökeller, Kretase flişleri, killi yeşil şistler, jipsli Oligosen serileri heyelanların sıkça gözleendiği formasyonları teşkil etmektedir (İldır, 1995). Ayrıca ülkemizin yeterli yağış alan bir bölge olması, topoğrafyasının doğal olarak da eğimli oluşu ve deprem etkileri de heyelan oluşumlarına etki etmektedir.

Afet İşleri Genel Müdürlüğü’nün 1950–2004 yılları arasında yapmış olduğu çalışmalar ülkemizde heyelanların yoğun olarak Karadeniz, Marmara ve Doğu Anadolu bölgelerinde meydana geldiğini göstermiştir. Karadeniz bölgesinde meydana gelen heyelanların bölgenin dik topografyasından kaynaklandığı gözlenmiştir. Marmara bölgesi ise tortul jeolojisi ve yeraltı suyu koşulları nedeniyle hareketlere uygun ortama sahiptir.

2.1. HEYELANLAR İLE İLGİLİ TERİMLER

Heyelanlar, yamacı veya şevi oluşturan zemin kütlelerinin ağırlık merkezinin daha aşağıdaki bir kota hareket etmesiyle oluşan zemin hareketleridir. Birleşmiş Milletler Eğitim ve Bilim Örgütü 1990 yılında Dünya Heyelan Envanteri Komisyonunu (WLI)

- (1) Heyelan Tacı: Ana aynanın en yüksek bölümüne en yakın ve hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yer (crown).
- (2) Ana Ayna: Heyelanın üst ucunda, heyelandan etkilenmemiş bölgeden hareket eden kütlenin ayrılmasıyla oluşan düşey veya düşeye yakın yüzey. Kayma/kopma yüzeyinin görünen bölümü (main scarp).
- (3) Heyelanın Tepesi: Ana ayna ile heyelan kütlesi arasındaki en yüksek nokta (top).
- (4) Heyelanın Üstü: Hareket etmiş kütle ile ana ayna arasında oluşan bölgenin üst kısımları (head).
- (5) Tali Ayna: Yer değiştiren kütle içinde farklı hareketlerden oluşmuş bir düşey veya düşeye yakın yüzey (minor scarp).
- (6) Heyelanın Gövdesi: Kayma yüzeyi üzerinde ana ayna ile kayma yüzeyinin burnu arasında kalan kitle (main body).
- (7) Heyelanın Eteği: Heyelan topuğunun ileriye doğru hareket ederek doğal arazi üzerine oturmuş bölümü (foot).
- (8) Heyelanın Ucu: Heyelanın tepesinden topuğuna çizilen doğrunun en uzak noktası (tip).
- (9) Topuk: Hareket eden kitlenin genellikle eğrisel olan alt kenarı. Ana aynadan en uzak olan bölüm (toe).
- (10) Kayma/Kopma Yüzeyi: Heyelan eden veya etmiş kitlenin alt sınırını oluşturan ve doğal zemin yüzeyinin üstünde kalan yüzey (surface of rupture).
- (11) Kayma Yüzeyinin Burnu: Bir heyelanın kayma yüzeyinin alt bölümü ile doğal arazi yüzeyinin kesişme noktası (toe of surface of rupture).
- (12) Ayrılma Yüzeyi: Doğal arazi yüzeyinin heyelanın eteği altında kalan bölümü (surface of separation).

- (13) Heyelan Kitlesi: Yamaç veya şevde hareket sonucu doğal yerinden ayrılmış, kayıp veya kabarma kitlelerini içeren birikim (displaced material).
- (14) Kayıp Bölgesi: Heyelan kitlesinin duraysızlık öncesi doğal arazi profili altında kalmış olan alanı (zone of depletion).
- (15) Birikim Bölgesi: Heyelan kitlesinin doğal arazi profili üstünde kalan bölümü (zone of accumulation).
- (16) Çöküntü: Ana ayna, çöküntü kitlesi ve doğal arazi yüzeyi arasında kalan heyelanın hacmi (depletion).
- (17) Çöküntü Kitlesi: Kayma yüzeyi üzerinde, ancak başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan heyelan hacmi (depleted mass).
- (18) Birikim: Hareket eden kitlenin doğal arazi yüzeyi üzerine çıkan hacmi (accumulation).
- (19) Kanatlar: Kayma yüzeyinin yanlarında kalan, hareket etmemiş malzeme (flank).
- (20) Doğal Arazi Yüzeyi: Kitle hareketi oluşmadan önce arazinin doğal ve ilk yüzeyi (original ground surface).

2.1.2. Heyelan Boyutları

Uluslararası Geoteknik Komisyonu, heyelanların genişlik, uzunluk, boy ve derinlik gibi özelliklerini aşağıda verildiği gibi ayırmış ve her bir bölgeyi açıklamıştır.

- (1) Heyelan Kütlesi Genişliği, W_d : Hareket eden kütle uzunluğu, L_d 'ye dik olan maksimum mesafe.
- (2) Kayma Yüzeyi Genişliği, W_r : Heyelan kanatları arasında kalan ve toplam uzunluk, L 'ye dik maksimum mesafe.
- (3) Toplam Heyelan Uzunluğu, L : Heyelanın tacından ucuna kadar minimum mesafe.

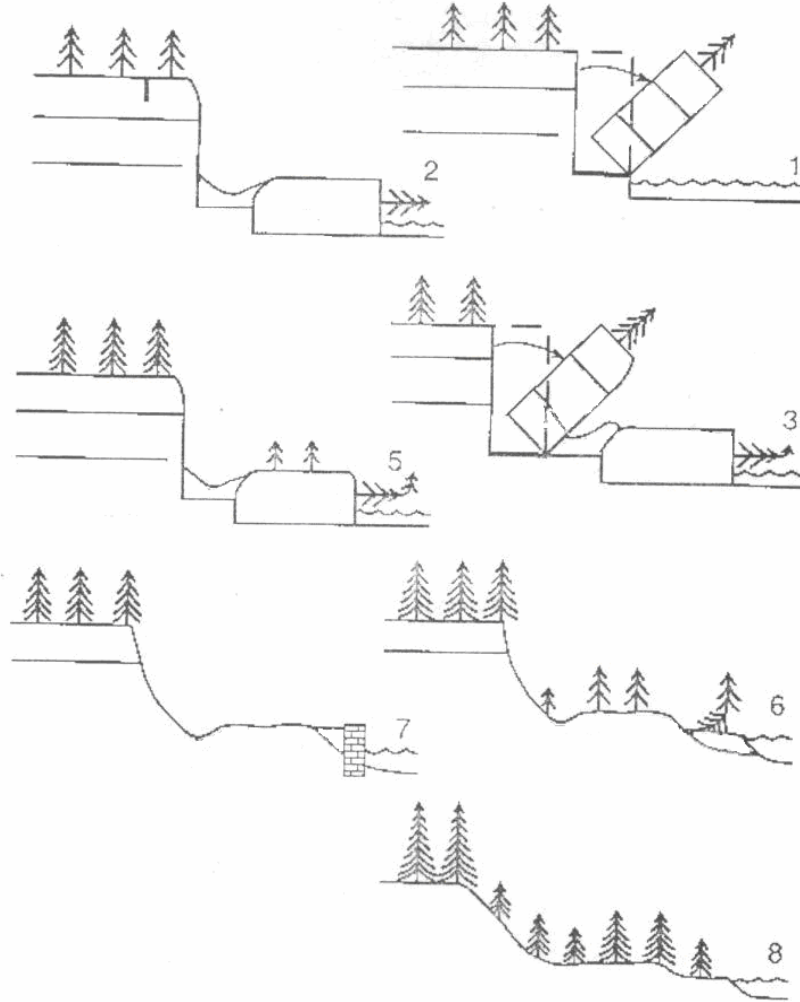
- (4) Heyelan Kütlesi Boyu, Ld: Heyelanın uç noktasından başına kadar minimum mesafe.
- (5) Kayma Yüzeyi Uzunluğu, Lr: Kayma yüzeyi burnundan heyelanın tacına kadar olan minimum mesafe.
- (6) Heyelan Derinliği, Dd: Heyelan kütlesi genişliği ve heyelan kütlesi boyunun oluşturduğu düzlemden kopma yüzeyine ölçülen maksimum dikey mesafe.
- (7) Kayma Yüzeyi Derinliği, Dr: Kayma yüzeyinin başlangıçtaki doğal arazi yüzeyinden, kayma yüzeyi genişliği ve kayma yüzeyi uzunluğunun oluşturduğu düzleme maksimum dikey uzaklıktır.

2.1.3. Heyelanın Etkinlik Durumu

Heyelan, malzemenin hareket etme zamanına göre farklı türlere ayrılmaktadır (Şekil 2.2).

- (1) Etkin Heyelan: Halen hareket halinde olan kütle.
- (2) Duraklamış Heyelan: Kütle son 12 ay içinde hareket etmiş ancak şu anda etkin değil.
- (3) Uyanmış Heyelan: Bir önceki evrede etkin olmayan kütlenin yeniden hareketlenmesi.
- (4) Etkin Olmayan Heyelan: Gizli, bitmiş, kontrol altında ya da kalıntı heyelan olup son 12 ay içinde hareket etmeyen kütle.
- (5) Gizli Heyelan: İlk harekete neden olan etkenlerin yeniden oluşmasıyla hareket edebilecek, şu an etkin olmayan hareket.
- (6) Bitmiş Heyelan: İlk hareketi oluşturan etkenlerin ortadan kalkmasıyla artık etkin olmayan heyelan.
- (7) Kontrol Altında Heyelan: Yapay önlemlerle harekete neden olan etkenlerin koruma altına alındığı etkin olmayan heyelan.

- (8) Kalıntı Heyelan: Halen hakim olan iklimsel ve jeomorfolojik koşullardan tamamen farklı koşullarda oluşmuş, etkin olmayan heyelan.



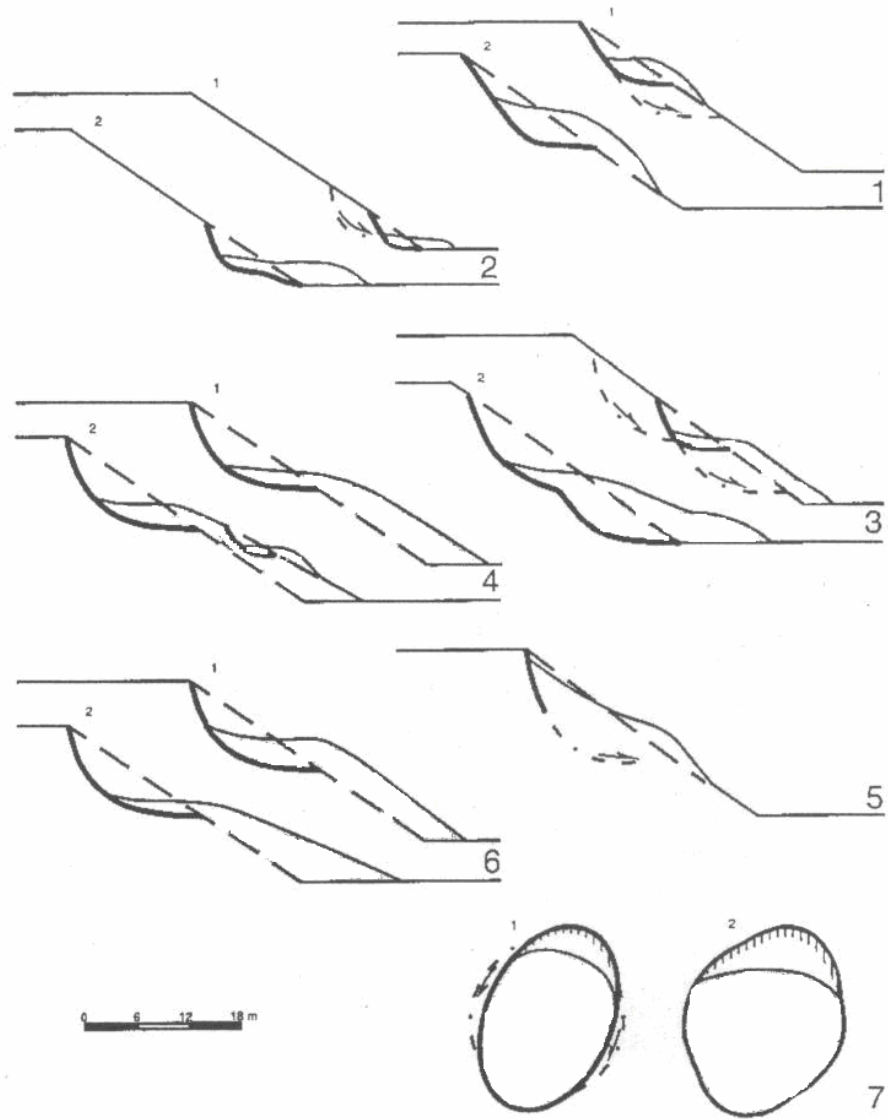
Şekil 2.2 : Heyelanın Etkinlik Durumuna Göre Sınıflanması (Önalp ve Arel, 2004)

2.1.4. Heyelanların Etkinlik Dağılımı

Heyelanların hareket eden malzemenin yönüne ve miktarına göre sınıflaması Şekil 2.3’de verilmektedir.

- (1) İleriye Doğru Gelişen Heyelan: Kayma yüzeyi hareket yönünde ilerleyen heyelan.
- (2) Geriye Doğru Gelişen Heyelan: Kayma yüzeyi hareket yönünün tersi yönde uzanan heyelan.

- (3) Büyüyen Heyelan: Kopma yüzeyi iki ya da daha fazla yönde gelişen heyelan.
- (4) Tükenen Heyelan: Hareket eden kütle hacmi giderek azalan heyelan.
- (5) Sınırlı Heyelan: Aynası olan, ancak hareket eden kütle ayağında kopma yüzeyi gözlenmeyen heyelan.
- (6) Yayılan Heyelan: Hareket eden kütle hacminde ve kopma yüzeyinde gözlenebilir bir değişim olmadan süren heyelan.
- (7) Genişleyen Heyelan: Kopma yüzeyi bir ya da iki kanada birden yayılan heyelan.



Şekil 2.3 : Heyelanların Etkinlik Durumları Göre Sınıflaması (Önalp ve Arel, 2004)

2.1.5. Heyelanların Türleri

Heyelanlar; karmaşık, bileşik, ardışıl, tekil ve çoklu olmak üzere 5 gruba ayrılırlar.

- (1) Karmaşık: Heyelan birbirini izleyen en az iki farklı tipte hareket gösterir (akma, devrilme, kayma, yayılma, akma gibi).
- (2) Bileşik: Heyelan kütlelerinin farklı bölümlerinde aynı zamanda iki ya da daha fazla hareketin sürmesi.
- (3) Ardışık: Kendinden önce oluşan heyelan ile aynı hareket tipine sahip ancak malzeme ve kopma yüzeyleri ortak olmayan heyelan.
- (4) Tekil: Yer değiştiren kütlelerin tek hareketi sonucu oluşan heyelan.
- (5) Çoklu: Aynı tip hareketin heyelanın farklı bölümlerinde görülmesi.

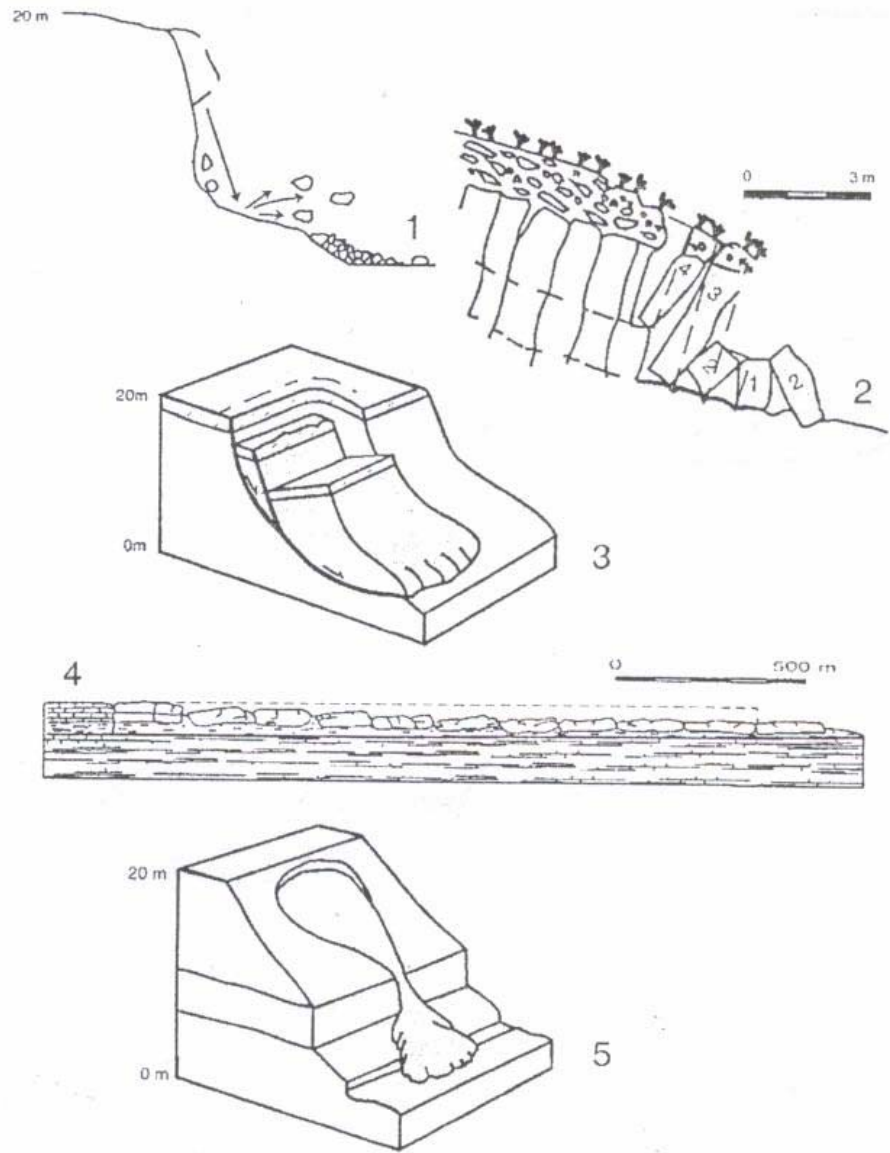
2.2. KİTLE HAREKETLERİNİ OLUŞTURAN ETKENLER

Zeminde, kayada ve geçiş malzemelerinde gözlenen kitle hareketleri beş gruba ayrılmıştır (Önalp,1995) (Şekil 2.4).

- (1) Düşme: Dik kazı şevlerinden, mağara tavanlarından, dağ doruklarından değişik boy ve çeşitteki kaya ve zemin parçalarının yer çekimi etkisi ile aşağıya doğru hareket düşmesi olayıdır.
- (2) Devrilme: Fazlaca süreksizlik içeren zemin veya kaya kütlelerinin orijinal konumlarının bozularak yamaç dışına, kendi ağırlık merkezi altına bir nokta ya da eksen boyunca öne doğru dönmesi.
- (3) Kayma: Yamaç ya da şevi oluşturan malzemenin belirgin bir yüzey boyunca ve makaslama yenilmesine bağlı olarak yamaç aşağı hareket etmesi. Şevlerde meydana gelen en yaygın hareket türü olan kaymalar dairesel ya da düzlemsel olarak iki şekilde gelişirler.
- (4) Yanal Yayılma: Zemin veya kayada kohezyonlu zemin ya da kaya kitlesinin altındaki yumuşak tabakanın içinde kırılarak batması sonucu uzanması. Yanal zemin yayılması killi, zayıf malzeme içindeki yüzer konumdaki sert ve

eklemlı kaya bloklarının bu malzeme ile birlikte, özellikle aşırı gözenek suyu basıncının da etkisiyle yavaş hareket etmesidir.

- (5) Akma: Konsolide olmamış malzemenin doygun veya kuru halde, yavaş ya da hızlı olarak yamaç boyunca sıvı gibi ve sürekli hareket etmeleri.



Şekil 2.4 : Kitle Hareketi Türleri (Önalp, 1995)

Bu hareketleri oluşturan etkenler zemin koşullarına, jeomorfolojik koşullara, fiziksel süreçlere bağlı olabileceği gibi insan etkilerine bağlı olarak da ortaya çıkabilmektedir.

- (1) Zemin Koşullarına Bağlı Olan Etkenler: Plastik zayıf malzeme, hassas zeminler, göçebilen ya da şişebilen zeminler, ayrışmanın çok olduğu ortamlar, ezik ve makaslama zonlarının çok olduğu bölgeler, eğimin olumsuz olduğu fay, çatlak, dokanak gibi süreksizlikler bulunan bölgeler, farklı rijitlikteki malzemelerin üst üste bulunması.
- (2) Jeomorfolojik Etkenler: Tektonik yükselme, volkanik yükselme, yamaç eteklerinde akarsu, dalga, buzul aşındırması, erozyon, kuraklık gibi nedenlerle bitki örtüsünün kaybı, erime, borulanma gibi yeraltı erozyonu.
- (3) Fiziksel Süreçler: Kısa süreli yoğun yağış, uzun süreli yağış, kalın kar örtüsünün erimesi, su seviyesindeki ani alçalma, depremler, volkanik etkiler.
- (4) İnsan Etkileri: Topukta ya da yamaç üstünde kazı, yamaç yüzeyinde yükleme, sulama, drenaj ve atık su borularındaki kaçaklar, bitki örtüsünün kaldırılması, açık maden işletmeleri, katı atıkların önlemsiz depolanması, yapay titreşimler.

2.3. ŞEVLERDE KAYMA HAREKETLERİNİN SINIFLANMASI

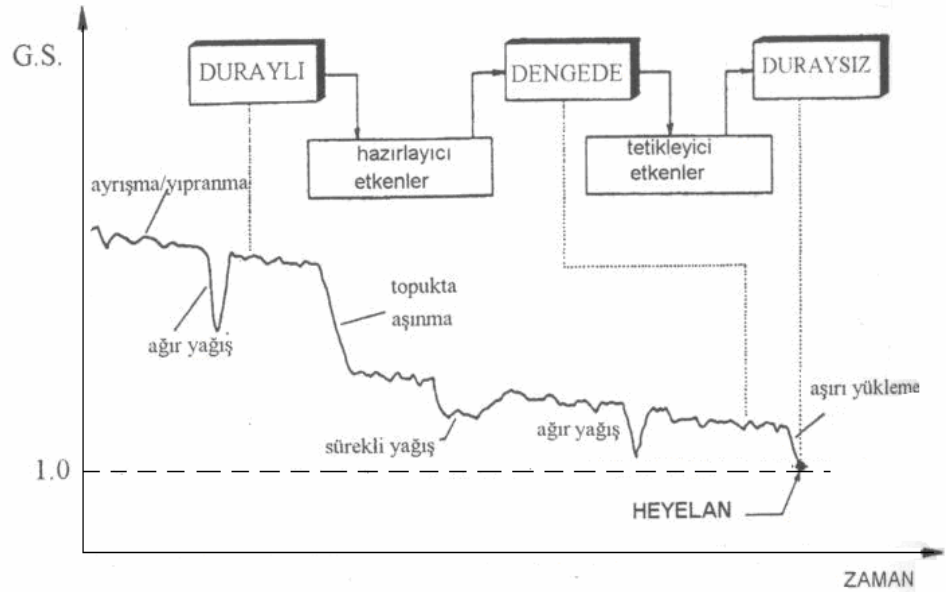
Şevlerde düzlemsel, dairesel ve birleşik kayma olmak üzere üç şekilde hareket meydana gelmektedir.

- (1) Düzlemsel Kayma: Genellikle yenilme yüzeyi doğrusal olan ve bir katmanın fay, tabakalaşma yüzeyi gibi zayıflık düzlemi boyunca yer değiştirmesi sonucunda oluşur. Zayıflık düzleminde kayma dayanımı büyüklüklerinin yanı sıra düzlem boyunca hareket eden suyun oluşturduğu kaldırma kuvvetinin büyüklüğü de şevin stabilitesi üzerinde etkilidir (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).
- (2) Dairesel Kayma: Kayma yüzeyinin dairesel şekilde olduğu hareketlerdir. Şevin geometrisinde ince daneli zeminin kohezyonu derinlikle artıyorsa, bu şevde “sığ şev kayması” veya “topuk şevi kayması” meydana gelir. Kohezyon sabit ise, daha derin yenilme yüzeyi gözlenir. Daha sağlam katman yüzeyi ile sınırlanan bu tür kaymalara “taban kayması” adı verilir (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).

- (3) Birleşik Şev Kayması: Şev kütlesinin içerdiği katmanların kayma direnci parametreleri ve yönelimleri tarafından kontrol edilen bu kayma türünde hareket hem dairesel hem düzlemsel yüzey üzerinde gerçekleşir. Aşırı konsolide, fisürlü killerde yenilme yüzeyi fisürlerin gelişimine ve yer altı suyu seviyesinin durumuna bağlıdır (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005).

2.4. YAMAÇ ve ŞEVLERDE SU

Yamaç ve şev duraylılığı ile ilgili yapılan çalışmalar yeraltı ve yüzey sularının etkisinin önemini vurgulamaktadır. Yüzey sularının hareketi yağış yoğunluğuna, havzanın yüzölçümü ve biçimine, yamaç eğimine, yamaç uzunluğuna, bitki örtüsüne ve zemin özelliklerine bağlı olarak gelişmektedir. Yeraltı sularının hareketinin ise laminar koşullarda olduğu ve Darcy yasasına uyduğu kabul edilmektedir. Terzaghi 1950 yılında yaptığı çalışma ile şevlerde su etkisi arttıkça güvenlik sayısının düştüğünü ortaya koymuştur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Suyun Yamaç Duraylılığına Etkisi (Önalp ve Arel, 2004)

Yamaç ve şevlerde suyun drene olması sağlanamaz ve su akımı devam ederse ortamdaki basınç artacak, boşluk suyu yeterli düzeye yükseldiğinde efektif gerilmeler düşecek ve yamaç ya da şevde stabilite kaybı oluşacaktır. Bu yüzden boşluk suyu basıncı değerleri stabilite analizleri için önemlidir. Geçirimli ortamlarda yapılan kazılarda su gözle görülür biçimde çukura dolabilmektedir. Ancak özellikle

aşırı konsolide ve fisürlü killerde geçirimsizliğin düşük olması nedeniyle su çok daha uzun sürelerde ortaya çıkabilmektedir.

Yamaç ve şevlerde boşluk suyu yeraltı su seviyesi altında pozitif, üstünde negatif değerler taşır. Kuru yamaçlarda kitle hareketleri nadiren oluşur. En olumsuz durum ise yamaç içinde basınçlı su taşır tabaka bulunmasıdır.

Hem yüzeysel hem de derin kaymalarda en önemli faktörlerden biri olan yoğun yağışlar ise ortamın boşluk suyu basınçlarını yükselterek harekete neden olmaktadır. Yoğun olmayan ama sürekli ve uzun süre devam eden yağışların da şevlerde harekete neden olduğu gözlenmiştir.

Türkiye karayollarına meydana gelen şev göçmeleri üzerine yapılan çeşitli araştırmalar da yamaç ve şevlerde oluşan hareketlerin birincil nedeninin su etkisi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Yeraltı suları ile ilgili sorunlar, yamaç ve şevlerde stabilitenin yeraltı suyundan etkilenmesi, kapiler kuvvetlerle suyun yükselerek yol gövdesini etkilemesi, dolgu taban zeminin taşıma gücünü düşürerek taban göçmesine neden olması olarak özetlenebilir.

2.5. YAMAÇ ve ŞEVLERDE KAYMA MUKAVEMETİ

Zeminde kayma direncini ifade etmek için Mohr-Coulomb hipotezi kullanılmaktadır. Bu hipotez iki temel parametreye bağlıdır; kohezyon (c) ve kayma mukavemeti açısı (Φ). Zeminde oluşan toplam gerilmeler için kayma mukavemeti,

$$\tau_{\max} = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (2.1)$$

bağıntısıyla ifade edilir.

Burada;

$\tau_{\max}$ = Maksimum Kayma Mukavemeti

c = Kohezyon

σ = Normal Gerilme

ϕ = Kayma Mukavemeti Açısı

2.5.1. akıl ve Kumların Kayma Mukavemeti

Zemin mekaniğinde çakıllar ile kumlar iri daneli ve kohezyonsuz malzeme olarak nitelenirler. Bu ortamların en önemli özellikleri ise geçirimsizlik katsayılarının büyük olması ($> 10^{-3}$ cm/sn) ve kesme sırasında makul gerilme düzeylerinde genelde hacim artışı göstermeleridir.

Üniform bir kum gevşek ve sıkı olarak iki ayrı durumda aynı normal gerilmede drenajlı olarak kesilirse sıkı kumun önce direndiğı sonra aniden kaydığı, gevşek kumun ise yavaş yavaş ama daha uzun sürede aynı kayma direncine ulaştığı görölmektedir. Drenajsız kesme deneyinde ise genleşme eğiliminden dolayı sıkı kumun boşluk suyu basınçlarının azaldığı, efektif gerilmelerin arttığı ve kayma direncinin arttığı ancak gevşek kumda ise hacim azalmasına bağılı olarak boşluk suyu basınçlarının azaldığı ve kayma mukavemetinin düştüğü görölmektedir.

2.5.2. Killerde Kayma Mukavemeti

Yumuşak veya normal yüklenmiş killer günümüzde sahip olduğı efektif gerilmeden daha yüksek gerilme altında kalmamış gölsel, denizel ve bazen de fluviyal çökellere denir. Jeolojik yapısı ve çevre koşulları nedeniyle ölkemizde normal yüklenmiş killer Haliç, İzmit Körfezi gibi çok kısıtlı alanlarda bulunmaktadır.

Yumuşak killerde yapılan konsolidasyonsuz drenajsız (UU) kesme deneyi sonucunda oluşan kırılma zarfı yatay bir doğru ile temsil edilmektedir çünkü boşluk suyu basınçları deviatör gerilmeye bağılı yükselmekte ve böylece artan çevre basınçlarında aynı büyüklükte boşluk suyu basıncı değerleri belirlemektedir (Önalp ve Arel, 2004).

Deney sonucunda oluşan kırılma zarfı,

$$\tau_{\max} = c_u \quad (2.2)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir.

Yumuşak killer üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) kesme deneyi sonucunda oluşan gerçek toplam ve efektif kırılma zarflarının ise orijinden geçtiğı görölmektedir.

Deney sonucu oluşan toplam ve efektif kırılma zarfları,

$$\tau_{\max} = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (2.1)$$

$$\tau_{\max} = \sigma' \cdot \tan \phi' \quad (2.3)$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada;

σ' = Efektif Normal Gerilme

ϕ' = Efektif Kayma Mukavemeti Açısı

Aşırı konsolide killer ve bunların sertleşmiş denklemleri olan çamurtaşları, günümüzde altında bulundukları örtü yükünden fazlasına geçmişte sahip olmuş malzemelerdir. Aşırı konsolide killerin çoğu okyanusal ortamlarda birikmişlerdir. Diyajenez sırasında kil minerallerinde ısı, gömülme derinliği, boşluk suyunun kimyası ve zamana bağlı olarak yapısal değişiklikler meydana gelebilir.

Sedimenter örtü yükündeki artışa bağlı olarak su içeriği ve porozitesi düşmektedir. Bir kilin aşırı konsolide olup olmadığı doğal su içeriği ile plastik limit değerleri karşılaştırılarak anlaşılabilir. Aşırı konsolidasyon oranı (OCR) arttıkça doğal su muhtevası plastik limitin altına düşmektedir. Normal yüklenmiş veya yumuşak kil ile aynı efektif basınç altında bulunsa da, aşırı konsolide kilin su içeriği ve porozitesi daha düşük değerler vermektedir (Zarif, 2001).

Aşırı konsolide killer geçmişte yüksek gerilmeler aldıkları için sıkışmış ve bugün sahip olduğundan daha yüksek dirençlere ulaşmıştır. Temel ortamı için ideal bir malzeme olan aşırı konsolide killer şevlerde ise gerilme azalması yaşadığı zaman bünyesinde oluşan süreksizlikler ile direncini kaybedip, stabilite sorunlarına yol açmaktadır.

Aşırı konsolide bir kil numunesi üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız (CU) kesme deneyleri sonucunda oluşan toplam ve efektif kırılma zarflarının denklemleri,

$$\tau_{\max} = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (2.1)$$

$$\tau_{\max} = c' + \sigma' \cdot \tan \phi' \quad (2.4)$$

Türkiye’deki şev ve yamaçların büyük kısmını aşırı konsolide ve fisürlü killerin oluşturduğu yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir. Bu tür ortamlarda eski heyelan kontrolü için yapılan toplam ve efektif gerilme analizlerinin genelde yüksek güvenlik sayıları verdiği belirlenmiştir. Ancak özellikle karayollarında kısa süre sonra duraylılık sorunlarının ortaya çıktığı gözlenmiştir. Bunun nedeninin analizlerde kullanılan kohezyon, kayma mukavemeti açısı gibi değerlerin yanlış alınmasından kaynaklandığı araştırmalarla ortaya konulmuştur (Önalp ve Arel, 2004).

Aşırı konsolide kil numunesi üzerinde yapılan kesme deneylerinde, kilin milimetre düzeyindeki kesme hareketlerinde doruk değerine ulaştığı ve yenilmeden sonra direncin hızla düşmeye başladığı gözlenmiştir. Kil pulcukları yer değiştirirken boşluk suyu da kararsız hareketler yapmaktadır. Kesme hareketine devam edilirse kil pulcukları birbirlerine paralel bir konumda sıralandığı ve boşluk suyunun da laminar hareket ettiği söylenebilir. Bu aşamada kilin kalıntı ya da kalıcı direncine inmesi ve en düşük değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Kilin doruk dirençten kalıntı dirence düşüşü, kalıcı kayma direnci katsayısı, R ile ifade edilir.

$$R = \frac{s_{\max} - s^*}{s_{\max} - s_r} \quad (2.5)$$

Burada;

R = Kalıcı Kayma Direnci Katsayısı

s_{max} = Aynı Normal Efektif Gerilmede Doruk Kayma Mukavemeti

s* = Aynı Normal Efektif Yumuşamış Durumdaki Kayma Mukavemeti

s_r = Aynı Normal Efektif Gerilmede Rezidüel Kayma Mukavemeti

Yamaç ve şevlerde malzemenin kil olması durumunda, 0,5m–1m mertebesindeki kayma hareketleri gözlemlendiği zaman kalıntı dirence inilmektedir. Bu aralıklarda meydana gelecek hareketler heyelanlar gibi aşırı ötelenmelere neden olacak olaylarda görülmektedir.

2.6. YAMAÇ ve ŞEVLERDE STABİLİTE ANALİZLERİ

Yamaç ve şevlerde denge durumunu hesaplamak için pek çok yöntem geliştirilmiş olmakla beraber doğru çözüme en yakın sonuçlar, sonucun sayısal ve kesin olarak

bulunduğu varsayılan deterministik yöntemlerle ya da istatistiksel-gözlemsel, olasılık teorisine dayanan yöntemlerle yapılmaktadır. Ayrıca son yıllarda bilgisayarlar ile yapılan sonlu elemanlar analizleri de stabilite analizlerinde kullanılmaktadır.

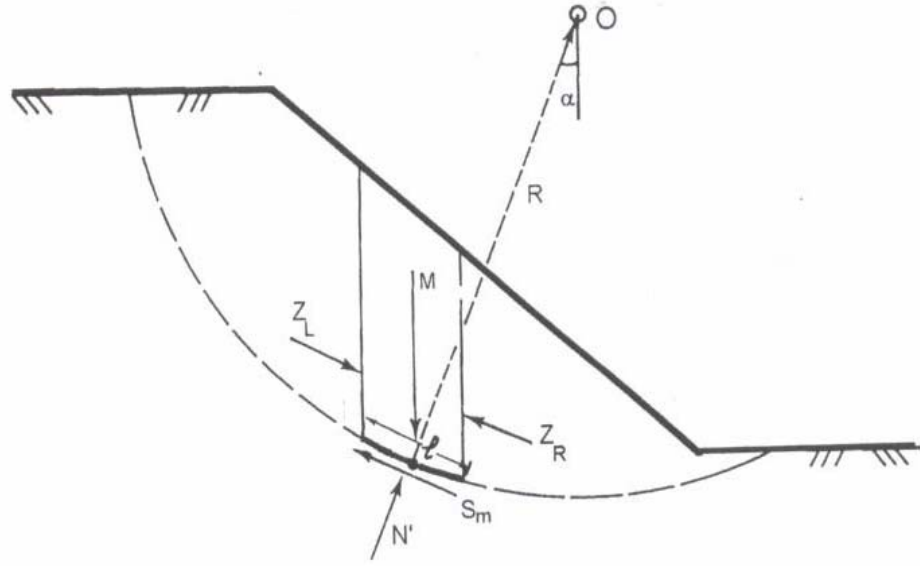
Deterministik yöntemlerin içinde yer alan limit denge yöntemleri uygulamalarında Mohr-Coulomb gibi ortamdaki ötelenmeleri göz önüne almayan elasto-plastik yenilme kriterinden yola çıkarak analiz yapılmaktadır. Ancak yamaç ve şevlerdeki hareketler çoğu kez önemli hareketler sonrasında meydana gelmektedir. Bu amaçla geliştirilen limit gerilme yöntemleri zeminin gerilme-boy değişme özelliklerini hesaplarında içerir. Sonlu elemanlar, ayrık elemanlar ve plastisite teorisi limit gerilme yöntemlerinde bazılarıdır (Önalp ve Arel, 2004).

Limit denge yöntemleri ile analizde kaymanın belirli bir yüzeyde gerçekleştiği kabul edilmektedir. Hesaplamalarda bir veya birkaç doğru ya da eğri olarak kabul edilen kayma yüzeyi dengeyi sağlayabilecek şekilde statik yada yarı-statik olarak hesaplanır. Bu kayma yüzeyinde kaymayı önleyen etkenlerin kaymayı kolaylaştırıcı etkenlere oranından güvenlik sayısı hesaplanır. Daha sonra pek çok farklı yüzey üzerinde analiz yaparak en düşük güvenlik sayısına ulaşılır.

Limit denge analizlerinde kayan kütle bir bütün olarak veya dilimlere ayrılarak çözüm yapılmaktadır. Kayma kütlelerinin bütün olarak ele alınması, yüzeyin bir doğrudan eğriye sapmasıyla normal gerilme dağılımı değiştirilerek hiperstatik bir sistem oluşturmada ve buna bağlı olarak çözümde kitle içi kuvvetler ihmal edildiği için hatalar ortaya çıkmaktadır (Önalp ve Aker, 2004). Bu hataları önlemek amacıyla kayan kütleli dilimlere bölerek, her bir kütle için dengeyi ve bu dilimlerin kayan kütle için bütününe olan etkisini inceleme yoluna gidilmiştir (Şekil 2.6).

Limit denge analizlerini kayan kütleli dilimlere bölerek hesaplamaya yarayan Bishop, Janbu, Sarma, Lowe ve Karafiath metotları gibi pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin dışında Taylor, Janbu veya Spencer abakları, plastisite teorisine dayanan metotlar, sonlu elemanlar analizleri ya da deneysel metotlar kullanılarak da stabilite analizleri yapılmaktadır.

Yöntemlerin dayandığı kabullerin ve denge koşullarının sağlanmasındaki farklılığı, aynı şev için yapılan analizlerde bile farklı güvenlik sayılarının farklı olmasına yol açmaktadır.



Şekil 2.6 : Şev Stabilitesi Analizlerinde Bir Dilime Etkiyen Kuvvetler

Fellenius, Sadeleştirilmiş Bishop, Spencer, Basitleştirilmiş ve Karmaşık Janbu, Morgenstern-Price yöntemlerini ile karşılaştırma amacıyla yapılan bir çalışmada Fellenius dilim yönteminin ile en düşük güvenlik sayısı tanımlanmıştır ancak bu yöntemin stabilite koşulları açısından eksiklikler taşıdığı belirtilmektedir. Üç denge koşulunu sağlayan ve uygulaması diğer yöntemlere göre daha zor olan Spencer, Morgenstern-Price gibi yöntemlerle ulaşılan güvenlik sayılarının ise Sadeleştirilmiş Bishop yöntemi ile ulaşılan sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bishop yönteminin karmaşık ya da basitleştirilmiş olması sonuçlarda önemli bir fark yaratmamaktadır.

2.6.1. İsveç Dilim Yöntemi

İsveç dilim yöntemi ya da Fellenius metodu, göçme yüzeyi civarındaki normal gerilme değişimini belirlemek için kayan kütleyi dilimlere bölerek analiz yapan ilk yöntemdir. Bu yöneme göre kayma yüzeyi dairesel silindriktir. Göçme yüzeyi üzerinde bulunan malzeme eşit aralıklarla dilimlere ayrılmaktadır. Dilimler arasındaki kuvvetlerin aynı doğrultuda ancak zıt yönlü ve birbirlerine eş oldukları kabul edilmekte ve bu sebeple hesaba katılamamaktadır. Hesaplarda yanıl kuvvetler bileşkesinin her dilimin tabanına paralel etkidiği kabul edilmiş, tabana dikey kuvvet etkimeidiği kabul edilmiştir.

Bu yöntemde, O merkezli bir silindir kayma yüzeyi dilim genişliği sabit olacak şekilde dilimlere ayrılır. Dilimin ağırlığı, W yatay ve düşey bileşenlerine ayrılarak merkez etrafındaki moment dengesinden güvenlik sayısı, GS hesaplanır.

$$GS = \frac{c.L + \sum (W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi)}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (2.6)$$

Burada;

GS = Güvenlik Katsayısı

c = Zeminin Kohezyonu

ϕ = Zeminin Kayma Mukavemeti Açısı

W = Dilim Ağırlığı

α = Her Dilimin Taban Merkezinin Yatayla Yapmış Olduğu Aç

L = Dilim Yay Uzunluğu

İsveç dilim yöntemi ile yapılan hesaplarda bulunan güvenlik sayıları yanal kuvvetlerin sıfır kabul edilmesi sebebiyle diğer yöntemlerden daha düşük çıktığı görülmüştür. Ancak boşluk suyu basınçlarının yüksek olması ve yamacın fazla yatık olması durumlarında hesap hata miktarlarında artma olduğu gözlenmiştir.

2.6.2. Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi

Şev ve yamaçlarda olan dairesel kaymalar için limit denge analizi ile yapılan analizlerde, dilimlere etkiyen yanal kuvvetler yatay, dilimler arası kesme kuvvetleri sıfır ve normal kuvvet ve dilim ağırlığının dilim tabanının ortasına etkidiği varsayılmaktadır. Bishop yöntemi önce genel kayma yüzeyleri için geliştirilmiş olsa da, dairesel yüzeylerde önemli hesap hataları meydana getirmediği için sadece dairesel kayma yüzeylerinde uygulanır olmuştur (Aytekin ve Haliloğlu, 1998).

Bishop 1955 tarihli çalışmasında, dilim kesme kuvvetlerinin göz önüne alınması durumunda çözümün karmaşık hale geldiği için bu kuvvetleri iptal etmiş ve dilimler arası kuvvetlerin bileşke kuvvetinin yatay olarak kabul ederek Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi' ni geliştirmiştir.

$$GS = \frac{\sum (c' b + (W - ub) \tan \phi') / m_\alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (2.7)$$

$$m_\alpha = \cos \alpha \left(1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{GS} \right) \quad (2.8)$$

Burada;

b = Dilim Genişliği

W = Dilimin Toplam Ağırlığı

c' = Efektif Kohezyon

ϕ' = Efektif Kayma Mukavemeti Açısı

u = Dilim Tabanına Etkiyen Boşluk Suyu Basıncı

Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi'nde olası kayma yüzeyi belirlendikten sonra eşit genişlikte dilimlere ayrılır. Tahmini bir güvenlik sayısı seçilerek her bir dilim için m_α değeri bulunur. Bu değer güvenlik sayısı formülünde yerine konarak gerçek güvenlik sayısı bulunur. Bu işleme hesaplanan güvenlik sayısı ile tahmin edilen güvenlik sayısı aynı olana kadar devam edilir. Bu yöntemle bulunan güvenlik sayıları İsveç Yöntemi ile bulunan güvenlik sayısından çok daha yüksek ve gerçeğe yakındır. Ancak kayma yüzeyi çok derin ise hesap hata oranları bu yöntemde artmaktadır.

2.6.3. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi

Janbu 1956 yılında her biçimde kayma yüzeyi için uygulanabilen ve kuvvet dengesi koşullarını sağlayan bu yöntemi geliştirmiştir. Daha sonra 1968 yılında ayrıntılardan kaçınarak Bishop yöntemine benzeyen Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi'ni geliştirmiştir. Bu yöntemde dilimler arası kesme kuvvetleri sıfır kabul edilmekte olup, yatay ve dikey kuvvet eşitliği sağlanır ama moment dengesi sağlanmaz.

Her bir dilimin tabanındaki efektif gerilme;

$$N' = \frac{-U_\alpha \cdot \cos \alpha - S_m \cdot \sin \alpha + W(1 - k_v) + U_\beta \cos \beta + Q \cos \delta}{\cos \alpha} \quad (2.9)$$

Toplam yatay kuvvet denklemi;

$$\sum_{n=1}^{n=p} [F_H]_n = \sum_{n=1}^{n=p} \left[(N' + U_\alpha) \sin \alpha + W k_h U_\beta \sin \beta + \sum_{n=1}^{n=p} Q \sin \delta - \frac{C + N' \tan \phi}{F} \cos \alpha \right] \quad (2.10)$$

$$GS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (C + N' \tan \phi) \cos \alpha}{\sum_{n=1}^{n=p} A_n + N' \sin \alpha} \quad (2.11)$$

$$A_n = U_\alpha \sin \alpha + W k_h + U_\beta \sin \beta + Q \sin \delta \quad (2.12)$$

Burada;

α = Dilim Tabanıyla Yatay Arasındaki Açı

U_α = Boşluk Suyu İtkisi

U_β = Yüzey Suyu İtkisi

k_h = Yatay Sismik Katsayısı

k_v = Düşey Sismik Katsayısı

2.6.4. Spencer Yöntemi

Spencer yöntemi, Sadeleştirilmiş Bishop Yöntemi ile çözümde yatay olarak kabul edilen dilim kuvvetlerinin bileşkeleri, paralel ve tüm dilimler için sabit açıyla etki ettiği esaslarına dayanmaktadır.

$$Q = \gamma b H \left[\frac{\frac{c'}{\gamma HGS} + \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{H} \cdot \frac{\tan \phi'}{GS} (1 - 2r_u + \cos 2\alpha) - \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{H} \cdot \sin 2\alpha}{\cos \alpha \cos(\alpha - \theta) \left[1 + \frac{\tan \phi'}{GS} \tan(\alpha - \theta) \right]} \right] \quad (2.13)$$

Burada;

N = Dilim Tabanına Etkiyen Normal Kuvvet

N' = Efektif Normal Kuvvet

$T_m = T/GS$ = Tabana Paralel Kayma Direnci Kuvveti

Q = Dilim Kuvvetlerinin Bileşkesi

Eğer şev üzerindeki kuvvetler dengede değilse, dilimler arası kuvvetlerin toplamı ve dilimler arası kuvvetlerin yatay ve düşey bileşenleri sıfır olmalıdır. Dönme merkezi etrafındaki dış momentlerin toplamı sıfırsa, dilimler arası kuvvetlerin moment toplamı da sıfır olur. Spencer yönteminde bu üç koşul sağlanmalıdır. Yöntemi basitleştirmek için dilim kuvvetlerinin paralel olduğu, θ açısının sabit olduğu gibi kabuller yapılmaktadır. Dilim kuvvetlerinin bileşke değeri elde edildikten sonra sırasıyla her bir değer için, dilim kuvvetleri ve dilim tabanının ortasına göre alınan momentler ve kuvvet etkiye noktaları elde edilir (Aytekin ve Haliloğlu, 1998).

2.6.5. Sarma Yöntemi

Sarma yöntemi limit dengesini esas alan dilim yöntemlerinden biridir ve her bir dilimin kuvvet ve moment dengesinin sağlanması esasına dayanır.

Sarma (1973) şev güvenliğinin, zemin kütlesini limit denge durumuna getirecek yatay ivmeye bağlı olan bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem ile konvansiyonel bir güvenlik katsayısı gerekmesi durumunda, kayma mukavemeti azaltılarak 0 yatay ivme gerektiği ana kadar iterasyon yapılıyordu. Böyle bir durumda 3 iterasyon yeterli olmaktadır ve tüm denge denklemleri sağlanmaktadır (Konuk, 2005).

Sarma (1979) eğimli ara dilim sınırları için de bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde dilimler istenildiği kadar geniş tutulabilir ve kayma yüzeyinin eğimi tarafından belirlenir. Minimum bir kritik ivme değeri bulmak için her dilim sınırı arasındaki eğim değerini değiştirdiği için bu yöntem çok uzun bir süreci gerektirmektedir.

2.6.6. Sonlu Elemanlar Analizi

Bishop, Janbu gibi limit denge yöntemlerinde güvenlik sayısı hesaplanırken ötelenme, boşluk suyu basınçlarının değişimi gibi ek bilgiler ifade edilememektedir. Sürekli ortamlarda sonlu elemanlar ve süreksiz ortamlarda ayrık elemanlar metodu ile yapılacak hesaplamalar ile yamaç ve şevlerin gerilme-deformasyon analizleri yapılabilmektedir.

Sonlu elemanlar analizinde zemin düğüm noktalarında birleşen elemanlara bölünmektedir. Analiz sonucunda her düğüm noktasında oluşan deplasmandan hareketle gerilme ve şekil değiştirme alanları bulunur. Sonlu elemanlar analizinde

nümerik modelleme kullanılarak tüm elemanların aynı yapısal davranışa göre davranmaları sağlanır. Kullanılan modelleme genelde göçmenin oluşumuna kadar elastik ve göçme sonrası tam plastik davranıştır. Kullanılan göçme kriteri genellikle Mohr-Coulomb kriteridir (Konuk, 2005).

Araştırmacılar sonlu elemanlar analizinin etkinliğinin arazide yapılacak ölçümlerle arttığını, bu nedenle zemin özelliklerinin önceden bilindiği durumlarda daha verimli sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir.

Sonlu elemanlar metodu (FEM) ile yamaç ve şevlerde analiz 1960 yıllarında yapılmış olup, uygulamanın en önemli yanı zemin özelliklerini doğrusal olmayan bir fonksiyonla modellemesidir. Sonlu elemanlar analizi ile gerilme, ötelenme ve boşluk suyu basınçlarının hesabı, yapım sırası ve sonrasında durumun şişme ve konsolidasyon sonucu kontrolü ve çatlama, hidrolik çatlatma, yerel yenilme ve genel duraylılığın izlenmesi bilgileri hesaplanabilir. Sonlu elemanlar yöntemine getirilen en önemli eleştiri ortamın sürekli varsayılması ve aşırı ötelenmelerin olamamasıdır çünkü kayada olduğu gibi zemin yamaçlarda da metrelerle ifade edilen hareketler olabilmektedir (Önalp ve Arel, 2004).

2.7. YAMAÇ ve ŞEVLERDE STABİLİTENİN SAĞLANMASI

Terzaghi'ye göre eğer bir yamaç ya da şev harekete geçmişse bu hareketi durdurmak veya kontrol etmek için, onu yaratan nedenleri ve süreci tanımlamak, önlemleri bu bilgilere dayanarak almak gerekmektedir.

Yamaç veya şevde meydana gelebilecek hareketler çoğunlukla mevcut ya da planlanan yükseklik veya eğimin fazla olmasına, ortamdaki zemin kütlesinin dengeyi sağlayamamasına, boşluk ve çatlak sularının ortamdaki efektif gerilmeleri düşürmesine ve deprem gibi yüklerin etkisine bağlı olarak meydana gelmektedir.

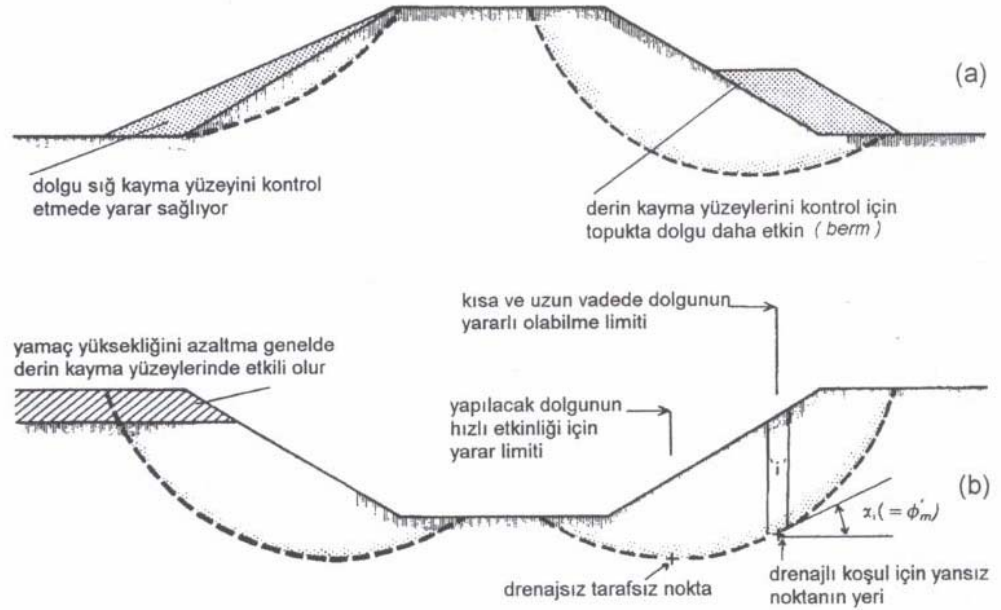
Yamaç ve şevlerde meydana gelebilecek bu hareketleri önlemek amacıyla yapılacak işlemler yamacın geometrisini değiştirmek, yüzey ve yeraltı sularını kontrol etmek, ortam özelliklerini iyileştirmek ve yapısal önlemler olarak ayrılabilir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Yamaç ve Şevlerde Alınan Stabilite Önlemleri (Önalp ve Arel, 2004)

I.Yamaç/Şev Geometrisinin Değiştirilmesi
Olası ya da mevcut hareket bölgesinden kazı ya da patlatma yoluyla malzeme alınması
Malzeme alınan yere hafif malzeme yerleştirilmesi
Topuğa dolgu yapılması
Yamaç eğiminin tümüyle veya bölümler halinde azaltılması
II. Suyun Kontrolü (Drenaj)
Alana gelen yüzey sularının uzaklaştırılması
İçi geçirimli malzeme dolu sığ ve derin hendeklerin yapılması
Ortaman içine geçirimli kama/payanda yapılması
Küçük çaplı pompalı ve pompajsız sondaj kuyuları
Yer çekimiyle çalışan büyük çaplı drenaj kuyuları
Düşeyden sapmış drenaj delikleri
Drenaj tünel ve galerileri
Vakumla su alma yöntemleri
Elektro-ozmos yoluyla su alma
Ağaç ve bitkilerle yüzey koruma ve su alma
III. Yapısal Önlemler
Geleneksel dayanma duvarları
Sandık ya da kafes duvarlar
Pasif kazık ve kesonlar
Donatılı zemin sistemleri
Betonarme perde veya iri daneli payandalar
Düşme kontrolü için yamaç yüzüne ağ
Blok düşme ve yuvarlanmalarına karşı hendek, çit ve duvarlar
Aşınmayı önlemek için kaplama elemanları
IV. Ortam Özelliklerini İyileştirmek
Kaya saplamaları
Mikro kazık sistemleri
Zemin çivilemesi
Ankrajlar
Enjeksiyon
Taş, kireç veya çimento kolonları
Derin karıştırma yöntemleri
Dondurma
Isıtma/yakma

2.7.1. Yamaç veya Şevin Geometrisinin Değiştirilmesi

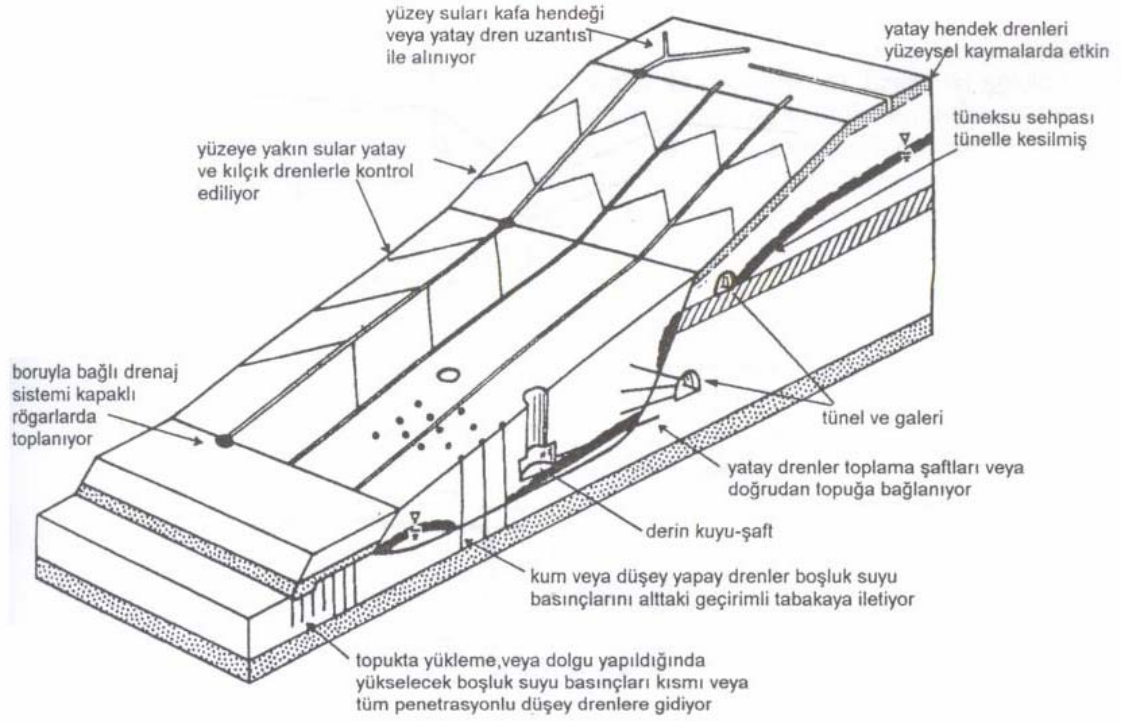
Yamaç ve şevler, mevcut ya da planlanan yükseklik veya eğimde duraylı değilse kazı, dolgu veya bu işlemlerin ikisi birden yapılarak eğimin düşürülmesi ya da yüksekliğin azaltılması yoluyla kaydırıcı kuvvetlerin etkisinin azaltılması yoluna gidilir. Dolgu yapılacak uygulamalarda kullanılacak malzemenin birim hacim ağırlığı kaymayı kolaylaştırıcı etki yapabileceğinden düşük tutulmalıdır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Geometride Değişiklik Yaparak Stabilitésinin Sağlanması (Önalp ve Arel, 2004)

2.7.2. Yamaç ve Şevlerde Suyun Kontrolü

Su, yamaç ve şevlerde meydana gelen hareketlerin en önemli nedenidir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki ortamda suyun olmadığı durumlarda kitle hareketleri çok özel şartlarda gerçekleşmektedir. Su hem ortamdaki boşluk ve çatlak suyu basınçlarını etkiler hem de zemin kütesinin ağırlığını azaltarak kaymaya karşı duran kuvvetlerin azalmasında rol oynar. Şekil 2.8’de olduğu gibi yüzeysel ve derinde alınan önlemler ile suyun kontrolünü sağlamaktadır.



Şekil 2.8 Suyun Kontrolü İçin Alınan Önlemler (Önalp ve Arel, 2004)

Yüzey suları, zemin içine sızarak yamaç ya da şevin su içeriğinin artmasına neden olmaktadır. Yeraltı suları ise sızıntı veya yükselme sonucu yamaç ve şevlerde stabilite sorunu yaratabilir.

Suyun drenajı için alınan önlemlerle taşıma gücünün azalmasını önlemek, kayma dayanımını arttırmak, aktif toprak basıncını düşürmek, donma halinde zeminde oluşabilecek kabarmayı önlemek, aşırı konsolide ve şişme özelliği gösteren killerde kabarmayı önlemek amaçlanmaktadır (Yollar Türk Milli Komitesi, 1996).

2.7.2.1. Suyun Kontrolünde Alınan Yüzeysel Önlemler

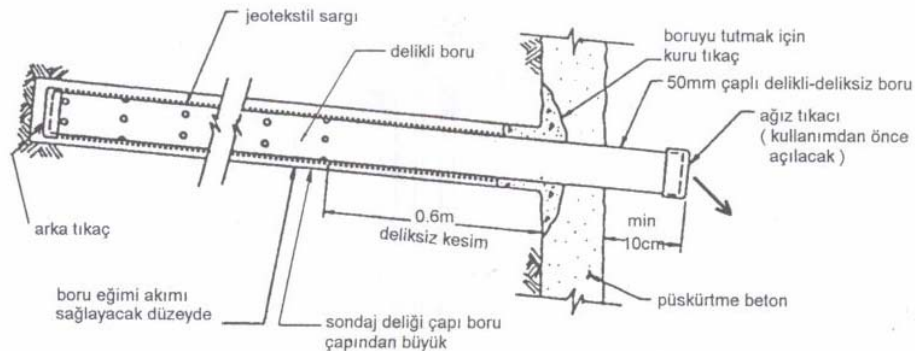
Yamaç ve şevlerde yüzey sularının zemine girmesini önleyecek önlemlerin yapımı kolay, maliyeti düşük ve sonuçları etkilidir. Bu amaçla yamaç başı ve çevresini kum torbaları ile çevirmek, çekme çatlaklarını betonla tıkmak ya da yüzeyi geomembranlar ile korumak gibi uygulamalar yapılmaktadır.

Yüzey suyunun drenajı yeraltı suyunun drenajı ile birlikte yapılmalıdır. Borular şeve fazladan sızma sağlayabileceği için açık, su geçirmez kanallar ile yapılan uygulamalar tercih edilmelidir (Bromhead, 1992).

Olası kayma yüzeyi yeraltı suyu seviyesi için de kalıyorsa bu bölgede güvenlik yeraltı akaçlaması ile sağlanabilir. 1–10 m derinlikte etkin olabilen bu akaçlar drenaj şilteleri, drenaj hendekleri, yatay drenler ve drenaj kuyuları olarak özetlenebilir. Bazı drenlerde debiler yüksek iken, özellikle siltli ve killi ortamlarda akaç etkinlikle çalıştığı halde debiler düşük olabilmektedir. Bu amaçla piyezometreler yardımıyla debi kontrolünün yanında zaman kontrolünün de okunması gerekmektedir (Önalp ve Arel,2004).

Dolgunun oturacağı zemin zayıf ve kalınlığı da fazla değilse, bu zemin kaldırılır ve yerine kaliteli malzeme yerleştirilir. Kazı yapıldıktan sonra içi geotekstil ile sarılmış 150–300 mm çaplı, delikli drenaj borusu bulunan geçirimli bir şilte oluşturulur.

Kurutma hendekleri yamaç ya da şevin eksenine dik ya da paralel olarak 3m–4m derinliğinde imal edilir. Daha önceleri suyun yamaca geliş yönüne dik kazılan hendeklerin dibine drenaj borusu yerleştirildikten sonra çevresi borunun çevresi ve üzeri geçirimli malzeme ile yüzeye 1m kalana kadar doldurulur sonra da üzeri geçirimsiz kil ile kaplanarak sıkıştırılırdı. Günümüzde geotekstillerin kullanımıyla drenaj borularına ihtiyaç kalmadan imalat yapılabilir. Geotekstillere yapılan uygulamalarda, geotekstil bir bohça oluşturulmakta, sonra içi geçirimli malzeme ile doldurulmakta ve üzeri kil ile örtülmektedir (Şekil 2.9). Bu tip uygulamalarda yamaç eksenine dik ve paralel, gerekirse de kılçık biçimli akaçlama sistemleri oluşturulmaktadır (Önalp ve Arel, 2004).

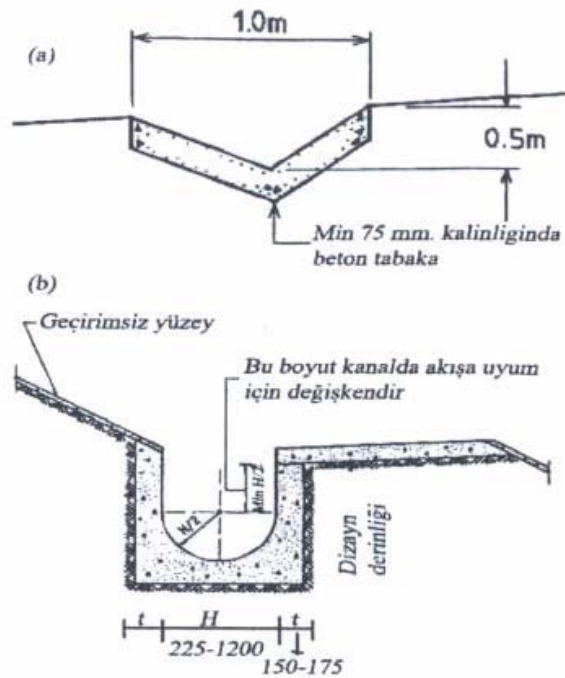


Şekil 2.9 : Yatay Drenaj Borusu Ayrıntıları (Önalp ve Arel, 2004)

2.7.2.2. Yeraltı Suyunun Kontrolünde Alınan Önlemler

Yeraltı suyu seviyesinin derinde olması ya da hendek veya yatay akaçlama yapılamaması durumunda derin kurutma yöntemleri tercih edilir. Pompajsız kuyular, basınç düşürme kuyuları, yeraltı galeri ve tünelleri bu amaçla yapılan uygulamalardır.

Pompaalı veya serbest akımlı olarak imal edilen drenaj kuyuları yamaç içindeki geçirimsiz tabakaya kadar iner. Çapları 150mm–500mm olan bu kuyularda çekilmek istenen su hacmi kuyu teorisinden hesaplanır. Baraj yapımı gibi büyük projelerde yüksek debiler söz konusu olduğu için yatay akaçlama ya da drenaj kuyuları ile yapılan uygulamalar yeterli olmamaktadır. Drenaj galeri ve tünelleri, büyük projelerde debisi 3lt/sn kadar ulaşabilen düzeylerde su alınmasına olanak sağlamaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Drenaj İçin Kanal Detayları (Bromhead, 1986)

2.7.3. Yamaç ve Şevlerde Alınan Yapısal Önlemler

Yamaç ve şevlerde hareket eden kütlenin önüne bir cisim koyarak hareket etmeye karşı duran kuvvetler artırılıp, duraylılık sağlanabilir. Yapısal önlemlerden ağırlık, yarı ağırlık, konsol, payandalı dayanma duvarları ve yanal yük alan kazıklar rijit,

sandık ve kafes duvarlar ile palplanş esnek olarak sınıflanabilir. Ayrıca donatılı zemin sistemleri de yapısal önlemlerden biridir.

Özellikle karayolu uygulamalarında rijit yapılar duvar ve drenaj işlemlerini birlikte yerine getirdikleri için tercih edilmişlerdir. Rijit sistemlerin şekil değiştirme ve ötelenme yetenekleri az olduğu için maliyeti yüksek olmakta ve uzun süreli heyelan kontrolünde her zaman başarı sağlanamamaktadır. Zeminde olmuş ya da olabilecek olan yüzeysel nitelikte kütle hareketleri için betonarme, konsol, ağırlık tipi duvarlar tasarlanmaktadır. Ancak duvarın yanal direnci makul boyutlarda yeterli olmadığı için temele uygulanmış kazık sistemleri ya da ankrajlarla destek gerekmektedir (Önalp ve Arel, 2004).

Yamaç ve şevlerde meydana gelen hareketler sonucu büyük şekil değiştirmeler ve ötelenmeler oluşabilmektedir. Bu nedenle tam rijit bir yapıdansa esnek ya da yarı esnek bir yapı yapmak daha faydalı olmaktadır. Bu tip yapılar sandık, kafes, metal, plastik veya geotekstil donatılı duvarlar olarak sınıflanabilir.

Sandık tipi duvarlar taş gerecin kolay bulunduğu yerlerde duraylılığı korumada en ekonomik çözümleri getirmektedir. Genelde 1mx1m kesit alanı olan bu duvarlar 2m–4m uzunlukta tel sepetlerin içi 100mm–250mm boyutlu kaya parçaları doldurularak oluşturulur (Bromhead, 1992).

Kafes duvarlar yanal ve düşey hareketlere karşı oldukça esnektirler. Ekonomik olan ve hızlı imal edilen bu tip duvarlar her tür arazide uygulanabilmektedir. Kemiğe benzer kilit elemanı ve düz prizmatik kirişin kullanımı ile oluşturulan hücre içine mıcır ve ocak molozu doldurularak imal edilir. Kafes duvarların hasar görmeden 4m yatay ve 70cm düşey hareketler yapabildiği gözlenmiştir (Önalp ve Arel, 2004).

Donatılı zemin duvarları iri daneli dolgu içine yerleştirilen çelik ya da plastik şeritler veya geotekstil türü malzeme ile çekme gerilmesi almayan zemine bu özelliği kazandırma amacıyla yapılmaktadır. Bu tip duvarlar hızlı şekilde imal edilebilmeleri, boyutlarının büyük olabilmesi, ekonomik olmaları gibi nedenlerle günümüzde uygulamada tercih edilmektedir.

2.7.4. Yamaç ve Şevlerde Ortam Özelliklerinin İyileştirilmesi

Yamaç ve şevlerde ortam özelliklerinin iyileştirilmesiyle kaydırıcı kuvvetlere karşı direncin artırılmasını sağlamak amaçlanmaktadır. Ortam özelliklerini iyileştirme amacıyla yapılan uygulamalar maliyet bakımından suyun kontrolü ve yapısal önlemlerden pek farkı olmasa da, etkisi her zaman onlar kadar başarılı ve kalıcı olmamaktadır.

Zemin uygun yoğunluk ve su içeriğinde, belirli bir limit değere kadar basınç ve kayma gerilmelerine karşı koyabilen doğal bir inşaat malzemesi olmasına rağmen çok düşük çekme dayanımına sahiptir. Zemine çekme kuvveti kazandırmak amacıyla yapılan uygulamalardan biri ankrajlardır. Kafa, kök ve gövde olmak üzere üç bölgeden oluşan ankrajlar geçici veya sürekli olarak imal edilebilirler. Serbest ya da öngermeli olabilen ankrajlarda kök bölgesinin enjeksiyonlanması ile kafa bölgesinde çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Ankraj kapasitesi kumlarda sıklığa, kil ve kaya ortamlarda kök/gövde-ortam yapışmasına bağlıdır (Önalp ve Arel, 2004).

Zemine çekme dayanımı sağlamak amacıyla yapılan imalatlardan biri de, kazı sonucu ortamda oluşan gerilme boşalmasından kaynaklanan hareketleri minimuma indiren çivilemedir. Donatılı zemin uygulamalarında gerilme almayan bir ortamda destek aşağıdan yukarıya sağlanırken, çivilemede gerilme dayanımının sağladığı çekme dayanımı ile olası ötelenmeler kontrol edilmektedir (Önalp ve Arel, 2004). Zeminde açılan belli çaptaki delik içine betonarme demiri yerleştirilip enjeksiyonlanması ile zemin çivisi yapılmaktadır. Mikro kazıklar ise daha büyük çapta bir deliğin imalatı (10–30cm) ve içine donatı yerleştirildikten sonra enjeksiyon yapılmasıyla tamamlanır.

Taş kolonlar, kireç kolonlar ve jet grout kolonları zemin içinde rijitliği sağlayarak stabiliteye katkıda bulunmaktadır. Taş kolonlar zemin içine en az 2m aralıklarla titreşimle kaya dolgu kalitesinde malzeme indirilip, bu malzemenin sıkıştırılmasıyla imal edilmektedir. Zayıf zeminlerde kolonun dağılma riskine karşı enjeksiyon yapılması önerilmektedir. Kireç kolon uygulamaları ortamın %15 veya daha fazlasının kil içermesi şartında başarılı olmaktadır. Jet grout yönteminde ise zemin aşağıdan yukarıya doğru kesilirken kireç ya da çimento ile karıştırılarak kolon imal edilmektedir.

Yamaç ve şevlerde, zeminde bulunan boşluk veya çatlakları çimento ile doldurmaya enjeksiyon denmektedir. İnce daneli zeminlerde düşük geçirimlilik nedeniyle yüksek basınçla enjeksiyon yapılmalıdır. Enjeksiyon ile kayan kitleye rijitlik sağlanır, kaymaya karşı duran kuvvetler artırılır.

Su, yamaç ve şevlerdeki hareketin en önemli nedenlerinden biridir. Drenaj uygulamasının dışında suyun hareketini kontrol eden bir elektrik alanı yaratmaya elektro-ozmos denir. Su anottan katoda doğru potansiyel farkı sayesinde hareket eder. Elektro-ozmos yöntemi düşük reaktiviteli zeminlerde geçici, yüksek reaktiviteli zeminlerde ise kalıcı iyileştirme için uygundur (Bromhead, 1992).

Sınırlı kullanım alanı olan ve yüksek enerji ile yapılan termal iyileştirmede amaç, yüksek ısı uygulaması ile şevin suyunu kaybetmesini sağlamaktır. Ayrıca 400 ° ve üzerinde ısıtılan killi zeminlerin özelliklerinde de değişimler olmaktadır. Romanya’da 1958 yılında yapılan bir uygulamada iki delik açılmış ve birine boşaltılan benzin yakılarak diğerinden su buharı ve diğer gazların çıkması sağlanmıştır (Konuk,2005).

Yamaç ve zemin iyileştirmesinde farklı bir yaklaşımda daneli zeminin yapay iplikle karıştırılarak yeniden oluşturulmasıdır. Texsol adıyla bilinen bu yöntemde, yarma ve yamaçların önüne 60–70 derece eğimli şevler oluşturmak için kum içine yerleştirilen özel bir aletle yapay bir iplikle örülür gibi karıştırılmaktadır. Bu şekilde kumun 100kPa–300kPa düzeyinde bir kohezyon kazandığı belirlenmiştir (Önalp ve Arel, 2004).

Özellikler çevreci etkilerin artmasıyla bitkiler de zemin iyileştirmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Yamaç ve şevlerde bitkilerle yapılan iyileştirme çalışmalarının olumlu ve olumsuz yanları bulunmaktadır. Rüzgar hızını azaltmak, yüzey akıntısını önlemek, kökleriyle suyu emerek nemi azaltmak veya köklerin zemini tutması bitkilerin sağladığı avantajlardır. Ancak rüzgarda momente olumsuz etkisi, kökler nedeniyle geçirimliliği arttırması, şeve ilave yük sağlaması gibi nedenlerden dolayı bitkilerle yapılan iyileştirmelerde yapısal elemanları da kullanılarak uygulanan biyoteknik iyileştirmeler tercih edilmektedir. Bunlara örnek olarak yeşillendirilmiş sandık ya da geotekstil duvarları sayılabilir.

Bunların dışında cam kırığı, eski lastik, cüruf gibi malzemelerin özellikle dolgularda kullanılmasıyla yapılan iyileştirmeler olumlu sonuçlar vermektedir. Eski otomobil lastiklerinin içini hafif malzemeyle doldurarak yapılan uygulamaya Fransa’da Pneusol adı verilmektedir. Hareket halindeki kütleyi azot kullanarak dondurmak ya da köprü ayakları gibi kısıtlı alanları kaplayan yapıları sağlam zemine oturtulan havuz içine alarak kaymadan korumak da yaygın olarak olmasa da yapılan uygulamalardandır (Önalp ve Arel, 2004).

3. GEOTEKSTİLLER

Tarih boyunca inşaat mühendisliğindeki büyük yenilikler imalat malzemelerindeki teknolojinin gelişimi ile paralel olarak ortaya çıkmıştır. Ahşap malzemeden taşa, taştan betona, betondan donatılı beton kullanımına geçilmesiyle daha büyük ve daha ayrıntılı yapılar yapmak mümkün olmuştur. Demir ve diğer klasik imalat malzemeleri yerine çeliğin kullanımıyla uzun köprüler veya yüksek binalar inşa edilmeye başlanmıştır. Ancak geoteknik mühendisliğinin materyalleri zemin ve kaya olduğu için, geoteknik uygulamalarda ve zemin malzemesinde diğer inşaat mühendisliği dallarına paralel bir ilerlemeden bahsetmek pek mümkün olmamaktadır. Kompaksiyon ve diğer zemin iyileştirme teknikleri imalatçıların ortaya çıkardıkları yenilikler sonucu ortaya çıkmışlardır. Bu yeniliklere en iyi örnek hiç kuşkusuz donatılı zemindir. Donatılı beton, çelik ve polimerik malzeme düşük veya hiç çekme kuvveti olmayan zeminlere çekme dayanımı kazandırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Polimerik donatı malzemesi, çok daha geniş ve inşaat mühendisliğinde son yıllarda kullanımı hızla artan bir yeniliğin alt kollarından biridir: *geosentetikler*. Geosentetikler inşaat mühendisliği projesi ya da sisteminin parçası olan zemin, kaya veya başka bir geoteknik malzemenin (geo) polimerik malzeme (sentetik) ile birlikte kullanılmasını amaçlayan bir üründür. 1970'lerde, yalnızca beş veya altı çeşit geosentetik varken, günümüzde dünyada 600 hatta daha fazla çeşit geosentetik ürün satılmaktadır.

30 yıldan kısa bir sürede geosentetikler pek çok uygulamada denenmiş, kullanılmış ve hatta bazı uygulamalarda neredeyse geleneksel inşaat malzemelerine tercih edilmeye başlanmıştır. Birçok alanda geosentetiklerin kullanımı güvenlik sayısını arttırmakta, performansı iyileştirmekte, diğer inşaat alternatifleri ve tasarım yöntemleriyle kıyaslandığında daha ucuz ve daha hızlı imalat olanağı sağlamaktadır.

ASTM (American Society of Testing Materials) *geosentetik* malzemeyi, inşaat mühendisliği projesi, yapısı veya sisteminin bir parçası olarak zemin, kaya, toprak

veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile birlikte kullanılan polimerik malzeme olarak tanımlanmaktadır. Başlıca geosentetik türleri geotekstiller, geogridler, geomembranlar ve geokompozitler olarak sıralanabilir.

Geotekstiller, tekstil ürünü geçirimli geosentetik olarak tanımlanmaktadır. Geogridler zemin takviyesi uygulamaları için kullanılan yüksek mukavemetli, yüksek moleküler ağırlıklı bir malzemedir. Polyester ipliklerin örülmesi ve ardından boyut stabilitesi ve uygulama hasarlarına karşı koruma amaçlı polimer malzeme kaplanması ile imal edilir. Geomembranlar kimyasal maddelere karşı yüksek direnç gösterdiği, çekme mukavemeti yüksek, geçirgenliği düşük, delinme ve çatlamalara karşı dayanıklı olduğu için sızmaya karşı koruma amaçlı kullanılan bir geosentetik türüdür. Her elemanın en iyi özelliklerinden yararlanacak şekilde geosentetikler ve ağ (nets), ızgara (grids) gibi benzer ürünlerin geomembranlar ya da başka sentetik ürünlerle birlikte kullanılmasından oluşan geosentetik ürüne ise geokompozit denir. Geokompozitler geotekstil-geonet, geotekstil-geogrid, geotekstil-geomembran, geomembran-geonet ve hatta üç boyutlu polimerik hücre elemanlarından oluşabilir.

Geosentetiklerin birçoğu polipropilen, polyester, polietilen, poliamid, PVC vs. gibi sentetik polimerlerden yapılmıştır. Bu ürünler biyolojik ve kimyasal bozulmaya karşı yüksek dayanıma sahiptirler. Pamuk, keten ya da bambu gibi doğal liflerde, özellikle geçici uygulamalarda, geotekstil veya geogrid gibi kullanılmaktadır.

Geosentetiklerin drenaj, ayırma, güçlendirme, filtrasyon, koruma ve yalıtım olmak üzere temel altı adet görevi vardır. Geosentetik uygulamalarında kullanılan malzeme bu görevlerden kimi zaman birini, çoğu zaman ise birden fazlasını yerine getirmektedir. Bu yüzden tasarım aşamasında hem birincil hem de ikincil görevler göz önüne alınarak seçim yapılması önemlidir.

3.1. GEOTEKSTİL TİPLERİ ve ÜRETİMİ

Kısaca geçirimli tekstil ürünü demek olan geotekstiller esnek ve geçirgen bir malzeme olması, çekme mukavemetine sahip olması, pratik ve ekonomik çözümler sağlaması nedeniyle inşaat mühendisliği özellikle geoteknik mühendisliğinde son yıllarda kullanımı hızla artan sentetik polimer esaslı malzemedir.

Geoteksiller diğer geosentetikler gibi polipropilen, polyester, polietilen, poliamid (nylon), polivinid klorid (PVC) ve fiberglas gibi sentetik polimerlerden meydana gelirler ve plastiğin üretim ve işleme özelliklerini taşırlar. Plastikler termoplastik ve termosetinger diye iki alt gruba ayrılır. Termoplastikler ısıtılıp soğutulabilirler ama termosetinger sertleştikten sonra şekillerini korurlar. Monomerlerden oluşan termoplastikler geoteksillerin hammaddesidir. Monomerler atomlardan oluşurlar ve kimyasal işlemler altında birleşip poliamid, PVC, polyester gibi polimerleri oluştururlar. Bu polimerlerden polipropilen ve polyester geotekstil üretiminde en çok kullanılanlardır (Şekil 3.1).



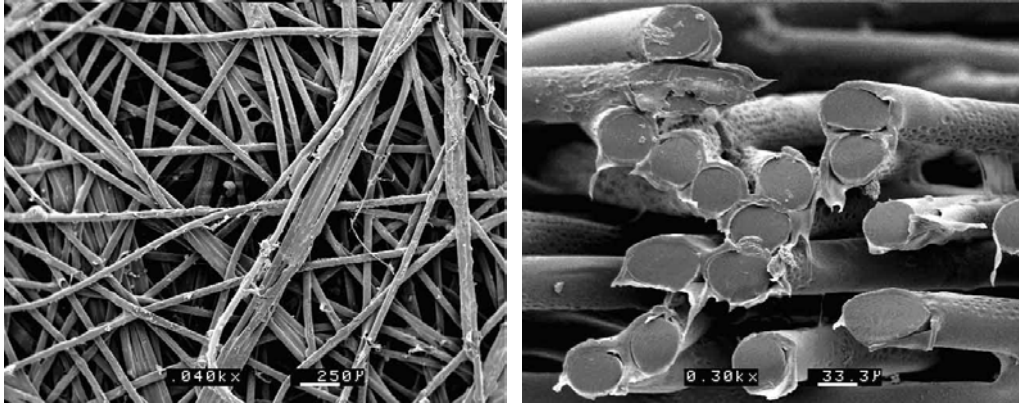
Şekil 3.1 : Optik Mikroskop ile Çekilmiş Polyester (sol) ve Polietilen Lifleri (sağ)

Geotekstilller imal edilirken önce çeşitli katkılarla polimerler üretilir, daha sonra iplikçikler (fiber) üretilir, bu iplikçiklerden eğirme yoluyla ipler (yarns) meydana gelir ve son olarak bu ipler geotekstile dönüştürülür. Geotekstilller birkaç metre genişliğinde ve birkaç milimetre kalınlığında şilteler, birkaç milimetre genişliğinde ve kalınlığı milimetreden az sonsuz uzunlukta şeritler ve milimetreden küçük çapta ve sonsuz uzunlukta silindirik lifler şeklinde oluşabilirler. Bunlardan meydana gelecek her geotekstil şiltesi farklı özelliğe sahip olacaktır. Uygulama en çok tercih edilenler örgülü ve örgüsüz tip geotekstillerdir.

3.1.1. Örgülü Geotekstilller

Örgülü geotekstilller ipliklerin dokuma tezgâhlarında örülmesiyle elde edilirler. Bir yönde uzatılan lif veya şeritler arasından, onlara dik olarak lif veya şeritler geçirilmesiyle oluştururlar. Monofilament, multifilament ve şerit veya film örgülüler olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Monofilament örgülüler tek kalın ipliklerden oluşurlar. Multifilament örgülüler pek çok ince lifin bir araya gelmesiyle oluşur. Şerit

veya film örgülüler ise ince uzun filmlerin şerit halinde kesilmesi sonucu oluşur (Şekil 3.2).



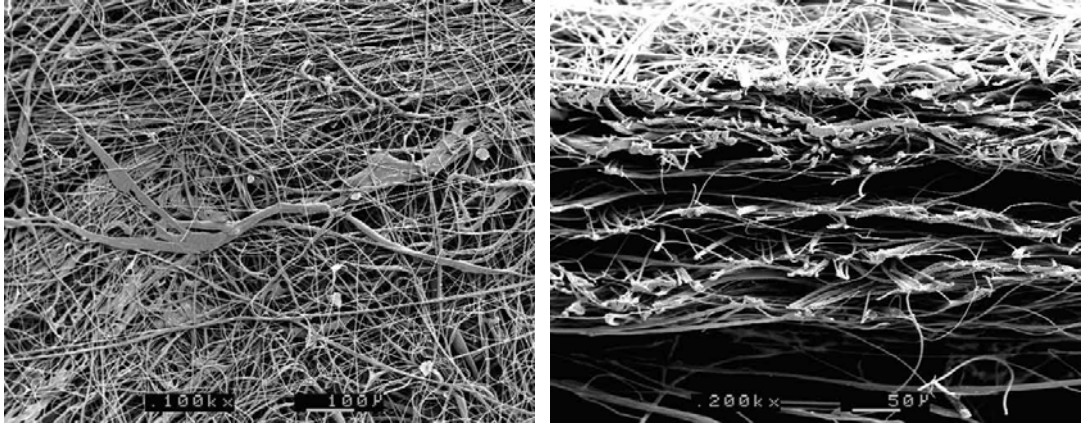
Şekil 3.2 : Elektron Mikroskobu ile Çekilmiş Örgülü Geotekstil Örnekleri

Örgülü geotekstiller yük taşıma kapasitesini arttırmak, alt temel tabakasının kalınlığını sınırlandırmak ve zemin ile alt temel tabakasının ayrılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bisiklet yolları, otoyollar, şehir içi yollar, karayolları, kırsal kesim yolları, geçici yollar, donatılı toprak duvarlar, demiryolları, tramvay ve hafif raylı sistemler, yaya yolları, hava alanları ve drenaj sistemleri örgülü geotekstilin uygulandığı yerlerdir.

3.1.2. Örgüsüz Geotekstiller

Örgüsüz geotekstiller polimer iplikçilerin mekanik, ısı veya kimyasal yolla birleşmesiyle oluşur. Mekanik bağlamada henüz gevşek bir ağ durumundaki lifler taşıyıcının üzerine serilir. Taşıyıcı hareket ederken kancalı iğnelerle dolu bir tablanın altından geçirilen lifler, iğnelerin aşağı yukarı hareketiyle yer değiştirir ve karışırlar. Bu iğnelerin dağılımı ayarlanarak geotekstilin sıklığı artırılıp azaltılabilir. Isı yoluyla bağlamada polimer iplikçiklerden oluşan ağın üstü fırından ya da sıcak rulolar arasında geçirilerek eritilir ve lifler birbirlerine bağlanır (Şekil 3.3). Kimyasal bağlamada lifler önce akrilik banyosuna yatırılır ya da üzerlerine akrilik püskürtülür, sonra fırından geçirilerek birbirlerine bağlanır. Örgüsüz tip geoteksiller sonsuz lifler ve parça lifler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Örgüsüz geotekstiller kalıcı yollar yapmak veya asfalt yenilemek gibi amaçlarla yol inşaatlarında, bina inşaatlarında, kanallar veya şevler gibi zemin uygulamalarında, drenaj ve filtrasyon sistemlerinde, barajlar ve diğer hidrolik yapılarda ve atık depolama sahaları ile arıtma tesislerinde uygulanabilmektedir.



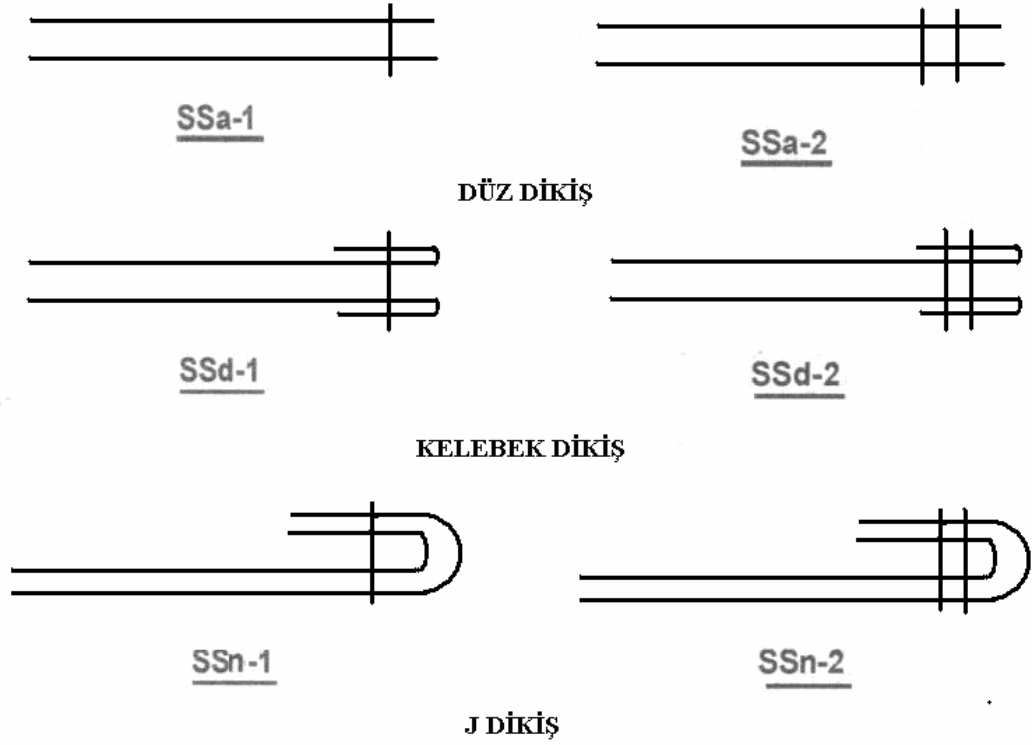
Şekil 3.3 : Elektron Mikroskobu ile Çekilmiş Isı Yoluyla Bağlanmış Örgüsüz Geotekstil Örnekleri

3.2. GEOTEKSTİLLERDE EK YERLERİ

Geotekstil parçaları birbirlerine mekanik olarak örerek veya kimyasal olarak yapışkanlar yardımıyla birleştirilir. Yük aktarmaları ya da yük altındaki deformasyonları eklerin performansını gösteren kriterlerdendir. Geotekstilin uygulama alanı da ek yerlerinin seçiminde önemlidir. Örneğin eğer iki parçanın birleştiği yer çekme kuvvetini karşılayacak ise örme yolu en güvenilir olandır.

3.2.1. Örgülü Ekler

Örgülü ekler arazide taşınabilir örgü makineleri ile yapılır. Maksimum dikiş kalınlığı 9,5mm, dikiş aralıkları 3mm ile 8,5mm arasında olan bu makineler tek veya çift sıra dikiş yapabilmektedirler. Örgülü geotekstiller naylon ipliklerle, örgüsüz geoteksiller polyester veya polipropilen ipliklerle örülür. İpliklerin çekme mukavemetleri 80N ile 360N arasında değişmektedir. Şekil 3.4’de gösterilen ve kod adı SSa olan dikiş tipleri “düz” dikiş, SSn olan “J” dikiş, SSd olan “kelebek” dikiş anlamına gelmektedir.



Şekil 3.4 : Örgülü Geotekstil Tipleri

Çeşitli araştırmacılar tarafından (Murray, Swan vs.) örgülü tip geoteksiller üzerinde yapılan deneylerde “düz” tip dikişlerin en düşük yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. “J” tipi ve “kelebek” tipli olanların ise esas geotekstile göre % 80 civarında yük taşıma kapasitesine sahip oldukları belirlenmiştir. Örgüsüz geoteksitlerde ise % 90 taşıma gücüne sahip “düz” tip dikişlerin daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Araştırma sonuçlarından da anlaşılacağı üzere uygun dikiş tipi geotekstilin cinsine göre farklılık göstermektedir (Töremiş, 2003).

3.2.2. Yapıştırma Ekler

İki tip yapıştırma eki bulunmaktadır, kayma ve çekme ekleri. Ek yerleri birbirlerine sıvı yapıştırıcılar ya da iki taraflı yapışkan bantlar yardımıyla yapıştırılır. Yapıştırma metoduyla yapılacak ek yerlerinde yüzeylerin kuru ve temiz olmasına özen gösterilmelidir.

Yapılan deneylerde kayma tipi ekler %100 taşıma gücüne ulaşmış ve ek yeri deplasmanları 0mm ile 15mm arasında kalmıştır. Çekme tipi ekler ise deneylerde çok daha düşük değerler vermiştir. Deneylerde kullanılan yapıştırıcıların çoğu boşlukları doldurmuştur ancak yapışkanlı bantların taşıma kapasiteleri beklenen değerlere

ulaşmamıştır. Sonuç olarak, hem örgülü hem de örgüsüz tip geotekstillerde kayma tipinde yapıştırma metodunun en yüksek taşıma kapasitesi ve en düşük deformasyon değerlerini verdiği gözlenmektedir.

3.3. GEOTEKSTİLLERİN ÖZELLİKLERİ ve TEST YÖNTEMLERİ

İnşaat mühendisliği uygulamalarında, geotekstillerin fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikleri yapılacak tasarım için en önemli olanlardır. Bunlar kullanılan polimerlerin özelliğine ve geotekstilin üretim sürecine bağlı olarak değişmektedir. Bu özellikleri test ederken özen gösterilmesi gerekmektedir çünkü zeminde olduğu gibi malzemenin özelliği test prosedürünün işleyişine ve test yöntemlerine bağlıdır. Geotekstillerin seçiminde kullanılan özellikler Tablo3.1’de sunulmuştur.

Geotekstil üzerinde uygulanan mekanik testler ikiye ayrılır:

- Yük-uzama özelliklerini inceleyen deneyler
- Direnç ve dayanımı özelliklerini inceleyen deneyler

Yük-uzama ilişkisi çekme deneyleri, dayanım ve direnç özellikleri ise patlama, delinme ve yırtılma deneyleri ile belirlenir. Çekme dayanımını belirlemek için dar mesnetli çekme deneyi (ASTM-D 4632), dar numune çekme deneyi (ASTM-D 1682) veya geniş numune çekme deneyi (ASTM-D 4595) testleri yapılmaktadır. Bunlardan dar numune çekme deneyi hızlı kalite kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak özellikler örgüsüz geotekstillerde geniş numune çekme deneyinin daha gerçekçi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Tablo 3.1 Geotekstillerin Özellikleri (Christopher ve Holtz, 1985)

GENEL ÖZELLİKLER	ENDEKS ÖZELLİKLERİ			ZEMİN/GEOTEKSTİL İLİŞKİSİ
Tip ve İmalat Yöntemi	1. Mekanik Mukavement	2. Dayanım Özellikleri	3. Hidrolik Özellikleri	Sünme
Polimer Cinsi	Çekme Mukavemeti	UV Dayanımı	Görünür Açıklık Özellikleri	Sürtünme/Adhezyon
Ağırlık	Poisson Oranı	Kimyasal Dayanım	Gözenek Boyutu Dağılımı	Dinamik Yükleme Direnci
Rulo Ağırlığı ve Genişliği	Gerilme-Deformasyon Özellikleri	Aşınma/Yıpranma Dayanımı	Porozite	Tekrarlı Yükleme Direnci
Rulo Uzunluğu	Dinamik Yükleme	Sıcaklık Dayanımı	Açık Alan Oranı	Zemini Tutma Özelliği
Kalınlık	Sünme Direnci	Biyolojik Dayanım	Permeabilite	Filtrasyon Özelliği
Özgül Ağırlık ve Yoğunluğu	Sürtünme/Adhezyon Özellikleri		Düzlem Boyunca Akma Kapasitesi	
Rulo Çapı	Dikiş Mukavemeti		Zemini Tutma Özelliği	
Emme Özelliği	Yırtılma Mukavemeti		Tıkanma Direnci	
Yüzey Karakteristikleri	Patlama Mukavemeti			
	Delinme Mukavemeti			
	Penetrasyon Direnci			

Dar mesnetli çekme deneyi kalite kontrolü ve aynı türden geotekstilleri karşılaştırmak için yapılmaktadır. Dar numune çekme deneyi de tasarımda kullanılacak çekme dayanımını belirlemek için yapılmaktadır. Ayrıca geotekstil özelliklerinin kullanım sonrası değişimleri de bu test ile belirlenebildiği için çevre şartlarına uygun geotekstilin bulunması amacıyla kullanılabilir. Tasarım çekme dayanımı ve gerilme-deformasyon ilişkisini belirlemek için en uygun deney ise geniş numune çekme deneyidir.

Delinme dayanımı deneyi statik bir ortamda kaya ve dal benzeri nesnelere karşı geotekstilin dayanımını belirlemek amacıyla kullanılır. Geotekstilin delinme dayanımı çekme dayanımı ile doğru orantılıdır. Yırtılma deneyi ise geotekstilde meydana gelen bir yırtığın uzamaya karşı direncini belirlemek amacıyla kullanılır. Geotekstilin serilmesi sırasında gerilmeler oluşabilmektedir. Bu gerilmelerin etkisi ile geotekstilde deformasyonlar belli bir değere kadar devam eder ve bu değer aşıldığında patlama meydana gelir. Patlama dayanımı bu amaçla belirlenir ve geçirimsiz bir membran üzerine yerleştirilen geoteksile hidrolik basınç uygulanarak ölçülür. Yorulma direnci geotekstilin otoyol yükleri gibi tekrarlı yüklere karşı dayanımını belirlemek amacıyla yapılır. Bu deneyde geotekstil numunesi tekrarlı yüklere tabi tutularak, kaç tekrardan sonra kopmanın olduğu belirlenir (Özener,2001).

Geotekstilin filtrasyon işlevi için düzleme dik permeabilite ve gözenek boyutu önemlidir. Geotekstillerin permeabilitesi zeminlerde uygulanan sabit seviyeli permeametre benzeri bir deney ile belirlenir. Geotekstillerin daneleri tutma ve borulanmaya karşı güvenliğinin belirlenmesinde efektif gözenek boyu ve görünen göz açıklığı özellikleri kullanılır. Bu değerler geotekstillerin gözeneklerinden geçen belli boyuttaki tanelerin yüzdelерinin hesaplanmasıyla belirlenir.

3.4. GEOTEKSTİLLERİN DIŞ ETKENLERE KARŞI DİRENCİ

Geotekstilin malzemesinin kullanılmaya başlanması ve geotekstillерle ilgili deneyler yapılması çok kısa bir geçmişe dayanmaktadır. Tüm tasarım ve kullanım avantajlarına rağmen, gerek can sağlığı gerek yerleştirilen malzemenin değiştirme güçlüğü nedeniyle aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurularak tasarım yapılmalıdır.

- Güneş ışınlarına maruz kalmak polimerlerin fiziksel özelliklerini azaltmaktadır. Karbon black eklenerek bu etki azalmakta fakat tamamen ortadan kalkmamaktadır.
- Sıcak asfalt bazı polimerlerin erime noktasına yaklaşmaktadır.
- Çok soğuk havalarda bazı polimer malzemeleri kırılgan hale gelmektedir.
- Yeraltı sularında bulunan kimyasallar polimerlerle etkileşime girebilirler. Yüksek pH polyester malzemeye zarar verirken, düşük pH poliamidlere zarar vermektedir.

Bunların dışında uygulama sırasında geotekstilde yırtılma delinme olmamasına, rulolar açıldıktan sonra katlanma ya da kıvrımlar olmamasına, geotekstilin kuru ve temiz bir yüzeye serilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir.

3.5. GEOTEKSTİLİN KULLANIM AMAÇLARI

Geotekstiller ayırma, drenaj, filtrasyon, güçlendirme, koruma ve yalıtım amaçlarından birini veya daha fazlasını aynı anda gerçekleştirmek için kullanılırlar (Şekil 3.5).



Donatılı İstinat Duvarı



Donatılı Şev (38 m yükseklik)



Donatılı Dolgu



Donatılı Şev

Şekil 3.5 : Geotekstilin Kullanım Alanları

3.5.1. Filtrasyon

Geotekstilin filtrasyon amacıyla kullanılması en eski, en çok bilinen ve en çok kullanılan yöntemdir. Filtrasyon amacıyla yapılan uygulamalarda suyun akış yönüne karşı yerleştirilen geotekstil suyun akmasına izin verirken zemin danelerini tutar. Suyun akma kapasitesine geçirgenlik denir. Geotekstil filtreler de granüler filtreler gibi su (veya gaz) geçişine izin vererek belirli bir hidrostatik basınç oluşmasına izin vermemelidir. Su ile birlikte kullanılan geotekstilin açıklığından daha küçük olan malzemeler de geosentetik filtreden geçmektedir. Eğer bu ince malzeme tutulursa daha az geçirimli bir tabaka oluşacak ve suyun geçişi engellenecektir. Bu da boşluk suyu basıncını arttıracak için geotekstilin en az uygulanacağı zemin kadar geçirgen olması önemlidir. Uygulamada güvenlik sayıları projenin önemine göre 10 veya 100 alınmaktadır.

3.5.2. Drenaj

Drenaj amacıyla kullanılan geotekstiller sıvı ya da gaz hareketi için bir kanal, boru gibi kullanılır. Drenaj için daha çok kısmen daha kalın örgüsüz geotekstil ürünleri kullanılmaktadır. Ürünün seçilmesinde geotekstilin basınca yüksek dayanım göstermesi ve iyi filtre özelliğine sahip olması beklenmektedir. Ayrıca geotekstilin iletkenlik (transmissivity) özelliği de bu seçimde etkilidir çünkü sıvı (veya gaz) geotekstilin kendi düzlemi boyunca hareket ederek istenilen çıkışa taşınır.

3.5.3. Ayırma

Ayırma, birbirine benzemeyen iki malzemeyi karışmaktan korumak anlamına gelmektedir. Bu amaçla geotekstil kullanılmasıyla ya dolgu ile doğal zeminin karışması ya da iki farklı dolgunun karışması önlenir. Geotekstil demiryolu veya karayolu yapımında kullanılarak yük taşıma kapasitesi korur, alt temel malzemesinin zeminle karışmasını engeller, üstten gelecek dinamik yükten oluşacak malzeme karışımını engeller. Süreklilik, esneklik, çekme mukavemetini arttırmak dışında suyun doğal akışına da engel olmayan geotekstil sayesinde borulanma (taban içindeki malzemenin alt temele pompalanması) önlenmektedir.

3.5.4. Güçlendirme

Geotekstilin kullanım amaçlarından biri de güçlendirmedir. Güçlendirme uygulamalarında geotekstil en çok sürtünme ve adhezyon kuvvetleri etkisiyle

zeminin çekme veya kayma kuvvetlerine karşı durabilmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Güçlendirme sağlamak için, geotekstil belli bir dayanıma ve çekme kuvvetlerine karşı durabilecek uzunluğa sahip olmalıdır. Ayrıca güçlendirilen yapının aşırı hareketini önlemek için dayanımın göreceli olarak küçük birim deformasyonlar oluşturması gerekmektedir.

3.5.5. Koruma

Koruma amacıyla yapılan uygulamalarda geotekstil deformasyonu ve/veya gerilmeyi azaltmak ya da yaymak için kullanılmaktadır. Zemin üzerine yerleştirilen geotekstil ile malzeme hava koşulları, trafik gibi etkenlerden korunabileceği gibi geotekstili iki malzeme arasına yerleştirerek malzemeler arası bir koruma şiltesi oluşturmak da mümkündür.

3.5.6. Yalıtım

Drenaj ya da güçlendirme kadar tercih edilmese de hem örgülü hem örgüsüz geotekstiller yalıtım amacıyla da kullanılmaktadırlar. Bitüm, polimerik karışımlar ve plastik yalıtım ürünleriyle birlikte kullanılan geotekstil geçirimsiz bir malzeme oluşturarak bir çeşit membran görevi görür. Bu amaçla kullanılacak geotekstilin bitüme yeterli miktarda nüfus etme özelliğine sahip olması gerekmektedir.

3.6. GEOTEKSTİLİN DRENAJ ve FİLTRASYON AMAÇLARIYLA KULLANILMASI

Suyun kontrolü binaların, yolların, dolguların, dayanma yapılarının ve diğer tüm yapıların performansları açısından önemlidir. Drenler ile yapılara gelen hidrostatik basınç azaltılmaya ve şevlerde, dolgularda ve yollarda zeminin stabilite kayıpları önlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla granüler veya geotekstil filtreler kullanılmaktadır. Granüler filtreler uzun süredir kullanılırken geotekstil filtreler 30–35 yıldır kullanılmaktadır. Bu sebeple geotekstillerin drenaj olarak uygulama kriteri granüler filtrelerin uygulama kriterinden yola çıkılarak yapılmaktadır ve aynıdır. Güneş ışığına veya kayaların hareketlerine direkt maruz kalmadıkça uygun seçilmiş bir geotekstil drenin uzun süreli performanslarda iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Geotekstil ile yapılan uygulamalarda, filtrenin zemin danelerinin göç etmesini engellerken aynı zamanda da suyun filtre boyunca serbest akmasına izin vermesi beklenir. Filtrasyon bu iki koşulu sağlayacak şekilde olmalıdır. Bu sebeple filtre malzemesinin gözenek açıklıkları ya da boşlukları zemin danelerini tutacak kadar küçük ve suyun serbest akışına izin vererek geçirgenliği sağlayacak büyük olmalıdır.

3.6.1. Filtre Amacıyla Kullanılan Geotekstillerin Özellikleri

Filtre amacıyla kullanılan geotekstillerde en önemli özellikler açıklık boyutu, akma kapasitesi ve tıkanma potansiyelidir. Bu özellikler indirekt olarak görünür açıklık boyutu (AOS) (ASTM-D 4751), geçirgenlik (ASTM-D 4491) ve gözenek boyu dağılımı (ASTM-D 5101) ile belirlenir. Bu özelliklerin dışında imalat yöntemleri de geotekstil drenlerin performanslarında önemlidir.

3.6.2. Borulanma Direnci

Borulanma direnci geotekstilin açıklık veya gözeneklerinin büyüklük ve karmaşıklığı ile ilgilidir. Hem örgülü hem örgüsüz geotekstiller için en önemli parametre görünür gözenek açıklığıdır (AOS). Tablo 3.2 AOS ile 200 numaralı elekten geçen malzemenin ilişkisini göstermektedir.

Tablo 3.2 Filtre Amacıyla Kullanılan Geotekstilin Tasarım Kriteri

200 numaralı elekten geçen malzeme (%)	Borulanma	Geçirimsizlik	
		Örgülü	Örgüsüz
< % 5	AOS (mm) < 0,6 mm	POA [*] > % 10	$k_c \geq 5 k_s^{**}$
% 5–50	AOS (mm) < 0,6 mm	POA $\geq$ % 4	$k_c \geq 5 k_s$
% 50–85	AOS (mm) < 0,297 mm	POA $\geq$ % 4	$k_c \geq 5 k_s$
> % 85	AOS (mm) < 0,297 mm		$k_c \geq 5 k_s$

* POA = Açıklık Alan Oranı

** k_c = Örgüsüz geotekstilin geçirimsizliği

k_s = Korunan zeminin geçirimsizliği

Örgülü geotekstillerde açıklık alan oranını belirlemek için geotekstilin küçük bir parçası üzerinde test yapılır. 5,08cmx5,08cm ebatlarında bir kutuya konan bu parça projektör yardımı ile ekrana yansıtılır ve yaklaşık 8–10 adım uzaktaki bir kağıda

izdüşürülür ve açıklıklar çizilir. Daha sonra geotekstil parçasının alanı ve çizilen açıklıkların alanları hesaplanır. Açıklık alan oranı (POA) açıklıkların alanının test parçasının alanına oranıdır. Borulanma kriteri drenaj malzemesinin, borularının açıklıklarından girmesini önlemek için granüler drenaj kriterine dayanmaktadır. Eğer geotekstil drenaj boyunca akım ters ve/veya yüksek eğimlerde ise uygulamadan önce testler ve modellemeler birlikte yapılmalıdır.

3.6.3. Geçirimsizlik

Drenaj ve filtre amacıyla kullanılan geotekstiller uygulamadan sonra drene olan zeminde oluşacak hidrostatik basınç ile karşılaşacakları için akma kapasitesine sahip olmaları gerekmektedir.

Zeminler için akma kapasitesi Darcy Kanunu'nda ifade edilen geçirimsizlik katsayısı ile açıklanmaktadır. Darcy Kanunu'nun düzgün şekilde uygulanması için geotekstilin kalınlığı önemlidir. Akım için geotekstilin kalınlığının önemi göz önüne alınarak Darcy Kanunu geçirgenliğe, ψ , aşağıdaki formülle uygulanmaktadır;

$$\psi = \frac{k}{L_f} = \frac{q}{(\Delta h)A} \quad (3.1)$$

Burada;

k = Geçirimsizlik Katsayısı, L/T

L_f = Δh yüksekliğinin meydana geldiği akım yolunun uzunluğu (geotekstil kalınlığı), L

q = Hidrostatik yük etkisi, L³/T

Δh = Geotekstil boyunca oluşan hidrolik yük kaybı, L

A = Yüzey alanı, L²

Darcy Kanunu laminar akımlar için geçerlidir ancak geotekstillerde laminar akımları oluşturacak hidrolik yükler küçük olacağı için ölçüm yapmak oldukça güçtür. Darcy Kanunu'nun laminar akım ölçümlerinde uygulanması gerekse de elde edilen sonuçlar hem geçirimsizlik hem de geçirgenlik için kullanılmaktadır. Geotekstillerin geçirgenlik ve geçirimsizlik özelliklerinin belirlenmesinde ASTM-D 4491 metodu kullanılmaktadır.

3.6.4. Düzlem Boyunca Geçirimsizlik

Kalın örgüsüz geotekstiller ve prefabrike drenaj panelleri gibi bazı drenaj ürünlerinin düzlemsel akma kapasiteleri vardır. Geotekstilin düzlem boyunca akma kapasitesi malzemenin kalınlığından bağımsız olarak, belli sıcaklık ve basınçta sıvıyı iletmesi yeteneğidir. Geotekstilin düzlem boyunca akma kapasitesi iletkenlik, θ olarak tanımlanmaktadır.

$$\theta = k_{pt} = \frac{ql}{\theta h w} \quad (3.2)$$

Burada;

k_p = Düzlem boyunca akma kapasitesi (hidrolik iletkenlik), L/T

t = Geotekstilin kalınlığı, L (ASTM-D 5199)

q = Hidrostatik boşaltma hızı, L³/T

Δh = Geotekstil boyunca oluşan hidrolik yük kaybı, L

w = Geotekstilin kalınlığı

3.6.5. Dayanım Özellikleri

Eğer drenaj amacıyla kullanılacak olan geotekstiller yüksek dayanım gerektiren ayırma, güçlendirme gibi ikincil bir görevi de yerine getireceklerse, Tablo 3.3'de bulunan özellikleri sağlamaları gerekmektedir.

Tablo 3.3 Drenaj Amacıyla Kullanılan Geotekstillerin Dayanım Özellikleri

Dayanım Tipi	Test Yöntemi	A Sınıfı	B Sınıfı
Kapma (grab)	ASTM-D 4632	180	80
Ek Yeri (seam)	ASTM-D 4632	160	70
Delinme (puncture)	ASTM-D 4833	80	25
Patlama (burst)	ASTM-D 3786	290	130
Kopma (Trapezoid Tear)	ASTM-D 4533	50	25

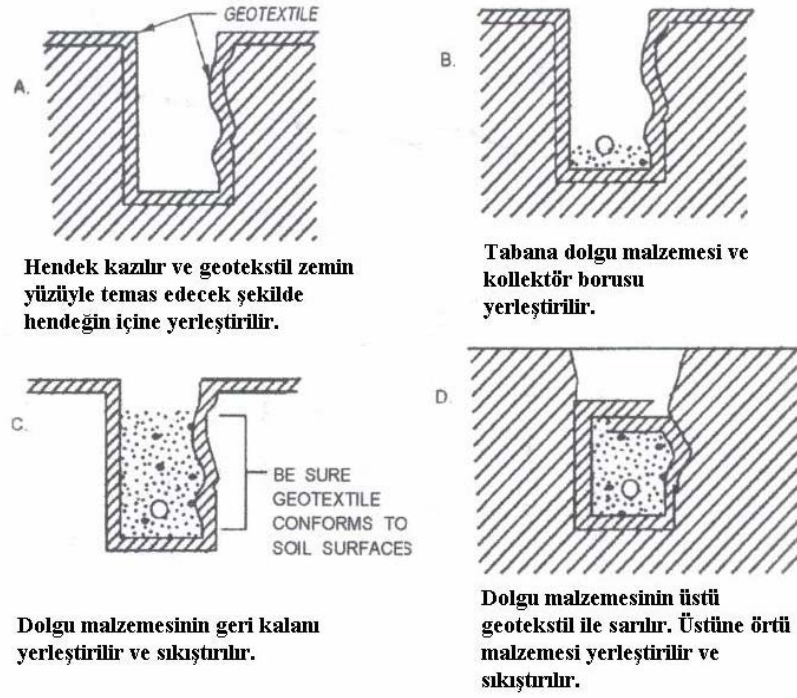
3.6.6. Tasarım ve İmalat Özellikleri

Drenaj amacıyla kullanılan geotekstillerin seçiminde zemin danelerinin tekstilden yıkanmasını yani borulanmayı önlemek ve serbest su akışına izin verecek şekilde geçirimsizliği sağlamak tasarımdaki iki ana etkidir. Büyük açıklıklar suyun akışına izin verirken, küçük açıklıklar ince daneli zeminin geçişini engeller. Maksimum geçirimsizlik ve borulanmanın önlenmesi birlikte sağlanması gereken özelliklerdir. Tasarımda, maksimum eşit açıklık oranı (EOS) borulanmayı önlemek ve minimum eşit açıklık oranı (EOS) geçirimsizlik için sağlanmalıdır. Bu sınırlamalar çözüm için çok geniş seçenekler sağlamaktadır. Drenaj amacıyla yapılan geotekstil tasarımlarda bu seçeneklerden optimum olanı belirlenmelidir.

Bunun dışında drenaj uygulamalarında kullanılan geotekstillerin uzun süreli performanslarını pek çok etken kontrol etmektedir. Bunlardan bazıları geotekstilin yerine nasıl yerleştirildiği, ek yerlerinin özellikleri ve uygulanma yöntemi, geotekstilin bozunma ve güneş ışığından korunması olarak sayılabilir. Güneş ışığına 150 saat maruz kalan geotekstilin dayanımını % 70 oranında kaybettiği bilinmektedir (ASTM-D 4355).

Geotekstili zemine tırnak şekline çivilerle iğnelemek (pinning) en çok kullanılan yöntemlerden biri olsa da bazı uygulamalarda bu yöntem sorun yaratabilmektedir. Kullanılan agrega malzemesi bazen çivilenen geotekstilde gerilmeye yol açar ve geotekstilin zeminle ilişkisini azalttığı gibi zımbalama potansiyeli meydana getirir. Bunun yerine geotekstili agregayı yerleştirirken hafif serbest bırakmak bu sorunları ortadan kaldırmaktadır.

Yüzeysel filtrasyonu sağlamak, şev ve dolgulardaki sızmayı önlemek, yol ya da benzeri yapılarda yeraltı su seviyesini düşürmek için hendek drenleri kullanılmaktadır. Geotekstil ile yapılan drenaj uygulamalarından biri olan hendek drenleri geçirgen arka dolgusu sayesinde drene gelen suyun hızlıca uzaklaşmasını sağlamaktadır. Uygulaması Şekil 3.6'da gösterilen hendek drenleri yüksek sıkıştırma etkisinde kalacaksa (ASTM-D 1557) zımbalama direnci önlemleri artırılmalıdır.



Şekil 3.6 : Hendek Drenlerin Uygulama Aşamaları

3.7. GEOTEKSTİL DONATILI ŞEV ve İSTİNAT YAPILARI

Zemin, özellikle granüler ise sıkıştırma gerilmeleri altında göreceli olarak kuvvetli olan bir malzemedir. Donatılı zemin, belirli çekme gerilmelerini donatıya taşıtarak daha geniş kuvvet aralıklarına ulaşan kompozit bir yapıya sahip olur. Geotekstiller 1970’li yıllardan itibaren donatılı zemin duvarlarının yapımında kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : İlk Geotekstil Donatılı İstinat Duvarı (Roven-Fransa, 1971)

Geotekstil şiltelerle sarılmış tabakalar halindeki sıkıştırılmış zemin aralarındaki temas noktalarında oluşan sürtünme kuvvetleri etkisiyle çok daha duraylı ve kompozit bir inşaat malzemesi oluşturmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Geotekstil Donatılı İstinat Duvarı (Roven-Fransa, 1971)

Geotekstil donatılı istinat yapılarının avantajları;

- Ekonomik olmaları ,
- İmalatın laboratuvar çalışmasına ya da özel aletlere gerek kalmadan kolay ve hızlı uygulanabilmesi,
- Geniş yanal ve düşey deformasyonlara izin vermeleri. Bu sayede taşıma kapasitesi tasarımında çok daha düşük güvenlik sayıları kullanılabilir,
- Temele daha az yük aktarmaları ve dönmeye karşı emniyet sağlamaları,
- Esnek olmaları ve enerjiyi tutma özelliklerinden dolayı deprem yüklerine karşı daha uygun olmaları,
- Daha önceki yıllarda kullanılan metal donatılar gibi korozyon tehlikesinin olmaması,
- Estetik olmaları.

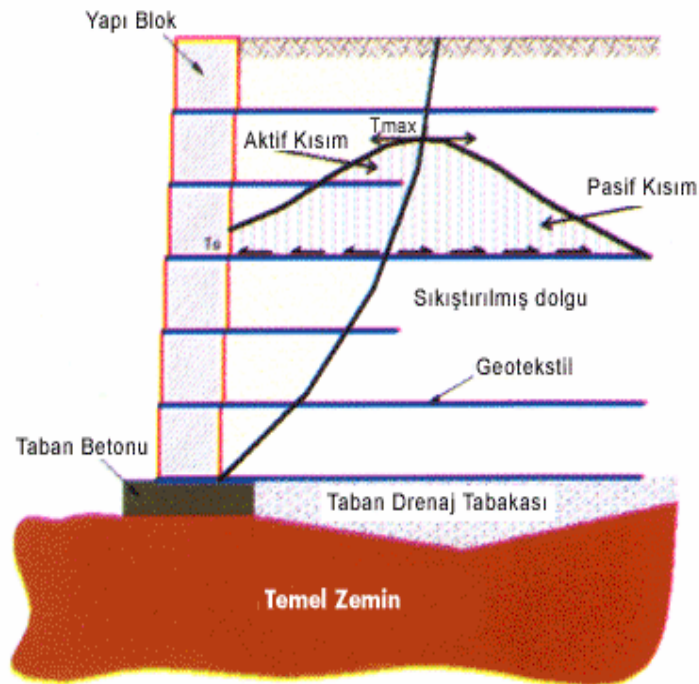
Geotekstil donatılı istinat yapılarının dezavantajları;

- İmalat sırasında olabilecek örselenmelerden dolayı dayanımda azalma olabilir,
- Belirli bir yük ve zemin sıcaklığı altında dayanımda azalma olabilir,
- Geotekstil donatılı istinat yapılarının arkasında kazı yapılamaz.

3.7.1. İmalatta Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Geotekstil donatılı istinat duvarı inşaatında kullanılan malzemeler; (a) ön cephe elemanları, (b) dolgu malzemesi ve (c) geotekstil donatı malzemesi olarak sıralanabilir (Şekil 3.10).

(a) Ön cephe elemanlarının görevi, ön cepheden toprağın dökülerek zamanla dolgunun boşalması önlemektir. Ayrıca imalatta kullanılan farklı malzemeler ile estetik bir görünüm elde edilmesi de mümkün olmaktadır. Ön cephe elemanı olarak beton bloklar, taşlar, prefabrik plaklar seçilebileceği gibi, cephe boyunca bir tel kafes eleman tespit ederek üzerine bitüm emülsiyonu veya püskürtme beton uygulaması da yapılabilir.



Şekil 3.9 : Geotekstil Donatılı İstinat Duvarı Elemanları

(b) Geotekstil şilteleri tarafından sarılan donatı dolgu malzemesi (retained soil) drenaja izin vermeli ve kolay sıkıştırılabilir olmalıdır. Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre iyi derecelenmiş kum (SW), kötü derecelenmiş kum (SP), iyi derecelenmiş çakıl (GW) ve kötü derecelenmiş çakıl (GP) türü malzeme kalıcı geotekstil yapımında dolgu olarak kullanılabilir. Donatı dolgu malzemesinin içinde bulunmasına izin verilen 200 numaralı elekten geçebilen ince daneli malzeme oranı % 12 ile sınırlandırılmıştır. Bu sınırlama su akışı ile ince danelerin muhtemel göçünü önlemesi açısından önemlidir.

Genel olarak, donatı dolgu malzemesinin geçirimsizliğinin 10^{-3} cm/sec veya daha fazla olması istenmektedir. Çakıllar yüksek geçirimsizlik ve dayanım özelliklerine rağmen özellikle köşeli daneler içeriyorsa imalat sırasında zımbalama yaratabileceğinden dolayı göreceli olarak tercih edilmektedir. Eğer geotekstilin zımbalama direnci yüksek ise SP veya SW yerine GP ya da GW kullanılmaktadır. Donatı dolgu malzemesi tabakalar halinde yerleştirilip sonra sıkıştırılacağı ve suyun dış kuvvetlerine, yağmur gibi maruz kalacağı için tasarım için doygun birim hacim ağırlığının kullanılması tavsiye edilmektedir.

İstinat duvarının arkasındaki malzemeye arka dolgu malzemesi denir. Bu malzemenin geotekstilin dış stabilitesine direkt etkisi bulunmaktadır ve bu yüzden seçimi çok önemlidir. Kil, silt ya da düşük geçirimli başka bir malzeme arka dolgu malzemesi olarak tercih edilmemektedir.

Hem donatı dolgu malzemesi hem de arka dolgu malzemesi donatının dış stabilitesinde etkilidir ve özellikleri iyi belirlenmelidir. Geçirimli bir arka dolgu malzemesi için gerekli dayanım parametreleri drenajlı direkt kesme deneyi ile (ASTM-D 3080) belirlenir. Arka dolgu ve donatı dolgu malzemelerinin zemin danelerinin göçünü engellemek için benzer dane boyu dağılıma sahip olmaları önemlidir. Eğer bu sağlanamazsa, ara yüzeyde bir geotekstil filtre veya zemin filtresi imal edilmelidir. Kullanılacak dolgu malzemesi Tablo 3.4’de verilen şartları sağlamalıdır.

Tablo 3.4 Dolgu Malzemesi Özellikleri (TS 1900, AASHTO T 89)

ÖZELLİK	DEĞER
Likit Limit	≤ 50
Plastisite İndisi	≤ 20
Maksimum Kuru Birim Ağırlık	$\geq 17 \text{ kN/m}^3$

(c) Geosentetik donatılı zemin istinat duvarların imalatında örgülü geotekstiller, geogridler ve donatılandırılmış örgüsüz geotekstiller kullanılmaktadır. Kullanılan malzeme bütün yüzeyi kapladığı için, hem noktasal zayıflıklardan doğabilecek problemler en aza inmekte hem de sürtünme yüzeyi artmaktadır. Dünyada ve ülkemizde, uygulamada daha çok tercih edilen örgülü tip geotekstilin özellikleri Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.5 Örgülü Geotekstilin Özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER
Minimum Birim Alan Ağırlığı (DIN-EN 965)	190 g/m ²
Minimum Çekme Kuvveti (DIN-EN-ISO 10319)	40 kN/m
Örgü Yönünde %5 Deformasyon Altındaki Minimum Çekme Kuvveti (DIN-EN-ISO 10319)	18 kN/m
Maksimum Çekme Kuvveti Altında Çözgü ve Örgü Yönünde Maksimum Deformasyon (DIN-EN-ISO 10319)	% 22
Minimum CBR Statik Delme Deneyi (DIN-EN-ISO 12236)	4 kN
Dinamik Delme Deneyinde Maksimum Delme Çapı (DIN-EN 918)	12mm
Minimum Permeabilite (EN-ISO 11058)	$1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
Maksimum Karakteristik Açıklık Büyüklüğü O90 (EN-ISO 12956)	250 mikron
500 saat sonunda çekme mukavemetinin yüzde cinsinden minimum UV Dayanımı (ASTM-D 4355)	% 80

3.7.2. Tasarım Metotları

Donatılı istinat duvarları dolgu malzemesi ve yüzey elemanlarının birlikte kullanılmasıyla beraber oluşturulur. Önce temel kazısı ve topuk kirişi yapılır, birinci sıra yüzey elemanları yerleştirilip geçici olarak iksası yapıldıktan sonra ilk tabaka dolgu yapılır, bunun üzerine serilen donatı yüzey elemanına bağlanır ve daha sonra

ikinci sıra dolgu yapılır. Ardışık olarak donatı ve dolgu tabakalarının yerleştirilmesiyle duvar oluşturulur (Şekil 3.11).



Şekil 3.10 : Geotekstil Donatılı İstinat Duvarı İmalatı (Roven-Fransa, 1971)

Donatılı istinat duvarlarının tasarım aşamasında iç ve dış stabilite tahkikleri yapılmaktadır. İç stabilite hesaplarında her donatı için donatı sıyırılma tahkiki ve kopma tahkiki yapılmalıdır. Yapılan dış stabilite tahkikleri ise kayma tahkiki, devrilme tahkiki ve taşıma gücü tahkikidir. Tasarım yapılırken maksimum düşey donatı mesafesi 0.4m, minimum donatı ankraj boyu 1.0m ve ön cephe elemanı olarak beton bloklar, taşlar, prefabrik plaklar seçilmesi durumunda genişliğinin yüksekliğine oranı minimum 1 olarak alınmalıdır.

3.7.2.1. İç Stabilite Tahkikleri

İçsel stabilite tahkikleri ile donatıların sayıları, boyutları ve dolgu zemin içine yerleştirme aralıkları saptanır.

- Donatının müsaade edilir çekme dayanımının bulunması;

$$GS_g = GS_i \times GS_c \times GS_{kl} \times GS_b \quad (3.3)$$

$$T_{müs} = \frac{T_{nihil}}{GS_g} = 1.3 \approx 1.5 \quad (3.4)$$

Burada;

$T_{müs}$ = Müsaade edilen çekme dayanımı

$T_{nıhai}$ = Geotekstilin nihai çekme dayanımı

GS_g = Global güvenlik sayısı

GS_i = Hasar emniyet faktörü

GS_c = Sünmeyi önlemek için emniyet faktörü

GS_{kl} = Kimyasal etkilere karşı emniyet faktörü

GS_b = Biyolojik etkilere karşı emniyet faktörü

- Yatay basıncın derinlik fonksiyonu olarak bulunması;

$$K_a = \tan^2(45 - \theta/2) \quad (3.5)$$

$$\sigma_a + \sigma_{a(q)} = \gamma z K_a + q K_a \quad (3.6)$$

Burada;

σ_a = Yatay basınç

K_a = Aktif toprak basıncı katsayısı

ϕ = Dolgu zeminin kayma mukavemeti açısı

γ = Dolgu zeminin birim hacim ağırlığı

- Donatı düşey aralıklarının belirlenmesi;

$$S_v = \frac{T_{müs}}{\sigma_a \cdot GS_k} \quad (3.7)$$

Burada;

S_v = Donatı düşey aralığı

$T_{müs}$ = Müsaade edilen çekme dayanımı

σ_a = Yatay basınç

GS_k = Kopmaya karşı güvenlik faktörü

- Gerekli donatı uzunluklarının belirlenmesi;

$$L_R = (H - z) \tan(45 - \phi/2) \quad (3.8)$$

Burada;

L_R = Kayma kaması içi boyu

H = Duvar yüksekliği

z = Derinlik

Φ = Dolgu zeminin kayma mukavemeti açısı

$$L_E = \frac{S_v \cdot \sigma_a \cdot GS_s}{4(c + \gamma \cdot z \cdot \tan \delta)} \quad (3.9)$$

Burada;

L_E = Ankraj bölgesindeki donatı boyu (efektif boy)

S_v = Donatı düşey aralığı

σ_a = Yatay basınç

GS_s = Sıyrılmaya karşı güvenlik faktörü

c = Dolgu zeminin kohezyonu

γ = Dolgu zeminin birim hacim ağırlığı

z = Derinlik

δ = Dolgu ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı

$$L_o = \frac{S_v \sigma_a GS_s}{4(c + \gamma \cdot z \cdot \tan \delta)} \quad (3.10)$$

Burada;

L_o = Kıvrım boyu veya bindirme uzunluğu

S_v = Donatı düşey aralığı

σ_a = Yatay basınç

GS_s = Sıyrılmaya karşı güvenlik faktörü

c = Dolgu zeminin kohezyonu

γ = Dolgu zeminin birim hacim ağırlığı

δ = Dolgu ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı

3.7.2.2. Dış Stabilite Tahkikleri

Geotekstil donatılı istinat duvarının iç stabilite tahkikleri yapıldıktan sonra devrilme, kayma gibi dış stabilite analizleri yapılmalıdır. Bu tahkikler geotekstil donatılı olmayan bir istinat duvarının tahkikleriyle aynı şekilde hesaplanır. Devrilme yükleri

duvarın arkasında oluşacak olan yanal basınç diyagramlarından bulunur. Devrilme duvarın tabanındaki dış kuvvetlerin etkisiyle oluşan momentler toplamı ile kontrol edilir. Taban boyunca kayma ise dış yatay kuvvetlerin toplamının etkisiyle kontrol edilir. Taşıma kapasitesi standart temel taşıma kapasitesi analizleri ile hesaplanır (Şekil 3.12).

- Devrilme Tahkiki

$$GS = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} > 2.5 \quad (3.11)$$

Burada;

$\sum M_O$ = Duvarın tabanındaki C noktası üzerinde dönmeyi arttırıcı momentlerin toplamı

$\sum M_R$ = Duvarın tabanındaki C noktası üzerinde dönmeyi karşı duran momentlerin toplamı

- Kayma Tahkiki

$$GS = \frac{\sum T}{\sum P} > 1.5 \quad (3.12)$$

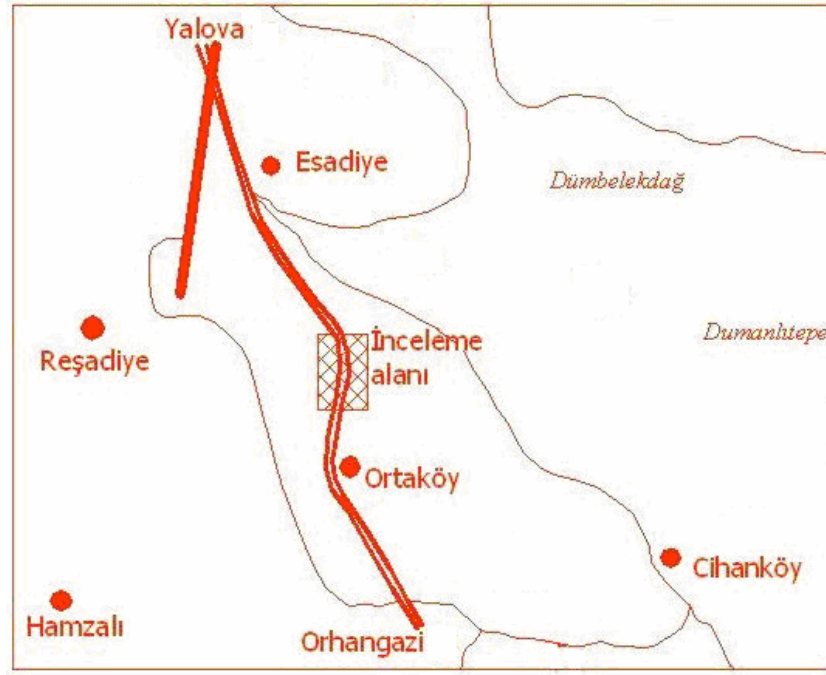
Burada;

T = Kaymaya karşı koyan yatay kuvvetlerin toplamı

P = Kaydırıcı yatay kuvvetlerin toplamı

4. YALOVA-BURSA KARAYOLU HEYELANLARI

Bu tezin konusu olan inceleme alanı Yalova ili, Merkez ilçesi, Sugören Köyü sınırları içerisinde Yalova–Bursa karayolunun 13km ve 14km arasında, karayolunun gidiş ve geliş yönleri arasında yer almaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : İnceleme Alanının Yer Bulduru Haritası

Bu tezin hazırlanmasında, inceleme sahasında Grup Artson Araştırma Sondajları Ltd. Şirketi tarafından yapılmış olan sondajların bilgileri ve İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılmış olan deney sonuçları kullanılmıştır. Sondaj lokasyon planı, sondaj logları EK A bölümünde ve deney sonuçları EK B bölümünde sunulmuştur.

4.1. İNCELEME ALANI ve YAKIN ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

İnceleme alanının bulunduğu bölgede doğal yer biçimleri, tutturulmamış–yarı tutturulmuş Tersiyer yaşlı çökeller ile bölgede sıkça meydana gelen heyelanlar tarafından şekillendirilmiştir.

İnceleme sahası içinden geçmekte olan Yalova-Bursa Karayolu nedeni ile doğal arazi şekilleri kısmen değişmiştir. Çalışma sahasında en yüksek ile en düşük nokta arasındaki kot farkı 20m olarak hesaplanmıştır. Arazi yüzey eğimleri % 0 ile % 40 arasında dağılım göstermektedir.

İnceleme alanının bulunduğu bölgede Paleozoik'ten Pliyosen'e kadar değişik zamanları temsil eden çeşitli kayaç türleri bulunmaktadır. Bölgenin temelini Prekambriyen–Alt Paleozoik yaşlı olduğu düşünülen Pamukova Metamorfiti oluşturur. Bu birimin üzerine sırasıyla Alt Triyas yaşlı Taşköprü formasyonu, Üst Kretase yaşlı Bakacak formasyonu, Üst Paleosen–Orta Eosen yaşlı İncebel formasyonu, Eosen yaşlı Sarısu formasyonları yer almaktadır. Eosen döneminde Fıstıklı Granitoyidi bölgeye yerleşmiştir. Daha üstte ise Sarmasiyen yaşlı Kılıç formasyonu ve Üst Miyosen–Alt Pliyosen yaşlı Yalakdere formasyonu yer almaktadır.

İnceleme sahasının yakın çevresinde temelde gnays, mikaşist, amfibol şist, killi şist, grovak, serizit şist, klorit şist serpantin şist, mika ve kuvarsit şist, kristalen kalker, mermer seviyelerinden oluşan Pamukova Metamorfiti (PMŞ) bulunmaktadır. Bu birim üstünde Paleosen–Eosen döneme ait sedimanter (fliş, kalker, kumtaşı, konglomera) ve volkano-sedimanter (tuf, bazalt, diyabaz, andezit, aglomera) seviyelerinden oluşan Sarısu Formasyonu (Ts) yer almaktadır. Stratigrafik olarak en üstte ise Ponsiyen-Pliyosen yaşlı marn, kil, kumtaşı, çakıltaşı, kireçtaşı seviyelerinden oluşan Yalakdere Formasyonu (Ty) ve Kireçtaşı üyesi (Tyk) bulunmaktadır.

4.1.1. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi

İnceleme alanında Ponsiyen-Pliyosen yaşlı Yalakdere formasyonunun kireçtaşı üyesine ait (Tyk) birimler bulunmaktadır. Sahanın güneydoğu kesiminde çok kalın olmayan bir dolgu tabakası yer almaktadır.

İnceleme alanında yapılan sondajlara göre yüzeyden ilk 10m-14m derinliği kadar ince dolgu tabakası altında ayrıışmış marn birimleri, kahve renkli ve kavkılı kumlu kil birimleri, yeşil- gri renkli ve fisürlü katı kil birimleri, koyu kahve-siyah renkli organik kil aratabakaları ve killi kum serileri ardışık olarak yer almaktadır. Bu

birimlerin altında kalınlığı 8m-10m olan yeşil-gri renkli, kumlu, fisürlü sert kil yer almaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Sondajlardan Alınmış SPT Numuneleri

4.1.2. İnceleme Alanının Yapısal Jeolojisi

Bölgenin jeolojisi Neotektonik dönemde şekillenmiştir. Miyosen ve Kuvaterner yaşlı birimler Neotektonik dönem çökellerini oluşturmaktadır. Yalova çevresindeki Neotektonik dönem yapıları değişik doğrultudaki fay ve kıvrımlardan oluşur. Bölgenin en önemli yapısal unsuru olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) aktif olup günümüz tektoniğini denetlemektedir. Kuzey Anadolu Fayı Sakarya'dan başlayarak kuzey ve güney olmak üzere iki kola ayrılır.

Kuzey kol İzmit-Sakarya koridorunu izleyerek Marmara Denizi'ne ulaşır. Yalova kesiminde, kabaca doğu batı doğrultuda Marmara tabanındaki çukurlukları izleyerek batıya devam eder. Güney kol ise Gemlik, İznik Gölü güney kenarı, Gemlik körfezi hattı boyunca uzanmaktadır. Yalova yöresinde Neotektonik dönem ile ilişkili diğer faylar, KB-GD ve KD-GB doğrultulu ve genelde aktif değildirler. İnceleme alanının kuzeydoğusunda yer alan KB - GD doğrultulu Esadiye fayı bu grup içine girmektedir.

İnceleme sahası Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Yönetmeliği'ne göre 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

4.2. İNCELEME ALANINDAKİ BİRİMLERİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanından Grup Artson Araştırma Sondajları Ltd. Şirketi tarafından alınan sondaj numuneleri üzerinde İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında su muhtevası, kıvam limitleri, elek analizi, serbest basınç deneyi ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları EK B bölümünde verilmiştir.

Kıvam limitleri ve su muhtevası deneyleri sonucunda numunelerin büyük kısmının yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına girdiği belirlenmiştir. Bazı numuneler yüksek plastisiteli silt, MH ve birkaç numunede de düşük plastisiteli kil-silt (CL-ML) olarak bulunmuştur.

Koyu kahve-siyah renkli numuneler üzerinde yapılan organik madde tayini analizleri sonucunda bu birimin % 20 oranında organik madde içerdiği belirlenmiştir.

4.2.1. Dolgu Tabakası

Sahanın özellikle güneydoğu kesiminde yaygın olan dolgu tabakası genellikle hafriyat artığı, yol dolgusu gibi malzemeden oluşmaktadır ve kalınlığı 0,5m-1m mertebesinde dir.

4.2.2. Katı-Çok Katı Kil Birimleri

Katı-çok katı kil birimleri yaklaşık 10m-14m kalınlığa sahiptirler. Birimin marnlı seviyeleri genellikle kirli beyaz-bej renkli, killi seviyeler ise koyu kahve-haki renkli, yer yer organik madde katkılıdır.

Yapılan deneyler sonucunda Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre marnlı-killi seviyeleri orta-yüksek plastisiteli kil-silt (MH-CH), organik kesimler ise yüksek plastisiteli (OH) olarak belirlenmiştir. Katı-çok katı kil olarak sınıflanan bu birim için aşağıdaki zemin değerleri kullanılarak hesap yapılmıştır;

Birim Hacim Ağırlık; $\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3$

Kayma Mukavemeti Parametreleri;

- Toplam Parametrelere Bağlı Analizler $\phi = 0$ $c = 0,80 \text{ kPa}$

- Efektif Parametrelere Bağlı Analizler $\phi = 28^\circ$ $c = 0$

4.2.3. Çok Katı- Sert Kil Birimleri

Katı-çok katı kil tabakasının altında bulunan yeşil-gri renkli ve fisürlü killer yaklaşık 8m-10m kalınlığa sahiptirler. Bu birimin üst seviyeleri yeşilimsi sarı renkli, plastik ve çok fisürlü ve alt seviyeleri yeşilimsi gri renkli, karbonat konkresyonlu ve sert kil özelliğindedir.

Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre bu birimin üst ve alt seviyeleri yüksek plastisiteli kil-silt (MH-CH) zemin grubuna karşılık gelmektedir. Birimin yüzeye yakın kesimleri çok katı kil, yaklaşık 3m-4m derinlikten itibaren yer alan kesimleri ise sert kil olarak sınıflandırılabilir. Çok katı-sert kil birimlerinin arasında yaklaşık 2m-2,5m kalınlığında üstte killi kumlu marn, altta ise organik madde katkılı kilden oluşan bir tabaka yer almaktadır.

Çok katı-sert kil olarak sınıflanan bu birim için aşağıdaki zemin değerleri alınarak hesap yapılmıştır;

Birim Hacim Ağırlık; $\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3$

Kayma Mukavemeti Parametreleri;

- Toplam Parametrelere Bağlı Analizler $\phi = 0$ $c = 1,00 \text{ kPa}$

- Efektif Parametrelere Bağlı Analizler $\phi = 32^\circ$ $c = 0$

4.3. İNCELEME ALANINDAKİ YERALTI VE YER ÜSTÜ SULARI

İnceleme alanında üstte yer alan marn-kil seviyesi, ince daneli olmakla birlikte yer yer kumlu olup yüksek porozite ve permeabiliteye sahiptir. Altında yer alan killi seviyeler ise tamamen geçirimsiz kabul edilebilir.

Üstteki marn seviyesini kesen tüm sondajlarda, sondaj kotlarına bağlı olarak değişen derinliklerde yer altı suyu ile karşılaşıldığı gözlenmiştir. Daha düşük kotlarda yer alan kil seviyesi içinde başlayan SK 5 ve SK 6 sondajlarında (EK A) ise suya rastlanmamıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Sondajlardaki Yeraltı Suyu Seviyeleri

Sondaj No	Sondaj Kotu	Sondaj Derinliği	Yeraltı Su Kotları	Yeraltı Su Derinliği
SK1	333,50	14,00	327,45	6,05
SK2	333,50	20,00	327,30	6,15
SK3	330,90	15,50	326,75	4,15
SK4	329,35	22,00	327,15	2,20
SK5	318,50	15,50	Su Yok	Su Yok
SK6	322,50	17,00	316,50	6,00
SK7	322,50	10,00	320,00	2,50

4.4. İNCELEME ALANININ YAMAÇ STABİLİTESİ

Bu teze konu olan inceleme sahasında etkin bir stabilite problemi mevcut değildir. Ancak sahanın bulunduğu bölgeden geçen Yalova–Bursa Karayolunun yapımı sırasında ve sonrasında zaman zaman stabilite problemleri yaşandığı bilinmektedir. Bu sebeple inceleme sahasında farklı kesitler üzerinde stabilite analizleri yapılmış ve meydana gelebilecek problemlere karşı alınacak önlemler tartışılmıştır.

İnceleme sahası çevresinde meydana gelen stabilite problemlerine örnek olması açısından Yalova-Bursa Karayolu’nun 12+300km ve 12+400km arasında yer alan heyelanlı arazi yerinde incelenmiş ve hakkında yapılan çalışmalar araştırılmıştır.

4.4.1. Örnek Heyelanlı Arazi

Yalova-Bursa Karayolunun 12+300km ve 12+400km arasında yer alan heyelanlı sahanın zemin profilini Yalakdere formasyonuna ait kıltaşı ve marn ile bu birimlerin üzerinde bulunan ayrışma ürünü örtü tabakası oluşturmaktadır. Bunların üstünde ise yol dolgusu bulunmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Yalova-Bursa Karayolu 12+300km ile 12+400km Arası Heyelan Bölgesi

Bu sahada yapılmış olan sondajlar 1,20m kalınlıkta olan yol dolgusunun altında bulunan ve yaklaşık 8m kalınlığa sahip olan ayrılmış örtü tabakasının Yalakdere formasyonundan oluşmuş olduğunu göstermektedir. Tümüyle ayrılmış heyelan malzemesi olan bu birimin üst seviyesi koyu kahve renkli, orta katı, az plastisiteli, yer yer kavkılı kilden oluşmuştur ve SPT-N değerleri 5 ile 11 arasındadır. Birimin alt seviyeleri ise sarımsı kahve renkli, orta plastisiteli kumlu kilden oluşmuştur ve SPT-N değerleri 14 ile 47 arasındadır. Yalakdere formasyonuna ait içinde kumlu ve organik seviyeler içeren marn birimi ayrılmış heyelan malzemesinin altında bulunmaktadır. Bu birimin SPT sayıları 'refü' olarak tespit edilmiştir.

Sahada açılmış olan 36m derinlikteki iki sondaj kuyusunda yeraltı suyu seviyeleri yüzeyden 1,20m ve 3,60m derinlikte ölçülmüştür.

Eski bir heyelanın taç bölgesinden geçmekte olan karayolunun bu kesiminde düzensiz ve kontrolsüz yüzey sularının, yeraltı suyu durumunun ve yol yapımına bağlı olarak yük artışının heyelana neden olduğu düşünülmüştür. Sahanın içinden geçmekte olan yolun gidiş yönündeki şeridinden gelen sular ve yamaçtan süzülen sular birikerek yol dolgusunu doygun hale getirmiştir. Bunun dışında yeraltı suyunun

yüksek oluşu da duraylılığı etkilemiştir. Bu sahanın heyelan haritası EK C' de verilmiştir.

4.4.2. İnceleme Sahası Çevresinde Oluşan Heyelanların Nedenleri

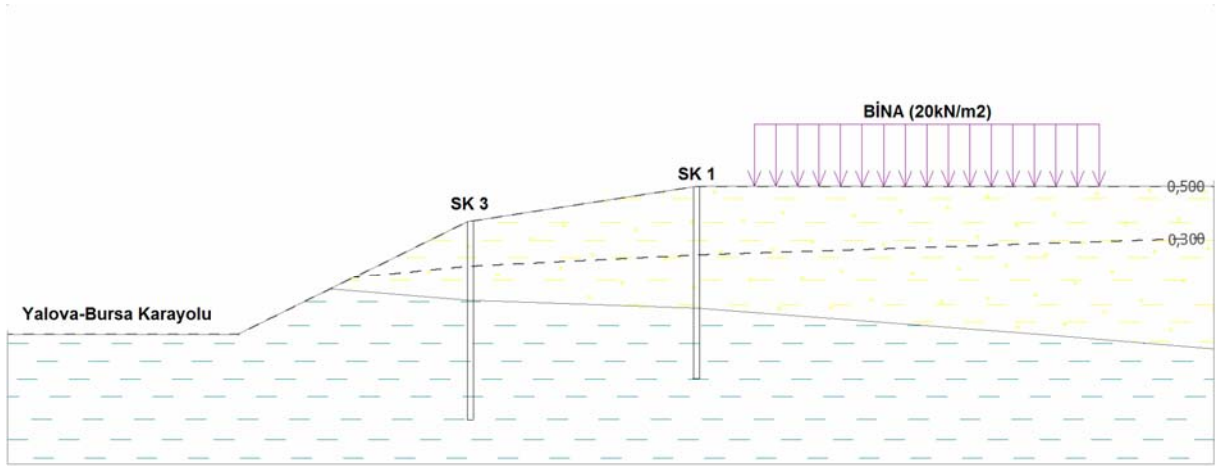
Yalova-Bursa Karayolu 12+300km–12+400km bulunan heyelanlı arazinin, Grup Artson Araştırma Sondajları Ltd. Şirketi tarafından inceleme sahasında yapılan rapor ve sondaj logları ile İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılmış olan deney sonuçlarının incelenmesi sonucunda bölgede meydana gelen stabilite sorunlarına aşağıda sıralanan maddelerin neden olduğu düşünülmüştür;

- (1) Zemin profilinin çoğunlukla yüksek plastisiteli, fisürlü ve önkonsolide killerden oluşması ile karayolunun bu kesiminin eski bir yamaç geometrisi içinde yer alması,
- (2) Katı-çok katı kil içinde bulunan marn, kumlu kil, fisürlü kil tabakasından sızan suların, yüzeysel stabilite problemlerine neden olması,
- (3) Çok sert-katı kil biriminin bünyesinde yer alan fisürler nedeniyle boşluk suyu basınçlarındaki artışlara paralel duraylılığının bozulması,
- (4) Şev kretinde yeterli güvenlik önlemleri alınmadan yükleme, şev topuğunda kazı veya şev eğimini arttıracak kazı yapılması.

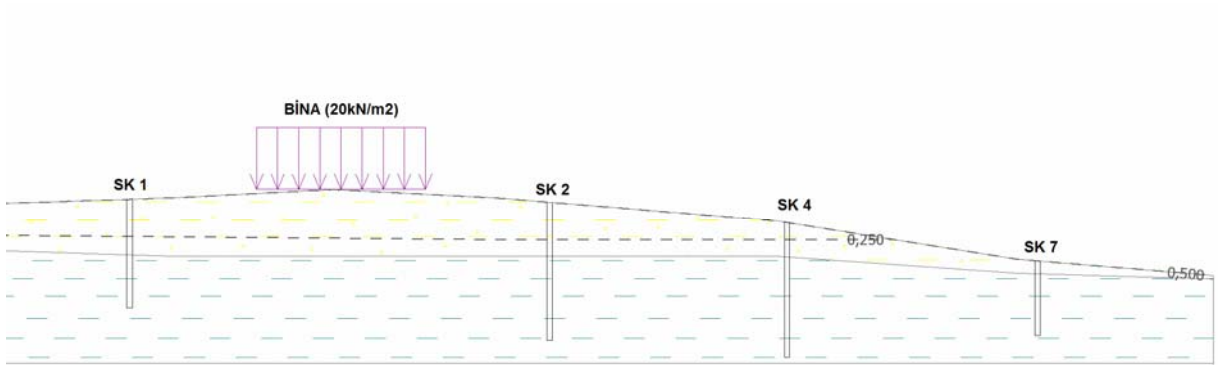
4.4.3. İnceleme Sahasının Stabilite Analizleri

İnceleme sahasında 3 farklı kesit üzerinde stabilite analizleri yapılmıştır. Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilen bu kesitler toplam ve efektif parametrelere bağlı olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Kesit hatları EK A'da bulunan sondaj lokasyon haritası üzerinde gösterilmiştir.

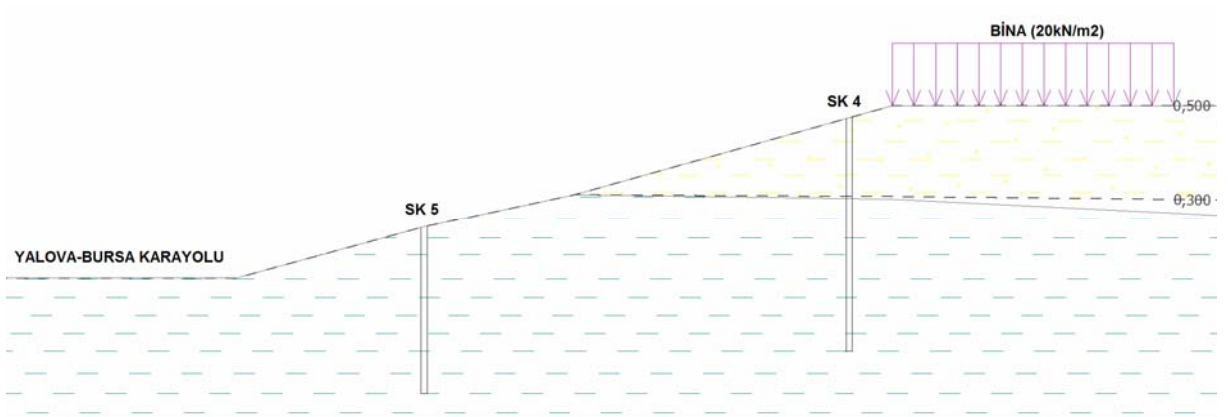
İnceleme sahasının stabilite analizleri Geo5 Slope Stability programı ile yapılmıştır. Bu programda stabilite problemi iki boyutlu ortamda çözülmektedir ve kayma yüzeyi dairesel (Bishop ve Petterson Yöntemleri) veya poligonal (Sarma Yöntemi) olarak modellenebilmektedir. Programın analize başlaması için herhangi bir kayma yüzeyi belirlenir ve bu kayma yüzeyi program tarafından optimize edilerek en düşük güvenlik sayısını veren kayma yüzeyi hesaplanır.



Şekil 4.4 : Kesit I-I



Şekil 4.5 : Kesit II-II

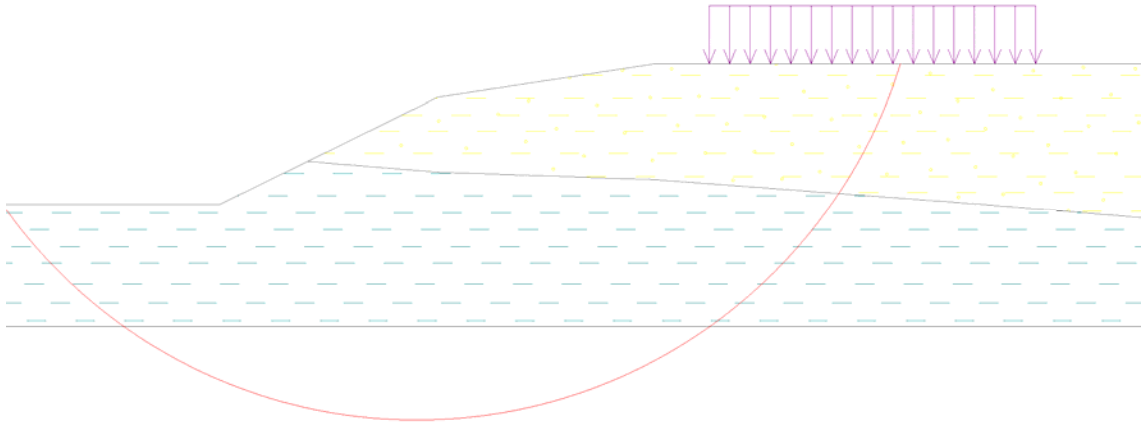


Şekil 4.6 : Kesit III-III

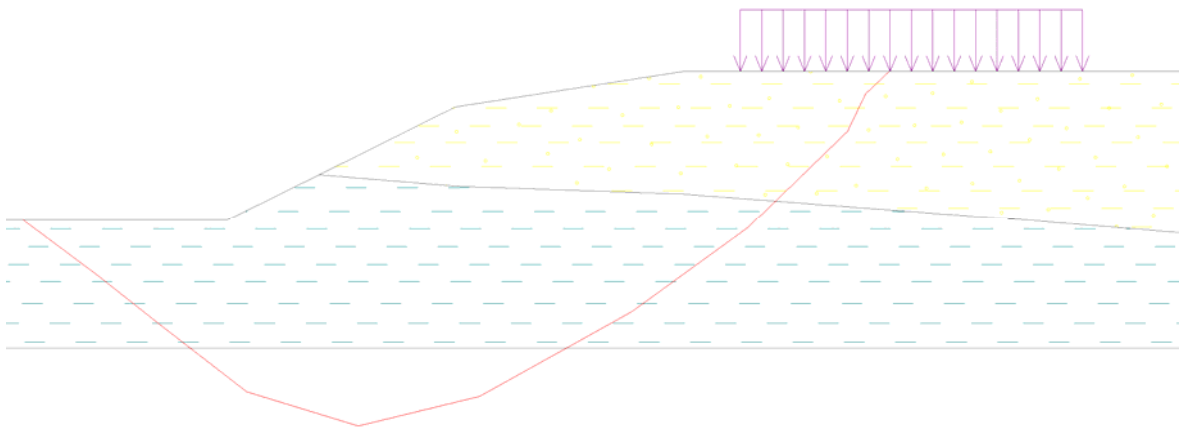
4.4.3.1. Geo5 Slope Stability Programı ile Stabilité Analizi

Bu teze konu olan inceleme sahasına ait Kesit I-I, Kesit II-II ve Kesit III-III için Bishop (1955) ve Sarma (1973) Yöntemleri ile stabilité analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Stabilité analizlerinde Grup Artson Araştırma Sondajları Ltd. Şirketi tarafından yapılmış olan sondaj verileri ve İ.T.Ü İnşaat Fakóltesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılmış olan deney sonuçları kullanılmıştır.

Kesit I-I için Geo5 Slope Stability programı ile yapılan analizler sonucunda en düşük güvenlik sayıları toplam parametrelere baēlı analizlerde 2,10 (Bishop) ve 2,33 (Sarma), efektif parametrelere baēlı analizlerde 1,19 (Bishop) ve 1,24 (Sarma) olarak bulunmuştur. Bu kesitlere ait kayma yüzeyleri Şekil 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.

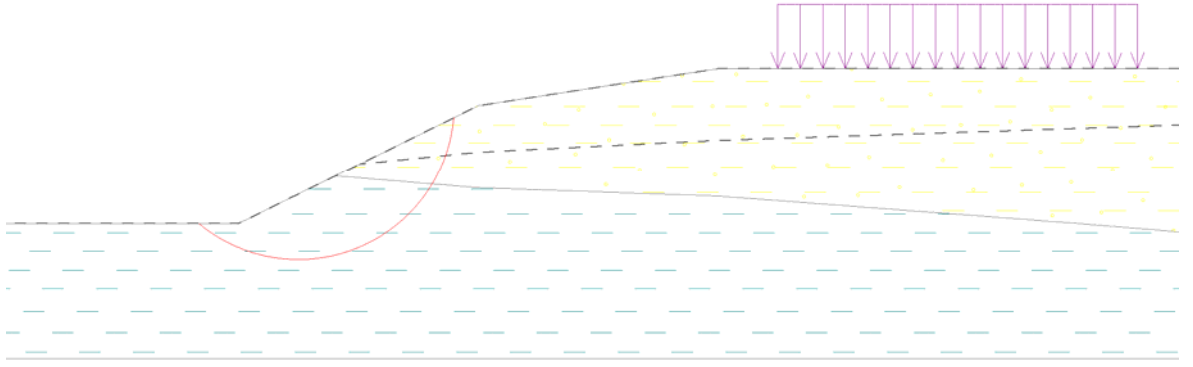


(a) Bishop Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

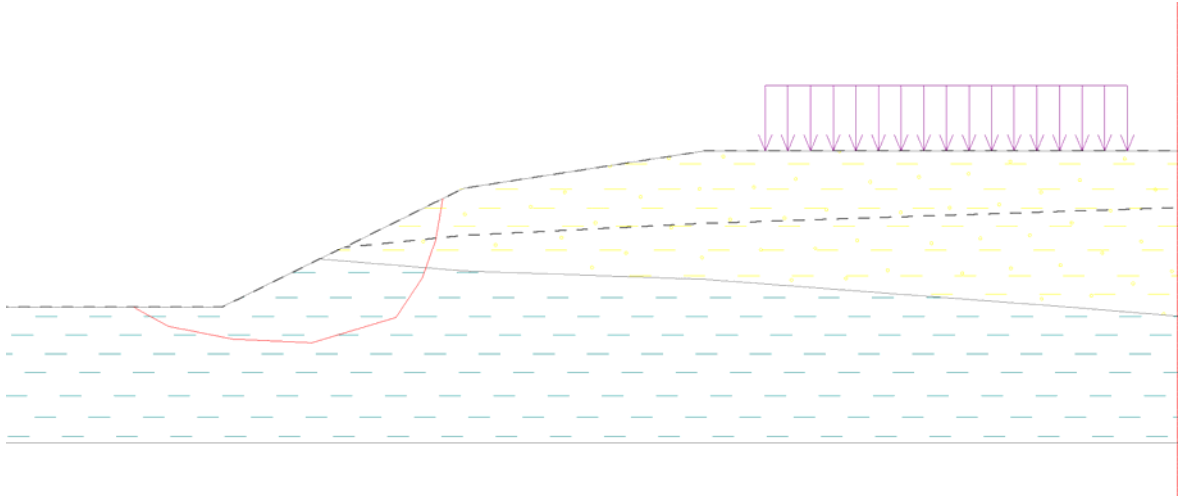


(b) Sarma Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

Şekil 4.7 : Kesit I-I için Toplam Parametrelere Baēlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri



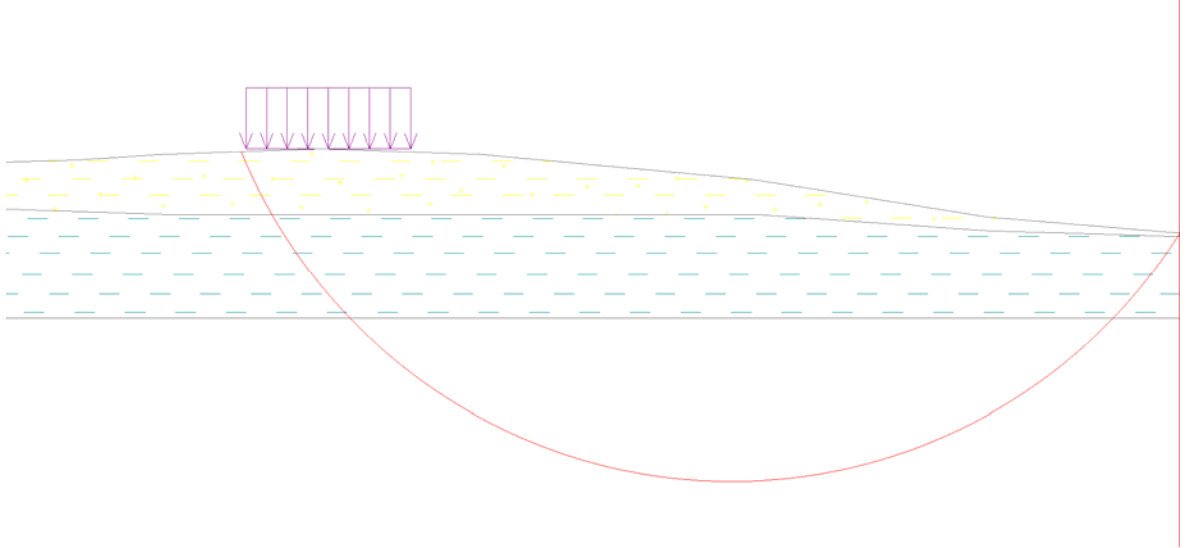
(a) Bishop Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi



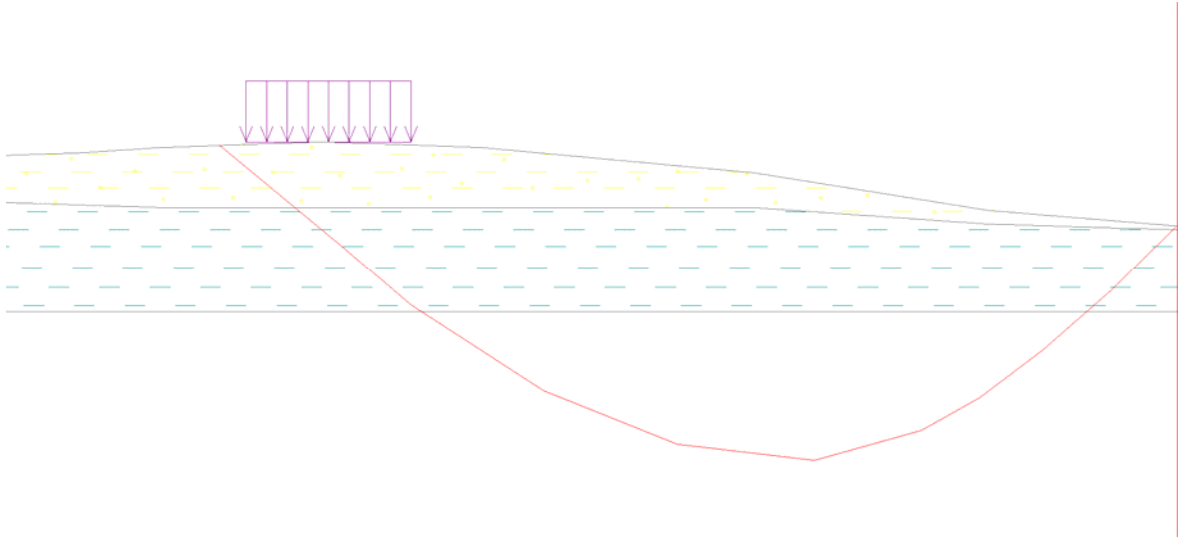
(b) Sarma Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

Şekil 4.8 : Kesit I-I için Efektif Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri

Kesit II-II için yapılan analizler sonucunda en düşük güvenlik sayıları toplam parametrelere bağlı analizlerde 2,16 (Bishop) ve 2,38 (Sarma), efektif parametrelere bağlı analizlerde 2,58 (Bishop) ve 3,02 (Sarma) olarak bulunmuştur. Bu kesitlere ait kayma yüzeyleri Şekil 4.9 ve 4.10’da verilmiştir.

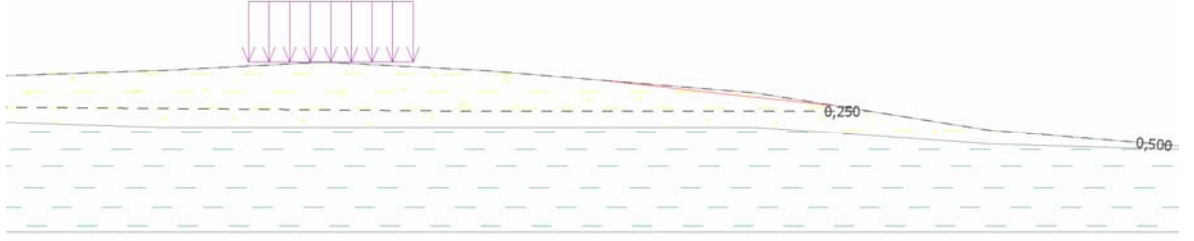


(a) Bishop Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

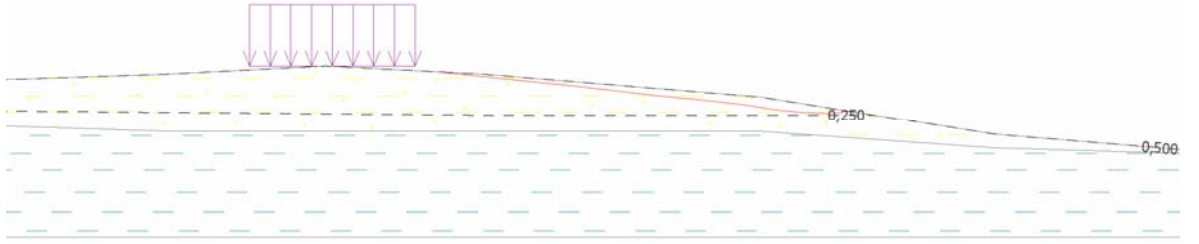


(b) Sarma Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

Şekil 4.9 : Kesit II-II için Toplam Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri



(a) Bishop Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

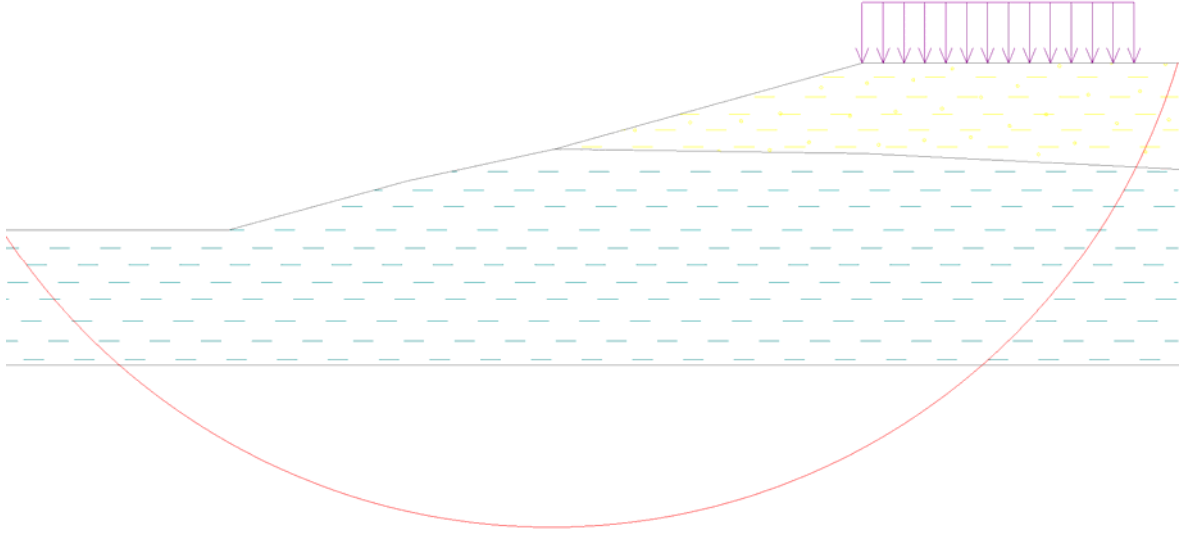


(b) Sarma Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

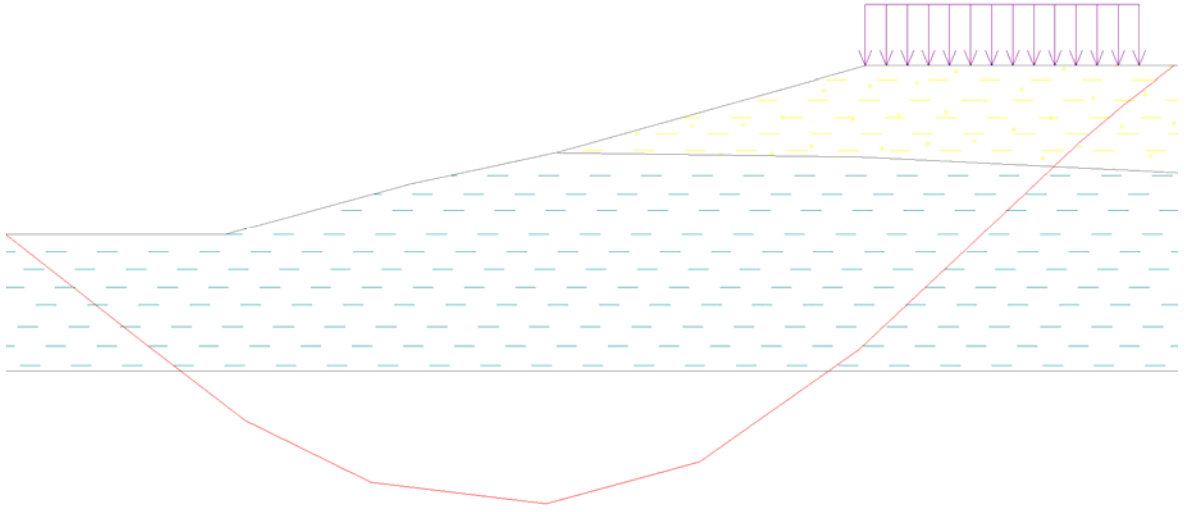
Şekil 4.10 : Kesit II-II için Efektif Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri

Kesit III-III için yapılan analizler sonucunda en düşük güvenlik sayıları toplam parametrelere bağlı analizlerde 1,57 (Bishop) ve 1,83 (Sarma), efektif parametrelere bağlı analizlerde 1,25 (Bishop) ve 0,95 (Sarma) olarak bulunmuştur. Bu kesitlere ait kayma yüzeyleri Şekil 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.

Geo5 Slope Stability programı ile Kesit I-I, Kesit II-II ve Kesit III-III için yapılan stabilite analizleri sonucunda bulunan güvenlik sayıları Tablo 4.2’de özetlenmiş, Kesit I-I için yapılmış olan stabilite analizi raporu EK D’de sunulmuştur.

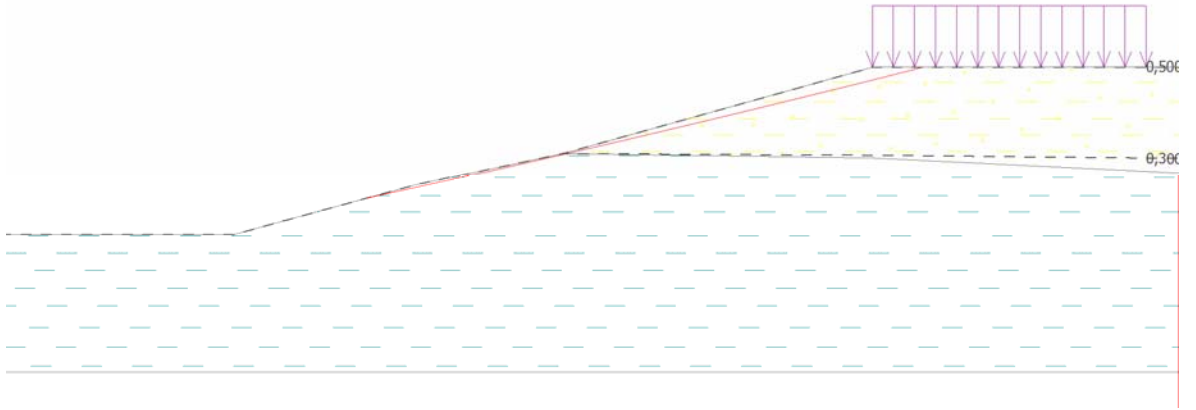


(a) Bishop Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

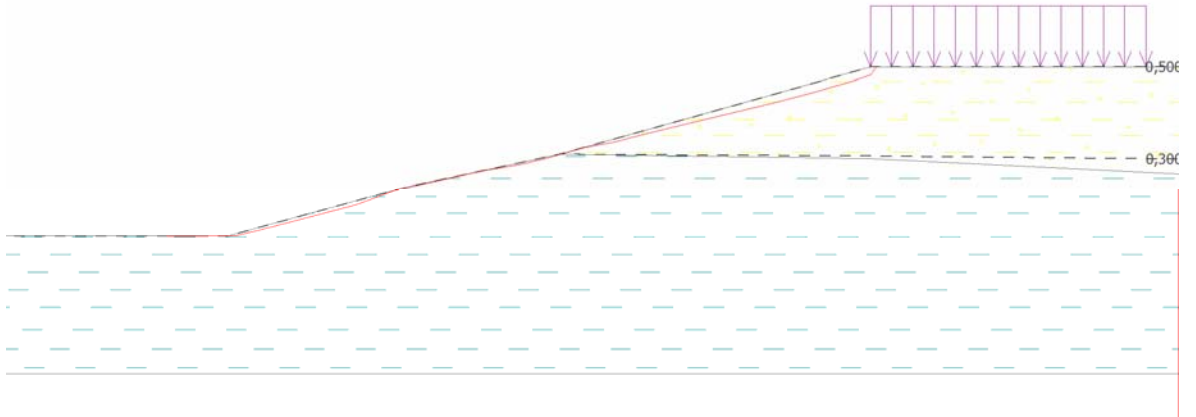


(b) Sarma Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

Şekil 4.11 : Kesit III-III için Toplam Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri



(a) Bishop Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi



(b) Sarma Yöntemi ile Belirlenen Kayma Yüzeyi

Şekil 4.12 : Kesit III-III için Efektif Parametrelere Bağlı Analizler Sonucu Belirlenen En Kritik Kayma Yüzeyleri

Tablo 4.2 Geo5 Slope Stability Programı ile Hesaplanan Güvenlik Sayıları

Kesit No / Analiz Yöntemi	Kesit I-I		Kesit II-II		Kesit III-III	
	toplam	efektif	toplam	efektif	toplam	efektif
Bishop (1955)	2,10	1,19	2,16	2,58	1,57	1,25
Sarma (1973)	2,33	1,24	2,38	3,02	1,83	0,95

4.4.4. İnceleme Sahasında Oluşabilecek Stabilite Problemlerine Karşı Alınacak Önlemler

Bu tez kapsamında inceleme sahası ve yakın çevresinde yerinde yapılan çalışmalar, saha ve çevresi hakkında yapılan araştırmalar, incelenen sondaj ve deney verileri ile Geo5 Slope Stability programı sonuçları sahada stabilite problemleri yaşanabileceğini göstermektedir. İnceleme sahasında meydana gelebilecek problemlerin sebepleri zemin profilinin çoğunlukla yüksek plastisiteli, fisürlü ve önkonsolide killerden oluşması, karayolunun bu kesiminin eski bir yamaç geometrisi içinde yer alması, katı-çok katı kil içinde bulunan marn, kumlu kil, fisürlü kil tabakasından sızan sular ve çok katı-sert kil biriminin bünyesinde yer alan fisürler nedeniyle boşluk suyu basınçlarındaki artışlar olarak düşünülmüştür. Sahada oluşabilecek stabilite problemlerine karşı uygun bir drenaj ağının oluşturulması ve geotekstil donatılı zemin istinat duvarı yapımı tasarlanmıştır.

4.4.4.1. Yer Altı Suyunun Kontrolünde Alınacak Önlemler

Sahanın stabilitesi bakımından 6m–7m derinliğinde geotekstil ile sarılmış granüler malzeme doldurulmuş kılçık şeklindeki drenajlar yapılarak sahanın ve yol şevinin kuru tutulması önem taşımaktadır.

Drenaj hattının sahanın en güney noktasından başlayarak SK7, SK 4, SK 2, SK 1 (EK A) güzergahını izleyen ve sağlı-sollu çıkışları olan balık kılçığı şekilli teşkil edilmesi düşünülmüştür. Kanal derinlikleri başlangıç noktasından 0,5m–1m derinlikten başlayıp kuzey yönde derinleşerek devam edecek şekilde tasarlanmıştır. Kanal açılırken duraysızlığa yol açmamak için 3m–5m kısımlar halinde açılmalı ve tabanına 50cm yüksekliğinde geotekstil ile sarılmış mıcır konulduktan sonra geri kalan kesiti doldurulmalı ve sıkıştırılmalıdır. Dolguda kullanılan malzemenin yüzeye yakın kesiminin killi malzeme olması tercih edilmelidir.

Sahada alınacak olan bu derin drenaj önleminin yanı sıra yüzey drenaj önlemleri de alınmalı ve yağışlı dönemlerde saha içinde su birikmeyecek şekilde saha düzenlemesi yapılmalıdır.

4.4.4.2. Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları

İstinat yapılarının ve toprak dolguların geotekstil donatılı olarak yapılması özellikle son yıllarda geotekstil mühendisliği alanında giderek yaygınlaşan ve geniş uygulama alanı bulan tasarım yöntemlerinden biri olmuştur. Geotekstil donatılı istinat yapısı uygulamalarının kısa sürede yaygın hale gelmesinin nedenleri kısa sürede basit teknoloji ile imal edilmeleri, oturmalara hassas olmaması, mimari açıdan geniş uygulama alanlarına sahip olması, betonarme kesitlere göre daha küçük kesitlere sahip olması, deprem etkilerine karşı hassas olmaması ve ekonomik açıdan uygun olması olarak sıralanabilir. Geotekstil donatılı olarak imal edilmiş zemin istinat duvarı ve toprak dolguların önceki yıllarda imal edilmiş ve şiddetli deprem etkisinde kalmış örnekleri bu depremlerde ya hasar görmemiş ya da az hasar görmüştür. Bunun nedeni geotekstil donatılı olan bu yapıların esnek olmaları dışında güvenlik tarafta kalmak için yüksek emniyet sayıları ile imal edilmiş olmalarıdır.

Geotekstil donatılı zemin istinat duvarlarının yapımında iç ve dış stabilite analizleri yapılmalı ve farklı göçme durumları için yapının güvenliği araştırılmalıdır. İç stabilite analizlerinde geotekstilde kopma veya sıyrılmaya olmaması için gerekli geotekstil donatı boyu, çekme dayanımı ve donatı aralığı hesaplanmaktadır. Dış stabilite analizlerinde ise klasik istinat duvarlarında olduğu gibi devrilme, kayma ve taban basıncı tahkikleri yapılmalıdır.

Bu teze konu olan sahada 3 farklı kesit üzerinde en kritik kayma yüzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. Kesit II-II incelenen tüm yüzeylerde, toplam ve efektif parametrelere bağlı analizlerde yüksek güvenlik değerleri vermiştir. Kesit I-I ve Kesit III-III toplam parametrelere bağlı analizlerde güvenliği sağlarken, efektif parametrelere bağlı analizlerde bu kesitlerde göçme meydana geldiği görülmüştür. Bu iki kesitte güvenliği arttırmak amacıyla farklı yüksekliklerde geotekstil donatılı zemin istinat duvarları yapılması tasarlanmış ve istinat duvarlarının güvenliğe etkileri incelenmiştir.

Geotekstil donatılı zemin istinat duvarlarının iç stabilite hesaplarında kullanılan değerler Tablo 4.4’de ve hesaplanan minimum donatı boyları ve aralıkları Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.3 Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı Analizlerinde Kullanılan Değerler

Dolgu Zeminin Özellikleri	
- Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	20
- Kayma Mukavemeti Açısı, ϕ (°)	35
- Kohezyon, c (kN/m ²)	0
Temel Zemin Özellikleri	
- Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	20
- Kayma Mukavemeti Açısı, ϕ (°)	28-32
- Kohezyon, c (kN/m ²)	0
Geotekstil Donatı Özellikleri	
- Nihai Enine Çekme Dayanımı, T nih (kN/m)	75
- Hasar Emniyet Faktörü, GSi	1,4
- Sünmeyi Önlemek İçin Emniyet Faktörü, GSc	3,0
- Kimyasal Etkilere Karşı Emniyet Faktörü, GSkl	1,3
- Biyolojik Etkilere Karşı Emniyet Faktörü, GSb	1,1
- Kopmaya Karşı Emniyet Faktörü, GSk	1,4
- Sıyrılmaya Karşı Emniyet Faktörü, GSs	1,4
- Global Güvenlik Sayısı, GSg	6,206
- Müsaade Edilen Çekme Dayanımı, T müs (kN/m)	12,08
Sürşarj Yüğü, q (kN/m²)	20
Aktif Toprak Basıncı Katsayısı, Ka	0,27

Tablo 4.4 H=6m için Geotekstil Donatı Boyları ve Aralıkları

Donatı Düşey Aralıkları, S _v (m)		Donatı Uzunluklarının Belirlenmesi								min L
		Kayma Kaması	İçi boyu, L _R (m)	Efektif Boy, L _E (m)			Bindirme Boyu, L _o (m)			
				z (m)	L _R (m)	z (m)	L _E (m)	min L _E (m)	z (m)	
z (m)	S _v (m)	z (m)	L _R (m)	z (m)	L _E (m)	min L _E (m)	z (m)	L _o (m)	L _o (m)	(m)
1,0	0,80	1,0	2,60	1,0	0,64	1,00	1,0	0,32	1,00	3,60
1,5	0,64	1,5	2,34	1,5	0,43	1,00	1,5	0,21	1,00	3,34
2,0	0,53	2,0	2,08	2,0	0,32	1,00	2,0	0,16	1,00	3,08
2,5	0,46	2,5	1,82	2,5	0,26	1,00	2,5	0,13	1,00	2,82
3,0	0,40	3,0	1,56	3,0	0,21	1,00	3,0	0,11	1,00	2,56
3,5	0,36	3,5	1,30	3,5	0,18	1,00	3,5	0,09	1,00	2,30
4,0	0,32	4,0	1,04	4,0	0,16	1,00	4,0	0,08	1,00	2,04
4,5	0,29	4,5	0,78	4,5	0,14	1,00	4,5	0,07	1,00	1,78
5,0	0,27	5,0	0,52	5,0	0,13	1,00	5,0	0,06	1,00	1,52
5,5	0,25	5,5	0,26	5,5	0,12	1,00	5,5	0,06	1,00	1,26
6,0	0,23	6,0	0,00	6,0	0,11	1,00	6,0	0,05	1,00	1,00

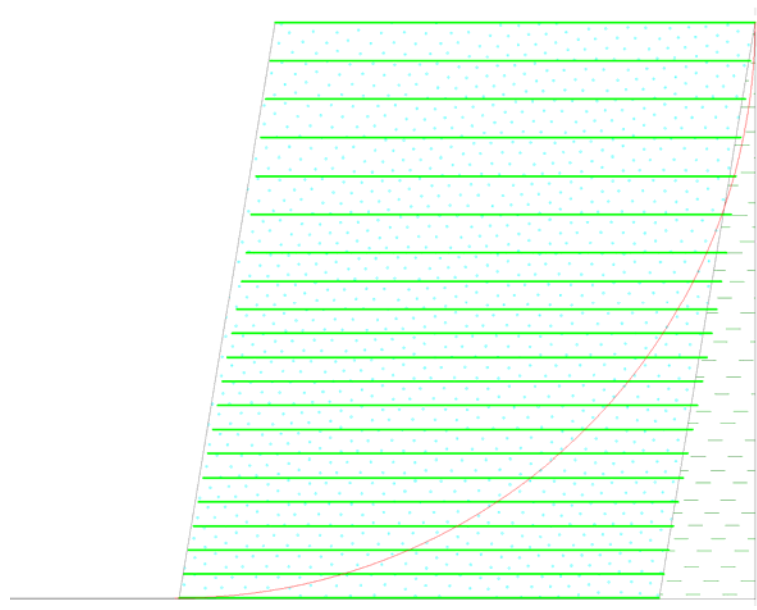
Tablo 4.5 H=8m için Geotekstil Donatı Boyları ve Aralıkları

Donatı Düşey Aralıkları, S _v (m)		Donatı Uzunluklarının Belirlenmesi								min L (m)
		Kayma Kaması İçi boyu, L _R (m)		Efektif Boy, L _E (m)			Bindirme Boyu, Lo (m)			
z (m)	S _v (m)	z (m)	L _R (m)	z (m)	L _E (m)	min L _E (m)	z (m)	Lo (m)	Lo (m)	
1,0	0,80	1,0	3,64	1,0	0,64	1,00	1,0	0,32	1,00	4,64
1,5	0,64	1,5	3,38	1,5	0,43	1,00	1,5	0,21	1,00	4,38
2,0	0,53	2,0	3,12	2,0	0,32	1,00	2,0	0,16	1,00	4,12
2,5	0,46	2,5	2,86	2,5	0,26	1,00	2,5	0,13	1,00	3,86
3,0	0,40	3,0	2,60	3,0	0,21	1,00	3,0	0,11	1,00	3,60
3,5	0,36	3,5	2,34	3,5	0,18	1,00	3,5	0,09	1,00	3,34
4,0	0,32	4,0	2,08	4,0	0,16	1,00	4,0	0,08	1,00	3,08
4,5	0,29	4,5	1,82	4,5	0,14	1,00	4,5	0,07	1,00	2,82
5,0	0,27	5,0	1,56	5,0	0,13	1,00	5,0	0,06	1,00	2,56
5,5	0,25	5,5	1,30	5,5	0,12	1,00	5,5	0,06	1,00	2,30
6,0	0,23	6,0	1,04	6,0	0,11	1,00	6,0	0,05	1,00	2,04
6,5	0,21	6,5	0,78	6,5	0,10	1,00	6,5	0,05	1,00	1,78
7,0	0,20	7,0	0,52	7,0	0,09	1,00	7,0	0,05	1,00	1,52
7,5	0,19	7,5	0,26	7,5	0,09	1,00	7,5	0,04	1,00	1,26
8,0	0,18	8,0	0,00	8,0	0,08	1,00	8,0	0,04	1,00	1,00

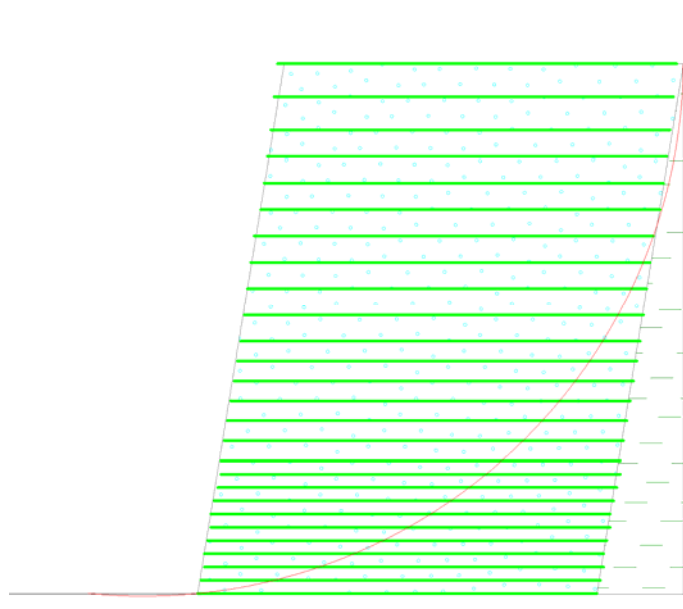
Tablo 4.6 H=10m için Geotekstil Donatı Boyları ve Aralıkları

Donatı Düşey Aralıkları, S _v (m)		Donatı Uzunluklarının Belirlenmesi								min L
		Kayma Kaması İçi boyu, L _R (m)		Efektif Boy, L _E (m)			Bindirme Boyu, L _o (m)			
z (m)	S _v (m)	z (m)	L _R (m)	z (m)	L _E (m)	min L _E (m)	z (m)	L _o (m)	L _o (m)	(m)
1,0	0,80	1,0	4,68	1,0	0,64	1,00	1,0	0,32	1,00	5,68
1,5	0,64	1,5	4,42	1,5	0,43	1,00	1,5	0,21	1,00	5,42
2,0	0,53	2,0	4,16	2,0	0,32	1,00	2,0	0,16	1,00	5,16
2,5	0,46	2,5	3,90	2,5	0,26	1,00	2,5	0,13	1,00	4,90
3,0	0,40	3,0	3,64	3,0	0,21	1,00	3,0	0,11	1,00	4,64
3,5	0,36	3,5	3,38	3,5	0,18	1,00	3,5	0,09	1,00	4,38
4,0	0,32	4,0	3,12	4,0	0,16	1,00	4,0	0,08	1,00	4,12
4,5	0,29	4,5	2,86	4,5	0,14	1,00	4,5	0,07	1,00	3,86
5,0	0,27	5,0	2,60	5,0	0,13	1,00	5,0	0,06	1,00	3,60
5,5	0,25	5,5	2,34	5,5	0,12	1,00	5,5	0,06	1,00	3,34
6,0	0,23	6,0	2,08	6,0	0,11	1,00	6,0	0,05	1,00	3,08
6,5	0,21	6,5	1,82	6,5	0,10	1,00	6,5	0,05	1,00	2,82
7,0	0,20	7,0	1,56	7,0	0,09	1,00	7,0	0,05	1,00	2,56
7,5	0,19	7,5	1,30	7,5	0,09	1,00	7,5	0,04	1,00	2,30
8,0	0,18	8,0	1,04	8,0	0,08	1,00	8,0	0,04	1,00	2,04
8,5	0,17	8,5	0,78	8,5	0,08	1,00	8,5	0,04	1,00	1,78
9,0	0,16	9,0	0,52	9,0	0,07	1,00	9,0	0,04	1,00	1,52
9,5	0,15	9,5	0,26	9,5	0,07	1,00	9,5	0,03	1,00	1,26
10,0	0,15	10,0	0,00	10,0	0,06	1,00	10,0	0,03	1,00	1,00

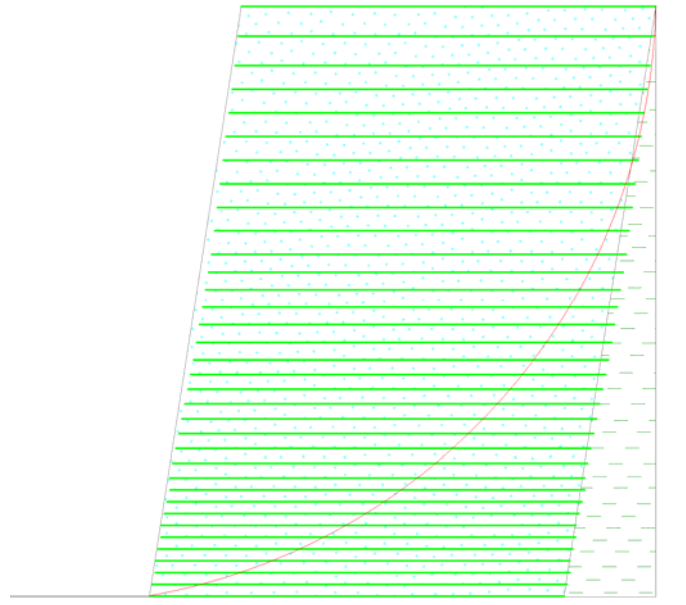
H=6m (Şekil 4.13), H=8m (Şekil 4.14) ve H=10m (Şekil 4.15) olarak tasarlanan geotekstil donatılı zemin istinat duvarlarının kayma tahkikleri Geo5 Slope Stability programı ile yapılmıştır. Depremlı ve depremsız durum için Bishop Yöntemi ile yapılan analiz sonuçları Tablo 4.7’de özetlenmiş, H=6m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı kayma tahkiki raporu EK E’de sunulmuştur. Depremlı analizlerde yatay sismik katsayısı (K_h) 0.2 ve düşey sismik katsayısı (K_v) 0.0 alınmıştır.



Şekil 4.13 : H=6m Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı



Şekil 4.14 : H=8m Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı



Şekil 4.15 : H=10m Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı

Tablo 4.7 Geo5 Slope Stability Programı ile Yapılan Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarı Kayma Tahkiki Sonuçları

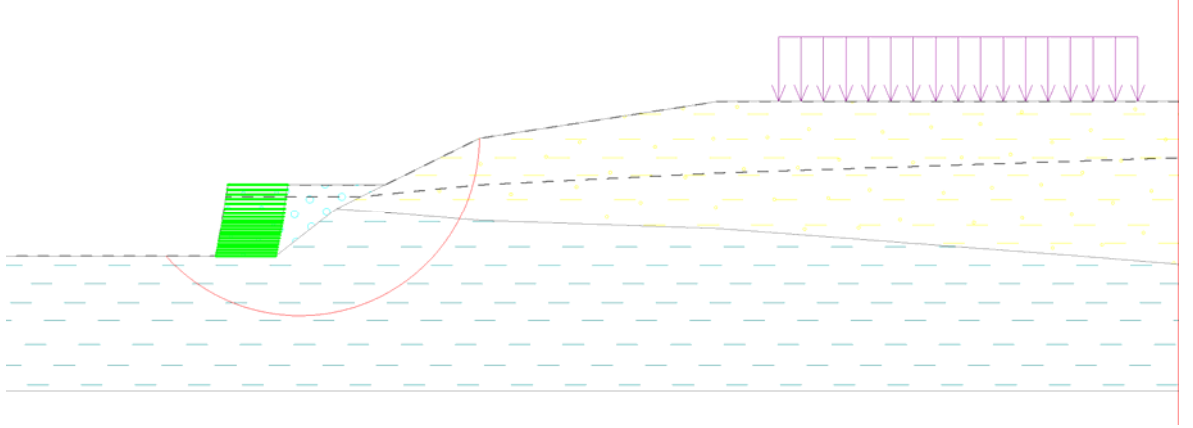
	Depremsiz Durum	Depremlı Durum
H=6m (Donatı Boyu, L=5m)	3,61	3,03
H=8m (Donatı Boyu, L=6m)	3,35	2,85
H=10m (Donatı Boyu, L=7m)	3,09	2,66

Klasik dayanma duvarlarında olduğu gibi hesaplanan devrilme tahkiki sonuçları ise H=6m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için 2.86, H=8m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için 2.74 ve H=10m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için 2.68 olarak bulunmuştur.

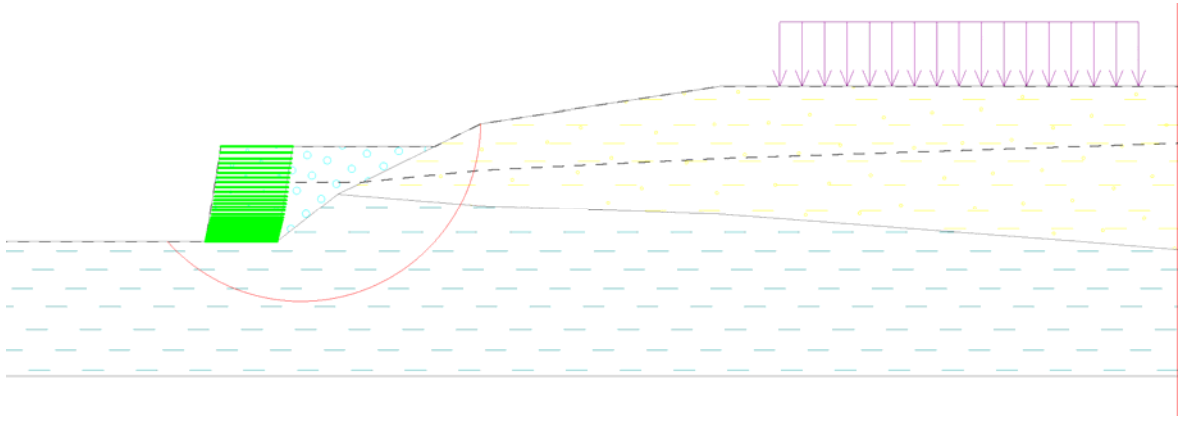
Geotekstil donatılı zemin istinat duvarlarının genel şev stabilitesine etkisi Geo5 Slope Stability programı ile hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde dairesel kayma yüzeyini esas alarak hesap yapan Bishop Yöntemi kullanılmış ve hem depremlı hem depremsiz durum için analiz yapılmıştır. Depremlı analizlerde yatay sismik katsayısı (K_h) 0.2 ve düşey sismik katsayısı (K_v) 0.0 alınmıştır.

Kesit I-I için yapılan analiz sonuçları Tablo 4.8’de, hesap raporları EK F’de sunulmuştur. Bu kesit için yapılan analizlerde H=6m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için donatı boyu 5m, H=8m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için donatı

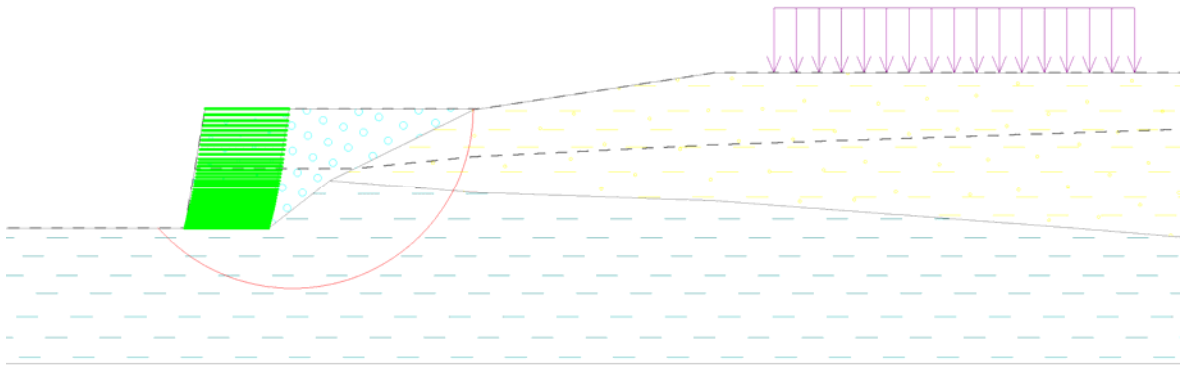
boyu 6m, $H=10\text{m}$ geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için donatı boyu 7m olarak seçilmiştir (Şekil 4.16).



(a) $H=6\text{m}$



(b) $H=8\text{m}$



(c) $H=10\text{m}$

Şekil 4.16 : Kesit I-I ve Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları

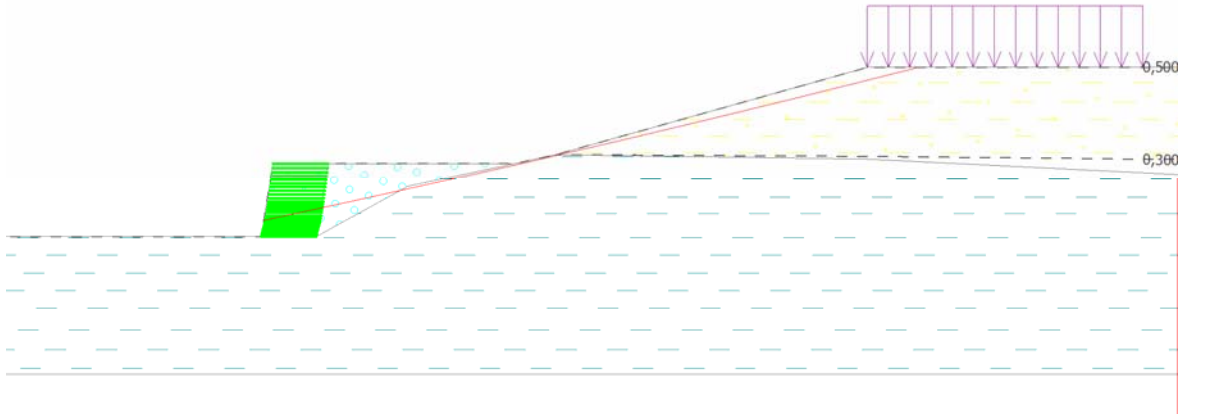
Tablo 4.8 Kesit I-I için Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarlarının Genel Şev Stabilitesine Etkisi

	Depremsiz Durum	Depremlı Durum
H=6m (Donatı Boyu, L=5m)	2,60	1,56
H=8m (Donatı Boyu, L=6m)	3,13	1,83
H=10m (Donatı Boyu, L=7m)	4,56	2,43

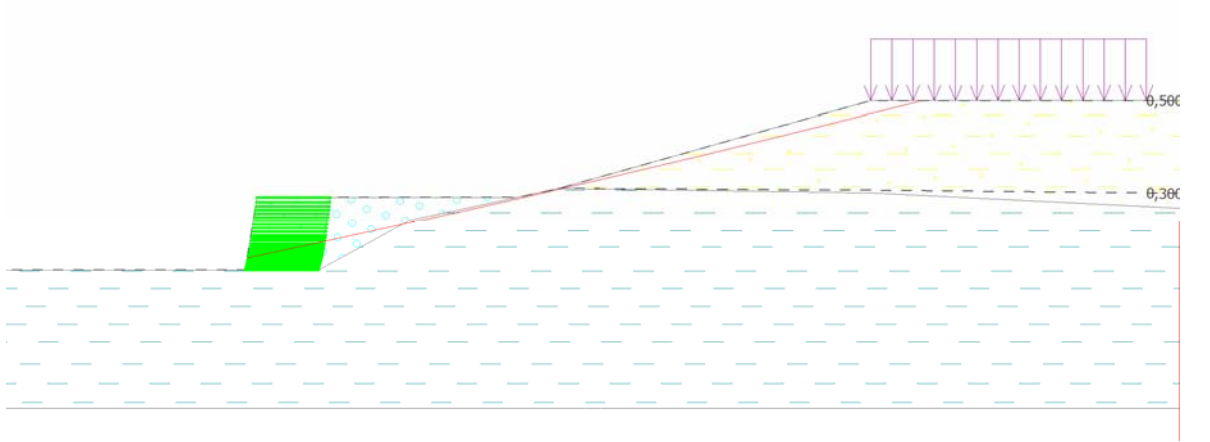
Kesit III-III için yapılan analiz sonuçları Tablo 4.9’de sunulmuştur. Bu kesit için yapılan analizlerde H=6m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için donatı boyunun 5m, H=8m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için donatı boyunun 6m, H=10m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için donatı boyunun 7m seçilmesi halinde depremlı durum analizlerinde güvenlik sayıları düşük değerler vermektedir. Bu sebeple H=8m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için donatı boyları 6m,8m ve 10m, H=10m geotekstil donatılı zemin istinat duvarı için donatı boyları 7m,9m ve 11m olarak seçilip hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).

Tablo 4.9 Kesit III-III için Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarlarının Genel Şev Stabilitesine Etkisi

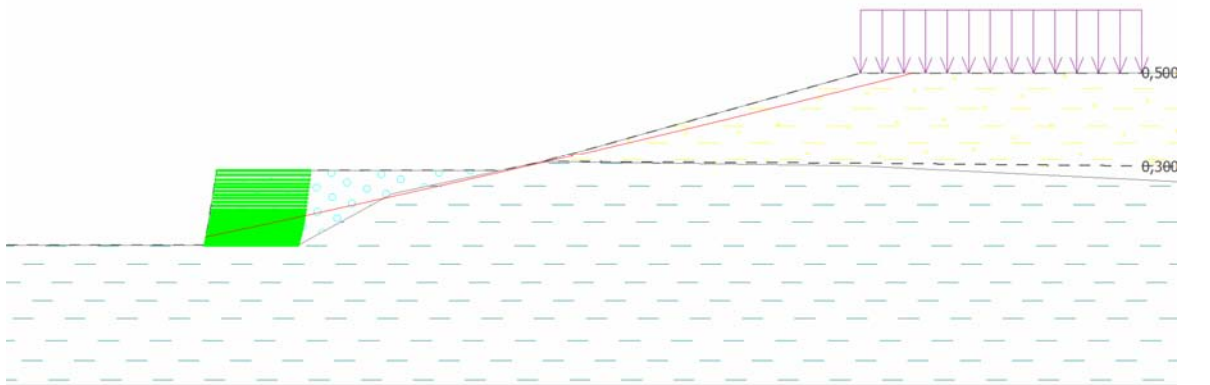
	Depremsiz Durum	Depremlı Durum
H=6m (Donatı Boyu, L=5m)	1,97	1,05
H=8m (Donatı Boyu, L=6m)	1,86	0,96
H=8m (Donatı Boyu, L=8m)	2,12	1,10
H=8m (Donatı Boyu, L=10m)	2,33	1,22
H=10m (Donatı Boyu, L=7m)	2,36	1,22
H=10m (Donatı Boyu, L=9m)	2,53	1,31
H=10m (Donatı Boyu, L=11m)	2,68	1,38



(a) Donatı Boyu, $L=6\text{m}$

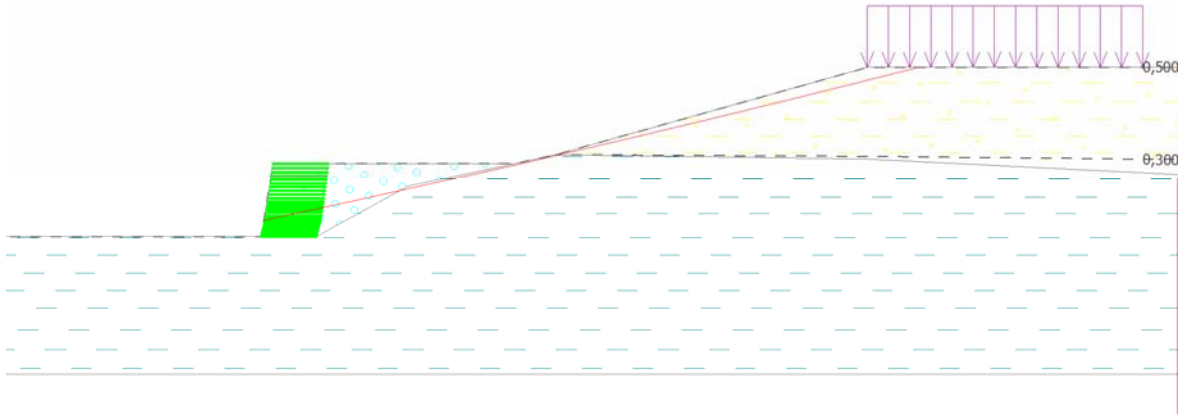


(b) Donatı Boyu, $L=8\text{m}$

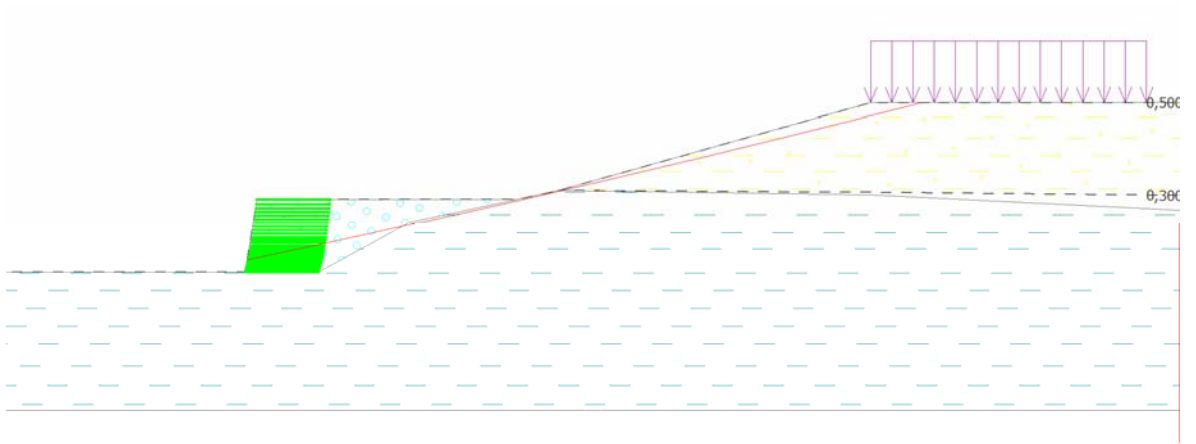


(c) Donatı Boyu, $L=10\text{m}$

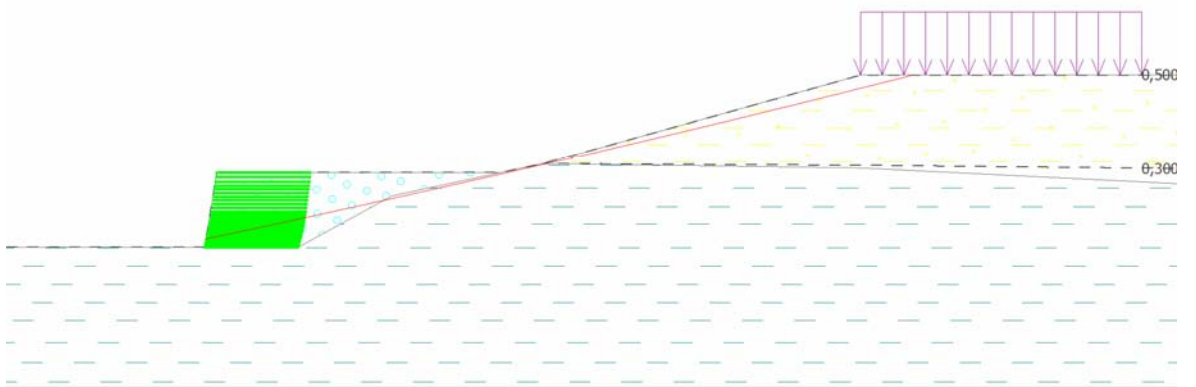
Şekil 4.17 : Kesit III-III ve $H=8\text{m}$ Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları



(a) Donatı Boyu, $L=7\text{m}$



(b) Donatı Boyu, $L=9\text{m}$



(c) Donatı Boyu, $L=11\text{m}$

Şekil 4.18 : Kesit III-III ve $H=10\text{m}$ Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları

5. SONUÇLAR

Yamaç ve şevlerin stabilitesi inşaat mühendisliğinin temel konularından bir tanesidir ve hareketin başlamadan tespit edilmesi, karşı önlemlerin alınması oldukça önemlidir. Yamaç ve şevlerin stabilitesi, arazi ve laboratuvar verileri ile gerçekleştirilen limit denge analizleri, sonlu elemanlar gibi farklı yöntemlerle önceden belirlenebilmektedir. Zemin özellikleri, morfolojik etkenler gibi pek çok faktör yamaç veya şevde meydana gelen hareketlerin hem nedenlerini ortaya koymakta hem de çözüm için belirleyici rol oynamaktadır.

Bu çalışmanın konusu olan inceleme sahası Yalova İli, Sugören Köyü, Yalova–Bursa Karayolunun 13km–14km arasında, söz konusu karayolunun geliş ve gidiş yönleri arasında yer almaktadır. İnceleme sahasında etkin bir stabilite problemi mevcut değildir. Ancak sahanın bulunduğu bölgeden geçen Yalova–Bursa Karayolunun yapımı sırasında ve sonrasında zaman zaman stabilite problemleri yaşandığı bilinmektedir.

Bu sebeple inceleme sahası ve yakın çevresinde arazi çalışması yapılmış, bölgeyle ilgili farklı çalışmalar, sondajlar ve numuneler üzerinde yapılan deneyler incelenerek saha ve çevresinde meydana gelen/gelebilecek olan stabilite problemlerinin nedenleri araştırılmış, ve karşı önlemler tartışılmıştır.

İnceleme alanında Grup Artson Araştırma Sondajları Ltd. Şirketi tarafından yapılan sondajlara göre yüzeyden ilk 10m-14m derinliği kadar ince dolgu tabakası altında ayrılmış marn birimleri, kahve renkli ve kavrık kumlu kil birimleri, yeşil- gri renkli ve fisürlü katı kil birimleri, koyu kahve-siyah renkli organik kil aratabakaları ve killi kum serileri ardışık olarak yer almaktadır. Bu birimlerin altında kalınlığı 8m-10m olan yeşil-gri renkli, kumlu, fisürlü sert kil yer almaktadır. Üstte yer alan marn-kil seviyesi, ince daneli olmakla birlikte yer yer kumlu olup yüksek porozite ve permeabiliteye sahiptir. Altında yer alan killi seviyeler ise tamamen geçirimsiz kabul edilebilir.

Sondaj numuneleri üzerinde İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılan kıvam limitleri ve su muhtevası deneyleri sonucunda numunelerin büyük kısmının yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına girdiği belirlenmiştir. Bazı numuneler yüksek plastisiteli silt, MH ve birkaç numunede de düşük plastisiteli kil-silt (CL-ML) olarak bulunmuştur. Koyu kahve-siyah renkli numuneler üzerinde yapılan organik madde tayini analizleri sonucunda bu birimin % 20 oranında organik madde içerdiği belirlenmiştir.

Sondaj ve deney verilerinden alınan bilgilere dayanarak inceleme sahasında üç farklı kesit üzerinde (EK A) Geo5 Slope Stability programı ile stabilite analizleri yapılmıştır. Analizlerde Bishop (1955) ve Sarma (1973) yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 Geo5 Slope Stability Programı ile Hesaplanan Güvenlik Sayıları

Kesit No / Analiz Yöntemi	Kesit I		Kesit II-II		Kesit III-III	
	toplam	efektif	toplam	efektif	toplam	efektif
Bishop (1955)	2,10	1,19	2,16	2,58	1,57	1,25
Sarma (1973)	2,33	1,24	2,38	3,02	1,83	0,95

Kesit II-II hem toplam, hem de efektif parametrelere bağlı analizlerde yüksek güvenlik sayıları vermiştir. Kesit I-I ve Kesit III-III ise total parametrelere bağlı analizlerde güvenliği sağlarken, efektif parametrelere bağlı analizlerde bu kesitlerde güvenlik sayılarının düşük değerler verdiği hesaplanmıştır.

İnceleme sahasının karayolu şeritleri tarafından kesilen eski bir yamaç geometrisi içinde yer alması, birimlerin çoğunlukla yüksek plastisiteli, fisürlü ve önkonsolide killi olması, yeraltı-yer üstü sularının durumu ve yapılan stabilite analizleri sonuçları düşünülerek sahada meydana gelebilecek stabilite problemlerini önlemek amacıyla uygun bir drenaj ağının oluşturulması ve geotekstil donatılı zemin istinat duvarı yapımı tasarlanmıştır.

Sahanın stabilitesi bakımından 6m–7m derinliğinde geotekstil ile sarılmış granüler malzeme doldurulmuş kılçık şeklindeki drenajlar yapılarak sahanın ve yol şevinin

kuru tutulması amaçlanmıştır. Drenaj hattı sahanın en güney noktasından başlayarak SK7, SK 4, SK 2, SK 1 (EK A) güzergahını izleyen ve sağlı-sollu çıkışları olan balık kılçığı şeklinde teşkil edilmesi tasarlanmıştır.

Zemin, özellikle granüler ise sıkıştırma gerilmeleri altında göreceli olarak kuvvetli olan bir malzemedir. Donatılı zemin, belirli çekme gerilmelerini donatıya taşıtarak daha geniş kuvvet aralıklarına ulaşan kompozit bir yapıya sahip olur. Geotekstiller 1970’li yılların sonundan itibaren donatılı zemin duvarlarının yapımında kullanılmaya başlanmıştır. Geotekstil şiltelerle sarılmış tabakalar halindeki sıkıştırılmış zemin aralarındaki temas noktalarında oluşan sürtünme kuvvetleri etkisiyle çok daha duraylı ve kompozit bir inşaat malzemesi oluşturmaktadır.

İmalatta ve uygulamada gösterdiği tüm avantajlar ve dezavantajlar göz önüne alınarak güvenlik sayıları düşük olan Kesit I-I ve Kesit III-III için farklı yüksekliklerde geotekstil donatılı zemin istinat duvarlarının şev stabilitesine etkisi Geo5 Slope Stability programı ile hesaplanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Tablo 5.2 Geotekstil Donatılı İstinat Duvarlarının Genel Şev Stabilitesine Etkisi

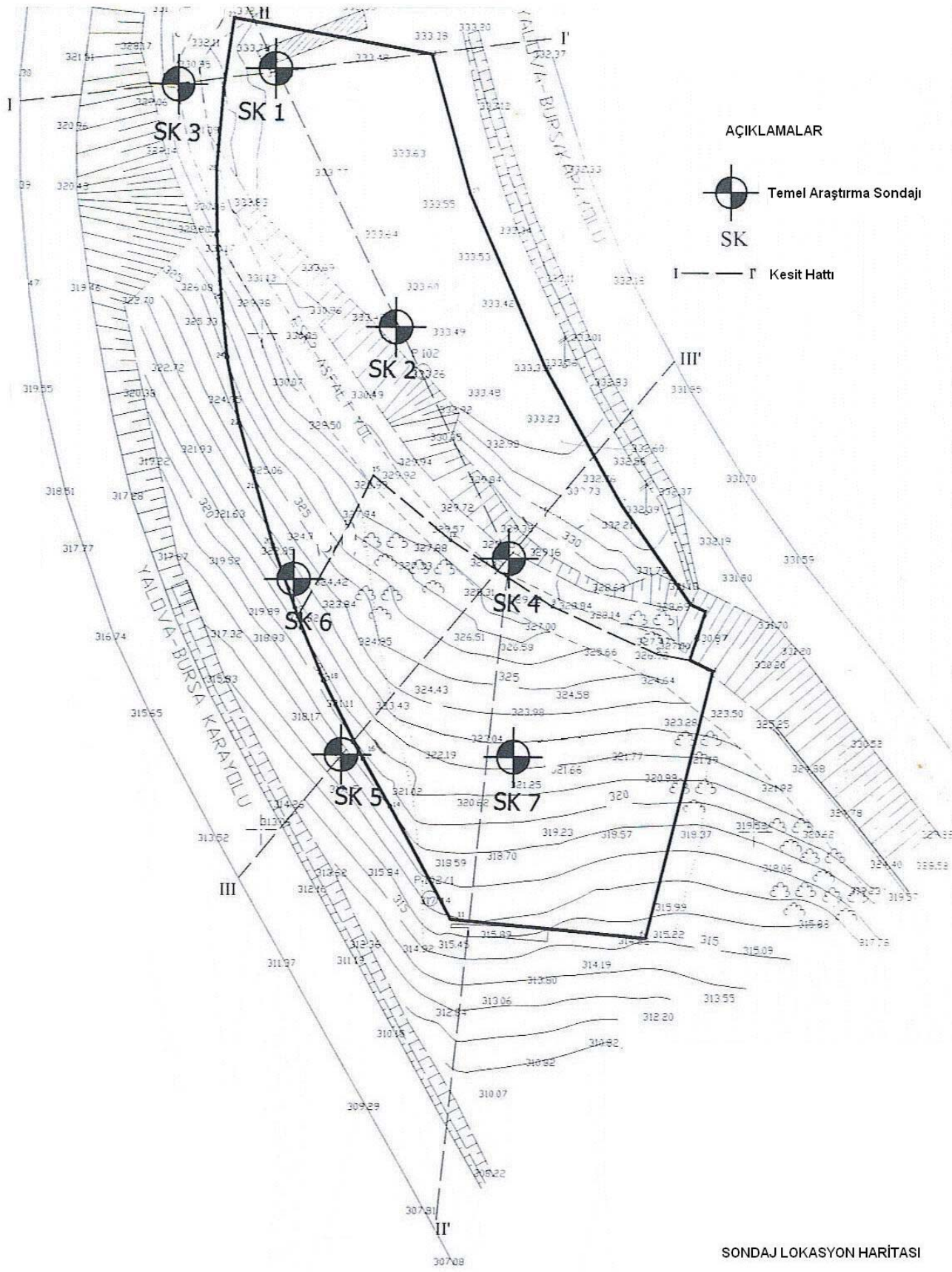
		Depremsiz Durum	Depremlili Durum
Kesit I-I	H=6m (Donatı Boyu, L=5m)	2,60	1,56
	H=8m (Donatı Boyu, L=6m)	3,13	1,83
	H=10m (Donatı Boyu, L=7m)	4,56	2,43
Kesit III-III	H=6m (Donatı Boyu, L=5m)	1,97	1,05
	H=8m (Donatı Boyu, L=6m)	1,86	0,96
	H=8m (Donatı Boyu, L=8m)	2,12	1,10
	H=8m (Donatı Boyu, L=10m)	2,33	1,22
	H=10m (Donatı Boyu, L=7m)	2,36	1,22
	H=10m (Donatı Boyu, L=9m)	2,53	1,31
	H=10m (Donatı Boyu, L=11m)	2,68	1,38

KAYNAKLAR

- Akılık, P. ve Sezer, A.,** 2002. Donatılı Zeminlerin Değişik Mühendislik Uygulamalarında Projelendirme Yöntemleri, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Seri A-Yerbilimleri Cilt 19, 165-180.
- Arioğlu, E. ve Tokgöz, N.,** 2005. Çözümlü Problemlerle Şev Stabilitesi Analizi, Evrim Kitapevi, İstanbul.
- Aygit, R. ve Sağlamer, A.,** 1987. Donatılı Zemin İstinat Duvarları, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği II. Ulusal Kongresi*, İ.T.Ü., İstanbul, s. 275-286.
- Aytekin, M. ve Haliloğlu, S. B.,** 1998. Heyelan Analizinde Kullanılan Yöntemler ve Bazı Bilgisayar Uygulamaları, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği VII. Ulusal Kongresi*, Y.T.Ü., İstanbul, 22-23 Ekim, s. 382-392.
- Bargu, S. ve Sakınç, M.,** 1987. Armutlu Yarımadasında Kretase Paleosen İlişkisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt 30, 41-48.
- Bromhead, E. N.,** 1992. The Stability of Slopes, Blackie Academic & Professional, London.
- Corbert, S. ve King, J.,** 1992. Geotextiles in Filtration and Drainage, Thomas Telford, London.
- Çakır, T., Aytekin, M. ve Demir, G.,** 2006. Donatılı Zemin Uygulamaları, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği XI. Ulusal Kongresi*, K.T.Ü., Trabzon, 7-8 Eylül, s. 828-837.
- Das, B. M.,** 2002. Principles of Geotechnical Engineering, PWS Publishing Company, USA.
- Güler, E.,** 2006. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı (Geoduvar) Bir Şartname Taslağı, *II. Ulusal Geosentetikler Konferansı*, B.Ü., İstanbul, 16-17 Kasım, s. 221-227.
- Ildır, B.,** 1995. Türkiye’de Heyelanların Dağılımı ve Afetler Yasası ile İlgili Uygulamalar, *II. Ulusal Heyelan Sempozyumu*, Adapazarı.
- Ingold, T.S. ve Miller, K.S.,** 1988. Geotextiles Handbook, Thomas Telford House, London.

- İncecik, M.**, 2005. Yalova İli, Sugören Köyü Yalova-Bursa Karayolu 14.km 5 Pafta, 25 ve 2250 Nolu Parseller Hakkında Geoteknik Rapor, , İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Geoteknik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Koerner, R. M.**, 1990. Designing with Geosynthetics, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Konuk, Ç.**, 2005. Şev Stabilitesi Analizi ve Şevlerde Deprem Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, , İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kumbasar, V. ve Kip. F.**, 1999. Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.
- Laman, M., Yıldız, A. Örnek, M., Keskin, M. S. ve Gökpınar, H.**, 2006. Şev Stabilitesinin Laboratuvar Model Deneyleri ve Sayısal Yöntemle İrdelenmesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği XI. Ulusal Kongresi*, K.T.Ü., Trabzon, 7-8 Eylül, s. 770-778.
- Nalçakan, M. S. ve Ergun, U.**, 2000. İki Heyelanın Analiz Önlem ve Gözlemi, , *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği VIII. Ulusal Kongresi*, İ.T.Ü., İstanbul, 26-27 Ekim, s. 234-241.
- Önalp, A.**, 1995. Heyelan Sözlüğü, *II. Ulusal Heyelan Sempozyumu*, Adapazarı.
- Önalp, A. ve Arel, E.**, 2004. Geoteknik Bilgisi II, Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği, Birsan Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.
- Özener, A.**, 2001. Geotekstil Donatılı Şevlerin ve İstinat Yapılarının Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, , Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özhan, G. ve Bayrak, D.**, 1998. İzmit Körfezi Plio-Kuvaterner Çökellerinin Sismik İrdelenmesi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt 41, No 2, 151-164.
- Polat, F.**, 2005. Yalova, Merkez, Sugören Köyü 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel Mevzi İmar Planına Esas Jeolojik-Geoteknik Etüt Raporu, İstanbul.
- Terzi, N. U. ve Selçuk, M. E.**, 2005. YASS'nin Drenaj Hendekleri ile Düşürülmesinin Bir Şev Duraylılığı Örneğinde İncelenmesi, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi*, İ.T.Ü., İstanbul, 17-19 Kasım, s. 467-474.
- Töremiş, E. İ.**, 2003. Geotekstiller ve Plaxis Sonlu Elemanlar Programı, *Yüksek Lisans Tezi*, , İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Walker, B. ve Fell, R.**, 1987. Soil Slope Stability and Stabilisation, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, Netherlands.
- Yılmaz, H.R. ve Aklık, P.**, 2006. Geosentetiklerin Muhtelif Geoteknik Problemlerin Çözümlerinde Kullanım İmkanları Hakkında Bir Araştırma, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği XI. Ulusal Kongresi*, K.T.Ü., Trabzon, 7-8 Eylül, s. 39-48.

EK A



Araştırma Sondajları										Koordinatlar		SONDAJ LOGU			
Mühendislik Ticaret Limited Şirketi										x =		Kuyu No		SK 1	
Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46 , Faks : 390 72 29										y =		Kuyu Yeri			
İŞVEREN		KÜTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)								Sayfa No		1/1			
PROJE		Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel								Delgi Çapı					
SONDAJ YERİ		Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.								Muh. Derinliği.					
														</	

Araştırma Sondajları										Koordinatlar		SONDAJ LOGU							
Mühendislik Ticaret Limited Şirketi										x =	Kuyu No	SK 2							
Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46, Faks : 390 72 29										y =	Kuyu Yeri								
İŞVEREN KÜTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)										Sayfa No		1/2							
PROJE Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel										Delgi Çapı									
SONDAJ YERİ Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.										Muh. Derinliği.									
Derinlik	KAYA			ZEMİN										Litoloji Logu	AÇIKLAMALAR				
	TCR		SCR	RQI		SPT				NUMUNE		Tabaka Sınırları							
	%	Grf	%	Grf	%	Grf	1.15	2.15	3.15	N30	GRAFİK		NO			TÜRÜ			
0.50																			
1.00																			
1.50																			
2.00																			
2.50																			
3.00																			
3.50																			
4.00																			
4.50																			
5.00																			
5.50																			
6.00																			
6.50																			
7.00																			
7.50																			
8.00																			
8.50																			
9.00																			
9.50																			
10.00																			
10.50																			
11.00																			
11.50																			
12.00																			
12.50																			
13.00																			
13.50																			
14.00																			
14.50																			
15.00																			
Sondaj Tipi : Rotari										Ağız Kotu : 333.60		Sondaj Derinliği : 20.00 m		Mühendis : Feyzi POLAT					
Başlama Tarihi : 03.06.2005										YASS Derinliği : 6,15 m		Sondör : Kerim ÖZDEMİR		Kontrol :					
Bitirme Tarihi : 07.06.2005																			

Araştırma Sondajları Mühendislik Ticaret Limited Şirketi Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46, Faks : 390 72 29		Koordinatlar x = y =	Kuyu No Kuyu Yeri Sayfa No Delgi Çapı	SONDAJ LOGU SK 2 2/2
İŞVEREN	KÜTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)			
PROJE	Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel			
SONDAJ YERİ	Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.		Muh. Derinliği:	

Derinlik	TCR		SCR		RQD		SPT				GRAFİK					NUMUNE		TÜRÜ	Tabaka Sınırları	Litoloji	AÇIKLAMALAR
	%	Grf	%	Grf	%	Grf	1.15	2.15	3.15	N30	10 20 30 40 50					NO					
15.50							25	35	47	>50						10	D			Yeşilimsi - gri renkli, fissürlü, karbonat kokresyonlu sert KİL.	
16.00																					
16.50																					
17.00							30	42	49	>50						11	D				
17.50																		18.00			
18.00																					Yeşil - gri renkli, karbonat kokresyonlu, sert KİL.
18.50							34	44	46	>50						12	D				
19.00																					
19.50																		19.50			
20.00							30	48	49	>50						13	D	20.00		Bej renkli, killi kum dağılımında Tebeşirli marn	
20.50																				Kuyu Sonu	
21.00																					
21.50																					
22.00																					
22.50																					
23.00																					
23.50																					
24.00																					
24.50																					
25.00																					
25.5																					
26.00																					
26.50																					
27.00																					
27.50																					
28.00																					
28.50																					
29.00																					
29.50																					
30.00																					
Sondaj Tipi : Rotari							Ağız Kotu : 333.60					Sondaj Derinliği : 20.00 m					Mühendis : Feyzi POLAT				
Başlama Tarihi : 03.06.2005							YASS Derinliği : 6,15 m					Sondör :Kerim ÖZDEMİR					Kontrol :				
Bitirme Tarihi : 07.06.2005																					

Araştırma Sondajları
Mühendislik Ticaret Limited Şirketi
 Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46 . Faks : 390 72 29

Koordinatlar
 x =
 y =

SONDAJ LOGU
SK 3

İŞVEREN	KUTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)	Sayfa No	
PROJE	Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel	Delgi Çapı	
SONDAJ YERİ	Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.	Muh. Derinliği.	

Derinlik	KAYA						ZEMİN										Litoloji	AÇIKLAMALAR						
	TCR		SCR		RQI		SPT				GRAFİK								NUMUNE	Tabaka Sınırları				
	%	Grf	%	Grf	%	Grf	1.15	2.15	3.15	N30	10 20 30 40 50					NO					TÜRÜ			
0.50																								
1.00																								
1.50																								
2.00											9	8	8	16						1	D		Bej renkli, kavrık, yer yer zayıf çimentolu, tebeşirli Marn Düşük plastisiteli Çok katı Kumlu Siltli KİL	
2.50																								
3.00																								
3.50											3	8	6	14						2	D			
4.00																								
4.50																								
5.00											Shellby Num.								1	UD	4.75			
5.50											9	27	45	>50						3	D	6.00		Koyu kahve renkli, bol fosilli, organik ihtiva eden, sert KİL.
6.00																								
6.50											24	29	33	>50						4	D			Grimsi - yeşil renkli, kavrık, yer yer yaygın karbonat konkresyonlu, fis sürü ve kayma izli, sert KİL.
7.00																								
7.50																								
8.00											15	25	40	>50						5	D			
8.50																								
9.00																								
9.50											14	23	30	>50						6	D			
10.00																								
10.50																								
11.00											20	38	50/17	>50						7	D	11.50		
11.50																								
12.00																								
12.50											18	18	26	44						8	D	13.00		Yeşilimsi - bej renkli, Tebeşirli Marn
13.00																								
13.50																								
14.00											10	16	25	41						9	D	14.00		Koyu renkli, organik madde ihtiva eden, fissürlü, sert KİL.
14.50																								
15.00											9	18	25	43						10	D	15.50		Yeşilimsi renkli, yer yer karbonat konkresyonlu, fissürlü, sert KİL.

Sondaj Tipi : Rotari	Ağız Kotu :	Sondaj Derinliği : 15.50 m	Mühendis : Feyzi POLAT
Başlama Tarihi : 04.06.2005	YASS Derinliği : 4,15 m	Sondör : Kerim ÖZDEMİR	Kontrol :
Bitirme Tarihi : 04.06.2005			

YATIRILAN
Araştırma Sondajları
Mühendislik Ticaret Limited Şirketi
Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46, Faks : 390 72 29

Koordinatlar
x =
y =

SONDAJ LOGU
Kuyu No
Kuyu Yeri
Sayfa No
Delgi Çapı
Muh. Derinliği.

İŞVEREN : **KÜTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)**
PROJE : **Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel**
SONDAJ YERİ : **Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.**

SK 4
1/2

Derinlik	KAYA						ZEMİN										Tabaka Sınırları	Litoloji Logu	AÇIKLAMALAR						
	TCR		SCR		RQI		SPT				GRAFİK									NUMUNE					
	%	Grf	%	Grf	%	Grf	1.15	2.15	3.15	N30	10	20	30	40	50	NO				TÜRÜ					
0.50																									
1.00																			1.20						DOLGU
1.50																									
2.00											4	5	6	11									1	D	
2.50																									
3.00																									
3.50											7	11	18	29					2.75				2	D	Kahve - bej renkli, korbonatlı, organik madde ihtiva eden sert Siltli KİL.
4.00																			3.50						Koyu renkli, çok katı Kömürlü KİL.
4.50																									
5.00											4	16	22	38									3	D	Koyu kahve - bej renkli, kavrılı, korbonatlı, sert Siltli KİL.
5.50																			5.50						
6.00																									
6.50											13	13	16	29									4	D	Bej renkli, yaygın kavrılı, Killi Marn (Tebeşirsi)
7.00																			7.00						Cok katı Kumlu Siltli KİL
7.50																							1	UD	
8.00											28	37	50/13	>50					8.00				5	D	Kahve - bej renkli, sert KİL
8.50																									
9.00																									
9.50											15	32	40	>50									6	D	
10.00																									
10.50																									
11.00											9	14	22	36									7	D	
11.50																									
12.00																									
12.50											16	22	30	>50									8	D	
13.00																									
13.50																									
14.00											20	32	40	>50									9	D	
14.50																			14.50						
15.00																									

Sondaj Tipi : **Rotari**
Başlama Tarihi : 04.06.2005
Bitirme Tarihi : 05.06.2005

Ağız Kotu : **329.30**
YASS Derinliği : **2.20 m**

Sondaj Derinliği : **22.00 m**
Sondör : **Kerim ÖZDEMİR**

Mühendis : **Feyzi POLAT**
Kontrol :

Araştırma Sondajları Mühendislik Ticaret Limited Şirketi Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46 , Faks : 390 72 29		Koordinatlar x = Kuyu No y = Kuyu Yeri		SONDAJ LOGU SK 4
İŞVEREN	KÜTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)	Sayfa No	2/2	
PROJE	Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel	Delgi Çapı		
SONDAJ YERİ	Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.	Muh. Derinliği.		

Derinlik	TCR		SCR		RQD		SPT				GRAFİK					NUMUNE		Tabaka Sınırları	Litoloji	AÇIKLAMALAR	
	%	Grf	%	Grf	%	Grf	1.15	2.15	3.15	N30	10	20	30	40	50	NO	TÜRÜ				
15.50							50/12			>50							10	D	15.75		Yeşil renkli, beyaz benekli, bol karbonat konkresyonlu, fissürlü, sert KİL.
16.00																					
16.50																					
17.00							35	36	33	>50							11	D	17.00		Bej renkli, Killi Marn. İnce kumlu sert KİL.
17.50																					
18.00							8	14	16	30							12	D			Koyu yeşil renkli, ve fissürlü, çok katı - sert KİL.
18.50																					
19.00																					
19.50							21	33	40	>50							13	D			
20.00																					
20.50																					
21.00																			21.00		
21.50							50/5			>50							14	D	22.00		Yeşil renkli, karbonat konkresyonlu sert KİL.
22.00																					
22.50																					
23.00																					
23.50																					
24.00																					
24.50																					
25.00																					
25.5																					
26.00																					
26.50																					
27.00																					
27.50																					
28.00																					
28.50																					
29.00																					
29.50																					
30.00																					
Sondaj Tipi : Rotari							Ağız Kotu : 329.30					Sondaj Derinliği : 22.00 m					Mühendis : Feyzi POLAT				
Başlama Tarihi : 04.06.2005							YASS Derinliği : 2.20 m					Sondör : Kerim ÖZDEMİR					Kontrol :				
Bitirme Tarihi : 05.06.2005																					

Araştırma Sondajları				Koordinatlar		SONDAJ LOGU														
Mühendislik Ticaret Limited Şirketi				x =	Kuyu No	SK 5														
Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46 , Faks : 390 72 29				y =	Kuyu Yeri															
İŞVEREN		KÜTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)				Sayfa No														
PROJE		Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel				Delgi Çapı														
SONDAJ YERİ		Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.				Muh. Derinliği.														
Derinlik	KAYA			ZEMİN								NUMUNE	Litoloji	AÇIKLAMALAR						
	TCR	SCR	RQI	SPT				GRAFİK							Tabaka Sınırları					
	%	Grf	%	Grf	%	Grf	1.15	2.15	3.15	N30	10					20	30	40	50	NO
0.50																			0.25	Bitkisel Toprak
1.00																				Sarımsı - gri renkli, demiroksit sıvalı yaygın fissürlü, katı KİL.
1.50																				
2.00								4	5	6	11							1	D	
2.50								Shellby Num.										1	UD	2.30
3.00																				Bej renkli, tamamen ayrıışmış Tebeşirli Marn
3.50																				
4.00								19	11	8	19							2	D	4.00
4.50																				Orta sıkı Killi KUM
5.00																				
5.50								Shellby Num.										2	UD	
6.00								7	11	18	29							3	D	5.50
6.50																				Açık kahve - bej renkli, kavkılı, fis sürlü, çok katı KİL.
7.00																				
7.50																				Yeşilimsi renkli, fissürlü çok katı - sert KİL.
8.00								12	20	26	46							4	D	
8.50																				Yeşilimsi renkli, fissürlü çok katı - sert KİL.
9.00																				
9.50																				Yeşilimsi - gri renkli, fissürlü
10.00																				
10.50																				Sert KİL
11.00								8	12	15	27							5	D	
11.50																				Yeşilimsi - gri renkli, fissürlü
12.00																				
12.50																				Sert KİL
13.00																				
13.50																				Yeşilimsi - gri renkli, fissürlü, kar bonat kokresyonlu, sert KİL.
14.00																				
14.50																				Yeşilimsi - gri renkli, fissürlü, kar bonat kokresyonlu, sert KİL.
15.00																				
Sondaj Tipi : Rotari				Ağız Kotu : 317.00				Sondaj Derinliği : 15.50 m				Mühendis : Feyzi POLAT								
Başlama Tarihi : 05.06.2005				YASS Derinliği : Su Yok				Sondör : Kerim ÖZDEMİR				Kontrol :								
Bitirme Tarihi : 05.06.2005																				

Araştırma Sondajları				Koordinatlar		SONDAJ LOGU	
Mühendislik Ticaret Limited Şirketi				x =	Kuyu No	SK 6	
Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46, Faks : 390 72 29				y =	Kuyu Yeri		
İŞVEREN		KÜTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)			Sayfa No		1/2
PROJE		Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel			Delgi Çapı		
SONDAJ YERİ		Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.			Muh. Derinliği.		

Derinlik	KAYA			ZEMİN										Tabaka Sınırları	Litoloji Logu	AÇIKLAMALAR	
	TCR		SCR	RQI		SPT				NUMUNE		Tabaka Sınırları					
	%	Grf	%	Grf	%	Grf	1.15	2.15	3.15	N30	GRAFİK		NO				TÜRÜ
0.50																0.25	Bitkisel Toprak
1.00																	
1.50																	
2.00																	
2.50																	
3.00																	
3.50																	
4.00																	
4.50																4.50	
5.00																	
5.50																5.50	Gri - yeşil renkli, yaygın ve tıpık kayma izli sert KİL.
6.00																	
6.50																7.00	Bej - gri renkli, dağılgan, kumlu kar bonatlı sert KİL.
7.00																	
7.50																	
8.00																8.25	Koyu renkli, organik madde katkılı çok katı KİL.
8.50																	
9.00																	
9.50																	
10.00																10.00	Yeşil - gri - koyu yeşil renkli, yaygın fissürlü, Çok Katı KİL.
10.50																	
11.00																	
11.50																	
12.00																	
12.50																	
13.00																	
13.50																	
14.00																	
14.50																	
15.00																	
Sondaj Tipi : Rotari				Ağız Kotu : 320.00				Sondaj Derinliği : 17.00 m				Mühendis : Feyzi POLAT					
Başlama Tarihi : 06.06.2005				YASS Derinliği : 6,00 m				Sondör :Kerim ÖZDEMİR				Kontrol :					
Bitirme Tarihi : 06.06.2005																	

GEOTEKNİK	Araştırma Sondajları	Koordinatlar	SONDAJ LOGU
Mühendislik Ticaret Limited Şirketi		x =	Kuyu No SK 6
Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46, Faks : 390 72 29		y =	Kuyu Yeri
İŞVEREN	KÜTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)	Sayfa No	2/2
PROJE	Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel	Delgi Çapı	
SONDAJ YERİ	Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.	Muh. Derinliği.	

Derinlik	TCR		SCR		RQD		SPT				GRAFİK		NUMUNE		Tabaka Sınırları	Litoloji	AÇIKLAMALAR				
	%	Grf	%	Grf	%	Grf	1.15	2.15	3.15	N30	10	20	30	40				50	NO	TÜRÜ	
15.50							25	42	50/7	>50							10	D	15.75		
16.00																					
16.50																					
17.00							50/13			>50							11	D	17.00		Grimsi yeşil renkli, yaygın karbonat konkresyonlu, sert KİL.
17.50																					
18.00																					
18.50																					
19.00																					
19.50																					
20.00																					
20.50																					
21.00																					
21.50																					
22.00																					
22.50																					
23.00																					
23.50																					
24.00																					
24.50																					
25.00																					
25.5																					
26.00																					
26.50																					
27.00																					
27.50																					
28.00																					
28.50																					
29.00																					
29.50																					
30.00																					
Sondaj Tipi : Rotari							Ağız Kotu : 320.00							Sondaj Derinliği : 17.00 m				Mühendis : Feyzi POLAT			
Başlama Tarihi : 06.06.2005							KESİTİ : 500 m							Sondaj Kiriş : 070510				Kontrol :			
Bitirme Tarihi : 06.06.2005																					

Araştırma Sondajları		Koordinatlar		SONDAJ LOGU															
Mühendislik Ticaret Limited Şirketi		x =	Kuyu No	SK 7															
Tel : +(216) 375 80 53-390 71 46 , Faks : 390 72 29		y =	Kuyu Yeri																
İŞVEREN	KÜTAHYA PORSELEN (Gülden GÜRAL)	Sayfa No																	
PROJE	Yalova, Sugören Köyü, 5 Pafta, 25 ve 2250 Parsel	Delgi Çapı																	
SONDAJ YERİ	Yalova - Bursa Karayolu 14. Km.	Muh. Derinliği.																	
Derinlik	KAYA			ZEMİN										Litoloji Logu	AÇIKLAMALAR				
	TCR		SCR	RQL		SPT				GRAFİK		NUMUNE							
	%	Grf	%	Grf	%	Grf	1.15	2.15	3.15	N30	10	20	30			40	50	NO	TÜRÜ
0.50																		0.40	Bitkisel Toprak
1.00																			Sarımsı - bej renkli, karbonatlı Kumlu KİL (Marn)
1.50																			
2.00																		2.50	Yeşilimsi - sarı renkli, fışsürlü, çok katı - sert KİL.
2.50																			
3.00																			
3.50																			
4.00																			
4.50																			Grimsi - yeşil renkli, fışsürlü, sert KİL.
5.00																			
5.50																			
6.00																			Sarımsı - bej renkli, karbonatlı Killi KUM (Marn)
6.50																			
7.00																			
7.50																			
8.00																			
8.50																			
9.00																			
9.50																			
10.00																			
10.50																			Kuyu Sonu
11.00																			
11.50																			
12.00																			
12.50																			
13.00																			
13.50																			
14.00																			
14.50																			
15.00																			
Sondaj Tipi : Rotari		Ağız Kotu :		Sondaj Derinliği : 10.00 m		Mühendis : Feyzi POLAT													
Başlama Tarihi : 18.06.2005		YASS Derinliği : 2,50 m		Sondör : Kerim ÖZDEMİR		Kontrol :													
Bitirme Tarihi : 18.06.2005																			

EK B

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT FAKÜLTESİ**

**HAMDİ PEYNİRCİOĞLU
ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUVARI**

Telefon : 285 65 81

Ayazağa-İstanbul, 34469

Tarih: 22/06/2005
Rapor No:26-05/2107

Numuneyi Gönderen : Grup Artson Ltd.Şti.
Numune Türü : Tüp, kavanoz
Numuneyi Alan : Grup Artson Ltd. Şti.
Numunenin Geldiği Tarih : 08/06/2005

DENEY SONUÇLARI :

Tablo 1: Kıvam Limitleri

Sondaj- Numune No	Derinlik (m)	w _n (%)	w _L (%)	w _p (%)	I _p (%)	Organik madde içeriği
SK1-SPT1	3.00-3.45	31	55	34	21	
SK1-SPT3	4.50-4.95	40	52	25	27	
SK1-SPT6	9.00-9.45	20	34	17	17	
SK1-SPT9	13.50-13.90	14	39	14	25	
SK2-SPT4	6.00-6.45	29	51	31	20	Organik (%18.70)
SK2-SPT5	7.50-7.95	43	47	27	20	
SK2-SPT6	9.00-9.45	37	43	27	16	
SK2-Karot	9.50-10.00	16	45	21	24	Organik
SK2-SPT8	12.00-12.45	17	51	19	32	
SK2-SPT9	13.00-13.95	16	42	18	24	
SK3-UD1	4.50-5.00	50	76	41	35	
SK3-SPT5	7.50-7.95	17	51	19	32	
SK3-SPT10	15.00-15.45	21	69	25	44	
SK4-SPT2	3.00-3.45	39	56	32	24	Organik
SK4-UD1	7.00-7.30	15	40	17	23	
SK4-SPT7	10.50-10.95	19	56	21	35	
SK4-SPT13	19.50-19.95	21	67	23	44	
SK5-SPT1	1.50-1.95	18	60	22	38	
SK5-UD2	4.50-5.00	27	65	23	42	
SK5-SPT4	6.00-6.45	19	59	21	38	
SK5-SPT6	9.00-9.45	21	64	24	40	
SK5-SPT8	12.00-12.28	12	47	17	30	
SK6-UD1	1.50-2.00	22	63	21	42	
SK6-UD2	4.00-4.50	17	46	16	30	

w_n: Doğal su muhtevası

w_L: Likit Limit

w_p: Plastik Limit

I_p:Plastisite İndisi

Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT FAKÜLTESİ

HAMDİ PEYNİRCİOĞLU
ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUVARI

Telefon : 285 65 81

Ayazağa-İstanbul, 34469

Tarih: 22/06/2005
Rapor No:26-05/2107

Numuneyi Gönderen : Grup Artson Ltd.Şti.
Numune Türü : Tüp, kavanoz
Numuneyi Alan : Grup Artson Ltd. Şti.
Numunenin Geldiği Tarih : 08/06/2005

DENEY SONUÇLARI :

Tablo 1: Kıvam Limitleri (Devamı)

Sondaj- Numune No	Derinlik (m)	w _n (%)	w _L (%)	w _p (%)	I _p (%)	Organik madde içeriği
SK6-SPT3	4.50-4.95	19	53	20	33	
SK6-SPT4	6.00-6.45	16	32	14	18	
SK6-SPT5	7.50-7.95	25	70	26	44	Organik
SK6-UD3	8.50-8.90	20	63	20	43	
SK6-SPT8	12.00-12.45	18	68	23	45	
SK6-SPT10	15.00-15.37	21	55	18	37	
SK7-UD1	4.50-4.90	23	66	24	42	

w_n: Doğal su muhtevası w_L: Likit Limit w_p: Plastik Limit I_p:Plastisite İndisi

Tablo 2: Elek Analizine Göre Dane Çapı Dağılımı

Sondaj No	Derinlik (m)	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt + Kil (%)
SK1-SPT1	1.50-1.95	-	11	89
SK2-SPT5	7.50-7.95	-	65	35
SK3-SPT8	12.00-12.45	2	58	40
SK5-SPT2	3.00-3.45	7	58	35
SK6-SPT4	6.00-6.45	0	42	58
SK7-SPT6	9.00-9.25	1	39	60

Tablo 3: Serbest Basınç Deneyi

Sondaj- Numune No	Derinlik (m)	γ_n (kN/m ³)	w _n (%)	q _u (kPa)
SK6-UD1	1.50-2.00	21.2	21	154
SK7-UD1	4.50-4.95	20.0	23	213

γ_n : Tabii birim hacim ağırlığı w_n : Deney sonu tabii su muhtevası q_u : Serbest basınç mukavemeti

Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT FAKÜLTESİ

HAMDİ PEYNİRCİOĞLU
ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUVARI

Telefon : 285 65 81

Ayazağa-İstanbul, 34469

Tarih: 22/06/2005
Rapor No:26-05/2107

Numuneyi Gönderen : Grup Artson Ltd.Şti.
Numune Türü : Tüp, kavanoz
Numuneyi Alan : Grup Artson Ltd. Şti.
Numunenin Geldiği Tarih : 08/06/2005

DENEY SONUÇLARI :

Tablo 4: Residüel Kesme Kutusu Deneyi

Sondaj- Numune No	Derinlik (m)	ϕ' (°)	c' (kPa)	ϕ_r' (°)	c_r' (kPa)
SK6-UD2	4.00-4.50	18	42	16	0
SK6-UD3	8.50-8.90	8,8	91	11,5	0

Tablo 5: Kesme Kutusu Deney Sonuçları

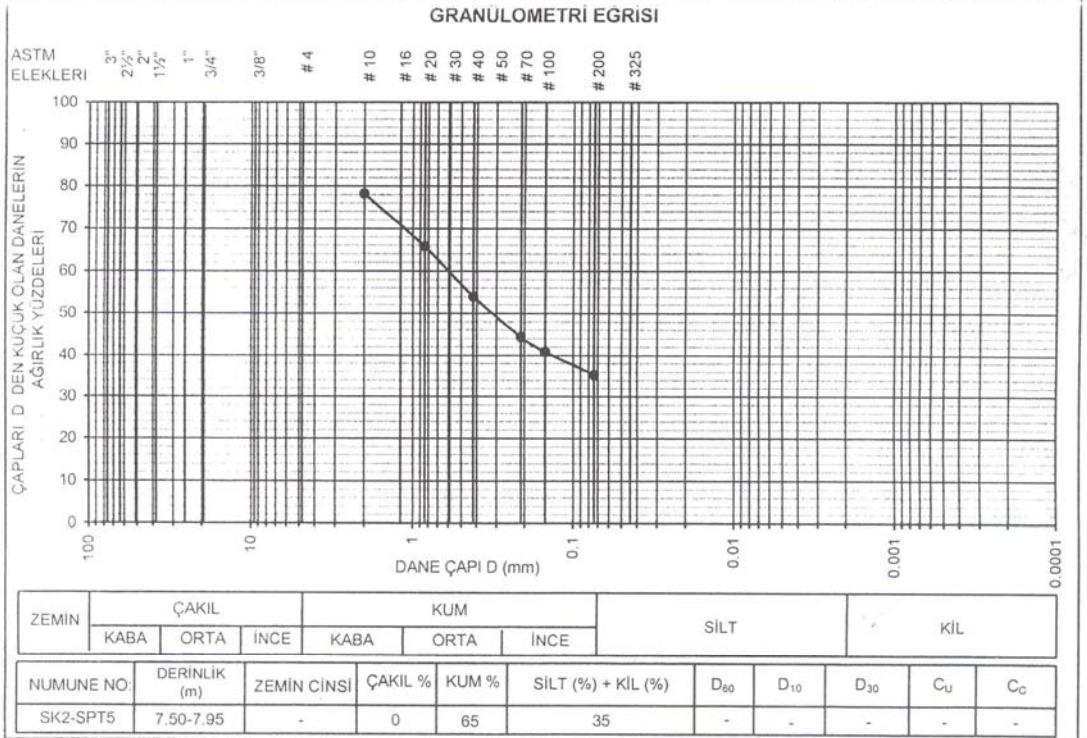
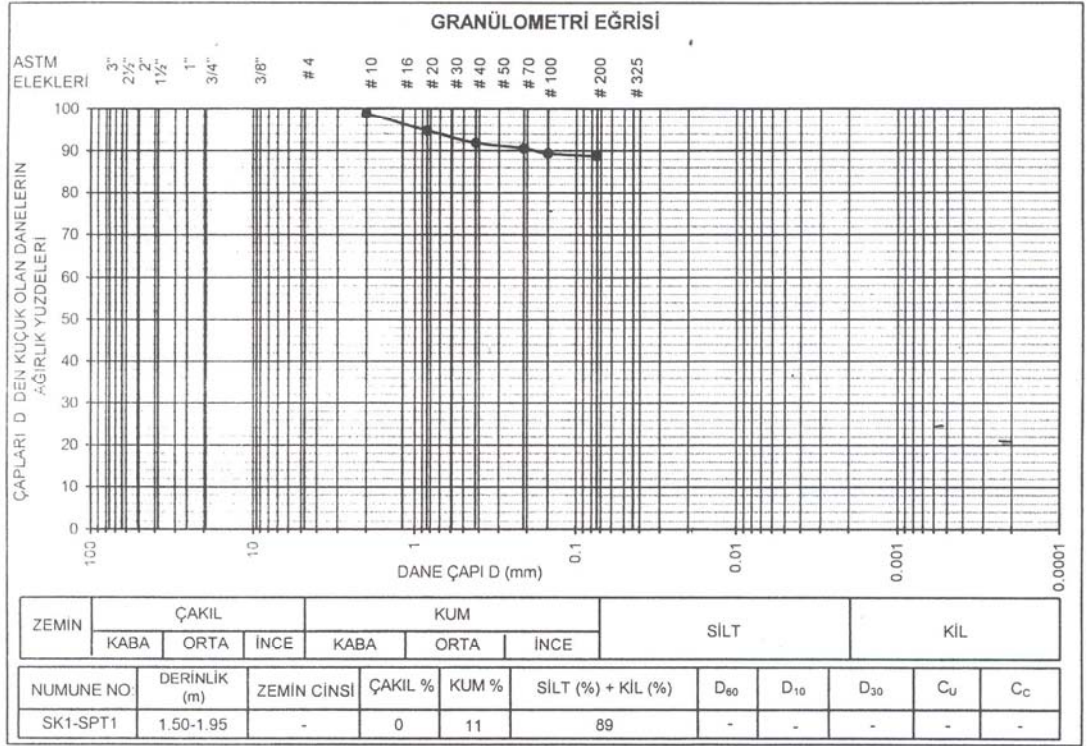
Numune No	Derinlik (m)	c (kPa)	ϕ (°)
SK5-UD2	4.50-5.00	35	12

c: kohezyon ϕ : içsel sürtünme açısı

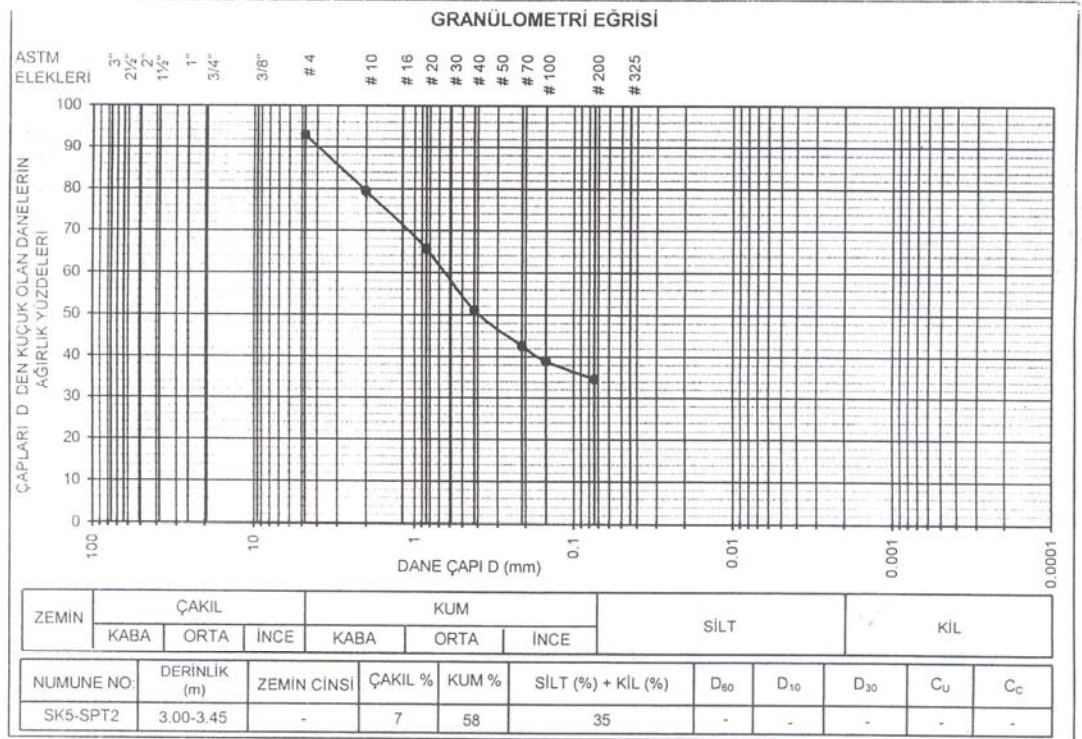
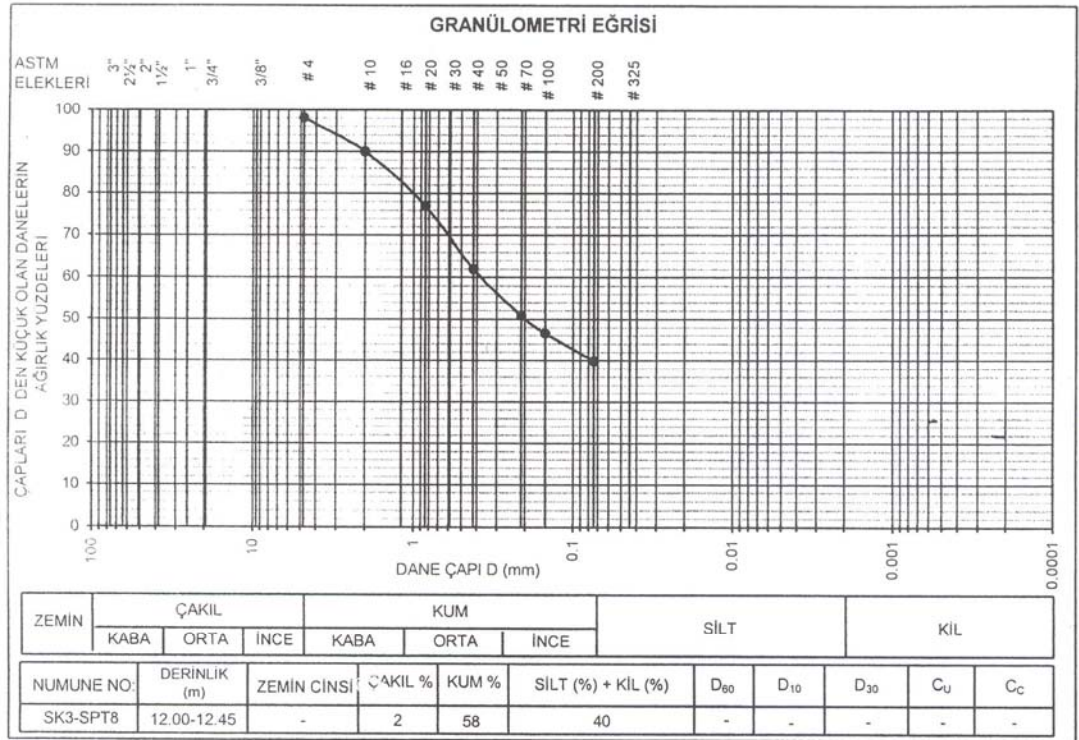
Araş. Gör. Gökhan ÇEVİKBİLEN
Deney Yürütücüsü

Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER
Anabilim Dalı Başkanı

Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.

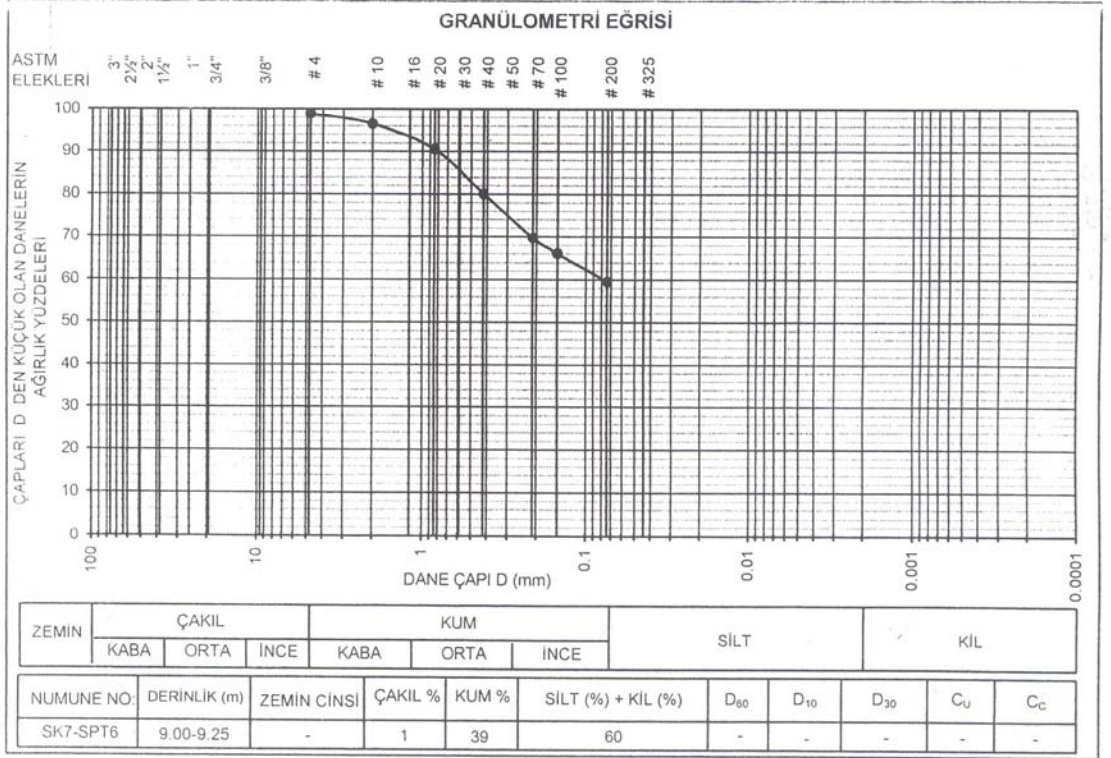
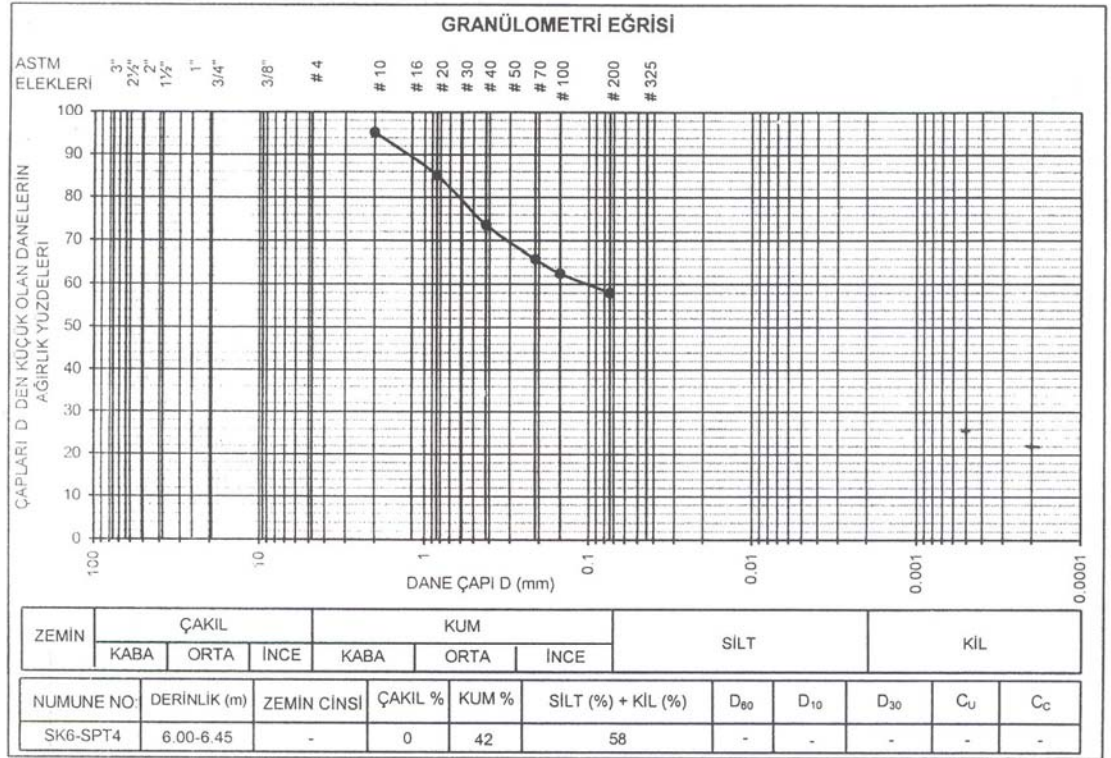


Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.

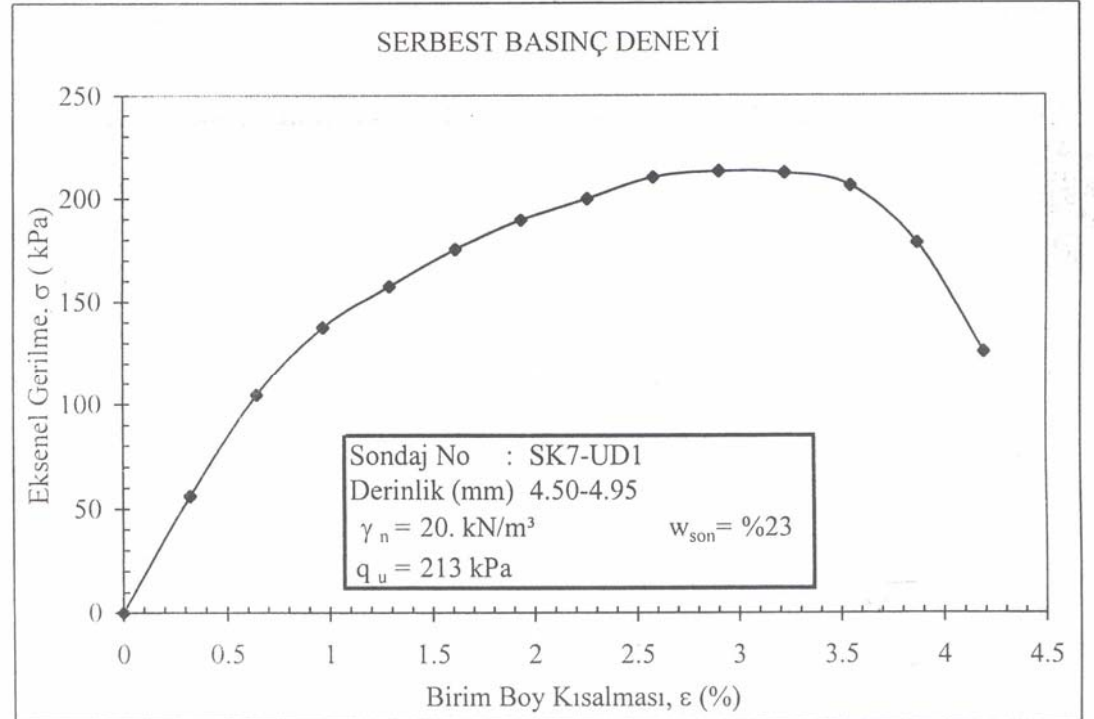
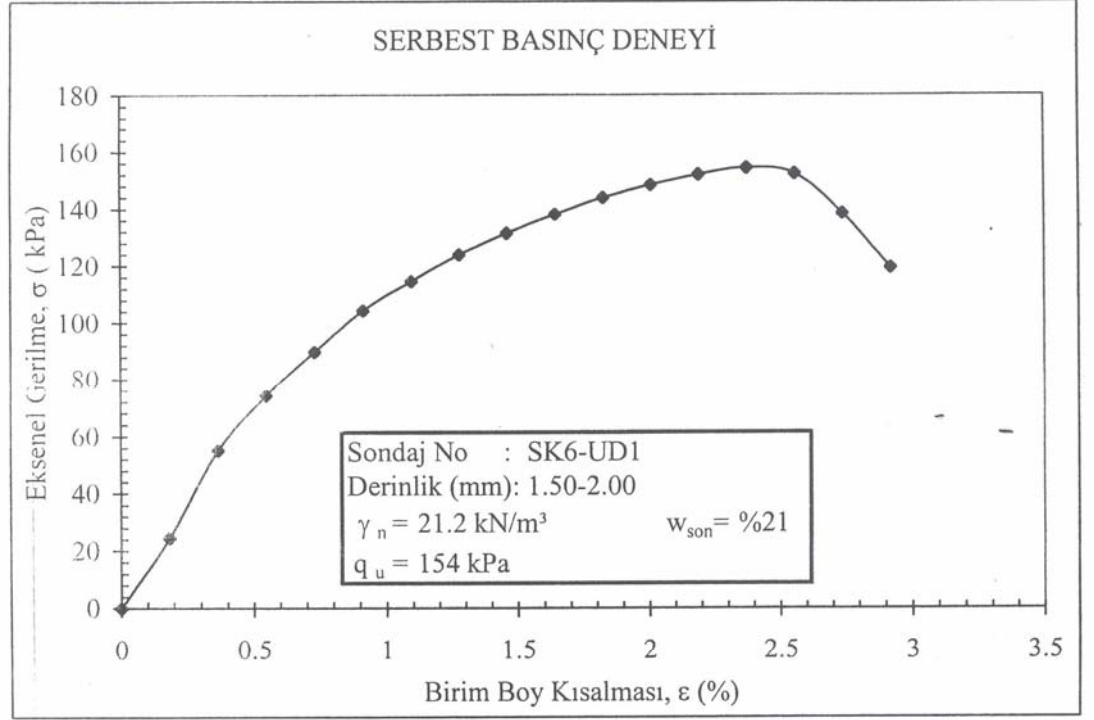


Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.

İTÜ İNŞAAT FAKÜLTESİ HAMDİ PEYNİRCİOĞLU ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUVARI



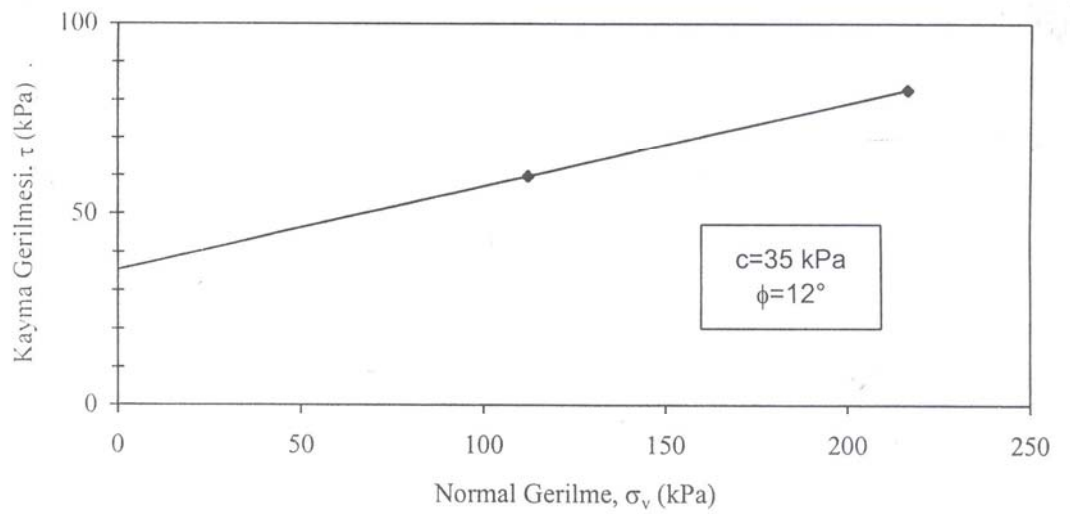
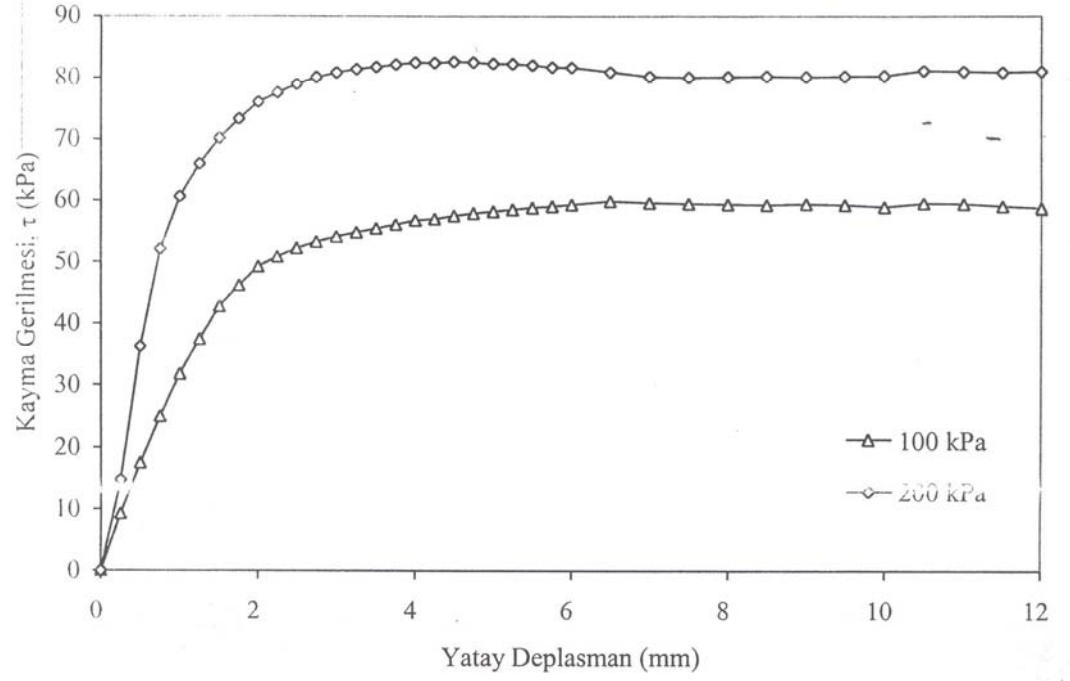
Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.



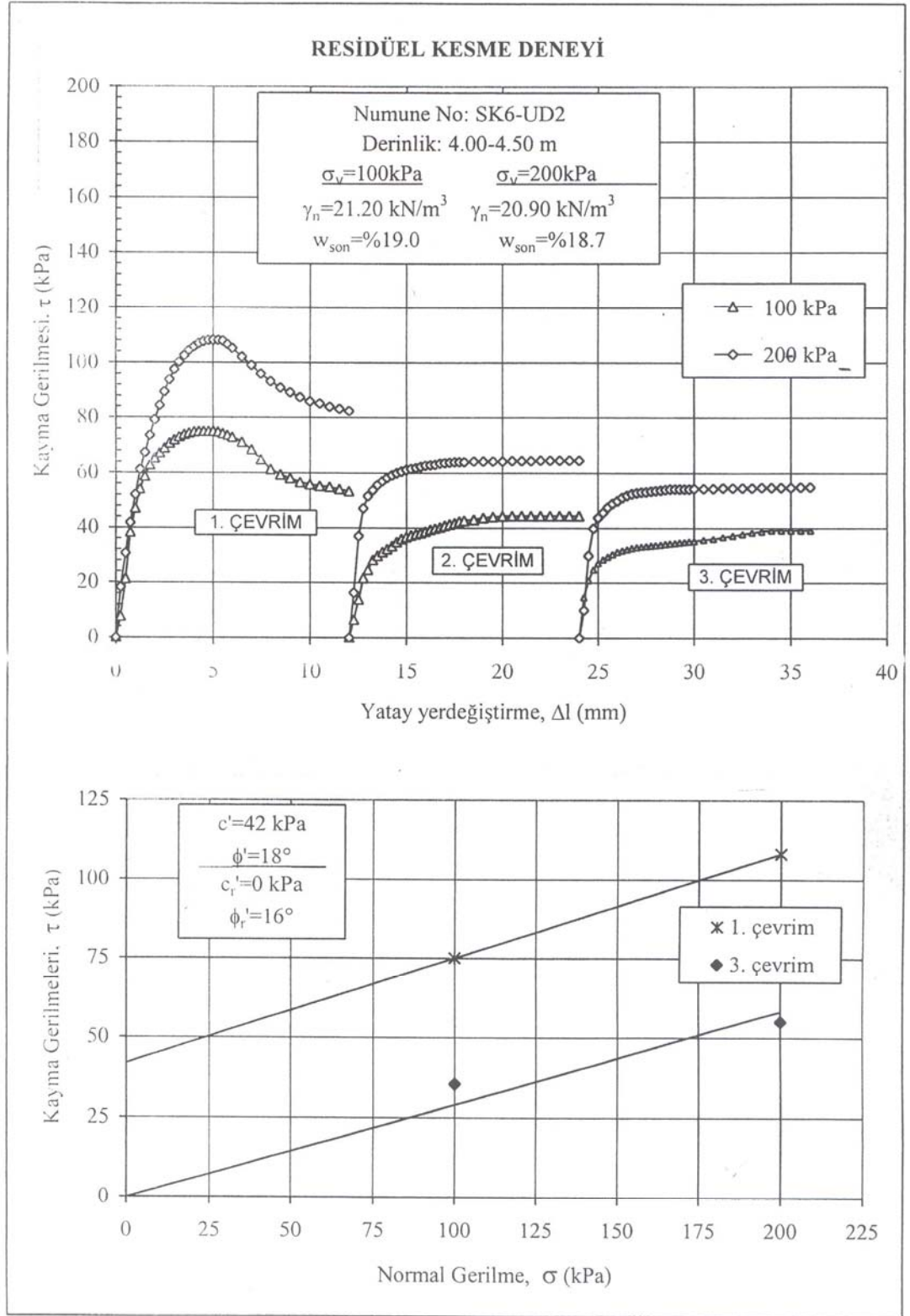
Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.

KESME KUTUSU DENEYİ

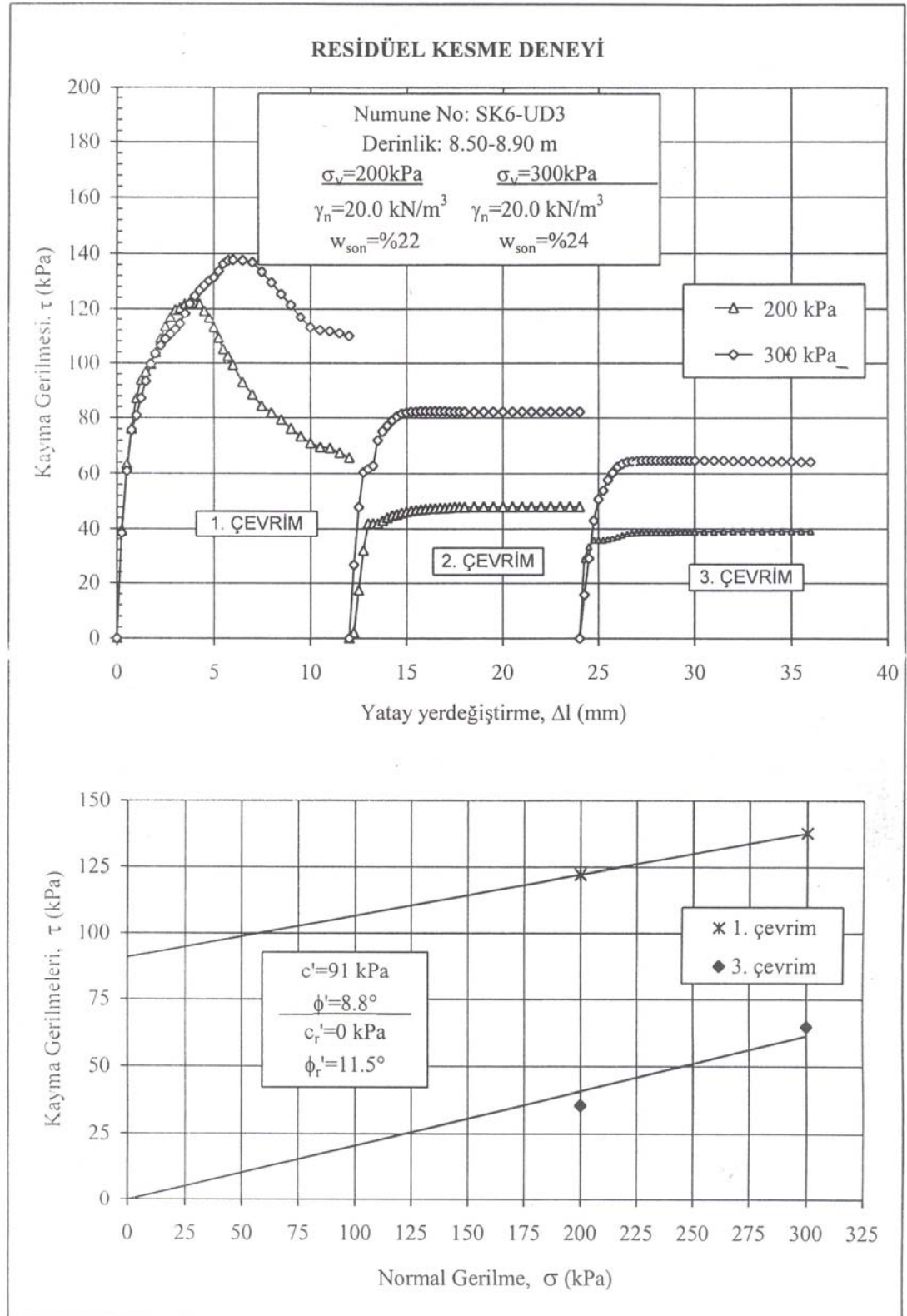
Numune No : SK5-UD2 Derinlik: 4.50-5.00 m

Deney Başı : $w_n = \%27$ Deney Sonu: $\sigma_v = 100 \text{ kPa}$ $\sigma_v = 200 \text{ kPa}$ $\gamma_n = 18.3 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_n = 18.3 \text{ kN/m}^3$ $w_n = \%33$ $w_n = \%33$ 

Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.

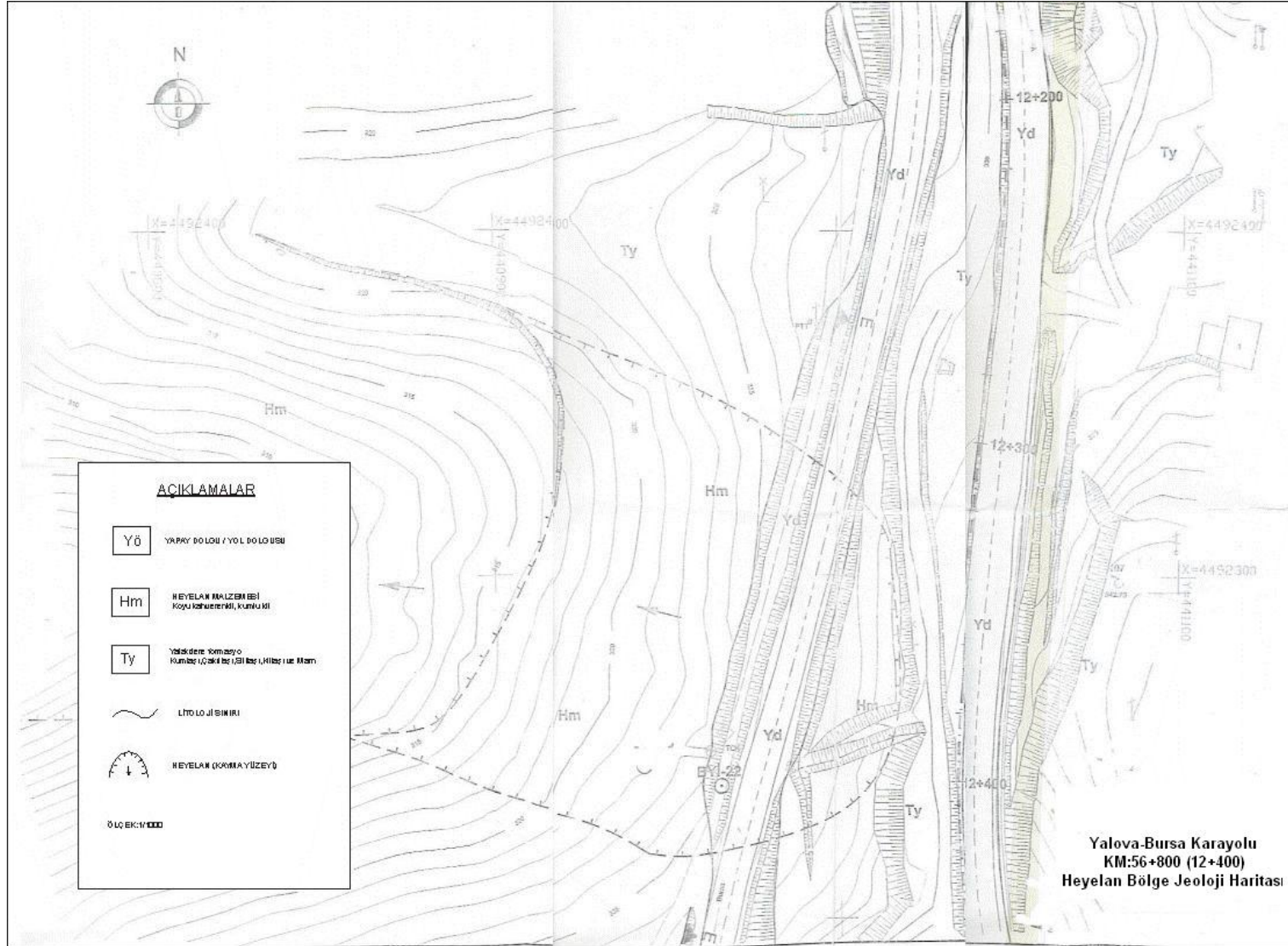


Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.



Bu raporda verilen değerler, laboratuvara teslim edilmiş olan numunelere aittir.

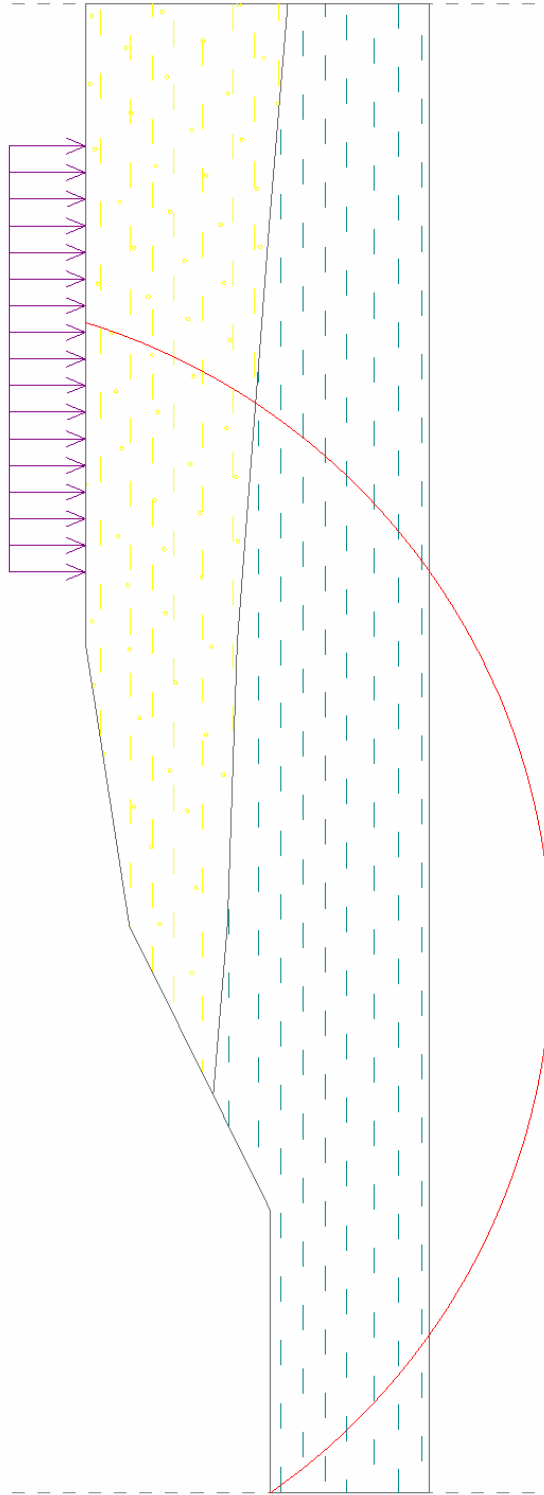
EK C



EK D

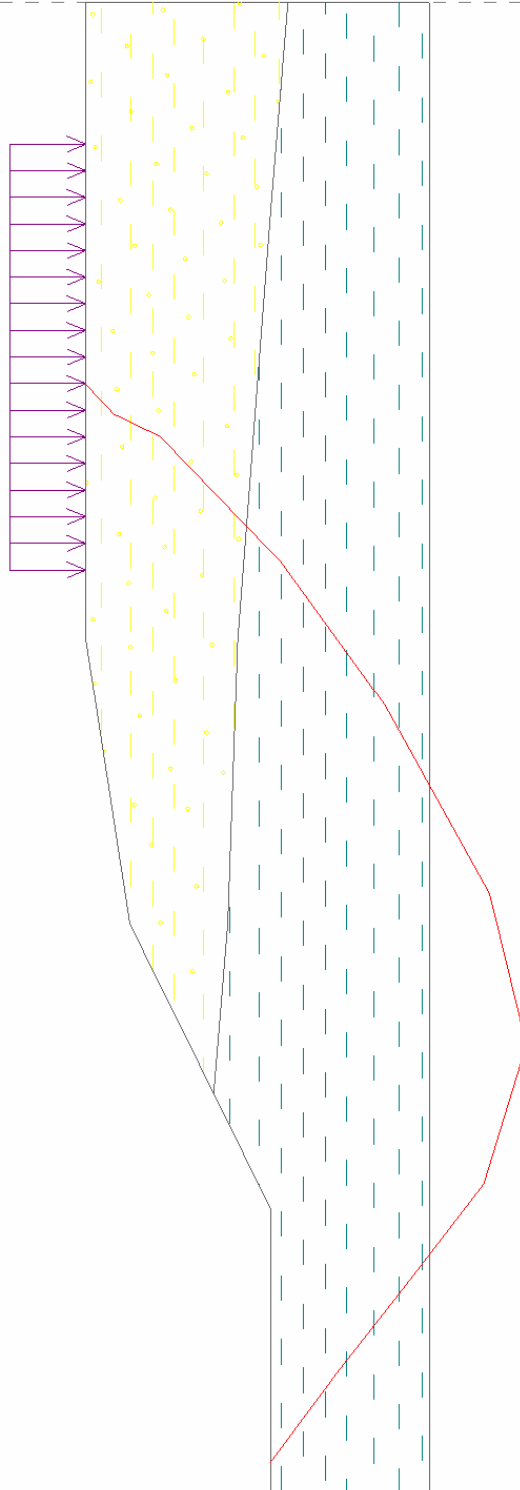
Name : Kesit 1 (total)

Stage - analysis : 1 - 1



Name : Kesit 1 (total)

Stage - analysis : 1 - 2

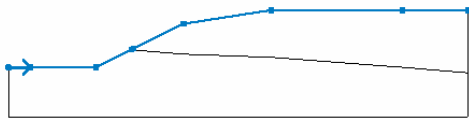
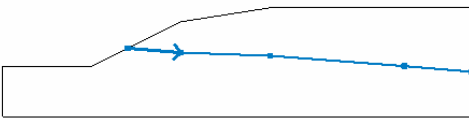


Slope stability analysis**Project**

Task : Yüksek Lisans Tezi
 Part : Kesit 1(total)
 Description : Yalova-Bursa Karayolu Sev Stabilite Analizi
 Author : Duygu Kotan
 Date : 01.12.2007

Analysis type : in total parameters

Interface

Number	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	15,00	0,00
		23,07	3,99	23,59	4,25	35,00	9,90
		55,00	13,00	85,00	13,00	100,00	13,00
2		23,07	3,99	35,00	3,00	55,00	2,30
		85,00	0,00	100,00	-1,25		

Soil parameters - total stress state

Number	Name	Pattern	Φ_u	c_u	γ
			[°]	[kPa]	[kN/m³]
1	Kati-Cok Kati Kil		0,00	80,00	20,00
2	Cok Kati-Sert Kil		0,00	100,00	20,00

Soil parameters**Kati-Cok Kati Kil**

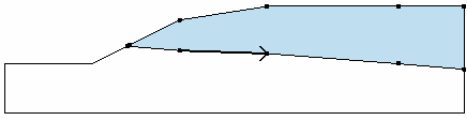
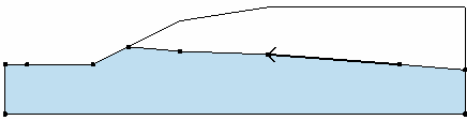
Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of intern. friction : $\phi_u = 0,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_u = 80,00 \text{ kPa}$

Cok Kati-Sert Kil

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of intern. friction : $\phi_u = 0,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_u = 100,00 \text{ kPa}$

Assigning and surfaces

Duygu Kotan	Yüksek Lisans Tezi Kesit 1(total)
-------------	--------------------------------------

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		35,00	3,00	55,00	2,30	Kati-Cok Kati Kil
		85,00	0,00	100,00	-1,25	
		100,00	13,00	85,00	13,00	
		55,00	13,00	35,00	9,90	
		23,59	4,25	23,07	3,99	
2		85,00	0,00	55,00	2,30	Cok Kati-Sert Kil
		35,00	3,00	23,07	3,99	
		15,00	0,00	0,00	0,00	
		-5,00	0,00	-5,00	-11,25	
		100,00	-11,25	100,00	-1,25	

Surcharge

Number	Type	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude		
							q, q ₁ , f, F	q ₂	unit
1	strip	on terrain	60,00	30,00		0,00	20,00		kN/m ²

Surcharges

Number	Name
1	Bina

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

Earthquake

Earthquake not included.

Analysis settings

Analysis settings : User-defined

Analysis type : Safety factor

Safety factor : 1,30

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters				
Center :	x =	33,11 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$ -55,00 [°]
	z =	26,69 [m]		$\alpha_2 =$ 72,89 [°]
Radius :	R =	46,52 [m]		
The slip surface after optimization.				

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 4821,46$ kN/m

Sum of passive forces : $F_p = 10117,65$ kN/m

Sliding moment : $M_a = 224294,22$ kNm/m

Resisting moment : $M_p = 470672,93$ kNm/m

Factor of safety = 2,10 > 1,30

Slope stability SATISFACTORY

Analysis 2**Polygonal slip surface**

Coordinates of slip surface points [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
-2,89	0,00	3,70	-4,92	9,34	-9,37	16,71	-15,07	26,50	-18,07
37,14	-15,48	50,48	-8,06	60,56	-0,75	69,40	7,77	70,98	11,04
73,05	13,00								
The slip surface after optimization.									

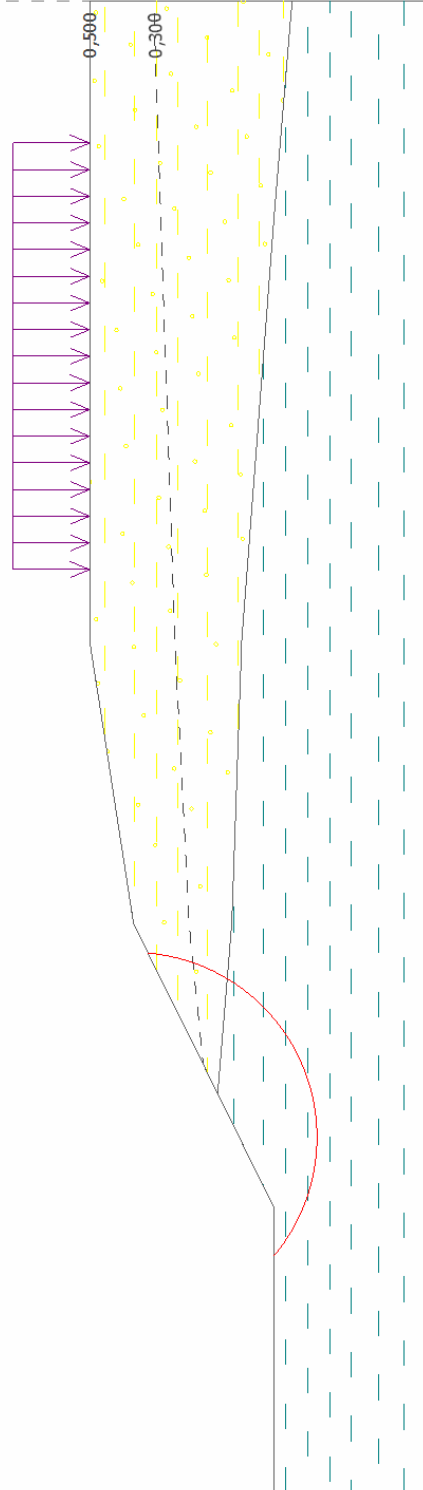
Slope stability verification (Sarma)

Factor of safety = 2,33 > 1,30

Slope stability SATISFACTORY

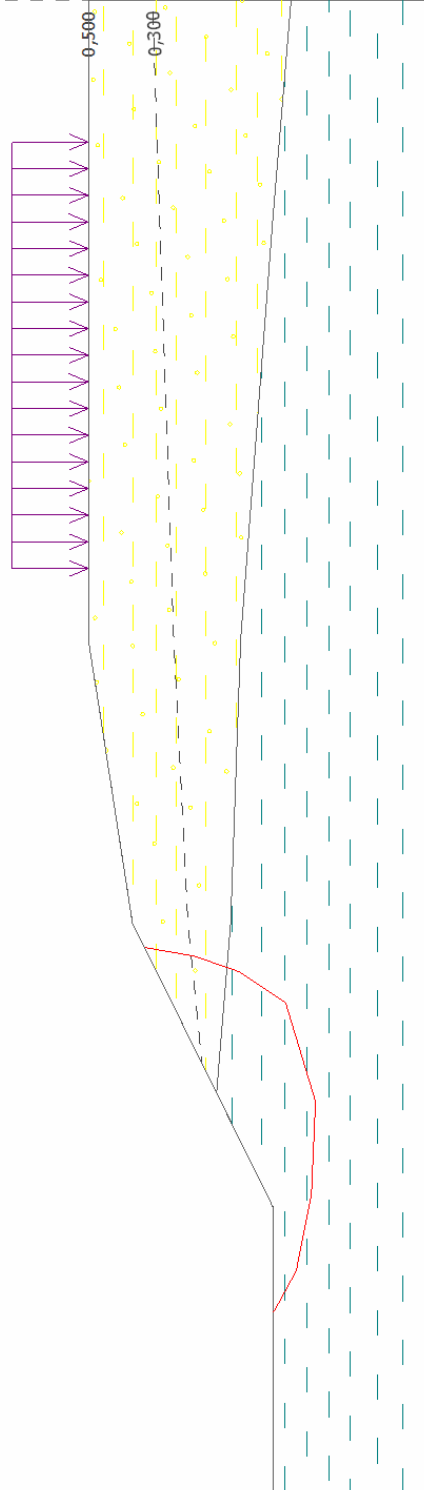
Name : Kesit 1 (eff)

Stage - analysis : 1 - 1



Name : Kesit 1 (eff)

Stage - analysis : 1 - 2

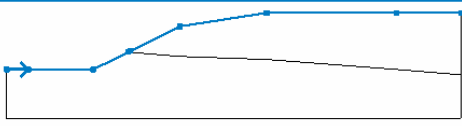
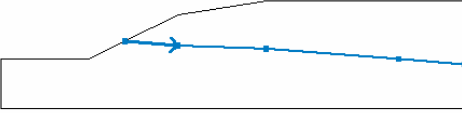


Slope stability analysis**Project**

Task : Yüksek Lisans Tezi
 Part : Kesit 1(efektif)
 Description : Yalova-Bursa Karayolu Sev Stabilite Analizi
 Author : Duygu Kotan
 Date : 01.12.2007

Analysis type : in effective parameters

Interface

Number	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	15,00	0,00
		23,07	3,99	23,59	4,25	35,00	9,90
		55,00	13,00	85,00	13,00	100,00	13,00
2		23,07	3,99	35,00	3,00	55,00	2,30
		85,00	0,00	100,00	-1,25		

Soil parameters - effective stress state

Number	Name	Pattern	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	Kati-Cok Kati Kil		28,00	0,00	20,00
2	Cok Kati-Sert Kil		32,00	0,00	20,00

Soil parameters - uplift

Number	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [-]
1	Kati-Cok Kati Kil		20,00		
2	Cok Kati-Sert Kil		20,00		

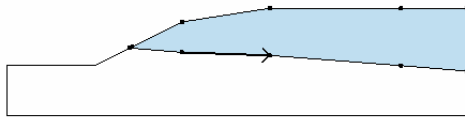
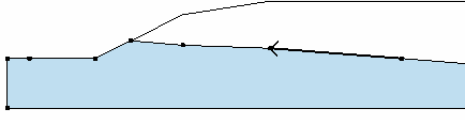
Soil parameters**Kati-Cok Kati Kil**

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of intern. friction : $\phi_{ef} = 28,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Cok Kati-Sert Kil

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of intern. friction : $\phi_{ef} = 32,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		35,00	3,00	55,00	2,30	Kati-Cok Kati Kil
		85,00	0,00	100,00	-1,25	
		100,00	13,00	85,00	13,00	
		55,00	13,00	35,00	9,90	
		23,59	4,25	23,07	3,99	
2		85,00	0,00	55,00	2,30	Cok Kati-Sert Kil
		35,00	3,00	23,07	3,99	
		15,00	0,00	0,00	0,00	
		-5,00	0,00	-5,00	-11,25	
		100,00	-11,25	100,00	-1,25	

Surcharge

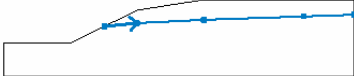
Number	Type	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude q, q ₁ , f, F	q ₂	unit
1	strip	on terrain	60,00	30,00		0,00	20,00		kN/m ²

Surcharges

Number	Name
1	Bina

Water

Water type : Coefficient Ru

Number	Interface Ru location	Coordinates of interface Ru points [m]						Coeff. Ru [-]
		x	z	x	z	x	z	
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	15,00	0,00	0,500
		23,07	3,99	23,59	4,25	25,13	5,01	
		35,00	9,90	55,00	13,00	85,00	13,00	
		100,00	13,00					
2		25,13	5,01	35,00	6,00	55,00	7,00	0,300
		85,00	8,00	100,00	8,50			

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

Earthquake

Earthquake not included.

Analysis settings

Analysis settings : User-defined
 Analysis type : Safety factor
 Safety factor : 1,30

Results (Stage of construction 1)**Analysis 1****Circular slip surface**

Slip surface parameters					
Center :	x =	20,00 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-39,72 [°]
	z =	10,00 [m]		$\alpha_2 =$	85,08 [°]
Radius :	R =	13,00 [m]			
Analysis of the slip surface without optimization.					

Slope stability verification (Bishop)Sum of active forces : $F_a = 608,76$ kN/mSum of passive forces : $F_p = 723,63$ kN/mSliding moment : $M_a = 7913,89$ kNm/mResisting moment : $M_p = 9407,16$ kNm/mFactor of safety = $1,19 < 1,30$ **Slope stability NOT SATISF.****Analysis 2****Polygonal slip surface**

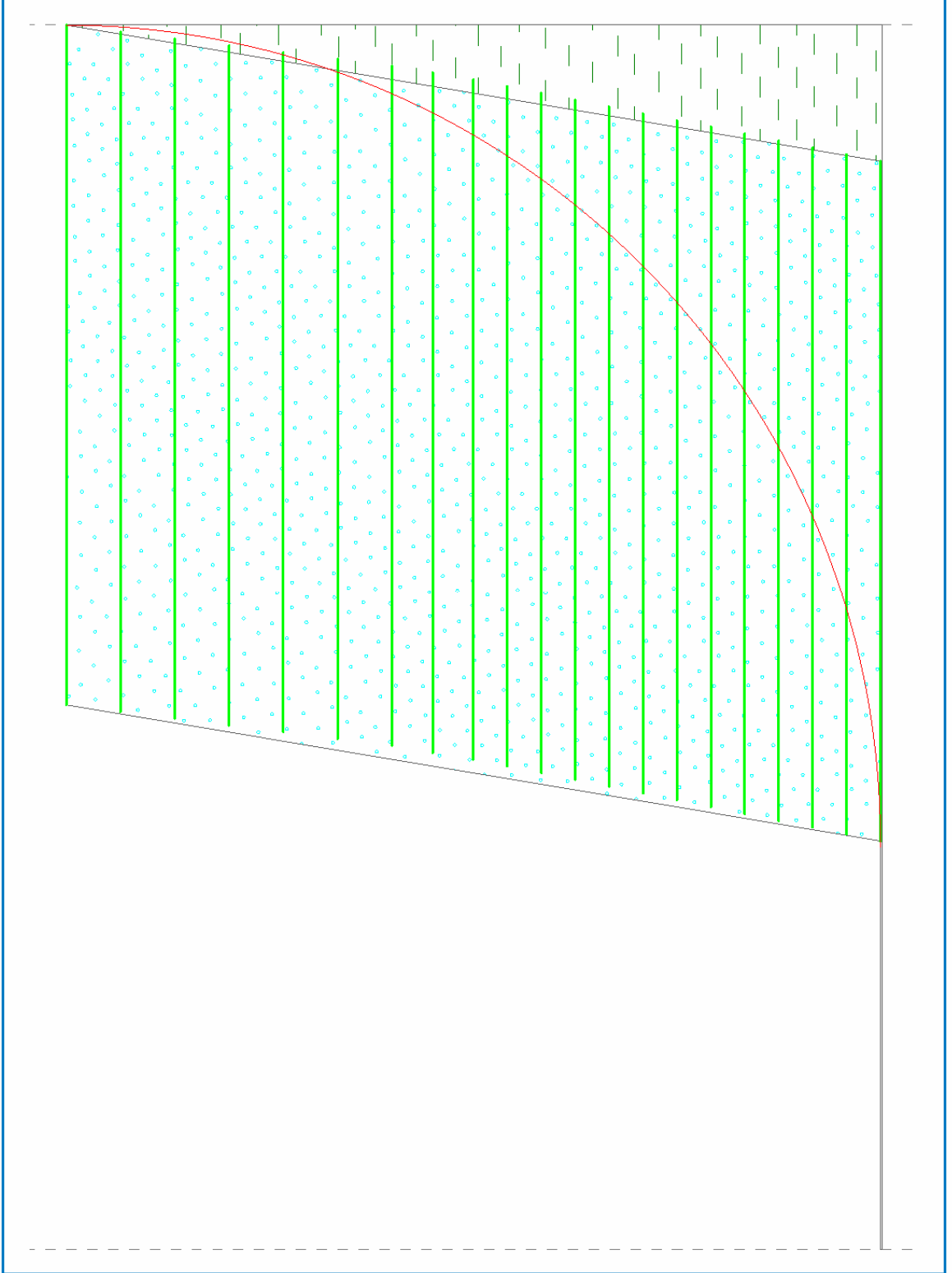
Coordinates of slip surface points [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
7,69	0,00	7,82	-0,11	10,56	-1,61	15,93	-2,68	22,45	-2,97
29,40	-0,87	31,58	2,40	32,67	5,54	33,29	9,06		
Analysis of the slip surface without optimization.									

Slope stability verification (Sarma)Factor of safety = $1,24 < 1,30$ **Slope stability NOT SATISF.**

EK E

Name : h=6m

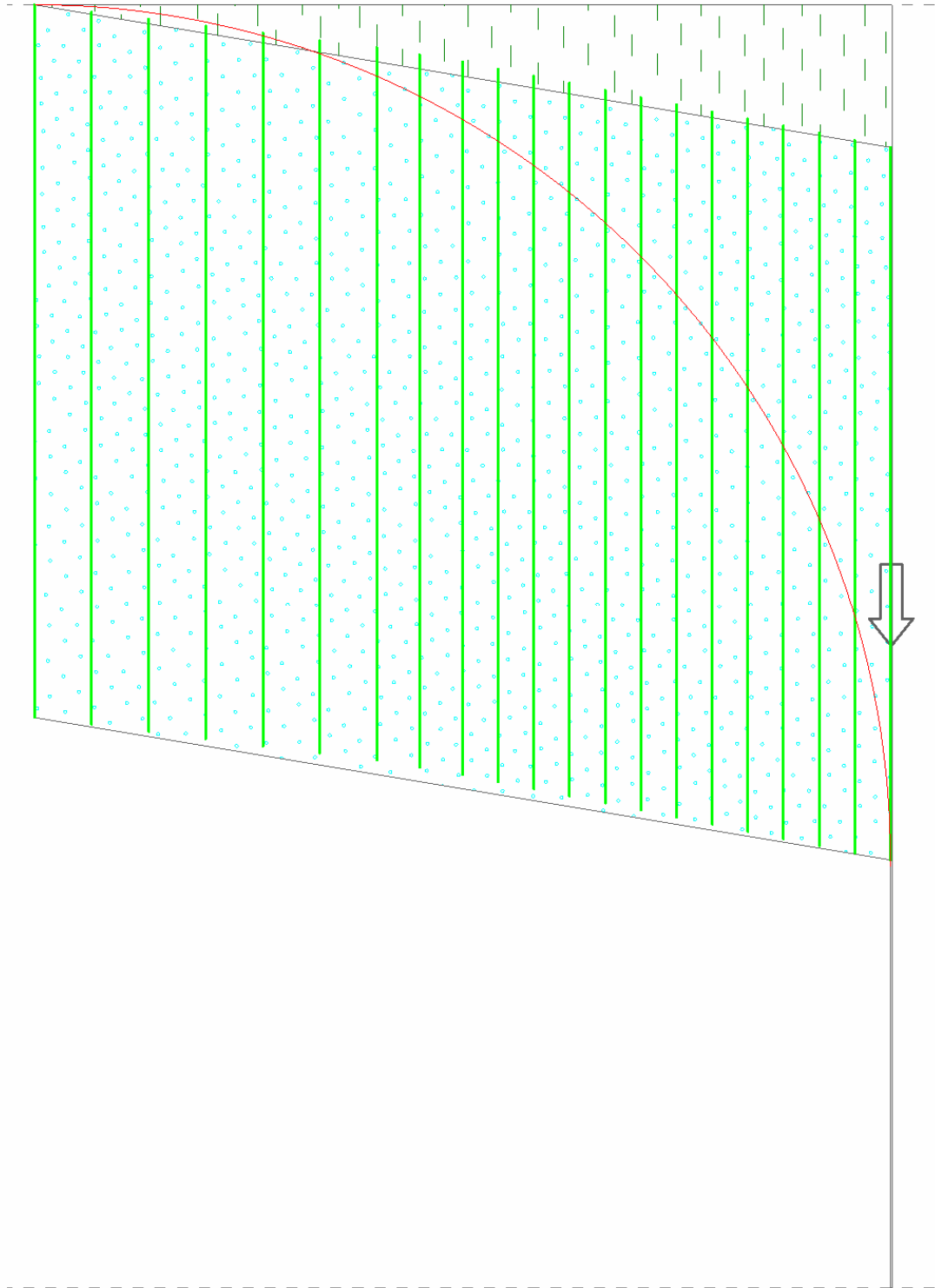
Stage - analysis : 1 - 1



[Geo 5 - Slope stability | version 5.5.8.0 | hardwarekey 370272 | Yavuz Seymen - test dealer | Copyright (c) FINE Ltd. 2007 | www.fine.cz]

Name : h=6m

Stage - analysis : 2 - 1



[Geo 5 - Slope stability | version 5.5.8.0 | hardware key 370272 | Yavuz Seymen - test dealer | Copyright (c) FINE Ltd. 2007 | www.fine.cz]

Duygu Kotan	Yuksek Lisans Tezi h=6m Geotekstil Donatili Zemin Istinat Duvvari
-------------	--

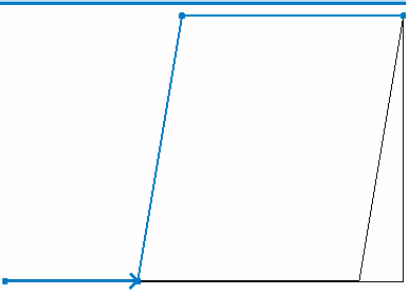
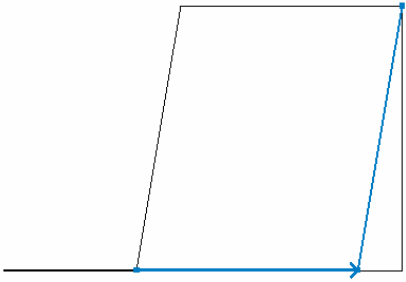
Slope stability analysis

Project

Task : Yuksek Lisans Tezi
Part : h=6m Geotekstil Donatili Zemin Istinat Duvvari
Description : Yalova-Bursa Karayolu Sev Stabilite Analizi
Author : Duygu Kotan
Date : 01.12.2007

Analysis type : in effective parameters

Interface

Number	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	0,00	3,00	0,00	4,00	6,00
		9,00	6,00				
2		3,00	0,00	8,00	0,00	9,00	6,00

Soil parameters - effective stress state

Number	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Dolgu		34,00	0,00	20,00
2	Kil		30,00	0,00	20,00

Soil parameters - uplift

Number	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Dolgu		20,00		

Duygu Kotan	Yuksek Lisans Tezi h=6m Geotekstil Donatili Zemin Istinat Duvari
-------------	---

Number	Name	Pattern	γ_{sat}	γ_s	n
			[kN/m ³]	[kN/m ³]	[–]
2	Kil		20,00		

Soil parameters

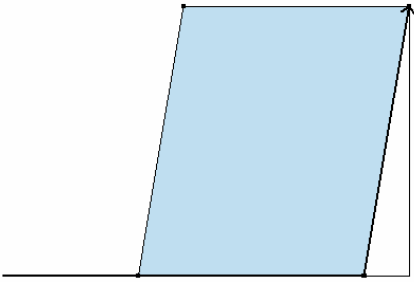
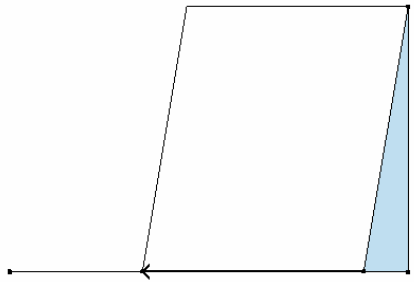
Dolgu

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 34,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Kil

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		8,00	0,00	9,00	6,00	Dolgu
		4,00	6,00	3,00	0,00	
2		8,00	0,00	3,00	0,00	Kil
		0,00	0,00	0,00	-0,01	
		9,00	-0,01	9,00	6,00	

Stiffeners

Number	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
	z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
1	3,00	0,00	8,00	0,00	5,00	40,00	75,00
2	3,05	0,25	8,05	0,25	5,00	40,00	75,00
3	3,10	0,50	8,10	0,50	5,00	40,00	75,00
4	3,15	0,75	8,15	0,75	5,00	40,00	75,00
5	3,20	1,00	8,20	1,00	5,00	40,00	75,00

Number	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T _d [kN/m ²]	Strength R _t [kN/m]
	z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
6	3,25	1,25	8,25	1,25	5,00	40,00	75,00
7	3,30	1,50	8,30	1,50	5,00	40,00	75,00
8	3,35	1,75	8,35	1,75	5,00	40,00	75,00
9	3,40	2,00	8,40	2,00	5,00	40,00	75,00
10	3,45	2,25	8,45	2,25	5,00	40,00	75,00
11	3,50	2,50	8,50	2,50	5,00	40,00	75,00
12	3,55	2,75	8,55	2,75	5,00	40,00	75,00
13	3,60	3,00	8,60	3,00	5,00	40,00	75,00
14	3,65	3,30	8,65	3,30	5,00	40,00	75,00
15	3,70	3,60	8,70	3,60	5,00	40,00	75,00
16	3,75	4,00	8,75	4,00	5,00	40,00	75,00
17	3,80	4,40	8,80	4,40	5,00	40,00	75,00
18	3,85	4,80	8,85	4,80	5,00	40,00	75,00
19	3,90	5,20	8,90	5,20	5,00	40,00	75,00
20	3,95	5,60	8,95	5,60	5,00	40,00	75,00
21	4,00	6,00	9,00	6,00	5,00	40,00	75,00

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

Earthquake

Earthquake not included.

Analysis settings

Analysis settings : Standard

Analysis type : Safety factor

Safety factor : 1,50

Results (Stage of construction 1)**Analysis 1 (stage 1)****Circular slip surface**

Slip surface parameters					
Center :	x =	2,99 [m]	Angles :	α_1 =	-0,32 [°]
	z =	6,01 [m]		α_2 =	89,93 [°]
Radius :	R =	6,01 [m]			
The slip surface after optimization.					

Stiffener forces

Stiffener Force [kN/m]

1	0,00
2	66,01
3	75,00
4	75,00
5	75,00
6	63,78
7	53,66
8	44,93
9	37,40
10	31,09

Duygu Kotan	Yuksek Lisans Tezi h=6m Geotekstil Donatili Zemin Istinat Duvari
-------------	---

11	25,47
12	20,62
13	16,64
14	12,02
15	8,66
16	4,17
17	2,33
18	1,76
19	1,18
20	0,60
21	0,02

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : $F_a = 236,92 \text{ kN/m}$

Sum of passive forces : $F_p = 382,47 \text{ kN/m}$

Sliding moment : $M_a = 1423,91 \text{ kNm/m}$

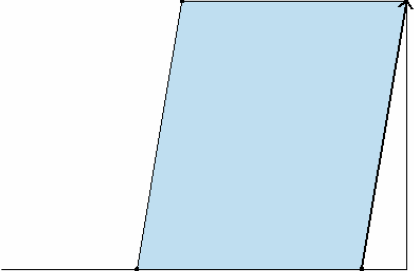
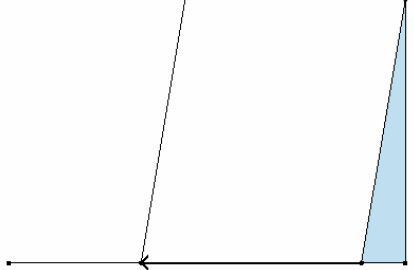
Resisting moment : $M_p = 5141,81 \text{ kNm/m}$

Factor of safety = $3,61 > 1,50$

Slope stability SATISFACTORY

Input data data (Stage of construction 2)

Assigning and surfaces

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		8,00	0,00	9,00	6,00	Dolgu 
		4,00	6,00	3,00	0,00	
2		8,00	0,00	3,00	0,00	Kil 
		0,00	0,00	0,00	-0,01	
		9,00	-0,01	9,00	6,00	

Stiffeners

Number	Stiffener new	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
		z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
1	No	3,00	0,00	8,00	0,00	5,00	40,00	75,00
2	No	3,05	0,25	8,05	0,25	5,00	40,00	75,00
3	No	3,10	0,50	8,10	0,50	5,00	40,00	75,00
4	No	3,15	0,75	8,15	0,75	5,00	40,00	75,00

Duygu Kotan	Yuksek Lisans Tezi h=6m Geotekstil Donatili Zemin Istinat Duvari
-------------	---

Number	Stiffener new	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
		z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
5	No	3,20	1,00	8,20	1,00	5,00	40,00	75,00
6	No	3,25	1,25	8,25	1,25	5,00	40,00	75,00
7	No	3,30	1,50	8,30	1,50	5,00	40,00	75,00
8	No	3,35	1,75	8,35	1,75	5,00	40,00	75,00
9	No	3,40	2,00	8,40	2,00	5,00	40,00	75,00
10	No	3,45	2,25	8,45	2,25	5,00	40,00	75,00
11	No	3,50	2,50	8,50	2,50	5,00	40,00	75,00
12	No	3,55	2,75	8,55	2,75	5,00	40,00	75,00
13	No	3,60	3,00	8,60	3,00	5,00	40,00	75,00
14	No	3,65	3,30	8,65	3,30	5,00	40,00	75,00
15	No	3,70	3,60	8,70	3,60	5,00	40,00	75,00
16	No	3,75	4,00	8,75	4,00	5,00	40,00	75,00
17	No	3,80	4,40	8,80	4,40	5,00	40,00	75,00
18	No	3,85	4,80	8,85	4,80	5,00	40,00	75,00
19	No	3,90	5,20	8,90	5,20	5,00	40,00	75,00
20	No	3,95	5,60	8,95	5,60	5,00	40,00	75,00
21	No	4,00	6,00	9,00	6,00	5,00	40,00	75,00

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

Earthquake

Horizontal seismic coefficient : $K_h = 0,20$

Vertical seismic coefficient : $K_v = 0,00$

Analysis settings

Analysis settings : Standard

Analysis type : Safety factor

Safety factor : 1,50

Results (Stage of construction 2)

Analysis 1 (stage 2)

Circular slip surface

Slip surface parameters					
Center :	x =	3,00 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-0,40 [°]
	z =	6,00 [m]		$\alpha_2 =$	89,97 [°]
Radius :	R =	6,00 [m]			
The slip surface after optimization.					

Stiffener forces

Stiffener Force [kN/m]

1	0,00
2	66,37
3	75,00
4	75,00
5	75,00
6	63,53
7	53,42

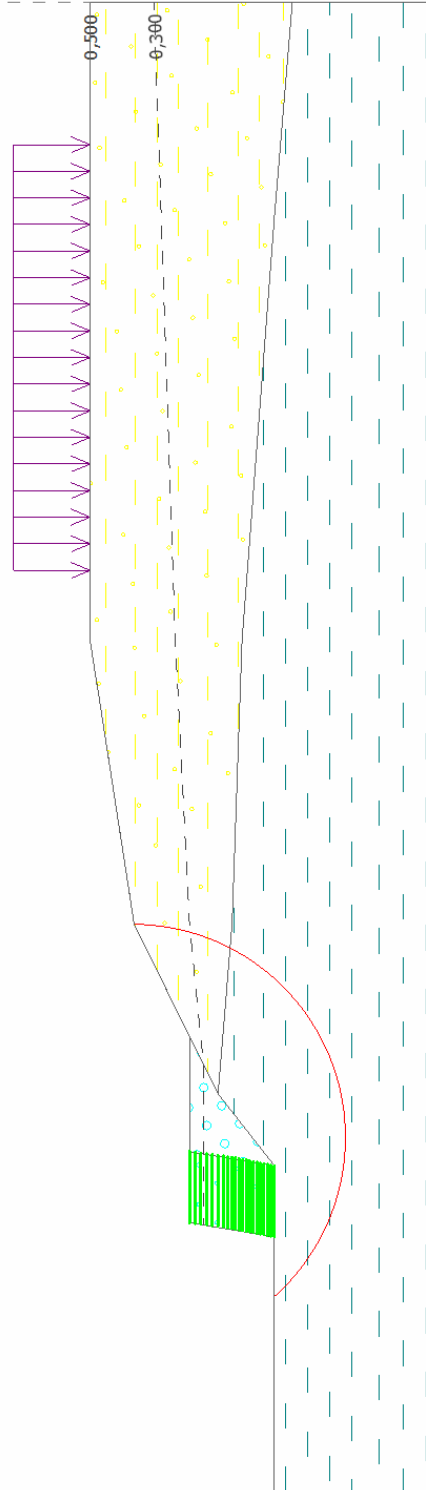
8	44,70
9	37,16
10	30,88
11	25,29
12	20,42
13	16,48
14	11,85
15	8,53
16	4,03
17	2,28
18	1,71
19	1,13
20	0,56
21	0,00

Slope stability verification (Bishop)Sum of active forces : $F_a = 236,82 \text{ kN/m}$ Sum of passive forces : $F_p = 373,89 \text{ kN/m}$ Sliding moment : $M_a = 1674,85 \text{ kNm/m}$ Resisting moment : $M_p = 5074,49 \text{ kNm/m}$ Factor of safety = $3,03 > 1,50$ **Slope stability SATISFACTORY**

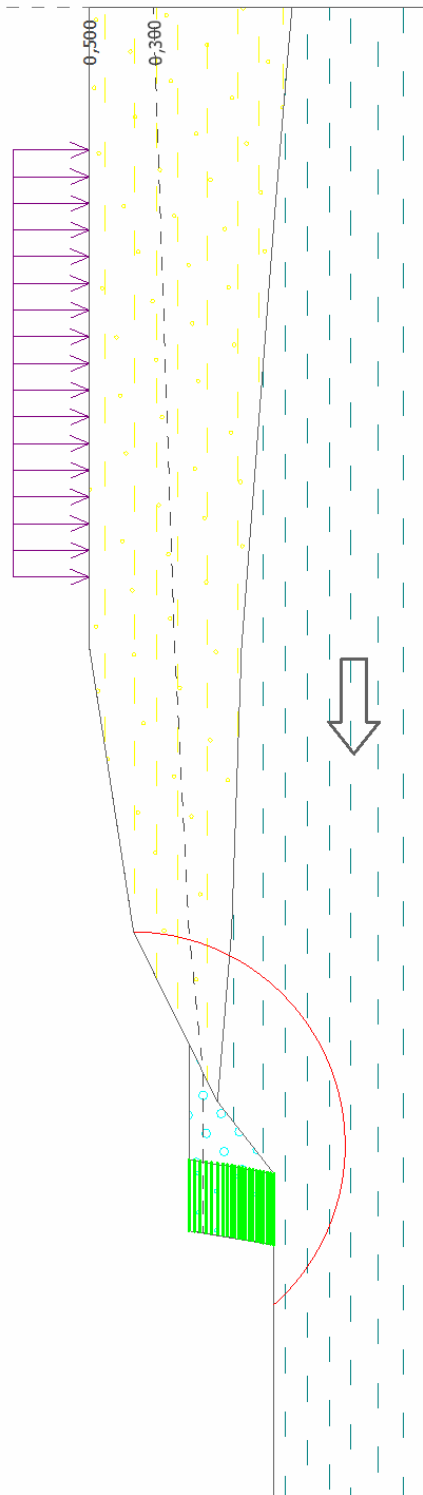
EK F

Name : Kesit 1(h=6m)

Stage - analysis : 1 - 1



[Geo 5 - Slope stability | version 5.5.8.0 | hardware key 3702 / 2 | Yavuz Seymen - test dealer | Copyright (c) FINE Ltd. 2007 | www.fine.cz]

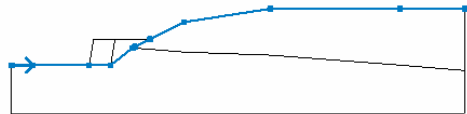
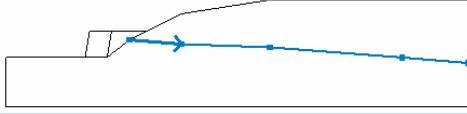


Slope stability analysis**Project**

Task : Yüksek Lisans Tezi
 Part : Kesit 1(h=6m)
 Description : Yalova-Bursa Karayolu Sev Stabilite Analizi
 Author : Duygu Kotan
 Date : 01.12.2007

Analysis type : in effective parameters

Interface

Number	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00
		18,00	0,00	23,07	3,99	23,59	4,25
		27,12	6,00	35,00	9,90	55,00	13,00
		85,00	13,00	100,00	13,00		
2		13,00	0,00	14,00	6,00	15,00	6,00
		19,00	6,00				
3		18,00	0,00	19,00	6,00	22,00	6,00
		27,12	6,00				
4		23,07	3,99	35,00	3,00	55,00	2,30
		85,00	0,00	100,00	-1,25		

Soil parameters - effective stress state

Number	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	Kati-Cok Kati Kil		28,00	0,00	20,00
2	Cok Kati-Sert Kil		32,00	0,00	20,00
3	Dolgu		34,00	0,00	20,00
4	Arka Dolgu		37,00	0,00	20,00

Soil parameters - uplift

Number	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Kati-Cok Kati Kil		20,00		
2	Cok Kati-Sert Kil		20,00		
3	Dolgu		20,00		
4	Arka Dolgu		20,00		

Soil parameters**Kati-Cok Kati Kil**

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of intern. friction : $\phi_{ef} = 28,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Cok Kati-Sert Kil

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of intern. friction : $\phi_{ef} = 32,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

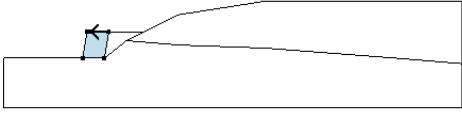
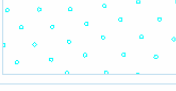
Dolgu

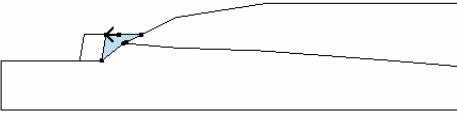
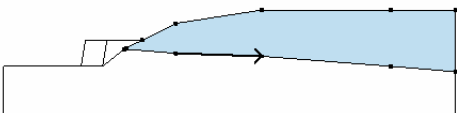
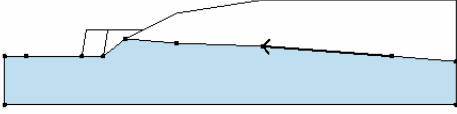
Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of intern. friction : $\phi_{ef} = 34,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Arka Dolgu

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Angle of intern. friction : $\phi_{ef} = 37,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		19,00	6,00	15,00	6,00	Dolgu 
		14,00	6,00	13,00	0,00	
		18,00	0,00			

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
2		22,00	6,00	19,00	6,00	Arka Dolgu 
		18,00	0,00	23,07	3,99	
		23,59	4,25	27,12	6,00	
3		35,00	3,00	55,00	2,30	Kati-Cok Kati Kil 
		85,00	0,00	100,00	-1,25	
		100,00	13,00	85,00	13,00	
		55,00	13,00	35,00	9,90	
		27,12	6,00	23,59	4,25	
4		23,07	3,99			Cok Kati-Sert Kil 
		85,00	0,00	55,00	2,30	
		35,00	3,00	23,07	3,99	
		18,00	0,00	13,00	0,00	
		0,00	0,00	-5,00	0,00	
		-5,00	-11,25	100,00	-11,25	
		100,00	-1,25			

Stiffeners

Number	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
	z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
1	13,00	0,00	18,00	0,00	5,00	40,00	75,00
2	13,05	0,25	18,05	0,25	5,00	40,00	75,00
3	13,10	0,50	18,10	0,50	5,00	40,00	75,00
4	13,15	0,75	18,15	0,75	5,00	40,00	75,00
5	13,20	1,00	18,20	1,00	5,00	40,00	75,00
6	13,25	1,25	18,25	1,25	5,00	40,00	75,00
7	13,30	1,50	18,30	1,50	5,00	40,00	75,00
8	13,35	1,75	18,35	1,75	5,00	40,00	75,00
9	13,40	2,00	18,40	2,00	5,00	40,00	75,00
10	13,45	2,25	18,45	2,25	5,00	40,00	75,00
11	13,50	2,50	18,50	2,50	5,00	40,00	75,00
12	13,55	2,75	18,55	2,75	5,00	40,00	75,00
13	13,60	3,00	18,60	3,00	5,00	40,00	75,00
14	13,65	3,30	18,65	3,30	5,00	40,00	75,00
15	13,70	3,60	18,70	3,60	5,00	40,00	75,00
16	13,75	4,00	18,75	4,00	5,00	40,00	75,00
17	13,80	4,40	18,80	4,40	5,00	40,00	75,00
18	13,85	4,80	18,85	4,80	5,00	40,00	75,00
19	13,90	5,20	18,90	5,20	5,00	40,00	75,00
20	13,95	5,60	18,95	5,60	5,00	40,00	75,00
21	14,00	6,00	19,00	6,00	5,00	40,00	75,00

Surcharge

Number	Type	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude		
							q, q ₁ , f, F	q ₂	unit
1	strip	on terrain	60,00	30,00		0,00	20,00		kN/m ²

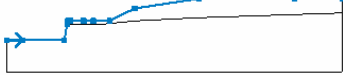
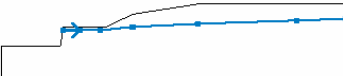
Surcharges

Duygu Kotan	Yüksek Lisans Tezi Kesit 1(h=6m)
-------------	-------------------------------------

Number	Name
1	Bina

Water

Water type : Coefficient Ru

Number	Interface Ru location	Coordinates of interface Ru points [m]						Coeff. Ru [-]
		x	z	x	z	x	z	
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00	0,500
		13,84	5,01	14,00	6,00	15,00	6,00	
		19,00	6,00	22,00	6,00	27,12	6,00	
		35,00	9,90	55,00	13,00	85,00	13,00	
2		100,00	13,00					0,300
		13,84	5,01	18,84	5,01	25,13	5,01	
		35,00	6,00	55,00	7,00	85,00	8,00	
		100,00	8,50					

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

Earthquake

Earthquake not included.

Analysis settings

Analysis settings : User-defined

Analysis type : Safety factor

Safety factor : 1,30

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1 (stage 1)

Circular slip surface

Slip surface parameters					
Center :	x =	20,00 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-48,19 [°]
	z =	10,00 [m]		$\alpha_2 =$	89,62 [°]
Radius :	R =	15,00 [m]			
Analysis of the slip surface without optimization.					

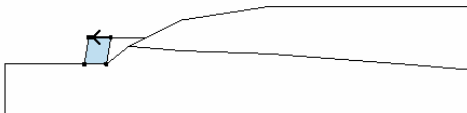
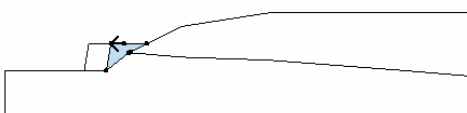
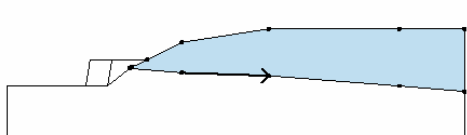
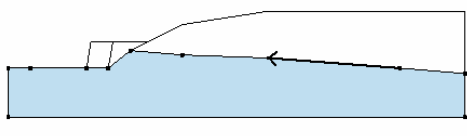
Stiffener forces

Stiffener Force [kN/m]

1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00
11	0,00
12	0,00
13	0,00
14	0,00
15	0,00
16	0,00
17	0,00

18	0,00
19	0,00
20	0,00
21	0,00

Slope stability verification (Bishop)Sum of active forces : $F_a = 764,10 \text{ kN/m}$ Sum of passive forces : $F_p = 1985,20 \text{ kN/m}$ Sliding moment : $M_a = 11461,45 \text{ kNm/m}$ Resisting moment : $M_p = 29777,98 \text{ kNm/m}$ Factor of safety = $2,60 > 1,30$ **Slope stability SATISFACTORY****Input data data (Stage of construction 2)****Assigning and surfaces**

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		19,00	6,00	15,00	6,00	Dolgu 
		14,00	6,00	13,00	0,00	
		18,00	0,00			
2		22,00	6,00	19,00	6,00	Arka Dolgu 
		18,00	0,00	23,07	3,99	
		23,59	4,25	27,12	6,00	
3		35,00	3,00	55,00	2,30	Kati-Cok Kati Kil 
		85,00	0,00	100,00	-1,25	
		100,00	13,00	85,00	13,00	
		55,00	13,00	35,00	9,90	
		27,12	6,00	23,59	4,25	
		23,07	3,99			
4		85,00	0,00	55,00	2,30	Cok Kati-Sert Kil 
		35,00	3,00	23,07	3,99	
		18,00	0,00	13,00	0,00	
		0,00	0,00	-5,00	0,00	
		-5,00	-11,25	100,00	-11,25	
		100,00	-1,25			

Stiffeners

Number	Stiffener new	Point to the left z [m]	Point to the left z [m]	Point to the right x [m]	Point to the right z [m]	Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
1	No	13,00	0,00	18,00	0,00	5,00	40,00	75,00
2	No	13,05	0,25	18,05	0,25	5,00	40,00	75,00
3	No	13,10	0,50	18,10	0,50	5,00	40,00	75,00
4	No	13,15	0,75	18,15	0,75	5,00	40,00	75,00
5	No	13,20	1,00	18,20	1,00	5,00	40,00	75,00
6	No	13,25	1,25	18,25	1,25	5,00	40,00	75,00
7	No	13,30	1,50	18,30	1,50	5,00	40,00	75,00
8	No	13,35	1,75	18,35	1,75	5,00	40,00	75,00

Number	Stiffness new	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
		z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
9	No	13,40	2,00	18,40	2,00	5,00	40,00	75,00
10	No	13,45	2,25	18,45	2,25	5,00	40,00	75,00
11	No	13,50	2,50	18,50	2,50	5,00	40,00	75,00
12	No	13,55	2,75	18,55	2,75	5,00	40,00	75,00
13	No	13,60	3,00	18,60	3,00	5,00	40,00	75,00
14	No	13,65	3,30	18,65	3,30	5,00	40,00	75,00
15	No	13,70	3,60	18,70	3,60	5,00	40,00	75,00
16	No	13,75	4,00	18,75	4,00	5,00	40,00	75,00
17	No	13,80	4,40	18,80	4,40	5,00	40,00	75,00
18	No	13,85	4,80	18,85	4,80	5,00	40,00	75,00
19	No	13,90	5,20	18,90	5,20	5,00	40,00	75,00
20	No	13,95	5,60	18,95	5,60	5,00	40,00	75,00
21	No	14,00	6,00	19,00	6,00	5,00	40,00	75,00

Surcharge

Number	Surcharge		Type	Location	Origin	Length	Width	Slope	Magnitude		
	new	change		z [m]	x [m]	l [m]	b [m]	α [°]	q, q_1, f, F	q_2	unit
1	No	No	strip	on terrain	60,00	30,00		0,00	20,00		kN/m ²

Surcharges

Number	Name
1	Bina

Water

Water type : Coefficient Ru

Number	Interface Ru location	Coordinates of interface Ru points [m]						Coeff. Ru [-]
		x	z	x	z	x	z	
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00	0,500
		13,84	5,01	14,00	6,00	15,00	6,00	
		19,00	6,00	22,00	6,00	27,12	6,00	
		35,00	9,90	55,00	13,00	85,00	13,00	
		100,00	13,00					
2		13,84	5,01	18,84	5,01	25,13	5,01	0,300
		35,00	6,00	55,00	7,00	85,00	8,00	
		100,00	8,50					

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

EarthquakeHorizontal seismic coefficient: $K_h = 0,20$ Vertical seismic coefficient: $K_v = 0,00$ **Analysis settings**

Analysis settings : User-defined

Analysis type : Safety factor

Safety factor : 1,30

Results (Stage of construction 2)**Analysis 1 (stage 2)****Circular slip surface**

Slip surface parameters					
Center :	x =	20,00 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-48,19 [°]
	z =	10,00 [m]		$\alpha_2 =$	89,62 [°]
Radius :	R =	15,00 [m]			
Analysis of the slip surface without optimization.					

Stiffener forces

Stiffener Force [kN/m]

1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00
11	0,00
12	0,00
13	0,00
14	0,00
15	0,00
16	0,00
17	0,00
18	0,00
19	0,00
20	0,00
21	0,00

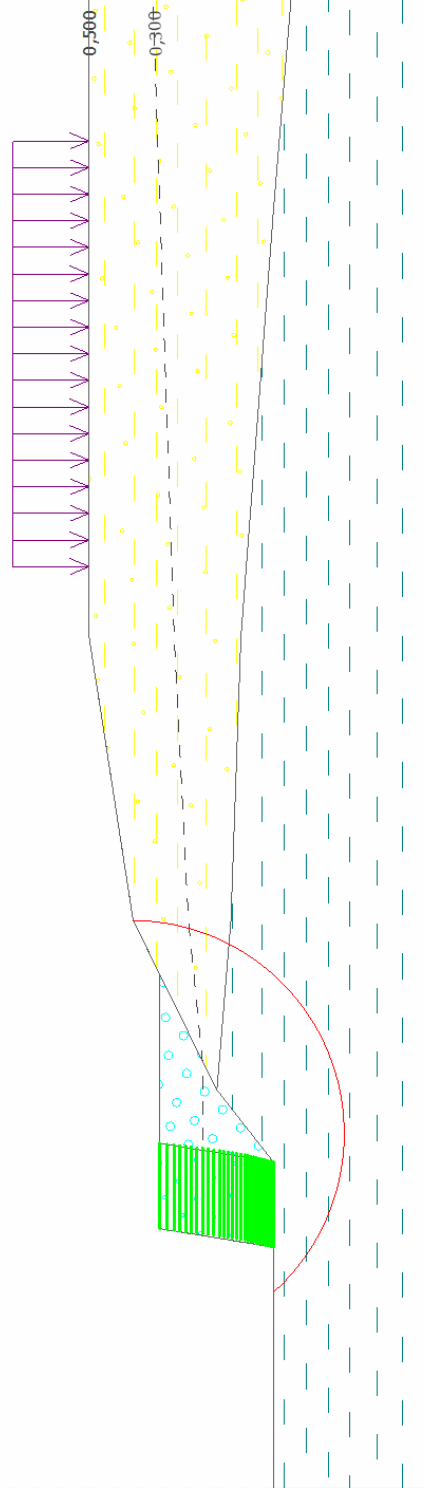
Slope stability verification (Bishop)Sum of active forces : $F_a = 764,10$ kN/mSum of passive forces : $F_p = 1921,42$ kN/mSliding moment : $M_a = 18458,86$ kNm/mResisting moment : $M_p = 28821,24$ kNm/m

Factor of safety = 1,56 > 1,30

Slope stability SATISFACTORY

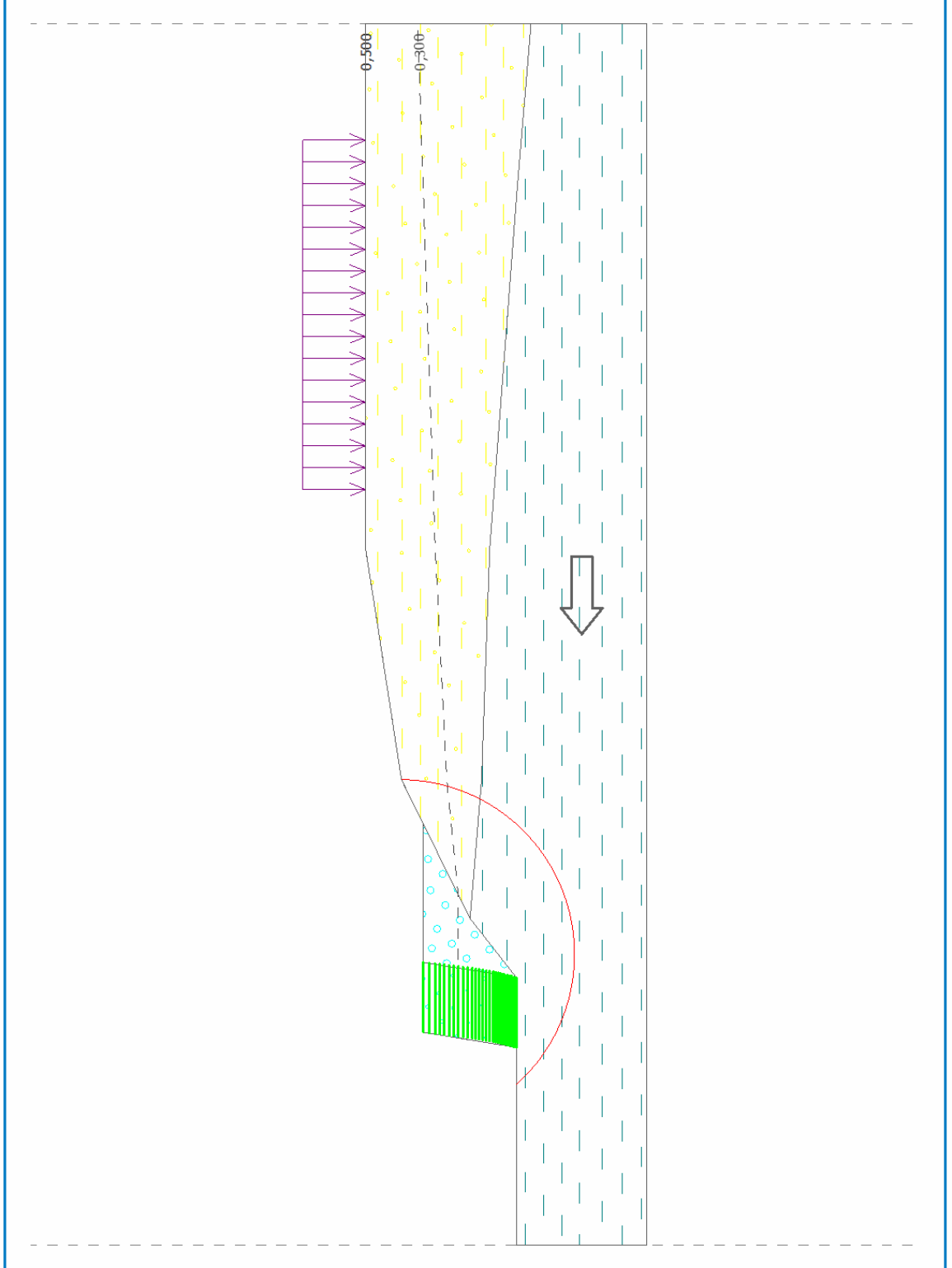
Name : Kesit 1(h=8m)

Stage - analysis : 1 - 1



Name : Kesit 1(h=8m)

Stage - analysis : 2 - 1



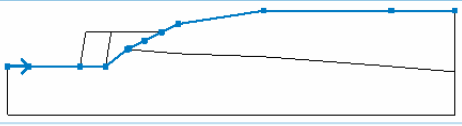
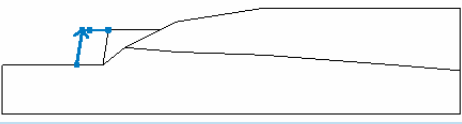
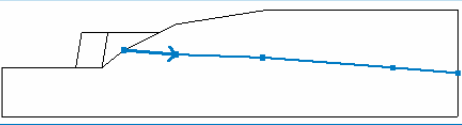
[Geo 5 - Slope stability | version 5.5.8.0 | hardware key 3702 / 2 | Yavuz Seymen - test dealer | Copyright (c) FINE Ltd. 2007 | www.fine.cz]

Slope stability analysis**Project**

Task : Yüksek Lisans Tezi
 Part : Kesit 1(h=8m)
 Description : Yalova-Bursa Karayolu Sev Stabilite Analizi
 Author : Duygu Kotan
 Date : 01.12.2007

Analysis type : in effective parameters

Interface

Number	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00
		18,00	0,00	23,07	3,99	23,59	4,25
		27,12	6,00	31,16	8,00	35,00	9,90
		55,00	13,00	85,00	13,00	100,00	13,00
2		12,00	0,00	13,30	8,00	15,00	8,00
		19,25	8,00	19,30	8,00		
3		18,00	0,00	19,30	8,00	25,00	8,00
		31,16	8,00				
4		23,07	3,99	35,00	3,00	55,00	2,30
		85,00	0,00	100,00	-1,25		

Soil parameters - effective stress state

Number	Name	Pattern	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Kati-Cok Kati Kil		28,00	0,00	20,00
2	Cok Kati-Sert Kil		32,00	0,00	20,00
3	Dolgu		34,00	0,00	20,00
4	Arka Dolgu		37,00	0,00	20,00

Soil parameters - uplift

Number	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [–]
1	Kati-Cok Kati Kil		20,00		
2	Cok Kati-Sert Kil		20,00		
3	Dolgu		20,00		
4	Arka Dolgu		20,00		

Soil parameters**Kati-Cok Kati Kil**

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Cok Kati-Sert Kil

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 32,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

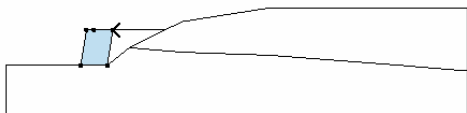
Dolgu

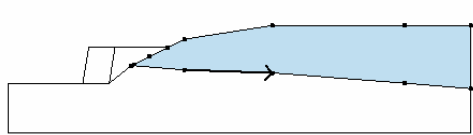
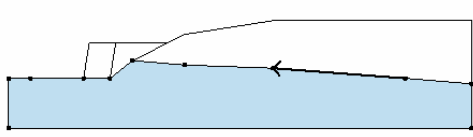
Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 34,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Arka Dolgu

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 37,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		19,30	8,00	19,25	8,00	Dolgu 
		15,00	8,00	13,30	8,00	
		12,00	0,00	18,00	0,00	

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
2		25,00	8,00	19,30	8,00	Arka Dolgu 
		18,00	0,00	23,07	3,99	
		23,59	4,25	27,12	6,00	
		31,16	8,00			
3		35,00	3,00	55,00	2,30	Kati-Cok Kati Kil 
		85,00	0,00	100,00	-1,25	
		100,00	13,00	85,00	13,00	
		55,00	13,00	35,00	9,90	
		31,16	8,00	27,12	6,00	
4		23,59	4,25	23,07	3,99	Cok Kati-Sert Kil 
		85,00	0,00	55,00	2,30	
		35,00	3,00	23,07	3,99	
		18,00	0,00	12,00	0,00	
		0,00	0,00	-5,00	0,00	
		-5,00	-11,25	100,00	-11,25	
		100,00	-1,25			

Stiffeners

Number	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T _d [kN/m ²]	Strength R _t [kN/m]
	z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
1	12,00	0,00	18,00	0,00	6,00	40,00	75,00
2	12,05	0,20	18,05	0,20	6,00	40,00	75,00
3	12,10	0,40	18,10	0,40	6,00	40,00	75,00
4	12,15	0,60	18,15	0,60	6,00	40,00	75,00
5	12,20	0,80	18,20	0,80	6,00	40,00	75,00
6	12,25	1,00	18,25	1,00	6,00	40,00	75,00
7	12,30	1,20	18,30	1,20	6,00	40,00	75,00
8	12,35	1,40	18,35	1,40	6,00	40,00	75,00
9	12,40	1,60	18,40	1,60	6,00	40,00	75,00
10	12,45	1,80	18,45	1,80	6,00	40,00	75,00
11	12,50	2,00	18,50	2,00	6,00	40,00	75,00
12	12,55	2,30	18,55	2,30	6,00	40,00	75,00
13	12,60	2,60	18,60	2,60	6,00	40,00	75,00
14	12,65	2,90	18,65	2,90	6,00	40,00	75,00
15	12,70	3,20	18,70	3,20	6,00	40,00	75,00
16	12,75	3,50	18,75	3,50	6,00	40,00	75,00
17	12,80	3,80	18,80	3,80	6,00	40,00	75,00
18	12,85	4,20	18,85	4,20	6,00	40,00	75,00
19	12,90	4,60	18,90	4,60	6,00	40,00	75,00
20	12,95	5,00	18,95	5,00	6,00	40,00	75,00
21	13,00	5,40	19,00	5,40	6,00	40,00	75,00
22	13,05	5,80	19,05	5,80	6,00	40,00	75,00
23	13,10	6,20	19,10	6,20	6,00	40,00	75,00
24	13,15	6,60	19,15	6,60	6,00	40,00	75,00
25	13,20	7,00	19,20	7,00	6,00	40,00	75,00
26	13,25	7,50	19,25	7,50	6,00	40,00	75,00
27	13,30	8,00	19,30	8,00	6,00	40,00	75,00

Surcharge

Number	Type	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude q, q ₁ , f, F			unit
1	strip	on terrain	60,00	30,00		0,00	20,00			kN/m ²

Surcharges

Number	Name
1	Bina

Water

Water type : Coefficient Ru

Number	Interface Ru location	Coordinates of interface Ru points [m]						Coeff. Ru [-]
		x	z	x	z	x	z	
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00	0,500
		12,81	5,01	13,30	8,00	15,00	8,00	
		19,25	8,00	19,30	8,00	25,00	8,00	
		31,16	8,00	35,00	9,90	55,00	13,00	
		85,00	13,00	100,00	13,00			
2		12,81	5,01	18,78	5,01	25,13	5,01	0,300
		35,00	6,00	55,00	7,00	85,00	8,00	
		100,00	8,50					

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

Earthquake

Earthquake not included.

Analysis settings

Analysis settings : User-defined

Analysis type : Safety factor

Safety factor : 1,30

Results (Stage of construction 1)**Analysis 1 (stage 1)****Circular slip surface**

Slip surface parameters				
Center :	x =	20,00 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$ -48,19 [°]
	z =	10,00 [m]		$\alpha_2 =$ 89,62 [°]
Radius :	R =	15,00 [m]		
Analysis of the slip surface without optimization.				

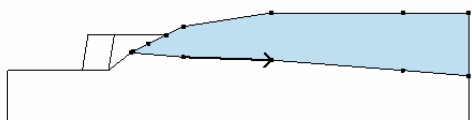
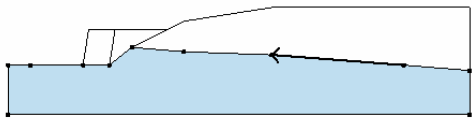
Stiffener forces

Stiffener Force [kN/m]

1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00

10	0,00
11	0,00
12	0,00
13	0,00
14	0,00
15	0,00
16	0,00
17	0,00
18	0,00
19	0,00
20	0,00
21	0,00
22	0,00
23	0,00
24	0,00
25	0,00
26	0,00
27	0,00

Slope stability verification (Bishop)Sum of active forces : $F_a = 758,08 \text{ kN/m}$ Sum of passive forces : $F_p = 2376,15 \text{ kN/m}$ Sliding moment : $M_a = 11371,15 \text{ kNm/m}$ Resisting moment : $M_p = 35642,18 \text{ kNm/m}$ Factor of safety = $3,13 > 1,30$ **Slope stability SATISFACTORY****Input data data (Stage of construction 2)****Assigning and surfaces**

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		19,30	8,00	19,25	8,00	Dolgu 
		15,00	8,00	13,30	8,00	
		12,00	0,00	18,00	0,00	
2		25,00	8,00	19,30	8,00	Arka Dolgu 
		18,00	0,00	23,07	3,99	
		23,59	4,25	27,12	6,00	
		31,16	8,00			
3		35,00	3,00	55,00	2,30	Kati-Cok Kati Kil 
		85,00	0,00	100,00	-1,25	
		100,00	13,00	85,00	13,00	
		55,00	13,00	35,00	9,90	
		31,16	8,00	27,12	6,00	
4		23,59	4,25	23,07	3,99	Cok Kati-Sert Kil 
		85,00	0,00	55,00	2,30	
		35,00	3,00	23,07	3,99	
		18,00	0,00	12,00	0,00	
		0,00	0,00	-5,00	0,00	
		-5,00	-11,25	100,00	-11,25	
		100,00	-1,25			

Stiffeners

Number	Stiffener new	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
		z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
1	No	12,00	0,00	18,00	0,00	6,00	40,00	75,00
2	No	12,05	0,20	18,05	0,20	6,00	40,00	75,00
3	No	12,10	0,40	18,10	0,40	6,00	40,00	75,00
4	No	12,15	0,60	18,15	0,60	6,00	40,00	75,00
5	No	12,20	0,80	18,20	0,80	6,00	40,00	75,00
6	No	12,25	1,00	18,25	1,00	6,00	40,00	75,00
7	No	12,30	1,20	18,30	1,20	6,00	40,00	75,00
8	No	12,35	1,40	18,35	1,40	6,00	40,00	75,00
9	No	12,40	1,60	18,40	1,60	6,00	40,00	75,00
10	No	12,45	1,80	18,45	1,80	6,00	40,00	75,00
11	No	12,50	2,00	18,50	2,00	6,00	40,00	75,00
12	No	12,55	2,30	18,55	2,30	6,00	40,00	75,00
13	No	12,60	2,60	18,60	2,60	6,00	40,00	75,00
14	No	12,65	2,90	18,65	2,90	6,00	40,00	75,00
15	No	12,70	3,20	18,70	3,20	6,00	40,00	75,00
16	No	12,75	3,50	18,75	3,50	6,00	40,00	75,00
17	No	12,80	3,80	18,80	3,80	6,00	40,00	75,00
18	No	12,85	4,20	18,85	4,20	6,00	40,00	75,00
19	No	12,90	4,60	18,90	4,60	6,00	40,00	75,00
20	No	12,95	5,00	18,95	5,00	6,00	40,00	75,00
21	No	13,00	5,40	19,00	5,40	6,00	40,00	75,00
22	No	13,05	5,80	19,05	5,80	6,00	40,00	75,00
23	No	13,10	6,20	19,10	6,20	6,00	40,00	75,00
24	No	13,15	6,60	19,15	6,60	6,00	40,00	75,00
25	No	13,20	7,00	19,20	7,00	6,00	40,00	75,00
26	No	13,25	7,50	19,25	7,50	6,00	40,00	75,00
27	No	13,30	8,00	19,30	8,00	6,00	40,00	75,00

Surcharge

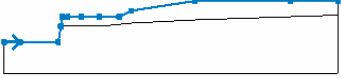
Number	Surcharge		Type	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude		
	new	change							q, q_1, f, F	q_2	unit
1	No	No	strip	on terrain	60,00	30,00		0,00	20,00		kN/m ²

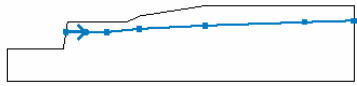
Surcharges

Number	Name
1	Bina

Water

Water type : Coefficient Ru

Number	Interface Ru location	Coordinates of interface Ru points [m]						Coeff. Ru [-]
		x	z	x	z	x	z	
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00	0,500
		12,81	5,01	13,30	8,00	15,00	8,00	
		19,25	8,00	19,30	8,00	25,00	8,00	
		31,16	8,00	35,00	9,90	55,00	13,00	
		85,00	13,00	100,00	13,00			

Number	Interface Ru location	Coordinates of interface Ru points [m]						Coeff. Ru [-]
		x	z	x	z	x	z	
2		12,81	5,01	18,78	5,01	25,13	5,01	0,300
		35,00	6,00	55,00	7,00	85,00	8,00	
		100,00	8,50					

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

EarthquakeHorizontal seismic coefficient: $K_h = 0,20$ Vertical seismic coefficient: $K_v = 0,00$ **Analysis settings**

Analysis settings : User-defined

Analysis type : Safety factor

Safety factor : 1,30

Results (Stage of construction 2)**Analysis 1 (stage 2)****Circular slip surface**

Slip surface parameters					
Center :	x =	20,00 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-48,19 [°]
	z =	10,00 [m]		$\alpha_2 =$	89,62 [°]
Radius :	R =	15,00 [m]			
Analysis of the slip surface without optimization.					

Stiffener forces

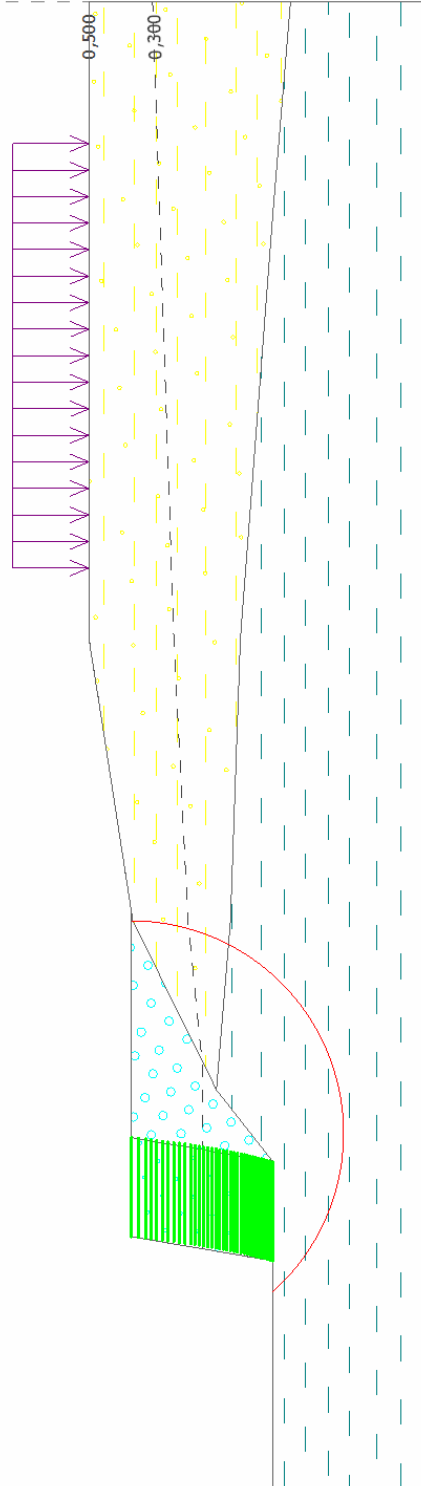
Stiffener Force [kN/m]

1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00
11	0,00
12	0,00
13	0,00
14	0,00
15	0,00
16	0,00
17	0,00
18	0,00
19	0,00
20	0,00
21	0,00
22	0,00
23	0,00
24	0,00
25	0,00
26	0,00
27	0,00

Slope stability verification (Bishop)Sum of active forces : $F_a = 758,08 \text{ kN/m}$ Sum of passive forces : $F_p = 2313,83 \text{ kN/m}$ Sliding moment : $M_a = 18913,68 \text{ kNm/m}$ Resisting moment : $M_p = 34707,43 \text{ kNm/m}$ Factor of safety = $1,83 > 1,30$ **Slope stability SATISFACTORY**

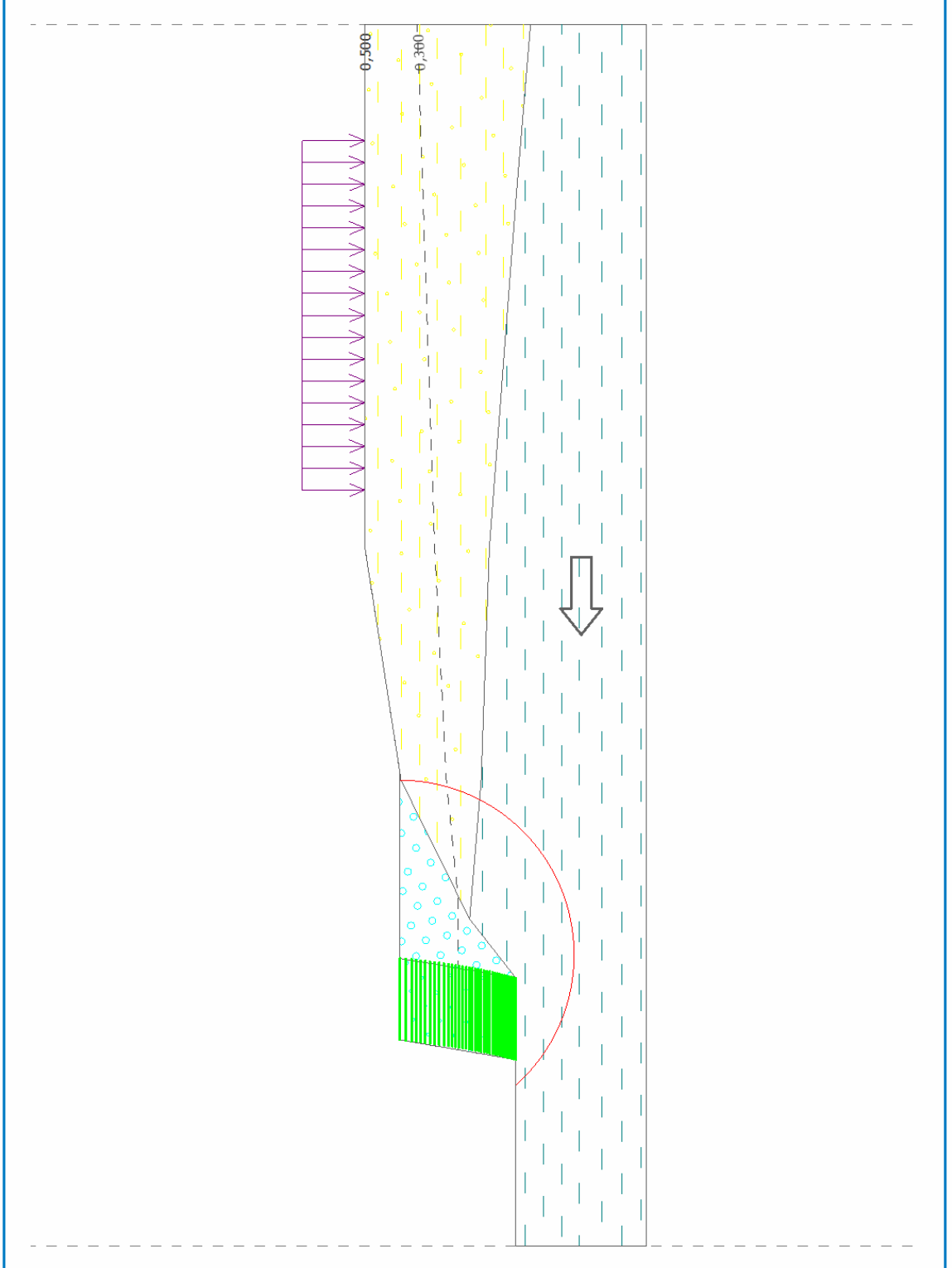
Name : Kesit 1(h=10m)

Stage - analysis : 1 - 1



Name : Kesit 1(h=10m)

Stage - analysis : 2 - 1



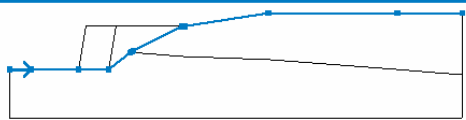
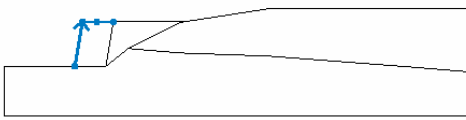
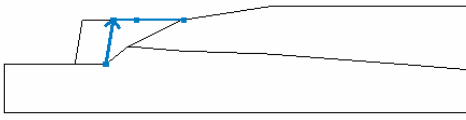
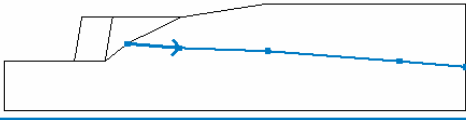
[Geo 5 - Slope stability | version 5.5.8.0 | hardwarekey 3702 / 2 | Yavuz Seymen - test dealer | Copyright (c) FINE Ltd. 2007 | www.fine.cz]

Slope stability analysis**Project**

Task : Yüksek Lisans Tezi
 Part : Kesit 1(h=10m)
 Description : Yalova-Bursa Karayolu Sev Stabilite Analizi
 Author : Duygu Kotan
 Date : 01.12.2007

Analysis type : in effective parameters

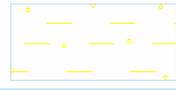
Interface

Number	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	11,00	0,00
		18,00	0,00	23,07	3,99	23,59	4,25
		35,00	9,90	35,65	10,00	55,00	13,00
		85,00	13,00	100,00	13,00		
2		11,00	0,00	12,70	10,00	16,00	10,00
		19,70	10,00				
3		18,00	0,00	19,70	10,00	25,00	10,00
		35,65	10,00				
4		23,07	3,99	35,00	3,00	55,00	2,30
		85,00	0,00	100,00	-1,25		

Soil parameters - effective stress state

Number	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	Kati-Cok Kati Kil		28,00	0,00	20,00
2	Cok Kati-Sert Kil		32,00	0,00	20,00
3	Dolgu		34,00	0,00	20,00
4	Arka Dolgu		37,00	0,00	20,00

Soil parameters - uplift

Number	Name	Pattern	γ_{sat}	γ_s	n
			[kN/m ³]	[kN/m ³]	[-]
1	Kati-Cok Kati Kil		20,00		
2	Cok Kati-Sert Kil		20,00		
3	Dolgu		20,00		
4	Arka Dolgu		20,00		

Soil parameters**Kati-Cok Kati Kil**

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Cok Kati-Sert Kil

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 32,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

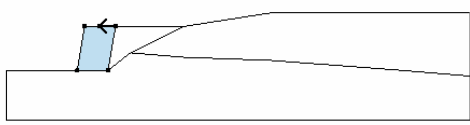
Dolgu

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 34,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Arka Dolgu

Unit weight : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Angle of intern. friction : $\varphi_{ef} = 37,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Assigning and surfaces

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		19,70	10,00	16,00	10,00	Dolgu 
		12,70	10,00	11,00	0,00	
		18,00	0,00			

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
2		25,00	10,00	19,70	10,00	Arka Dolgu
		18,00	0,00	23,07	3,99	
		23,59	4,25	35,00	9,90	
		35,65	10,00			
3		35,00	3,00	55,00	2,30	Kati-Cok Kati Kil
		85,00	0,00	100,00	-1,25	
		100,00	13,00	85,00	13,00	
		55,00	13,00	35,65	10,00	
		35,00	9,90	23,59	4,25	
4		23,07	3,99			Cok Kati-Sert Kil
		85,00	0,00	55,00	2,30	
		35,00	3,00	23,07	3,99	
		18,00	0,00	11,00	0,00	
		0,00	0,00	-5,00	0,00	
		-5,00	-11,25	100,00	-11,25	
		100,00	-1,25			

Stiffeners

Number	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
	z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
1	11,00	0,00	18,00	0,00	7,00	40,00	75,00
2	11,05	0,20	18,05	0,20	7,00	40,00	75,00
3	11,10	0,40	18,10	0,40	7,00	40,00	75,00
4	11,15	0,60	18,15	0,60	7,00	40,00	75,00
5	11,20	0,80	18,20	0,80	7,00	40,00	75,00
6	11,25	1,00	18,25	1,00	7,00	40,00	75,00
7	11,30	1,20	18,30	1,20	7,00	40,00	75,00
8	11,35	1,40	18,35	1,40	7,00	40,00	75,00
9	11,40	1,60	18,40	1,60	7,00	40,00	75,00
10	11,45	1,80	18,45	1,80	7,00	40,00	75,00
11	11,50	2,00	18,50	2,00	7,00	40,00	75,00
12	11,55	2,25	18,55	2,25	7,00	40,00	75,00
13	11,60	2,50	18,60	2,50	7,00	40,00	75,00
14	11,65	2,75	18,65	2,75	7,00	40,00	75,00
15	11,70	3,00	18,70	3,00	7,00	40,00	75,00
16	11,75	3,25	18,75	3,25	7,00	40,00	75,00
17	11,80	3,50	18,80	3,50	7,00	40,00	75,00
18	11,85	3,75	18,85	3,75	7,00	40,00	75,00
19	11,90	4,00	18,90	4,00	7,00	40,00	75,00
20	11,95	4,30	18,95	4,30	7,00	40,00	75,00
21	12,00	4,60	19,00	4,60	7,00	40,00	75,00
22	12,05	4,90	19,05	4,90	7,00	40,00	75,00
23	12,10	5,20	19,10	5,20	7,00	40,00	75,00
24	12,15	5,50	19,15	5,50	7,00	40,00	75,00
25	12,20	5,80	19,20	5,80	7,00	40,00	75,00
26	12,25	6,20	19,25	6,20	7,00	40,00	75,00
27	12,30	6,60	19,30	6,60	7,00	40,00	75,00
28	12,35	7,00	19,35	7,00	7,00	40,00	75,00

Number	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
	z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
29	12,40	7,40	19,40	7,40	7,00	40,00	75,00
30	12,45	7,80	19,45	7,80	7,00	40,00	75,00
31	12,50	8,20	19,50	8,20	7,00	40,00	75,00
32	12,55	8,60	19,55	8,60	7,00	40,00	75,00
33	12,60	9,00	19,60	9,00	7,00	40,00	75,00
34	12,65	9,50	19,65	9,50	7,00	40,00	75,00
35	12,70	10,00	19,70	10,00	7,00	40,00	75,00

Surcharge

Number	Type	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude		
							q, q ₁ , f, F	q ₂	unit
1	strip	on terrain	60,00	30,00		0,00	20,00		kN/m ²

Surcharges

Number	Name
1	Bina

Water

Water type : Coefficient Ru

Number	Interface Ru location	Coordinates of interface Ru points [m]						Coeff. Ru [-]
		x	z	x	z	x	z	
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	11,00	0,00	0,500
		11,85	5,01	12,70	10,00	16,00	10,00	
		19,70	10,00	25,00	10,00	35,65	10,00	
		55,00	13,00	85,00	13,00	100,00	13,00	
2		11,85	5,01	18,85	5,01	25,13	5,01	0,300
		35,00	6,00	55,00	7,00	85,00	8,00	
		100,00	8,50					

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

Earthquake

Earthquake not included.

Analysis settings

Analysis settings : User-defined

Analysis type : Safety factor

Safety factor : 1,30

Results (Stage of construction 1)**Analysis 1 (stage 1)****Circular slip surface**

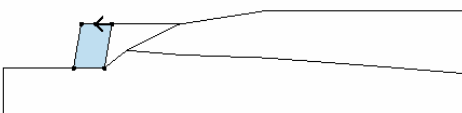
Slip surface parameters					
Center :	x =	20,00 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-48,19 [°]
	z =	10,00 [m]		$\alpha_2 =$	90,00 [°]
Radius :	R =	15,00 [m]			
Analysis of the slip surface without optimization.					

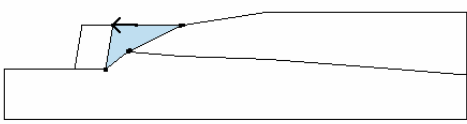
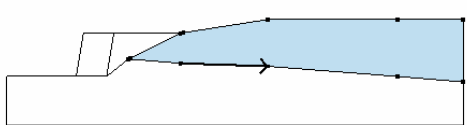
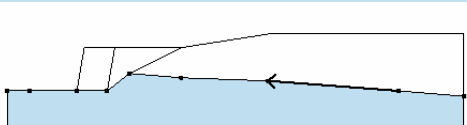
Stiffener forces

Stiffener Force [kN/m]

1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00
11	0,00
12	0,00
13	0,00
14	0,00
15	0,00
16	0,00
17	0,00
18	0,00
19	0,00
20	0,00
21	0,00
22	0,00
23	0,00
24	0,00
25	0,00
26	0,00
27	0,00
28	0,00
29	0,00
30	0,00
31	0,00
32	0,00
33	0,00
34	0,00
35	0,00

Slope stability verification (Bishop)Sum of active forces : $F_a = 618,00$ kN/mSum of passive forces : $F_p = 2821,40$ kN/mSliding moment : $M_a = 9270,01$ kNm/mResisting moment : $M_p = 42321,06$ kNm/mFactor of safety = $4,56 > 1,30$ **Slope stability SATISFACTORY****Input data data (Stage of construction 2)****Assigning and surfaces**

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		19,70	10,00	16,00	10,00	Dolgu
		12,70	10,00	11,00	0,00	
		18,00	0,00			
						

Number	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
2		25,00	10,00	19,70	10,00	Arka Dolgu 
		18,00	0,00	23,07	3,99	
		23,59	4,25	35,00	9,90	
		35,65	10,00			
3		35,00	3,00	55,00	2,30	Kati-Cok Kati Kil 
		85,00	0,00	100,00	-1,25	
		100,00	13,00	85,00	13,00	
		55,00	13,00	35,65	10,00	
		35,00	9,90	23,59	4,25	
4		23,07	3,99			Cok Kati-Sert Kil 
		85,00	0,00	55,00	2,30	
		35,00	3,00	23,07	3,99	
		18,00	0,00	11,00	0,00	
		0,00	0,00	-5,00	0,00	
		-5,00	-11,25	100,00	-11,25	
		100,00	-1,25			

Stiffeners

Number	Stiffener new	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T _d [kN/m ²]	Strength R _t [kN/m]
		z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
1	No	11,00	0,00	18,00	0,00	7,00	40,00	75,00
2	No	11,05	0,20	18,05	0,20	7,00	40,00	75,00
3	No	11,10	0,40	18,10	0,40	7,00	40,00	75,00
4	No	11,15	0,60	18,15	0,60	7,00	40,00	75,00
5	No	11,20	0,80	18,20	0,80	7,00	40,00	75,00
6	No	11,25	1,00	18,25	1,00	7,00	40,00	75,00
7	No	11,30	1,20	18,30	1,20	7,00	40,00	75,00
8	No	11,35	1,40	18,35	1,40	7,00	40,00	75,00
9	No	11,40	1,60	18,40	1,60	7,00	40,00	75,00
10	No	11,45	1,80	18,45	1,80	7,00	40,00	75,00
11	No	11,50	2,00	18,50	2,00	7,00	40,00	75,00
12	No	11,55	2,25	18,55	2,25	7,00	40,00	75,00
13	No	11,60	2,50	18,60	2,50	7,00	40,00	75,00
14	No	11,65	2,75	18,65	2,75	7,00	40,00	75,00
15	No	11,70	3,00	18,70	3,00	7,00	40,00	75,00
16	No	11,75	3,25	18,75	3,25	7,00	40,00	75,00
17	No	11,80	3,50	18,80	3,50	7,00	40,00	75,00
18	No	11,85	3,75	18,85	3,75	7,00	40,00	75,00
19	No	11,90	4,00	18,90	4,00	7,00	40,00	75,00
20	No	11,95	4,30	18,95	4,30	7,00	40,00	75,00
21	No	12,00	4,60	19,00	4,60	7,00	40,00	75,00
22	No	12,05	4,90	19,05	4,90	7,00	40,00	75,00
23	No	12,10	5,20	19,10	5,20	7,00	40,00	75,00
24	No	12,15	5,50	19,15	5,50	7,00	40,00	75,00
25	No	12,20	5,80	19,20	5,80	7,00	40,00	75,00
26	No	12,25	6,20	19,25	6,20	7,00	40,00	75,00
27	No	12,30	6,60	19,30	6,60	7,00	40,00	75,00
28	No	12,35	7,00	19,35	7,00	7,00	40,00	75,00

Number	Stiffness new	Point to the left		Point to the right		Length L [m]	Pull out b.c. T_d [kN/m ²]	Strength R_t [kN/m]
		z [m]	z [m]	x [m]	z [m]			
29	No	12,40	7,40	19,40	7,40	7,00	40,00	75,00
30	No	12,45	7,80	19,45	7,80	7,00	40,00	75,00
31	No	12,50	8,20	19,50	8,20	7,00	40,00	75,00
32	No	12,55	8,60	19,55	8,60	7,00	40,00	75,00
33	No	12,60	9,00	19,60	9,00	7,00	40,00	75,00
34	No	12,65	9,50	19,65	9,50	7,00	40,00	75,00
35	No	12,70	10,00	19,70	10,00	7,00	40,00	75,00

Surcharge

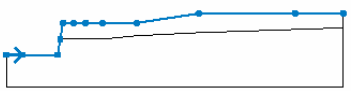
Number	Surcharge		Type	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude		
	new	change							q, q ₁ , f, F	q ₂	unit
1	No	No	strip	on terrain	60,00	30,00		0,00	20,00		kN/m ²

Surcharges

Number	Name
1	Bina

Water

Water type : Coefficient Ru

Number	Interface Ru location	Coordinates of interface Ru points [m]						Coeff. Ru [-]
		x	z	x	z	x	z	
1		-5,00	0,00	0,00	0,00	11,00	0,00	0,500
		11,85	5,01	12,70	10,00	16,00	10,00	
		19,70	10,00	25,00	10,00	35,65	10,00	
		55,00	13,00	85,00	13,00	100,00	13,00	
2		11,85	5,01	18,85	5,01	25,13	5,01	0,300
		35,00	6,00	55,00	7,00	85,00	8,00	
		100,00	8,50					

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

EarthquakeHorizontal seismic coefficient : $K_h = 0,20$ Vertical seismic coefficient : $K_v = 0,00$ **Analysis settings**

Analysis settings : User-defined

Analysis type : Safety factor

Safety factor : 1,30

Results (Stage of construction 2)**Analysis 1 (stage 2)****Circular slip surface**

Slip surface parameters					
Center :	x =	20,00 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-48,19 [°]
	z =	10,00 [m]		$\alpha_2 =$	90,00 [°]
Radius :	R =	15,00 [m]			
Analysis of the slip surface without optimization.					

Stiffener forces

Stiffener Force [kN/m]

1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00
11	0,00
12	0,00
13	0,00
14	0,00
15	0,00
16	0,00
17	0,00
18	0,00
19	0,00
20	0,00
21	0,00
22	0,00
23	0,00
24	0,00
25	0,00
26	0,00
27	0,00
28	0,00
29	0,00
30	0,00
31	0,00
32	0,00
33	0,00
34	0,00
35	0,00

Slope stability verification (Bishop)Sum of active forces : $F_a = 618,00$ kN/mSum of passive forces : $F_p = 2791,53$ kN/mSliding moment : $M_a = 17221,35$ kNm/mResisting moment : $M_p = 41872,90$ kNm/m

Factor of safety = 2,43 > 1,30

Slope stability SATISFACTORY

ÖZGEÇMİŞ

Duygu Kotan, 1981 yılında İstanbul’da doğdu. Orta ve lise öğrenimini İSTEK Vakfı Semiha Şakir Lisesi’nde tamamladıktan sonra 1999 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği’nden 2003 yılında mezun oldu. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen NYS Proje Danışmanlık İnşaat San. Ve Tic. Ltd. Şti.’de çalışmaktadır.