

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAZIK GRUPLARI İLE ŞEV STABİLİTE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülnihal GENÇ

OCAK 2010

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAZIK GRUPLARI İLE ŞEV STABİLİTE ANALİZİ

İnş. Müh. Gülnihal GENÇ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“ İnşaat Yüksek Mühendisi ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29.12.2009
Tezin Savunma Tarihi : 22.01.2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Bayram Ali UZUNER
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT**

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Günümüzde giderek artan nüfusa paralel olarak yeni yerleşim yerlerine duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Bu gereksinimler bazı yerleşim yerlerinin yamaçlara doğru ilerlemesine sebep olmuştur. Heyelana duyarlı yerlerde fazla inceleme yapılmadan yerleşim alanlarının oluşturulması, yağış, deprem gibi bazı doğa olayları, bitki örtüsünün tahrip edilmesi gibi olaylar yerleşim alanlarında heyelan olma riskini artırmaktadır. Doğal afetler arasında yaratmış olduğu olumsuz etkilerden dolayı önemli bir yer tutan heyelanlar, yerleşim yerlerinde can ve mal kayıplarına sebep olurlar.

Bu tezde, ilgi alanım dahilinde olan bu konuya değinerek danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN yönetiminde İstanbul ili Avcılar ilçesinde bulunan, İstanbul Üniversitesi Avcılar kampüsü İETT Durağının Triaaj Alanı Önü üzerinde meydana gelen zemin kaymasının stabilitesini sağlamak amacıyla uygulanmış yöntemler incelenmiştir.

Tez çalışmamın başından sonuna kadar bana yardım ve desteklerini esirgemeyen ;
Başta yardımlarından dolayı danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN'a,
Heyelan alanında planladığı kazıklı iksa sistemiyle beni bilgilendirdiği için, Sayın Prof. Dr. Tuncer ÇELİK'e,

Arazi ve büro çalışmaları için her türlü imkânı sağlayan Burhan TAŞPOLAT'a,

Yapmış oldukları yardımlardan dolayı inşaat yüksek mühendisi Yavuz ER'e, Kerem SINIRTEKİN'e, Hakkı HACIOĞLU'na ve Berkan KARATAŞ'a,

Tez çalışmamın her aşamasında göstermiş olduğu manevi desteği için yengem Nilgün Genç'e ve yardımlarından dolayı amcalarım Mehmetali, Hasanali Genç'e ve teyzem Barış HACISALİHOĞLU'na,

Tüm yaşantım boyunca yanımda olan, desteklerini ve ilgilerini esirgemeyen, bu tezin ortaya çıkmasını sağlayan eşsiz annem Gülşen GENÇ'e, babam Teoman GENÇ'e ve kardeşim Lalezar GENÇ'e,

İçten teşekkürlerimi sunarım.

Son teşekkürüm; anneannem merhum Şehriban HACISALİHOĞLU'na. Biliyorum ki her zaman yanımdasın. Yüksek lisans tezimi aziz hatıranı ithaf ediyorum.

Gülnihal GENÇ
Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Doğal Afet Risklerinin Değerlendirilmesi.....	2
1.3. Kütle Hareketleri.....	5
1.4. Kütle Hareketlerinin Sınıflanması.....	8
1.4.1. Düşme.....	13
1.4.2. Akma.....	15
1.4.2.1. Yavaş Akma (Krip).....	15
1.4.2.1.1. Toprak Kripi.....	16
1.4.2.1.2. Yamaç Molozu Kripi.....	17
1.4.2.1.3. Kaya Kripi.....	18
1.4.2.2. Hızlı Akma.....	18
1.4.2.2.1. Toprak Akması.....	18
1.4.3. Devrilme.....	19
1.4.4. Kayma.....	21
1.4.4.1. Ötelenmeli (Düzlemsel) Kayma.....	23
1.4.4.1.1. Düzlemsel Kayma.....	23
1.4.4.1.2. Kama Türü Kayma.....	23
1.4.4.1.3. İki veya Çok Yüzeyle Kayma.....	23
1.4.4.2. Dönel (Heyelan) Kayma.....	24
1.4.4.2.1. Heyelan.....	26

1.4.5.	Yanal Yayılma	29
1.4.5.1.	Yanal Kaya Yayılması	29
1.4.5.2.	Yanal Zemin Yayılması	29
1.4.6.	Karmaşık Hareketler	30
1.5.	Kütlelerin Dengesine Etki Yapan Faktörler	30
1.5.1.	Tane Büyüklüğü	31
1.5.2.	Tane Biçimi	31
1.5.3.	Tanelerin Kimyasal Bileşimi	32
1.5.4.	Jeolojik Yapının Etkisi	32
1.5.5.	Basınç ve Gerilmelerin Etkisi	33
1.6.	Yamaç ve Şevlerin Duraylılığı (Stabilitesi)	33
1.6.1.	Zemin Şevleri	34
1.6.2.	Kayma Dairesi Derinliğinin Yaklaşık Bulunması	40
1.6.2.1.	Kayma Dairesi Yolu	40
1.6.2.2.	Konsantrik Daire Yolu	41
1.6.2.3.	Gerilme Çatlaklarından Yararlanma	43
1.6.2.4.	Sondajlardan Yararlanma	43
1.6.2.5.	Jeofizik Yöntemlerden Yararlanma	44
1.6.3.	Kaya Şevleri	44
1.6.3.1.	Kaya Şevleri Duraylılığını Etkileyen Faktörler	44
1.6.3.1.1.	Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısı	44
1.6.3.1.2.	Süreksizlik Şeklinin Etkisi	45
1.6.3.1.3.	Çatlak Pürüzlülüğünün Etkisi	45
1.6.3.1.4.	Çatlak Dolgu Malzemesinin Etkisi	45
1.6.3.1.5.	Çatlak Suyu Basıncının Etkisi	45
1.7.	Kütle Hareketlerini ve Heyelanları Önleme	46
1.7.1.	Yerüstü ve Yeraltı Sularının Drenajı	46
1.7.2.	Şev ve Yamaçların Korunması	50
1.7.3.	Topuğa Ağırlık Yapıların İnşası	50
1.7.4.	Kazık ve Kaya Blonları	52
1.7.5.	Yamaç ve Şevlerin Düzenlenmesi	54
1.7.6.	Zeminlerin Sertleştirilmesi	54
1.7.6.1.	Electro-Osmoz	54

1.7.6.2.	Dondurma Yöntemi	55
1.7.6.3.	Piştirme Yöntemi	55
1.7.6.4.	Çimentolama Yöntemi	56
1.7.6.5.	Kimyasal Maddelerle Enjeksiyon	56
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	57
2.1.	İstanbul İli Avcılar İlçesi İETT Triaj Alanı Önü Heyelanının İncelenmesi ..	57
2.1.1.	Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler	57
2.1.2.	Genel Jeoloji	58
2.1.3.	İnceleme Alanı Mühendislik Jeolojisi	60
2.2.	İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar	63
2.2.1.	Arazi Çalışmaları	64
2.2.1.1.	Sondaj Kuyuları	64
2.2.1.2.	Yeraltı ve Yerüstü Suları	65
2.2.1.2.1.	Yerüstü Su Durumu	65
2.2.1.2.2.	Yeraltı Su Durumu	65
2.2.1.3.	Yerinde (In-Situ) Deneyler	66
2.2.1.3.1.	Standart Penetrasyon Deneyi	66
2.2.1.4.	Jeofizik Çalışmalar	67
2.2.1.4.1.	Sismik Kırılma	67
2.2.1.4.2.	Jeofizik Parametreler	71
2.2.2.	Laboratuar Çalışmaları	73
2.2.2.1.	Kesme Kutusu Deneyi	73
2.2.2.2.	Atterberg Limitleri Deneyi	78
2.2.2.3.	Elek Analizi Deneyi	88
3.	BULGULAR	91
3.1.	Plaxis Programı	92
3.1.1	Noktalar	92
3.1.2.	Çizgiler	92
3.1.3	Hücreler	92
3.1.4	Elemanlar	92
3.1.5.	Düğüm Noktaları	93
3.1.6.	Gerilme Noktaları	93
3.2.	Sistemin Plaxis Programı ile Modellendirilmesi	94

4. İRDELEME	113
5. SONUÇLAR.....	115
6. ÖNERİLER	117
7. KAYNAKLAR.....	119
8. EKLER	121
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Heyelan veya şev kayması olarak adlandırdığımız kütle hareketleri ülkemizin jeolojik, jeodezik ve iklim özellikleri nedeni ile sıkça rastladığımız doğal afetlerdendir. Kütle hareketleri ülkemizin en çok batı Karadeniz, doğu Karadeniz ve marmara bölgesinde görülmektedir. Heyelanların oluştuğu bölgelerde önemli derecede sosyal ve ekonomik kayıplar oluşmaktadır. Hiçbir kütle hareketi aniden meydana gelmemektedir. En hızlı heyelanlar bile öncesinden belirtilerini göstermektedir. Oluşan zararlar tehlikelerin önceden fark edilmeyişlerinin sonucudur. Heyelan alanlarının önceden belirlenerek yerleşim alanlarının buna göre kurulması gerekmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul ili, Avcılar ilçesi, İstanbul Üniversitesi Avcılar kampüsü, İETT Durağı, Triaj Alanı önü üzerinde oluşan heyelan incelenmiştir.

Bu amaçla heyelan görülen bölgenin jeolojik yapısının ve yeraltı suyu durumunun ortaya çıkarılması için sondajlar yapılmıştır. Arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları yapılarak etüd bölgesinin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Heyelan bölgesinin stabilitesinin sağlanması için kazıklı iksa sistemi ve drenaj uygulamaları yapılmıştır. Heyelan bölgesinin kesitleri çıkarılarak bilgisayar ortamında sayısallaştırılmıştır. Bölgenin mühendislik özellikleri kullanılarak stabilite hesapları plaxis bilgisayar programı ile yapılmıştır.

Elde edilen veriler yamaç üzerinde alınan tedbirlerle zeminin stabilitesinin sağlandığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kütle hareketleri, Yamaç stabilitesi, Heyelan, Kazık grupları

SUMMARY

Slope Stability Analysis with Pile Groups

Block movements which we denominate as slope failures and landslides are natural disasters that we experience frequently due to our country's geological, geodesic and climatic properties. Block movements mostly occur in the West Blacksea, East Blacksea and Marmara regions of Turkey. A considerable amount of economical and social losses occur in regions where landslides happen frequently. None of block movements happen suddenly, even the quickest landslide shows indications before it happens. Losses are the consequences of not realizing the danger prior to its occurrence. First, the areas in which landslide occur should be determined and residential areas should be settled according to this.

The landslides examined in this study occurred in front of the Yard Area in Istanbul City, Avcılar Town, Istanbul University Avcılar Campus, and IETT Bus stop. Drillings were made to discover the landslide area's geological structure and subterranean water situation. Area's engineering properties were determined by making field, laboratory and desk studies. Piles shoring systems and drainage applications were used to stabilize the landslide area. Landslide area's sections were determined and digitized in computer environment. Stability calculations were made through Plaxis software by using area's engineering properties. Derived data shows that the measures taken on these slopes have stabilized soil.

Key Words: Mass movement, Slope stability, Landslide, Pile groups

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Dünyada meydana gelen doğal afetlerin kıtalar bazındaki dağılımı	2
Şekil 2. Heyelanların yerleşim birimi bazında dağılımı.....	7
Şekil 3. Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler.....	14
Şekil 4. Kripin belirtileri	16
Şekil 5. Kripin oluş mekanizması	17
Şekil 6. Eğik düzlem üzerindeki kaya bloklarının kayma ve devrilme durumları	20
Şekil 7. Doğada gözlenen devrilme türleri	21
Şekil 8. Kaymaya etkileyen kuvvetler	22
Şekil 9. (a) Düzlemsel kayma, (b) Kama tipi kayma ve (c) Farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar	24
Şekil 10. Kayma türlerinin kesitleri	25
Şekil 11. Dairesel kayma.....	26
Şekil 12. Bir heyelanın özelliklerini tanımlayan blok diyagram.....	26
Şekil 13. (a) Yanal kaya yayılması ve (b) Yanal zemin yayılması	30
Şekil 14. Şevlerde görülen heyelan türleri	34
Şekil 15. Zeminlerde şev yüksekliği - şev açısı ilişkisi.....	35
Şekil 16. Yamaç eğiminin saptanmasında kullanılan Taylor grafiği	36
Şekil 17. Şevlerin duraylılığının saptanması için dilimlere bölme yöntemi	37
Şekil 18. Sağlam temel üzerinde, kohezyonlu zeminde açılan bir şevde dengeyi sağlayacak kuvvetler	37
Şekil 19. Çeşitli zeminlerde kayma direnci.....	40
Şekil 20. Kayma dairesi yolu	41
Şekil 21. Konsantrik daire yolu	42
Şekil 22. Belli noktaları birleştirme yolu	42
Şekil 23. Gerilme çatlağı gidişinden kayma dairesinin yaklaşık olarak bulunması	43
Şekil 24. Heyelanda yüzeysel drenajın uygulaması	48
Şekil 25. Yamaçlarda düşey ve yatay drenlerle yeraltı suyu düzeyinin alçaltılması	49
Şekil 26. Dairesel kayma yüzeyli bir kütle hareketine etkileyen kuvvetler	51
Şekil 27. Kütle hareketlerinin önlenmesinde topuğa yük koyma şekilleri.....	52

Şekil 28. Yüzeysel (sığ) kaymalarda kazıklarla duraylılığın sağlanması.....	52
Şekil 29. Kaya yamaçların kaya blonu ile duraylılığının sağlanması	53
Şekil 30. Elektro-Osmoz yöntemi	55
Şekil 31. İnceleme alanının bulunduğu yerin haritası	57
Şekil 32. İnceleme alanının yer bulduru haritası	58
Şekil 33. Heyelan esnasında yıkılan perde duvarlar	62
Şekil 34. Heyelandan bir görüntü	62
Şekil 35. Heyelan sonrasında yıkılan istinat duvarları	63
Şekil 36. Heyelan sonrasında tahrip olmuş bitki örtüsü	63
Şekil 37. Etüd alanındaki 1 nolu sismik ölçüm çalışması	68
Şekil 38. Etüd Alanındaki 2 nolu sismik ölçüm çalışması	68
Şekil 39. Etüd Alanındaki 3 nolu sismik ölçüm çalışması	69
Şekil 40. SK-1 nolu kuyudan (7,50–8,00 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi	79
Şekil 41. SK-1 nolu kuyudan (12,0–12,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi	80
Şekil 42. SK-1 nolu kuyudan (21,00–21,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi	81
Şekil 43. SK-2 nolu kuyudan (11,00–11,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi	82
Şekil 44. SK-2 nolu kuyudan (12,00–12,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi	83
Şekil 45. SK-2 nolu kuyudan (24,00–24,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi	84
Şekil 46. SK-3 nolu kuyudan (4,50-5,00 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi	85
Şekil 47. SK-3 nolu kuyudan (27,00–27,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi	86
Şekil 48. SK-3 nolu kuyudan (30,00–30,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi	87
Şekil 49. Zemin özellikleri ve yatak katsayısı ilişkisi	90
Şekil 50. Gerilme noktaları ve düğüm noktaları	93
Şekil 51. İnceleme alanı zemin profili	94
Şekil 52. Mevcut durum için hazırlanan bilgisayar modeli	96
Şekil 53. Model–1 analiz bilgi ekranı	98
Şekil 54. Model–1 deforme olmuş sonlu elemanlar ağı	99

Şekil 55. Model-1 Efektif gerilme kontur diyagramı	100
Şekil 56. Model-1 artımsal yer değiştirmelerin gösterimi	101
Şekil 57. Model-1 deplasman artım konturları	102
Şekil 58. Çözüm için uygulanan projeye ait genel yerleşim planı	103
Şekil 59. Çözüm için uygulanan projeye ait A-A kesiti	104
Şekil 60. Çözüm için uygulanan projeye ait diğer kesitler	104
Şekil 61. Uygulanacak sisteme ait bilgisayar modeli gösterimi	105
Şekil 62. Model-2 analiz bilgi ekranı	106
Şekil 63. Model-2 deforme olmuş sonlu elemanlar ağı	107
Şekil 64. Model-2 efektif gerilme kontur diyagramı	108
Şekil 65. Model-2 artımsal yer değiştirmelerin gösterimi	109
Şekil 66. Model-2 deplasman artım konturları	110
Şekil 67. Model-2 güvenlik faktörü hesaplanan noktaların gösterimi	111
Şekil 68. A ve B noktaları güvenlik faktörü grafiği	112

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Hareketin tipi ve derinliğine göre yapılan sınıflama.....	8
Tablo 2. Varnes heyelan sınıflandırma sistemi	13
Tablo 3. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	66
Tablo 4. 1 nolu sondaj kuyusu SPT verileri	66
Tablo 5. 2 nolu sondaj kuyusu SPT verileri	67
Tablo 6. 3 nolu sondaj kuyusu SPT verileri	69
Tablo 7. 1 nolu dinamik parametre tablosu	69
Tablo 8. Zemin spektrum karakteristik periyotları.....	70
Tablo 9. 2 nolu dinamik parametre tablosu	70
Tablo 10. 3 nolu dinamik parametre tablosu.....	70
Tablo 11. 1 nolu sondaj kuyusu (7,50–8,00 m) kesme kutusu deney sonuçları.....	73
Tablo 12. 1 nolu sondaj kuyusu (9,00–9,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	74
Tablo 13. 1 nolu sondaj kuyusu (12,00–12,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	74
Tablo 14. 1 nolu sondaj kuyusu (18,00–18,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	74
Tablo 15. 1 nolu sondaj kuyusu (21,00–21,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	75
Tablo 16. 1 nolu sondaj kuyusu (30,00–30,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	75
Tablo 17. 2 nolu sondaj kuyusu (11,00–11,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	76
Tablo 18. 2 nolu sondaj kuyusu (12,00–12,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	76
Tablo 19. 2 nolu sondaj kuyusu (13,50–14,00 m) kesme kutusu deney sonuçları	76
Tablo 20. 3 nolu sondaj kuyusu (3,00–3,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	77
Tablo 21. 3 nolu sondaj kuyusu (4,50–5,00 m) kesme kutusu deney sonuçları	77
Tablo 22. 3 nolu sondaj kuyusu (24,0–24,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	78
Tablo 23. 1 nolu sondaj kuyusu (27,00–27,50 m) kesme kutusu deney sonuçları	78
Tablo 24. OH zemin grubu ve özellikleri	79
Tablo 25. ML zemin grubu ve özellikleri.....	80
Tablo 26. ML zemin grubu ve özellikleri.....	81
Tablo 27. CL zemin grubu ve özellikleri.....	82
Tablo 28. CL zemin grubu ve özellikleri.....	83
Tablo 29. CL zemin grubu ve özellikleri.....	84

Tablo 30. CL zemin grubu ve özellikleri.....	86
Tablo 31. ML zemin grubu ve özellikleri.....	87
Tablo 32. CL zemin grubu ve özellikleri.....	88
Tablo 33. Modelde kullanılan zemin birimlerine ait parametreler	97

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Zemin İvmesi
A	: Sürtünme Alanı
A_0	: Etkin Yer ivme Katsayısı
B	: Derinlik
a	: Sağlam Zemin
c	: Kohezyon
D	: Sağlam Tabakanın Şev Tabanına Olan Derinliği ve Geometrik konumu
DH	: Kayma Düzlemi Derinliği
E	: Elastisite Modülü
E_d	: Dinamik Elastisite Modülü
f	: Sürtünme Katsayısı
G	: Dinamik Kayma Modülü
G_{max}	: Max. Kayma Modülü
G_s	: Güvenlik Sayısı
g	: Yerçekimi İvmesi
H	: Şev Yüksekliği
H_{cr}	: Şev Kritik Yüksekliği
h	: Blok Boyutları
K	: Bulk Modülü
LL	: Likit Limit
N	: Blok Ağırlığından Oluşan Kuvvet Bileşenleri
N	: Yapışma Direnci
N_c, N_q, N_γ	: Taşıma Gücü Faktörleri
PL	: Plastik Limit
PI	: Plastisite İndisi
q	: Taşıma Gücü
q_s	: Güvenli Taşıma Gücü
q_u	: Serbest Basınç Direnci
r	: Dairesel Kayma Yarıçapı
S	: Kaymaya Karşı Oluşan Sürtünme Direnci

s_n	: ϕ' nin Fonksiyonu Olan Duraylılık Sayısı
T	: Kaya Bulonundan Gelen Kuvvet
T	: Blok Ağırlığından Oluşan Kuvvet Bileşenleri
T_A, T_B	: Zemin Spektrum Karakteristik Periyotları
t	: Blok Boyutları
T_0	: Hakim Titreşim Periyodu
U	: Suyun Kaldırma Kuvveti
u_w	: Boşluk Suyu Basıncı
V	: Suyun İtme Kuvveti
V_s	: Kayma Dalga Hızı
V_p	: Sıkışma Dalga Hızı
W	: Blok Ağırlığı
Z_B	: Zemin Büyümesi
α	: Kaya Bulonunun ile Süreksizlik Düzlemi ile Yaptığı Açısı
β	: Şev Açısı
γ	: Birim Hacim Ağırlığı
θ	: Dairesel Kaymanın Merkez Açısı
ν	: Poisson Oranı
σ	: Normal Gerilme
τ	: Kayma Direnci
τ	: Yerçekimi Kuvvetinin Bileşeni
ϕ	: İçsel Sürtünme Açısı
ΣM_{sf}	: Mukavemet azaltma yöntemi ile Bulunan Güvenlik Sayısı

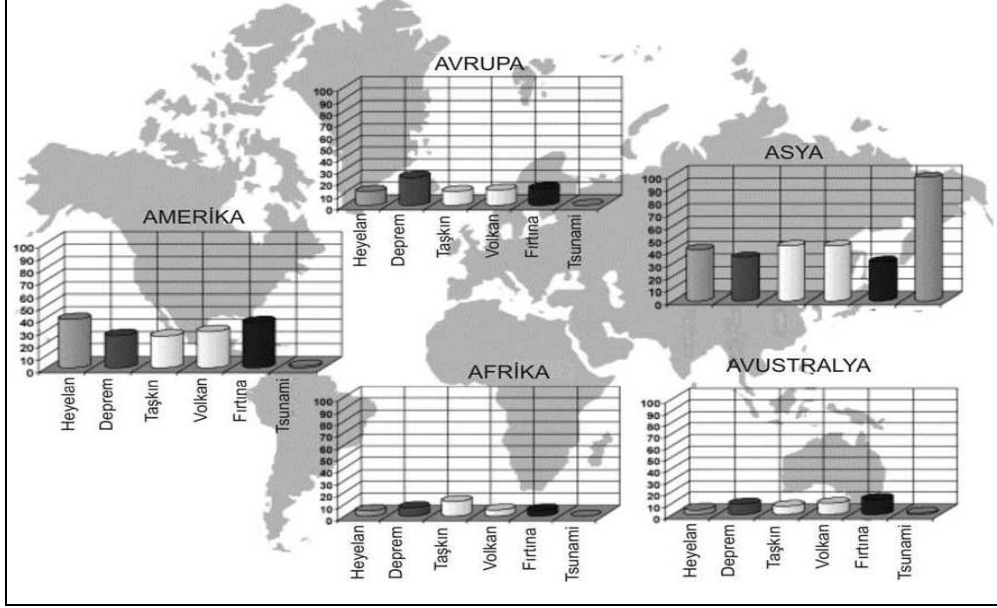
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yeryüzünde görülen doğal afetler yeryüzünün şeklini ve görünümünü değiştirmektedir. Bunların en belirgin, en etkili ve en zarar verici olanları depremler, volkanlar, taşkınlar, heyelanlar ve kütle hareketleridir. Türkiye depremler, heyelanlar ve taşkınlar gibi doğal afetlerin sıkça olduğu bir coğrafi konumda yer almaktadır. Bu durum son 60 yıllık doğal afet kayıplarının istatistikleriyle de doğrulanmaktadır.

Türkiye’de meydana gelen doğal afetlerin % 62’si depremlerden, % 20’si heyelanlardan, % 12’si taşkınlardan ve geri kalanı ise yangınlar, çığ ve fırtına gibi olaylardan kaynaklanmaktadır. Görüldüğü üzere Türkiye’de, heyelanlar neden oldukları kayıplar açısından depremlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Yeşiloğlu, 2006).

Kayalardan döküntü örtüsünden veya topraktan oluşmuş kütlelerin, çekimin etkisi altında yerlerinden koparak yer değiştirmesi şeklinde tanımlanan heyelanlar, dünyada her yıl çok sayıda insanın yaşamını yitirmesine sebep olmuştur. Bunun yanı sıra, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Avusturya, Fransa, İtalya, İsviçre ve Hindistan’da heyelanlardan kaynaklanan yıllık ekonomik kayıpların 1 ile 5 milyar dolar arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Dünyada olduğu gibi, Türkiye’de de doğal afetler nedeniyle, her yıl birçok insan yaşamını yitirmekte ve önemli düzeyde ekonomik zararlar oluşmaktadır. Dünya geneli için Alacantara-Ayala (2002) tarafından yapılan bir değerlendirmede Şekil 1’de görüldüğü gibi, heyelanlar dünyanın hemen her bölgesinde karşılaşılan doğal tehlikelerdir (Gökçeoğlu vd, 2005).



Şekil 1. Dünyada meydana gelen doğal afetlerin kıtalar bazındaki dağılımı (Gökçeoğlu vd, 2005).

1.2. Doğal Afet Risklerinin Değerlendirilmesi

Türkiye, güneyde Arap levhası ile kuzeyde Avrasya levhası arasında sıkıştırılıp yükselmiş genç bir dağ kuşağı içinde yer almaktadır. "Alp-Himalaya kuşağı" olarak tanımlanan bu dağ sırası morfotektonik konumunu oldukça genç jeolojik dönemlerde (günümüzden yaklaşık 10 milyon yıl önce) kazanmaya başlamıştır.

Güneyindeki Arap levhasının kuzeye Avrasya levhasına doğru yakınsaması ile bu iki levha arasında yer alan Anadolu bloğu sıkıştırılıp yükselmiştir. Günümüzde bu morfolojik karakter Doğu Anadolu ve İran yüksek platoları ile belirgindir. Sıkışmanın sonucu olarak, erken Miyosen sonlarına (yaklaşık 15 milyon yıl önce) doğru Bitlis kenet kuşağı gelişmiş, böylece Arap levhası Anadolu bloğuna kenetlenmiştir. Daha sonraki dönemlerde, kıtasal litosfer sıkışmayı kısalmış kalınlaşma ile karşılayamaz hale gelince birbirleriyle ve enine kesişen bir çift yanal atımlı fay oluşmuştur. Bunların kuzeyde olanı "Kuzey Anadolu Fayı" diğeri ise "Doğu Anadolu Fayı" adı ile tanınır. Bu iki fay Doğu Anadolu Karlıova civarında kesişirler ve Türkiye'nin en önemli genç yapısal unsurlarını oluştururlar. Kuzey Anadolu fayı sağ, Doğu Anadolu fayı ise sol yanal atımlı faylardır. Bu iki fayın arasında kalan Anadolu bloğu, fayın gelişimi ile koşut olarak batıya doğru kaçmaya başlamış ve batıya doğru kaçış, Batı Anadolu'da K-G yönlü gerilmeye ve gelişmeye neden olmuştur. Bu

gerilme genişleme rejimi altında, Batı Anadolu D-B yönünde uzanan 10 kadar büyük graben gelişmiştir.

Neojenden günümüze Türkiye'nin tektonik evrimini denetlemiş olan diğer bir genç yapısal unsur, Girit adasının hemen güneyinde yer alan Yunan dalma batma zonudur. Bu zonda, günümüzde Akdeniz tabanı kuzey yönünde dalıp batarak tüketilmektedir.

Yukarıda ana hatlarıyla özetlenen Türkiye'nin genç yapısal unsurları varlıklarını yüksek sismisiteleri ile belli etmektedir. Türkiye'de oluşan depremlerin tümü yukarıda tanıtılan genç tektonik hatlar boyunca gelişmiştir.

Marmara Bölgesi ve İstanbul dolayları, içinde ve civarında aktif tektonik fayların ve sismik aktivitelerin çok yoğun olduğu bir alandır. Buradan çıkartılacak sonuç, Marmara Bölgesi'nin yüksek aktivitesine sahip olduğu yani yüksek deprem riski taşıdığıdır. 17 Ağustos 1999 Gölcük depreminde olduğu gibi bu bölgede meydana gelen depremler İstanbul'da etkilemektedir. Tarihsel dönemdeki deprem kayıtları da bu sonucu desteklemektedir.

Yakın zamanda İstanbul depremlerden etkilenmiş ve bunun sonucu çok sayıda bina yıkılmış ve birçok insan hayatını kaybetmiştir. Yapılmış olan araştırmalar sonucu bu depremlerden sonra Marmara Denizi'nde deprem riski arttığı gerçeği ortaya çıkmıştır.

Marmara Denizi yaklaşık olarak 275 km uzunluğunda 80 km genişliğinde, derinliği orta kesimlerde yer alan çukurlarda 1250 metreye ulaşan bir iç denizdir. Dünyanın en büyük aktif kırık sistemlerinden biri olan Kuzey Anadolu Fayı üzerinde yer alan Marmara Denizi'nin bu fayın etkisi ile oluştuğu ve bugünkü şeklini kazandığı bilinmektedir. Bu konumu nedeniyle Marmara Denizi yaklaşık 4 milyon yıldan bu yana deprem aktivitesinin en yoğun olduğu bölgelerden biridir.

Marmara Denizi içerisinde Kuzey Anadolu fayının geometrisi karasal bölgelerde gözlemlendiği gibi iyi bilinmektedir. Doğuda genellikle dar zon içerisinde yer alan Kuzey Anadolu fayı batıya doğru geniş bir alana yayılır ve çeşitli kollarla ayrılır. Bu kolların bir kısmı da Marmara Denizi içerisine girmektedir. Marmara Denizi ve çevresinde gözlenen sismik aktivitenin kaynağı bu kollarıdır. Marmara Denizi'ni oluşturan faylar ve bunların hakkında bugünkü bilgiler kara alanlarında yürütülen jeolojik, jeofizik ve jeomorfolojik çalışmaların yanı sıra uydu yardımı ile yapılan uzaktan algılama. GPS (küresel konumlama sistemi) gibi verilere dayanmaktadır.

Marmara Denizi ve çevresinde tüm depremler bir haritaya yerleştirildiğinde, Marmara Bölgesi'nin bugün olduğu gibi geçmişte de ne kadar büyük bir deprem riski ile iç

içe yaşadığı açıkça görülmektedir. Nitekim 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri Marmara Bölgesi'nde ağır hasarlara ve onbinlerce can kaybına yol açmıştır.

Bir bölgede deprem esnasında oluşan hasarların miktarını ve dağılımını başlıca yapısal ve jeolojik faktörler kontrol ederler. Yapısal faktör deyimini ile anlatılmak istenen, binaların ya da mühendislik yapılarının kalitesidir. Jeolojik faktörler ise çeşitlidir. Deprem büyüklüğü, kırılan faya olan uzaklık ve zemin koşulları bunların başlıcalarıdır.

Depremde hasar dağılımını kontrol eden en önemli faktörlerden biride zemin kalitesidir. Zemin kalitesi de yeraltı suyu ile yakından alakalıdır. Kum, silt ve kil türü birimlerden oluşan zeminler önemli oranda kayma, burulma, oturma ve şişme gibi olaylar meydana gelmektedir. Bu tür malzemedan oluşmuş zeminlerin deprem sarsıntılarını büyütme katsayıları ve titreşim periyotları büyüktür. Depremlerde bu birimler üzerinde 0,25 g değerine ulaşan deprem ivmeleri ölçülmüştür.

Ülkemiz genç bir tektonik kuşak üzerinde bulunmaktadır. Bu kuşak üzerinde oluşmuş önemli kırık boyunca meydana gelen hareketlenmeler depremleri üretmektedir. Bu kırık hatları boyunca oluşan depremler, şiddetlerini ve sayılarına göre, sınıflandırılarak değişik deprem bölgeleri ayırt edilmiştir. 1'inci, 2'nci, 3'üncü, 4'üncü dereceden tehlikeli deprem bölgeleri ve tehlikesiz bölge olmak üzere beş deprem bölgesi bulunmaktadır.

Avcılar ilçesi "1'inci Derece Deprem Bölgesi" içerisinde bulunmaktadır. Marmara Denizi'nde meydana gelen tarihi dönemdeki depremler, sismograflara kaydedilmeyen döneme ait olup gerek odakları gerekse büyüklükleri yazılı yayınlardan geçen olaylardan tahmin edilmektedir. Aletsel dönemde meydana gelen depremler ise 1960'lı yıllardan itibaren kullanılmaya başlayan sismograflarla kaydedilen depremlerdir.

Tarihi dönemde ve 20. yüzyılda başlatılan aletsel dönemde yapılan kayıtlara göre;

M = 5,5 magnitudündeki bir deprem rastlama riski;

25 yıllık periyot için: % 83,3

49 yıllık periyot için: % 97,0

73 yıllık periyot için: % 99,5

M = 6,0 magnitudündeki bir deprem rastlama riski;

25 yıllık periyot için: % 65,2

49 yıllık periyot için: % 87,3

73 yıllık periyot için: % 95,4

M = 6,5 magnitudündeki bir deprem rastlama riski;

25 yıllık periyot için: % 46,2

49 yıllık periyot için: % 70,4

73 yıllık periyot için: % 83,7

M = 7,0 magnitudündeki bir deprem rastlama riski;

25 yıllık periyot için: % 30,6

49 yıllık periyot için: % 51,1

73 yıllık periyot için: % 65,6

M = 7,5 magnitudündeki bir deprem rastlama riski;

25 yıllık periyot için: % 19,3

49 yıllık periyot için: % 34,4

73 yıllık periyot için: % 46,6

olarak hesaplanmıştır.

Bu durum göz önüne alınarak deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki hükümlere uyulmalıdır. Buna göre 1'inci derece deprem bölgesi için en büyük zemin ivmesi değeri;

$$A \geq 0,40 \times g \text{ 'dir.}$$

İstanbul Deprem Haritası eklerde verilmiştir.

1.3. Kütle Hareketleri

Kütle hareketleri, en sık rastlanan doğal afetlerdendir. Kütle hareketlerinin olduğu yerlerde, yamacın üzerinde ya da önünde bulunan, insanlar tarafından inşa edilen yapıların konumunun değiştiğini, yıkıldığını, hasarlar oluştuğunu görmek mümkündür. Bu olaylar gerçekleşirken hiçbir taşıyıcı (rüzgar, su, buzul) etkisi olmaksızın yeryüzünün aşağıya doğru hareket ederek şekil ve yer değiştirmesi söz konusudur. Kütle hareketleri, yeryüzünün az ya da çok eğimli yüzey (yamaç) lerinde ya da insanlar tarafından meydana getirilen kazı (şev) larda oluşur. Bu tür olaylar, olayın meydana geldiği yere, hareket eden malzemenin türüne, hızına, şekline, hareket yüzeyinin olup olmamasına ve hareket yüzeyinin şekline göre özel isimler alır. Bu parametrelere göre de kütle hareketleri genel olarak "Yamaç Hareketleri" ya da "Şev hareketleri" diye adlandırılır (Erguvanlı, 1995). Kütle hareketlerinin esas nedeninin yer çekimi olmasının yanı sıra doğal ve insan etkisiyle ilişkili nedenleri de vardır. Bu nedenler kütlenin hareketini etkileyen ve türünü belirleyen unsurlardır. Türkiye dünyanın kurak, yarı-kurak bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle büyük bir bölümünde yarı kurak iklim görülmektedir. Bu iklimin özelliği; çok yağışsız

geçen bir dönemi bol yağışlı bir dönemin izlemesi, ani ve şiddetli yağışların ve ani sıcaklık değişikliklerinin görülmesidir. Bu durum toprak kaymasının oluşması için çok önemli bir etkidir.

Yine uzun süreli ve bol yağışın görüldüğü nemli iklime sahip yörelerimiz de, heyelanın çok sık ve yaygın olarak görüldüğü yerlerdir. Ülkemizde heyelan olma ihtimalinin en fazla olduğu bölge Karadeniz bölgesidir. Özellikle Orta ve Doğu Karadeniz bölümünde çok sık ve etkili heyelanlar yaşanmaktadır. Ülkemizin Marmara bölgesinde de heyelanlara sıkça rastlanmaktadır. Görünürde çok önemli sayılmayan bir doğal afet olarak bilinse de yaşanan olaylar, ortaya çıkan yaralı ve ölü sayısı, verdiği zararlar, heyelanın toplum yaşamındaki önemini belirtmektedir. Heyelanlar hemen her yıl ülkemizin pek çok yerinde görülmekte, büyük can ve mal kayıpları olmakla beraber büyük acılar yaşanmaktadır.

Bugüne dek bilinen en büyük kütle hareketi, 1962 ve 1970 yıllarında Peru'da And Dağlarında, Huascaran tepesinde meydana gelen kaya, toprak, buz ve su karışımından oluşan moloz akmasıdır. Bu kütle hareketi sonucu 4000–5000 kişi ölmüştür. 8 yıl sonra meydana gelen 7,7 büyüklüğündeki Peru depremi sonucunda, aynı yerde, daha büyük moloz akması afet şeklinde oluşmuş, akan malzeme büyük bir vadiyi kaplamış ve 18000 kişinin ölmesine neden olmuştur.

And dağlarında Mantaro vadisinde 1974 yılında kaya kayması şeklinde oluşan kütle hareketi 450 kişinin ölmesine 1,6 milyar m³ kayanın Mantaro vadisini kapatmasına ve arkasında 170 m derinlikte, 31 km uzunlukta bir heyelan gölünün oluşmasına neden olmuştur. Bu kayan kütle, bilinen kütle hareketlerinin en büyüğüdür.

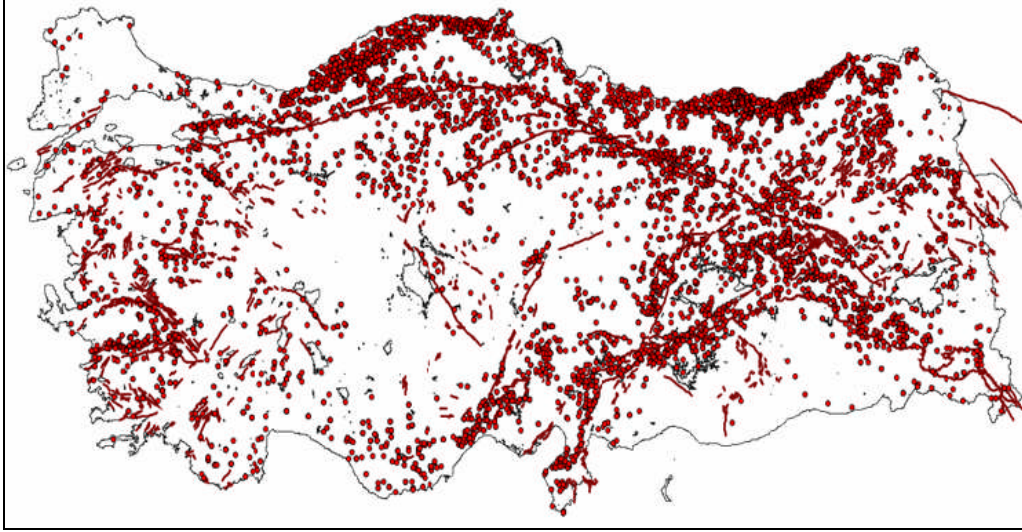
Deprem ülkelerinden biri olarak bilinen Japonya'da depremlerden ve muson mevsim yağışlarından sonra, pek çok kütle hareketi olmaktadır. 1971'de olan heyelan sonucu, 5000'den fazla ev yıkılmış 170'den fazla insan ölmüştür.

ABD'de batı Virginia'da Saunders, Buffalo Creek Barajındaki yamaç kayması, 125 kişinin ölmesine ve 4000 kişinin evsiz kalmasına neden olmuştur.

İtalya'da 1963 yılında Vaiont Baraj gölü içinde meydana gelen kütle hareketinde 250 × 10⁶ m³ toprak ve kaya kayarak, 2 dakikada baraj gölünü doldurmuştur.

Göl suyu baraj gövdesi üzerinden 200 m yükselerek yerleşim alanlarına ulaşmış ve 2600 kişinin ölmesine neden olmuştur (Erguvanlı, 1995).

Ülkemiz, sahip olduğu meteorolojik, topografik ve jeolojik koşullar nedeni ile doğal afetlerin yoğun olarak oluştuğu bir bölgedir.



Şekil 2. Heyelanların yerleşim birimi bazında dağılımı (ABEP) (Sevim, 2008).

Ülkemizde, 1950–2005 yılları arasında 12794 heyelan olmuştur. İller içerisinde dağılımı yapılırken 1016 heyelan olayı ile Trabzon birinci sırada, 869 heyelan ile Rize ikinci sırada yer almaktadır (Gökçe vd., 2006). Karadeniz Bölgesinde heyelanların fazla olmasının başlıca nedeni bölgenin sürekli bol yağış altında kalması, arazinin dağlık olması ve yamaçlarda birçok yerleşim biriminin bulunmasıdır.

Trabzon-Of-Sürmene heyelanı, 1929 Temmuzunda çok şiddetli yağışlar, ayrışmış andezitik, tüf-lav ve anglomeraları sürükleyerek çok kısa zamanda, (8–10 saat içinde), vadilere yığılmıştır. Bu olaylar sonucunda, Sürmene havalesinde 12 kişi ölmüş, 9 kişi yaralanmış, 328 bina, 18 köprü yıkılmış, 8733 dönüm ekili arazi yok olmuştur. Of bölgesinde 134 kişi ölmüş, 2211 bina ve bütün köprüler yıkılmış, dere boyu tarlaların hepsi, yamaç arazisinin %50'si kullanılmaz hale gelmiştir. Sulaklı vadisinde Zisino köyü civarında, 20 m yükseklikle, 300 m genişlikte ve 1500 m uzunlukta, takriben 9.000.000 m³; Sürmene'de Kaçalar dağının eteklerinden derelere doğru 15.000.000 m³ taş-toprak taşınmış, vadiler kapanmış, 30–35 m yüksekliğinde göller oluşmuştur.

1949 yılında Trabzon-Akçaabat arasında Sera vadisinde, Bazaltik-andezit, lav, tüf, aglomeralarda, buna benzer şekilde heyelanlar, dağ kaymaları olmuş, sera vadisi kapanmış, 30–35 m derinlikte; 125 m genişlikte; 1,6 km uzunlukta büyük heyelan gölü oluşmuştur (Erguvanlı, 1995).

Büyük kentlerde oluşan en önemli hareket, İzmir Kadife Kale bölgesinde halen sürmekte olan 1500'ün üzerinde konutu etkileyen harekettir. En yoğun yerleşim bölgesi olan İstanbul'da Marmara Denizi kıyısı ve içinde Küçük Çekmece-Şarköy kesiminde

bulunduğu bölgelerde çok önemli kütle hareketleri oluşmuş ve oluşmaktadır (Pehlivan, 2008).

1955 yılı sonunda, İstanbul Büyükdere tuğla fabrikası arazisinde, dik yamaçlı Devonien killi şistleri ve üzerindeki yamaç molozları göçmüş, tuğla fabrikasının makine dairesinin istinat duvarları kırılmış ve çatlamıştır. Bu alandaki kaymanın nedeni şev topuğunda yapılan kazı ve şiddetli yağıştır.

1963 yılı başında İstanbul'un batısında, Küçük çekmece-Florya dolayında, Basıncıköy sitesi-Demiryolu arasında, 300 m genişlikte ve 200 m uzunlukta bir alanda heyelan meydana gelmiştir. Bu bölgede eskiden beri yavaş hareket olagelmıştır. Bu duruma göre burada 200.000 m³ kadar kil, marn, kumlu silt, plaketli kalker hareket etmiştir (Erguvanlı, 1995).

1.4. Kütle Hareketlerinin Sınıflanması

Nüfus artışı, özellikle topografyanın engebeli olduğu pek çok ülkede kentleşmenin yamaçlara doğru ilerlemesine zemin hazırlamıştır. Bunun sonucunda yeni konutlar, sanayi tesisleri... vb. gibi yapıların artması jeolojik çevreyi önemli derecede tahrip etmiştir.

Son yarım asırdan beri farklı sebeplerle yapılan temel kazıları, yoğun yapılaşmadan kaynaklanan dış etkiler, bitki örtüsünün yok edilmesi... vb. gibi insan etkileriyle ve doğal olayların etkisi ile oluşan kütle hareketleri mühendislerin ve bilim adamlarının ilgisini çekmiş ve bu konuda pek çok araştırma yapılmıştır.

Zaruba ve Mencl (1969), heyelanları hareketin tipi ve derinliğine bağlı olarak sınıflandırmışlardır (Tablo 1).

Tablo 1. Hareketin tipi ve derinliğine göre yapılan sınıflama (Özdemir, 2006).

Hareketin Tipi	Hareketin Maksimum Derinliği (D)	Heyelanların Aktivite Durumları
Yüzeysel kaymalar	<1,5 m	Aktif heyelanlar
Sığ(derin olmayan) kaymalar	1,5–5 m	Gizli heyelanlar
Derin kaymalar	5–20 m	
Çok derin kaymalar	>20 m	

Sowers ve Royster (1978), bir heyelan araştırma planlaması için kullanılan verileri aşağıdaki şekilde sıralamışlardır.

I) Topoğrafya

A. Eşyükselti eğrileri haritası

- Yüzey şekli
- Birbirine benzer şekiller (aynalar, kabarma)

B. Drenaj yüzeyi

- Sürekli
- Kesik

C. Yamaç kesitleri

- Jeoloji ile karşılaştırma (II)
- Eşyükselti eğrileri haritası ile karşılaştırma (A)

D. Topoğrafik değişimler

- Zamanla değişim hızı
- Yeraltı suyu ile karşılaştırma (III), ayrışma (IV) ve titreşim (V)

II) Jeoloji

A. Bölgedeki formasyonlar

- Formasyonların ardalanması
- Önceden bilinen, heyelana duyarlı formasyonlar
- Kolay altere olabilir kaya mineraller

B. Yapı: Üç boyutlu geometri

- Tabakalanma
- Kıvrımlanma
- Yapraklanma veya eğim ve doğrultusu
 - Eğim veya doğrultudaki değişmeler
 - Kayma ve yamaç ilişkisi
- Süreksizlik konumunun yamaçlarla ilişkisi
- Fay, breş ve makaslama zonu ile yamaç ve kayma ilişkisi

C. Ayrışma

- Karakter (kimyasal, mekanik ve çözünme)
- Derinlik (Tekdüze veya değişken)

III) Yeraltı suyu

A. Yamaçta su basınç seviyesi

- Normal
- Tünek seviyeler, yapı ve formasyonlarla ilişkiler
- Artezyen basıncı, yapı ve formasyonlarla ilişkiler

B. Piezometrik seviyelerdeki değişiklikler (ayırışma ile karşılaştırma (IV), değişkenlik (V) ve tarihsel yamaç değişimleri)

- Yağış sonucu
- Mevsimsel değişmeler
- Yıllık değişmeler
- Kar erimesinin etkisi

C. Yeraltı suyunun zemin yüzeyindeki belirtileri

- Kaynaklar
- Nemli alanlar veya sızıntılar
- Bitki örtüsündeki farklılıklar

D. Yeraltı suyuna insan etkileri

- Yeraltı suyunun kullanımı
- Yeraltı suyu akışının kısıtlanması
- Yeraltı suyuna ilaveler ve havuzlanma
- Zemin örtüsündeki değişimler ve süzülme olanağı
- Yüzey sularındaki değişmeler

E. Yeraltı suyu kimyası

- Tuz ve gazların erimesi
- Radyoaktif gazlardaki değişiklikler

IV) Atmosfer etkisi

A. Yağış

- Tipi (kar veya yağmur)
- Saatlik hızlar
- Günlük hızlar
- Aylık hızlar
- Ortalama hızlar

B. Sıcaklık

- Saatlik ve günlük ortalamalar
- Saatlik ve günlük sınırlar
- Artan derece-günlük su eksikliği (donma indeksi)
- Ani erimeler

C. Hava basıncındaki değişimler

V) Titreşim

A. Depremsellik

- Sismik olaylar
- Mikro-deprem yoğunluğu
- Mikro-deprem yoğunluğu değişimleri

B. İnsan yaptırımları

- Taşıma
- Patlatmalar
- Ağır makineler

VI) Yamaç değişimlerinin tarihçesi

A. Doğal nedenler

- Uzun zamanlı jeolojik değişimler
- Erozyon etkisi
- Geçmişteki hareketin belirtileri
- Su altında kalma ve yükselme

B. İnsan etkileri

- Yamaç topuğunun kesilmesi
- Yapay dolgu
- Su yüzeyindeki değişmeler
- Yeraltı suyundaki değişmeler
- Bitki örtüsü, kazıların temizlenmesi, tarım ve yol malzemesindeki değişimler
- Göl alanında aniden su seviyesi çekilmesi ve taşkınlar

C. Hareketin hızı

- Görsel hesaplamalar
- Bitki örtüsündeki belirtiler

- Topografyadaki belirtiler
- Fotografik belirtiler
 - a. Eğik
 - b. Stereo hava fotoğrafları
 - c. Hava fotoğrafları
 - d. Spektral değişimler
- Aletsel veriler
 - a. Düşey değişimler
 - b. Yatay değişimler
 - c. İçsel basınç ve eğilme

D. Hareketlerin karşılaştırılması

- Yeraltı suyu (yeraltı suyu ile karşılaştırma (III))
- Atmosferik koşullar (atmosferik koşullarla karşılaştırma (IV))
- Titreşim (titreşimle karşılaştırma (V))
- İnsan etkisi (içsel titreşimler-insan etkileriyle karşılaştırma (VI)) (Özdemir, 2006)

Heyelanların sınıflandırılması yapılırken birçok araştırmacı aşağıdaki parametrelere göre sınıflandırma yapmışlardır.

- Hareketin türü, miktarı ve hızı
- Hareket eden malzemenin türü, dizilişi, yaşı
- Hareket eden kütlelerin şekli
- Su miktarı
- Hareket edenle alttaki arasındaki bağıntı
- Hareketin nedenleri
- Kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ)

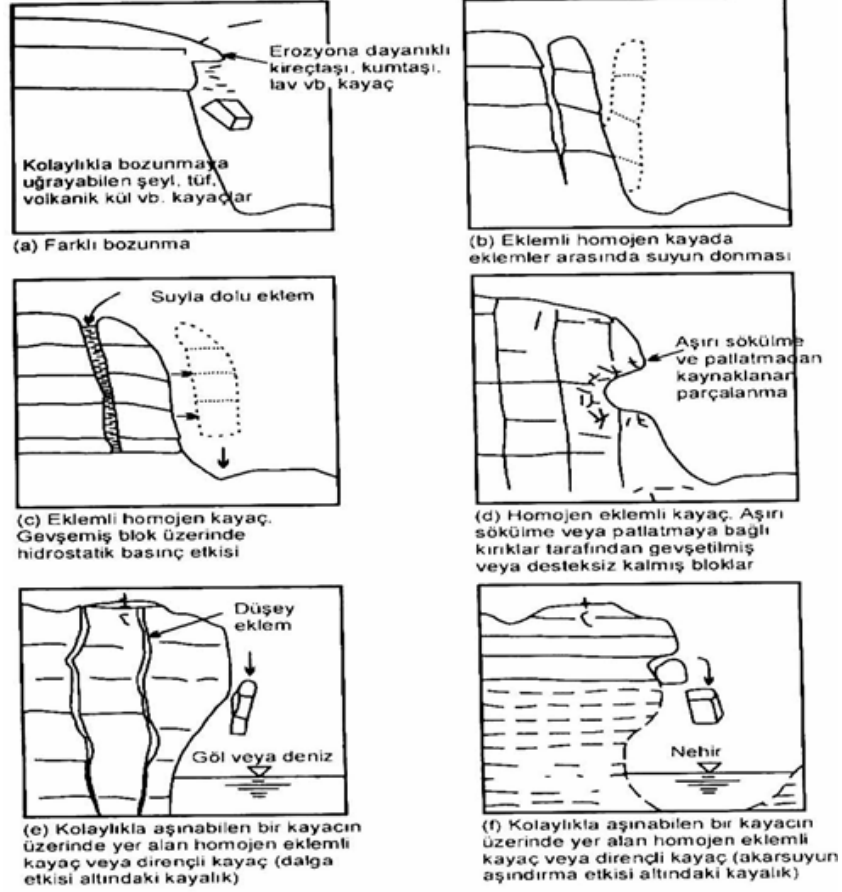
Heyelanlar veya kütle hareketleri ile ilgili birçok sınıflama bulunmakla birlikte en çok kullanılan sınıflama Varnes 1978'in yapmış olduğudur (Tablo 2).

Tablo 2. Varnes heyelan sınıflandırma sistemi (Özdemir, 2006).

HAREKET TÜRÜ		MALZEMENİN TÜRÜ		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Daneli	İnce Daneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVİRİLME		Kaya Devrilmesi	Molozda Devrilme	Zeminde Devrilme
AKMA	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
KAYMA	Ötelenmeli	Kayada Blok Türü Ötelenme	Zeminde ve Molozda Blok Türü Ötelenme	
	Dönel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada Dönel Kayma	Zeminde ve Molozda Dönel Kayma	
YANAL YAYILMA		Kaya Yayılması	Zemin veya Moloz Yayılması	
KARMAŞIK		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

1.4.1. Düşme

Dik kazı şevlerinden, deniz, göl ve vadi kenarlarındaki falez ve dik yamaçlardan, yeraltı kazı ve mağara tavanlarından, değişik büyüklükteki kaya ya da toprak parçalarının, yer çekimi etkisi ile aşağıya düşmesidir (Tarhan, 1989). Kaya düşmesinin esas nedeni, topuk oyulmaları, çatlak ve kırıklarda birbirini izleyen erime ve donma olayları, hidrostatik basınç sonucu genişleme ile yerçekiminin bağlayıcı kuvvetlerinden daha büyük hale gelmesidir. Bu olaylar çoğunlukla yerleşim yerleri dışında olduğundan, farkında olunmaz; fakat devamlı gözlemlerle, bir miktar arazinin her yıl ortadan kayb olduğu anlaşılır (Erguvanlı, 1995). Düşme olayında rol oynayan önemli etkenlerden biride, olayın görüldüğü yerdeki kayaçların litolojik ve yapısal özellikleridir. Şekil 3’de görüldüğü gibi farklı litolojideki birimlerde farklı aşınma sonucunda düşme türündeki kütle hareketleri sıkça görülür (Tarhan, 1989).



Şekil 3. Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Ulusay, 2001).

Kaya düşmeleri çoğu zaman yataya yakın tabakalı yumuşak kayalar üzerinde asılmış durumda bulunan çatlaklı masif kayalarda meydana gelir. Örneğin Gelibolu yarımadasının hemen hemen bütün güney kıyılarında kaya düşmeleri görülür. Burada yataya yakın durumlu sert ve yumuşak tabakalar birçok kez birbirini güder. Dalga rüzgâr ve yağışın mekanik etkileriyle, yumuşak kısımlar aşınır; yeraltı ve yağmur sularının etkileri ile kohezyon ve içsel sürtünme azalır, yamaç malzemesi aşağı doğru akar; killi ve siltli tabakalarda çamur akması halini alır. Çatlaklı olan ve asılı durumda kalan sert kısımlar ise alttan oyularak askıda kalır; zamanla kaya düşmesi şeklinde kütle hareketlerini oluştururlar. Düşen malzemenin türüne göre, olaya Kaya Düşmesi, Blok Düşmesi ya da Toprak Düşmesi adı verilir (Erguvanlı, 1995).

1.4.2. Akma

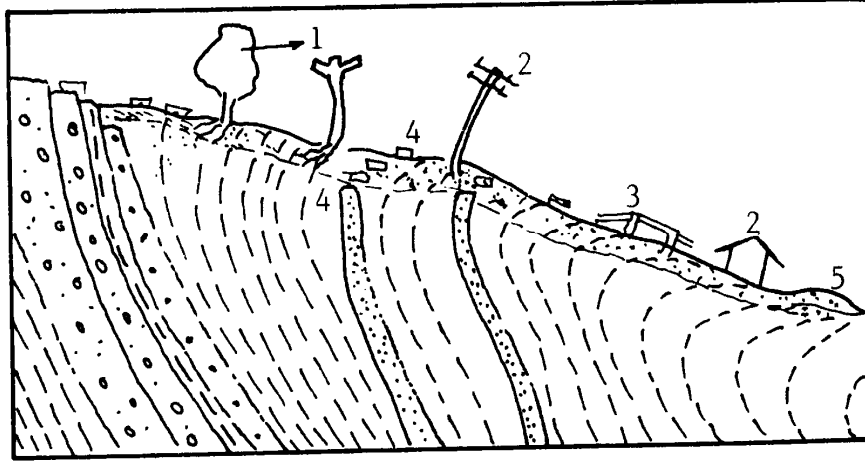
Daha çok yamaç döküntüsü, ayrıışmış materyal gevşek formasyonlar gibi malzemelerin ıslak veya kuru zemin üzerindeki yer değiştirmesi akma hareketi olarak adlandırılır. Bu tür hareketin esas nedeni, kayma direncini azaltan sudur.

Akmalar genellikle şiddetli sağanaklar sırasında veya sonrasında ortaya çıkmaktadır. Kaynak sular, donmuş zeminlerin ani çözülmesi gibi diğer bazı etkenlerde yamaçtaki materyalin harekete geçmesine yani heyelanlara neden olabilmektedir. İnce taneli veya plastik malzemededen oluşan toprak akmalarında artan su miktarına göre, çamur akıntıları oluşmakta, büyük ölçüde can ve mal kayıpları ortaya çıkmaktadır.

Kaya akmaları da çeşitli nedenlere bağlı olarak kaya içindeki çatlakların çoğalmasıyla yavaş yavaş ve uygun bir süre içinde gelişir. Kayanın doğal özelliğini kaybetmesiyle de hareket başlar. Akan malzemelerin kuru veya kuruya yakın olması durumunda bile çok şiddetli heyelanlar görülür (Öztürk, 2002).

1.4.2.1. Yavaş Akma (Krip)

Yamacın ya da şevin yüzeysel kısmının sürekli, fakat çok yavaş yer değiştirmesine “Krip” denir. Burada hareket genellikle çok yavaştır, hareket ancak devamlı yapılan gözlemlerle ve aletsel ölçümlerle anlaşılabilir. Hareket hızı senede 2–3 cm kadar olabilir. Bu hareket, bloktan silt ve kile kadar her çaptaki malzemede görülebilir. Kapsadıkları katı ya da sıvı haldeki su miktarı da sıfırdan doygunluk derecesine kadar değişir ve boşlukları doldurur. Kripin en karakteristik belirtileri Şekil 4’de görüldüğü gibi; bitki köklerinin eğilmesi, yapıların, duvarların ve telefon direklerinin düşeyden sapması, tabaka uçlarının dışarıya doğru kıvrılması ve tabakaların aşağıya doğru akmasıdır (Erguvanlı, 1995).



Şekil 4. Kripin belirtileri, 1) Bitki köklerinin eğilmesi, 2) Yapı ve direklerin düşeyden sapması, 3) Çit, yol vs. yer değiştirmesi, 4) Tabaka uçlarının kıvrılması, 5) Topografyada engebe (Erguvanlı, 1982).

1.4.2.1.1. Toprak Kripisi

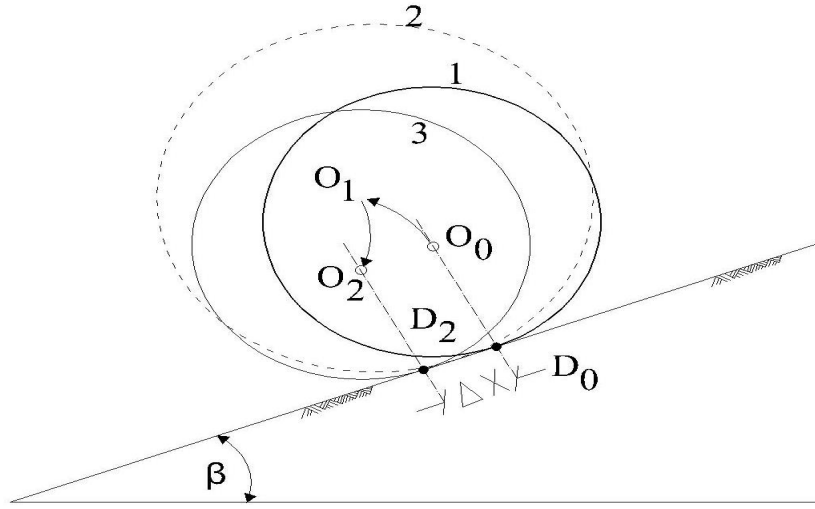
Toprakla örtülü yamaçlarda krip daima görülür. Eğrilmiş ağaç gövdeleri, bükülmüş çit sırtıkları, telgraf direkleri, toprak üzerinde birikmiş taşlar, kırılmış ya da yer değiştirmiş istinat duvarları ve temeller, yerlerini değiştirmiş kara ve demiryolları vb. olaylar karakteristik belirtilerdir.

Kripin çoğunlukla göze çarpan şekil ve belirtisi, dışa doğru eğimli yerli kayanın uçlarının, kırılarak hafif hafif, aşağıya doğru bükülmesi ve sonra kopup yamaç boyu dökülmesidir. Örne duvarlardaki kırıklar ve eğilmeler bu tip hareketler için karakteristiktir. Krip miktarı iklim koşulları ile beraber yamacın eğimine, toprak tipine ve malzemesine bağlıdır. Ayrışmamış sağlam zeminlerde ve sıkışabilme katsayısı düşük nitelikteki kayalarda krip çok azdır. Buna karşı gevşek, çürük, fazla ayrılmış ve yuvarlak parçalı, ayrık malzemeli arazide hareket çok fazladır. Kripin ana nedeni yer çekimidir. Fakat yeraltı suyunun varlığı, birbiri ardı sıra ıslanma-kuruma; donma-erime, bitki köklerinin büyümesi, oyucu hayvanların işlevi bu tür hareketi kolaylaştırır. Hareketin esas mekanizması, elemanların su alınca şişip yamaç eğimine dik hareket etmesi, kuruyunca hacimlerin küçülmesi, düşey olarak aşağıya inmesi ve dolayısıyla hareket etmesidir. Su ile doymun olan topraklarda hareket çok hızlıdır. Fakat kurak olan bölgelerde de krip meydana gelebilir. Şiddetli bir yağmurdan sonra zeminin tamamen su ile doymun hale gelmesi, hareket miktarını çok artırır; hatta büyük bir örtü tabakasının birden bire yer değiştirmesine neden olur. Buna “Moloz Çığı” adı verilir. Kripin her çeşidi bilhassa toprak

kripi, mühendislik bakımından önemlidir. Bina temelleri bunlar üzerinde duraylı olmaz (Erguvanlı, 1995).

1.4.2.1.2. Yamaç Molozu Kripi

Yamaçların dibinde biriken taş parçalarına “Yamaç Molozu” adı verilmektedir. Bunlar çok büyük bloklardan ve oldukça iri molozlardan oluşmuştur.



Şekil 5. Kripi oluş mekanizması, 1) Kuru tane ve (O_0) ağırlık merkezi, 2) Suya doymun hale gelen ve hacim deformasyonuna uğrayan tane ve (O_1) ağırlık merkezi, 3) Kuruyup hacmi küçülen tane ve (O_2) ağırlık merkezinin aşağıya doğru yer değiştirmesi ve tanenin bir devrede Δx kadar, aşağıya doğru hareket etmesi (Erguvanlı, 1995).

Yamaç molozu kripi soğuk bölgelerde, çatlaklardaki suların donması, sıcak iklimlerde de gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farkı nedeni ile meydana gelmektedir. Eğimi 10° den az olan ve içinde fazla miktarda şistisel yapılı, taş ve mineral parçaları, (killişist, mikaşist, klorit, mika, talk) bulunan yamaçlarda da yamaç molozu kripi çoğunlukla oluştuğu görülür. Şistiyet, olayı çabuklaştırıcı faktördür. Bu çeşit hareketleri önlemek için en uygun çare, yerüstü ve yeraltı sularının drenajıdır. Kuru olan ya da suları iyi drene edilmiş bulunan yamaç molozları, genellikle şekillerini değiştirmeden uzun bir süre hareketsiz kalabilirler (Erguvanlı, 1995).

1.4.2.1.3. Kaya Kripi

Yamaçlardaki yerli kayaların eğim düzlemleri boyunca yavaş yavaş hareket etmesine “Kaya Kripi” denir. Burada hareket akmadan ziyade kaymadır. Çatlaklı blokların, yamaçlardan aşağı kaymaları da bu tip içine girer. Bu olay, kaya düşmelerine benzer ise de hareketin şekil ve hızı bakımından farklıdır. Kaya kriplerinde don ve bitki köklerinin büyüyüp gelişmesine ana nedendir. Ayrıca killi ince tabakaların ve tabakalı yapı gösteren taşların bulunması da önemlidir. Tabakaları dışarıya doğru eğimli olan yamaçlarda, tabakaların yüzeye yakın uçları yavaş yavaş geriye döner ve yamaçlardan aşağı doğru hareket eder; buna tabaka uçlarının bükülmesi ya da “Uç Kripi” denir (Erguvanlı, 1995).

1.4.2.2. Hızlı Akma

Kripi oluştuğu toprak, taş-toprak karışımı ya da ayrışma sonucu gevşemiş boşluklu kısımlar, suyun artması, buna bağlı olarak boşluk suyu basıncının çoğalması, doğal ve yapay titreşimler nedeni ile alttaki kısmen ya da tamamen geçirimsiz temel üzerinde gözle görülebilecek bir hızla yamaç aşağı hareket ederler. Su miktarı arttıkça hız artar. Buna hızlı akma denir. Suyun akması ile suya karşı hassas killi zeminler çamur, kumlu zeminler ise kum akması şeklini alır. Hızlı akma eğimi 2° - 3° olan yamaçlarda da görülebilir. Bu tip olayların buzla kaplı sahalarda görülmesine Soliflüksiyon denir. Malzeme türüne bağlı olarak, kaya-blok akması, toprak akması, moloz akması isimlerini alırlar (Tarhan, 1989).

1.4.2.2.1. Toprak Akması

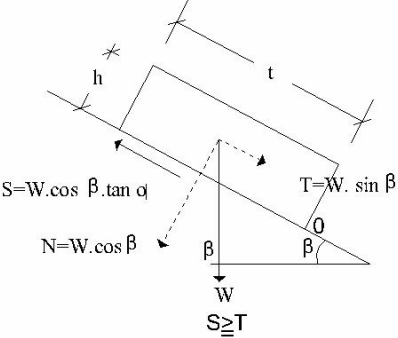
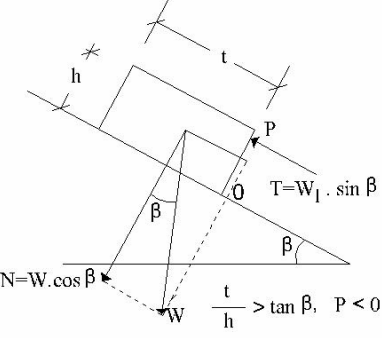
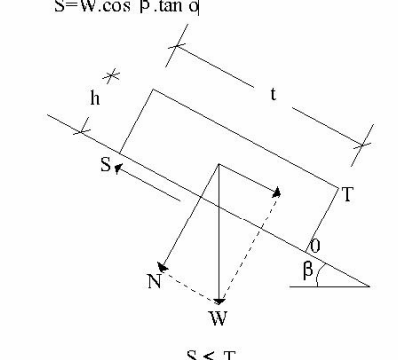
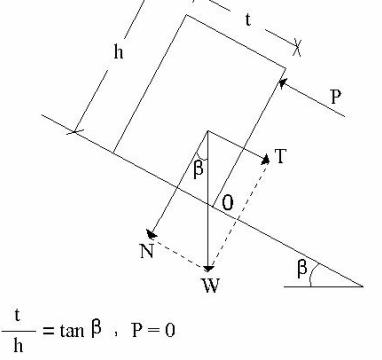
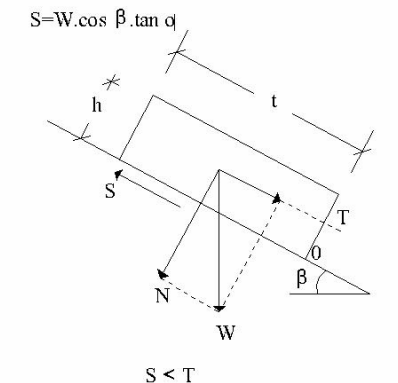
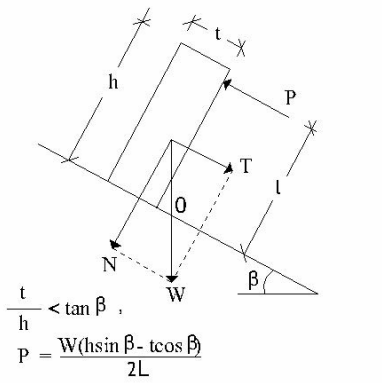
Toprak akması az ya da çok eğimli yamaçlarda oluşabilir. Fakat az eğimli yamaçlardaki akmalar çoğunlukla çok yağışlı bölgeler için karakteristiktir. Bu bölgelerde, yüzeyde ayrılmış, boşluklu kısımlar ve alta doğru nispeten geçirimsiz killi lateritik tabakalar vardır. Alttaki bu killi tabakalar, boşluklu üst kısımlarından sızan suları tutup biriktirir ve üstteki tabakalarında kolayca akmasını sağlar. Bu akış killi ve siltli zeminlerde de çoğunlukla hassas killerde “Çamur Akması” (mudflow), kumlu zeminlerde de “Kum Akması” şeklini alır. Su miktarı azaldıkça hız azalır ve kitle yarı sıvı halini alır. Bu gibi toprak akması olayları, 3° den az yamaçlarda bile görülebilir. Aşağıya doğru kayan blokların üst kısımlarında geriye dönmüş kısımlar, alt uçta da kırılmalar ve toprak akmaları

görülür. Yol mühendisleri tarafından heyelan olarak adlandırılan hareketlerin çoğu toprak akması şeklindedir. Bu tip olayların buzla kaplı bölgelerde görülen şekli soliflüksiyondur. Dağlık ve buzulla örtülü bölgelerde ise köşede kaya blokları, buz parçaları ile beraber buzul dili gibi, heyelan ya da daha ziyade akış etkisi ile hareket eder. Buna “Kaya–Buzul Kripi” adı verilir (Erguvanlı, 1995).

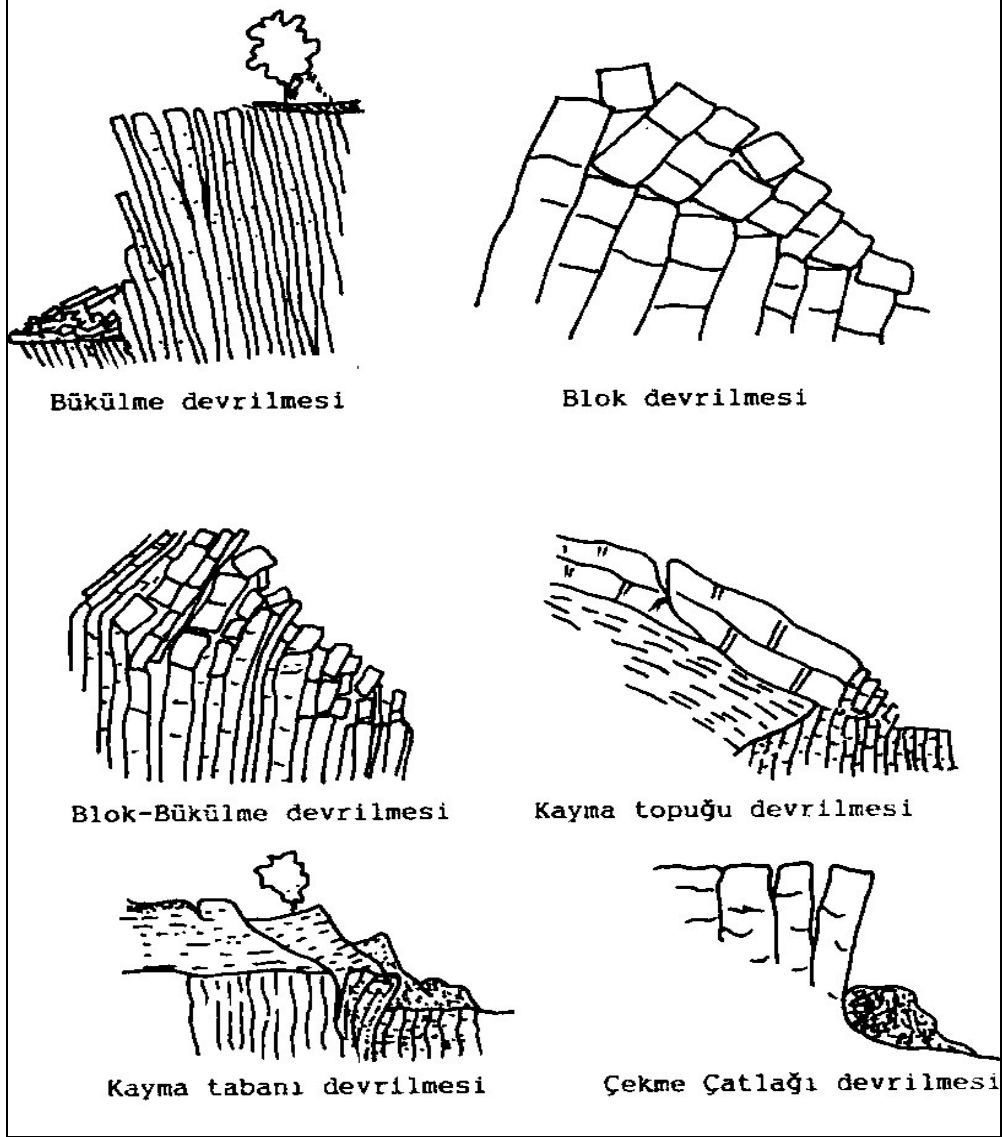
1.4.3. Devrilme

Çatlaklı kayalarda görülen devrilme türündeki kütle hareketi son 15 yıldan bu yana önem kazanmıştır. Önceleri çatlaklı kayalarda açılan dik şevlerdeki bozulmalar düzlemsel ya da eğrisel yüzeyler boyunca oluşan kaymalara benzer şekilde incelenmekte idi ve dik ya da yamaç içine eğimli süreksizlik içeren kayalarda açılan eğimli yüzeylerin duraylı olacağı varsayılıyordu. Fakat uygulamalar bu tür şevlerde de bozulmaların olduğunu göstermiştir.

Kaya yamaçlarının stabilitesi, öncelikle kayaların içerdiği süreksizliklerin doğrultu eğimleri, sıklıkları ve kayma direnci parametreleri tarafından kontrol edilir. Bu nedenle devrilme türü kütle hareketinde, teorik arazi ve laboratuvar çalışmalarına ayrı bir özen gösterilmesi gerekir. Süreksizlik içeren kayalarda devrilme türü kütle hareketi mekanizması, süreksizliklerin sınırladığı kaya bloklarının ve bu bloklara etki eden kuvvetlerin birlikte incelenmesi ile ortaya koyulabilir. En basit haliyle eğik bir yüzey üzerinde süreksizliklerle sınırlanmış tek bir kaya bloğu ele alınarak bloğu etkileyen kuvvetlerin stabilite analizi yardımıyla kayma ve devrilme durumları irdelenebilir. Şekil 6’ da görüldüğü gibi kaya bloğunu duraylılık açısından etkileyen parametreler: W : Bloğun ağırlığı, β : Bloğun bulunduğu yüzeyin eğimi, t ve h : Bloğun boyutlarıdır. Bu parametrelere göre bloğun eğim aşağısındaki (O) noktaya göre momentleri alınırsa bloğun ne tür bir hareket yapabileceği görülmektedir. Devrilme türü kütle hareketinde eğik yüzey boyunca kayma söz konusu değildir. Burada önemli olan blok ağırlık vektörünün bloğun eğik yüzey üzerindeki dayanma alanı ile olan ilişkisidir. Ağırlık vektörü, dayanma alanı içinde kalıyorsa blok duraylı, dışına çıkıyorsa blok duraysızdır. Dayanma sınırından geçiyor ise blok limit dengededir. Buradaki hareket bir dönme hareketidir. Dönme bloğun eğim aşağısındaki kenarı boyunca olmaktadır (Tarhan, 1989).

 <p> $S=W \cdot \cos \beta \cdot \tan \phi$ $N=W \cdot \cos \beta$ $T=W \cdot \sin \beta$ $S \geq T$ </p>	DURAYLI	 <p> $N=W \cdot \cos \beta$ $T=W_1 \cdot \sin \beta$ $\frac{t}{h} > \tan \beta, P < 0$ </p>
 <p> $S=W \cdot \cos \beta \cdot \tan \phi$ $S < T$ </p>	KRİTİK DENGE	 <p> $\frac{t}{h} = \tan \beta, P = 0$ </p>
 <p> $S=W \cdot \cos \beta \cdot \tan \phi$ $S < T$ </p>	DURAYSIZ	 <p> $\frac{t}{h} < \tan \beta,$ $P = \frac{W(h \sin \beta - t \cos \beta)}{2L}$ </p>
KAYMA	DURAYLILIK	DEVİRİLME

Şekil 6. Eğik düzlem üzerindeki kaya bloklarının kayma ve devrilme durumları (Tarhan, 1989).



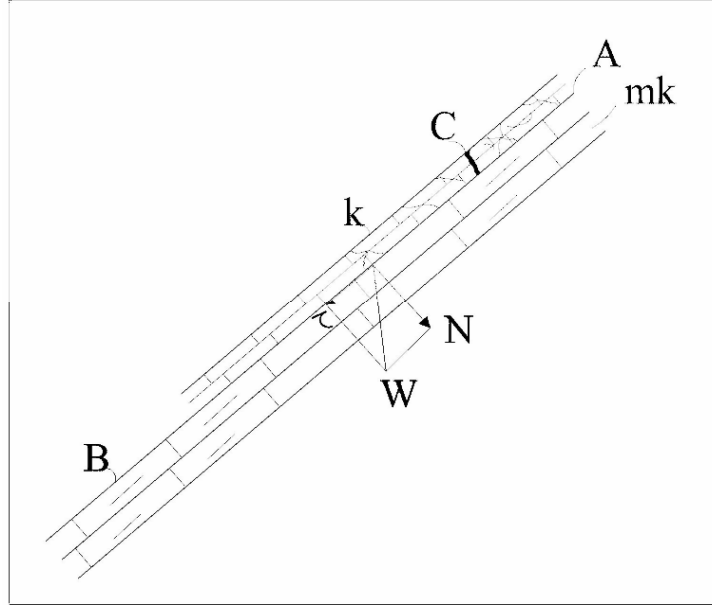
Şekil 7. Doğada Gözlenen Devrilme Türleri (Tarhan, 1989).

1.4.4. Kayma

Kayma, şevi oluşturan malzemede, belirgin bir yüzey boyunca ve makaslama yenilmesine bağlı olarak, kazı boşluğuna doğru dönel veya ötelenmeli (düzlem üzerinde) bir hareket sonucu meydana gelen bir duraysızlık türüdür. Şevlerde karşılaşılan en yaygın duraysızlık türü olan kaymalar, dönel ve ötelenmeli kaymalar olmak üzere iki şekilde gelişirler (Ulusay, 2001).

Kayma olayı daha çok yatay ya da eğik tabakalı, aynı ya da farklı litolojideki arazide oluşur. Arkada eğimli tabakaların aşağı kısımlarında yapılan kazı ya da aşınma nedeniyle asılı vaziyette olan kitlenin ağırlığı, içsel sürtünmeden fazla olduğu andan itibaren, yamaç

harekete başlar. Bu gibi hallerde içsel sürtünme asgariye düşer. Bunun içinde içsel sürtünmeyi etkileyen faktörler (ek ağırlık, su kimyasal ayrışma, hidratasyon) azaltılmamalıdır. Şekil 8’de görüldüğü gibi, üstteki tabakada ufak fissürler ve gerilme çatlakları oluşur ve bu parça, AB yüzeyi üzerinde, yerçekimi kuvvetinin bir bileşeni olan (τ) etkisiyle aşağı doğru kayar. Burada hareket ettirici, yerçekimi kuvvetidir ve değişmez baştan sona kadar vardır. Bu parçanın kaymamasını da içsel sürtünme direnci sağlar.



Şekil 8. Kaymaya Etkiyen Kuvvetler (Erguvanlı, 1995).

Kaymayı ve yerinde kalmayı sağlayan kuvvetler:

$$\tau = f \times N \text{ (Yapışma direnci)} \quad (1.1)$$

f : Sürtünme Katsayısı

olduğu zaman denge vardır. Bu denge kaya içinde birikmiş gerilmeler, ek yükler, şev üzerinde yapılan kazı vb. gibi nedenlerle bozulabilir. Taneleri çimentolayan malzeme ve içsel sürtünme direnci yavaş yavaş, ya da devamlı yağış etkisiyle birden bire azalır; yapışma direnci küçülür; genişlemeler yeryüzüne dik çatlaklar oluşur ve sonunda denge bozulur; kesme direnci azalır; tabaka kayması meydana gelir (Erguvanlı, 1995).

1.4.4.1. Ötelenmeli (Düzlemsel) Kayma

Doğadaki kayaçların fay, çatlak, tabaka vb. gibi süreksizlik yüzeyi boyunca, sınırlı bir şekilde aşağıya doğru hareket etmesine düzlemsel kayma denir. Düzlemsel kaymanın başlıca nedeni yamaç topuklarında yapılan kazılar ve aşınmalar, yamaçlara fazla ek yük konması, yüzey ve yeraltı suları, ayrışma, hidratasyon olayı, farklı litolojide kayaç arılanması ve yer çekimidir. Tüm bu faktörler zayıflık düzlemindeki direnç (kohezyon, içsel sürtünme açısı) ve gerilme özelliklerinin değişmesine neden olur. Sonuçta kaydırıcı kuvvetlerin tutucu kuvvetlerden fazla olması halinde zayıflık düzlemi boyunca kayma meydana gelir (Tarhan, 1989).

1.4.4.1.1. Düzlemsel Kayma

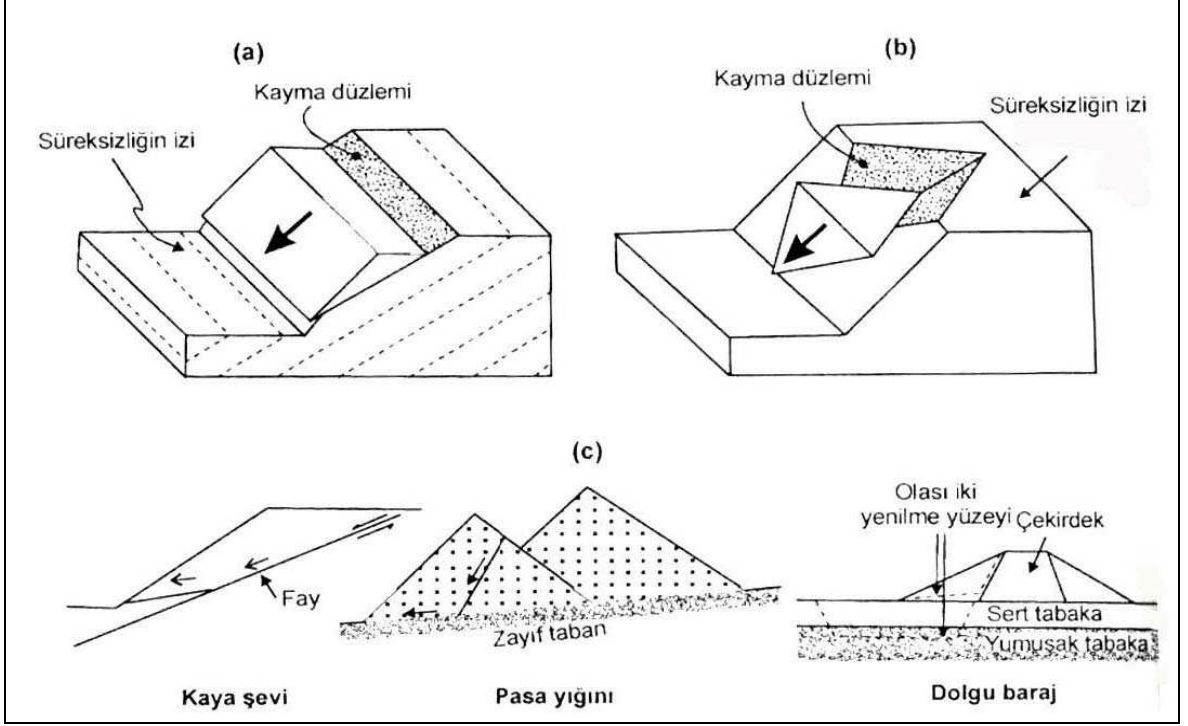
Eğimi şev eğiminden küçük olan düşük dayanımlı zayıf bir düzlem üzerindeki kütlelerin kazı boşluğuna doğru hareket etmesidir.

1.4.4.1.2. Kama Türü Kayma

Bu tür duraysızlık, kesişen iki süreksizliğin oluşturduğu tetrahedral bir kama bloğunun, eğimi şevinkinden daha yatık olan kesişme hattı boyunca öne doğru hareket etmesi sonucu meydana gelir.

1.4.4.1.3. İki veya Çok Yüzeyle Kayma

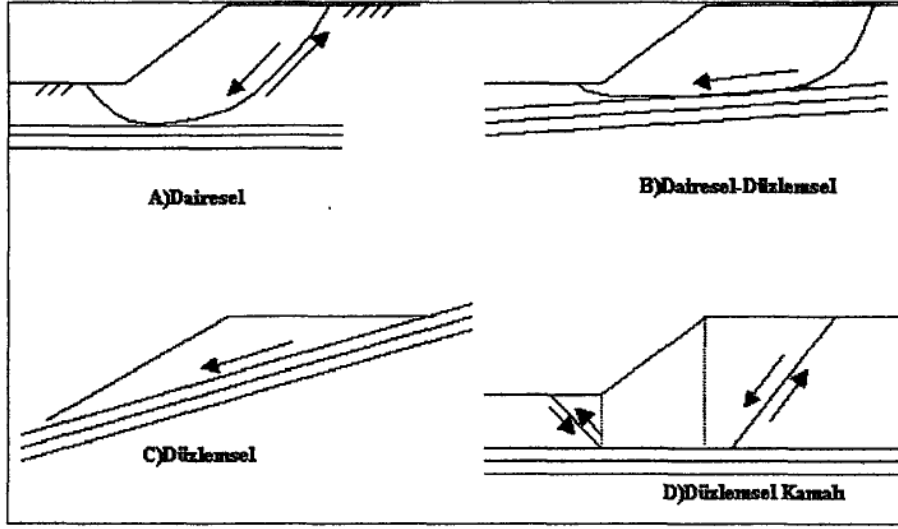
Bu duraysızlık türü, birden fazla süreksizlik veya zayıflık yüzeyi üzerinde meydana gelir. Özellikle fay veya tabakalanma yüzeylerinin birleşmesi sonucu doğal ortamlarda veya zayıf zeminler üzerinde yer alan pasa yığınları ile dolgularda gelişebilen tipik bir duraysızlıktır (Ulusay, 2001).



Şekil 9. (a) Düzlemsel kayma, (b) Kama tipi kayma ve (c) Farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001).

1.4.4.2. Dönel (Heyelan) Kayma

Daha çok ayrık ve zayıf çimentolu ya da çok sık çatlaklı kayalarda görülür. Kayma yüzeyi dairesel (A), dairesel düzlemsel (B), dairesel olmayan (C), düzlemsel kamalı (D) şekillerde olmaktadır. Genelde bu tür kütle hareketlerine heyelan denmektedir. Eğrisel yüzeyli kütle hareketlerinde hareket eden malzemede dönme olayları da görülmektedir. Hareket etmiş kayalar derinlere kadar inebilir. Bu tür kayma hareketlerinde çoğu birbirine paralel birden fazla kayma yüzeyi görülebilir.



Şekil 10. Kayma türlerinin kesitleri (Erguvanlı, 1995).

Düzlemsel kaymada, kayaçların içerdiği süreksizlikler boyunca kayma meydana geliyordu. Zeminlerde ise kayaçlardaki gibi yapısal süreksizlik görmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle yamaç ya da şevlerdeki kayma, dayanımının en az olduğu noktalar boyunca oluşur. Zeminlerde meydana gelen yamaç ya da şev kaymaları incelendiğinde genellikle eğri bir yüzey boyunca meydana geldiği ve eğri yüzeyin çoğunlukla da dairesel biçimde olduğu görülmüştür. Ayrıca incelemeler eğrisel kayma yüzeylerinin ayrık zeminlerde oluştuğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle çok sık çatlaklı kayaçlarda zemin gibi hareket ederler ve eğrisel yüzeyli kaymalar gösterirler.

Genelde heyelan adı altında toplanan bu tür kütle hareketlerinde, zemin ya da kayaçlar bir düzlem üzerinde, yamaç aşağı hissedilir bir şekilde hareket ederler.

Hareket eden malzeme türüne ve hareketin olduğu sahanın yapısal özelliklerine bağlı olarak kayan malzeme topografya yüzeyinde kaşık, dil, ay, üçgen ve dörtgen gibi şekiller gösterirler. Kaşık, dil ve ay şekilli kütle hareketleri daha çok killi, siltli, kumlu zeminlerde, belli bir geometrik şekli olan üçgen ve dörtgen şekiller ise daha çok süreksizliklerin etkisiyle oluşur. Eğrisel yüzeyli kütle hareketlerinde üst kısımlar aşağı doğru kayarken aşağı kısımlarda çökme, kabarma ve akma bölgeleri görülür. Bu tip kütle hareketlerine heyelan adı verilir (Tarhan, 1989).

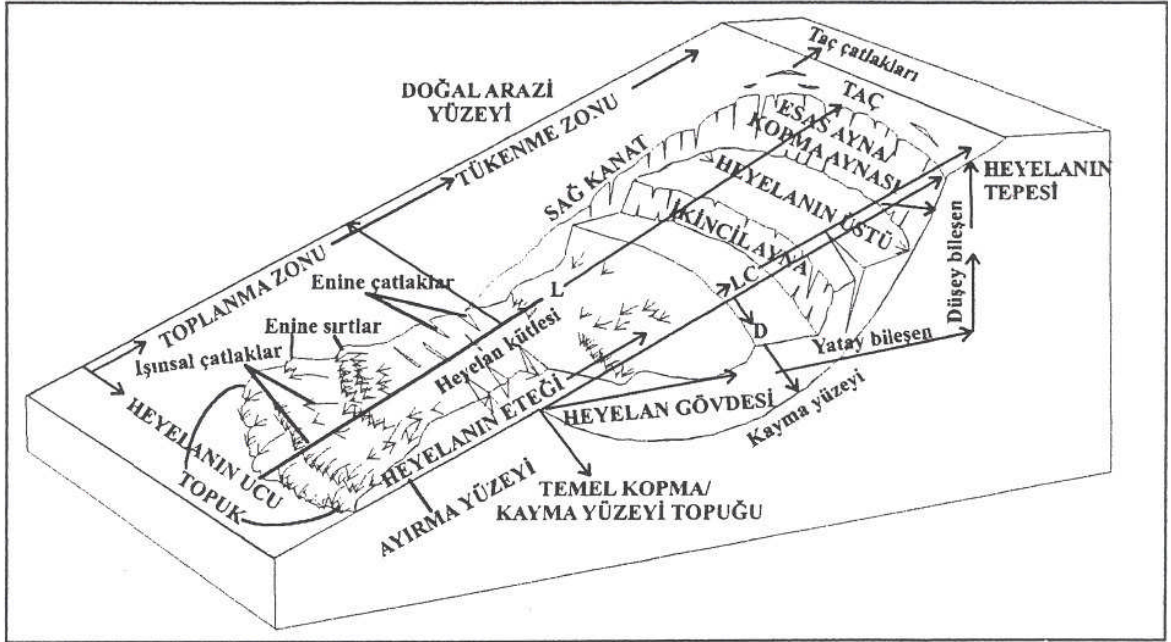


Şekil 11. Dairesel kayma (Ulusay, 2001).

1.4.4.2.1. Heyelan

Toprak, taş veya bunların karışımından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaların, bir yüzey üzerinde, aşağıya ve dışarıya doğru hissedilebilir bir şekilde hareket etmesine “Heyelan” denir. Hareketin hızı, yamaç eğimi ve su miktarı ile orantılıdır (Ergüvanlı, 1995).

Varnes, 1978’de bir heyelanın özelliklerini aşağıdaki blok diyagramda tanımlamıştır.



Şekil 12. Bir heyelanın özelliklerini tanımlayan blok diyagram (Özdemir, 2006).

Şekil 12’de görüldüğü gibi heyelanlarda değişik kısımlara değişik isimler verilir. Gerilme çatlaklarının şekil ve derinliğinden yararlanarak esas kayma yüzeyinin şekli ve derinliği saptanmaya çalışılır. Heyelanın esas aynası genellikle düşey ya da düşeye yakındır. Hareket eden malzeme çok ilerleyecek olursa, desteksiz kalan taç kısmında gerilme çatlakları ve bunlara bağlı olarak da öncekine benzer pek çok heyelan meydana gelebilir. Bu şekilde normal geriye doğru ilerleyen heyelanlar hareket eden kütlelerin esas aynaya bakan kısmında ise esas aynaya doğru kaymalar meydana gelebilir. Bazı heyelanlarda hareket eden kütlede ikincil kayma yüzeyleri oluşur ve bu kayma yüzeylerinin arasında kalan kayma kamaları yukarıya doğru hareket edebilir. Bu tür hareket eden yerlerde, yağış ve kaynak suları birikerek heyelan içi gölleri oluşur. Göller heyelanın orta kısmında oluşan çökme bölgelerinde de meydana gelebilir. Heyelanların topuk kısmında kabarmalar görülür. Kabarma kısmında meydana gelen enine çatlaklar yaklaşık topuk noktasında kesişir. Kayan malzemede çoğu zaman dönme hareketi de görülür.

Heyelanlar doğal kayaç ve zeminlerde meydana geldiği gibi insanlar tarafından oluşturulan dolma zeminlerde de meydana gelebilir (Tarhan, 1989).

IAEG Commission on Landslides (1990), tipik bir heyelanın değişik kesimlerini aşağıdaki şekilde isimlendirmiş ve açıklamışlardır.

- Heyelan tacı; ana aynanın en yüksek bölümüne en yakın ve hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yer.
- Ana ayna; heyelanın üst ucunda, heyelandan etkilenmemiş bölgeden hareket eden kütlelerin ayrılmasıyla oluşan düşey veya düşeye yakın yüzey. Kayma/kopma yüzeyinin görünen bölümüdür.
- Heyelan tepesi; ana ayna ile heyelan kütleleri arasındaki en yüksek nokta.
- Heyelanın üstü; hareket etmiş kütle ile ana ayna arasında oluşan bölgenin üst kısımları.
- Tali ayna; yer değiştiren kütle içinde farklı hareketlerden oluşmuş düşey veya düşeye yakın bir yüzey.
- Heyelan gövdesi; kayma yüzeyi üzerinde, ana kaya ile kayma yüzeyi burnu arasında kalan kütle.
- Heyelanın eteği; heyelanın topuğu ötesine hareket ederek doğal arazi üzerine oturmuş bölümü.
- Heyelanın ucu; heyelan üzerinden topuğuna gelen nokta.

- Topuk; hareket eden kütlelerin genellikle eğrisel olan alt ucu. Bu nokta ana aynadan en uzaktaki noktadır.
- Kayma yüzeyi; heyelana neden olan ya da heyelan olmuş kütlelerin alt sınırını oluşturan ve doğal zemin yüzeyinin kesişme noktası.
- Kayma yüzeyi burnu; bir heyelanın kayma yüzeyinin alt bölümü ile (genellikle gömülü) doğal arazi yüzeyinin kesişme noktası.
- Ayrılma yüzeyi; doğal arazi yüzeyinin heyelanın eteği altında kalan bölümü.
- Heyelan kütlesi; yamaç veya şevde heyelan sonucu doğal yerinden ayrılmış, kayıp ve kabarma kütlelerini içeren malzeme.
- Kayıp bölgesi; heyelan kütlelerinin doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan alanı.
- Birikim bölgesi; heyelan kütlelerinin başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi seviyesi üstünde kalan alanı.
- Çöküntü; ana ayna, çöküntü kütlesi ve doğal arazi yüzeyi arasında kalan hacim.
- Çöküntü kütlesi; kama yüzeyi üzerinde, ancak başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi altında kalan heyelan kütlesi.
- Kabarma; başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi üzerine yükselen yer değiştirmiş heyelan hacmi.
- Kanatlar; kayma yüzeyinin yanlarında kalan ve hareket etmemiş malzeme. Kanatları tanımlama için pusula yönleri kullanılmalıdır. Sağ ve sol sözcükleri kullanılacaksa kanatların yeri, heyelan tacından görüldüğü gibi tanımlanır.
- Doğal arazi yüzeyi; kütle hareketi oluşmadan önce arazinin kesitte görülen yüzeyi (Özdemir, 2006).

Yeryüzünde meydana gelen heyelanların, hareket düzleminin önünde ya da arkasında birbiri ardı sıra geliştiği görülür.

Terzaghi'ye göre heyelanların sebepleri iki gruba ayrılır.

A) Dış Sebepler: Bunlar malzemenin mukavemeti değişmeden, makaslama kuvvetini artırır.

1. Yamaç veya şevin alt kısmında kazılar yaparak arazinin istinadının yok edilmesi.
2. Aşınma ile yamaç eğiminin artması.
3. Yamaç veya şevin üst kısmının fazla yüklenmesi.
4. Kırık ve çatlaklarda suların donması.
5. Depremler ve titreşimler.

B) İç Sebepler: Dış sebepler olmadan da heyelan olur. Bunlarda makaslama kuvveti değişmediğinden malzemenin mukavemeti azalır.

1. Boşluk suyu basıncının artması.
2. Şev malzemesi kohezyonunun azalması.

Kuvvetli yağmur, kuvvetli tarım sulamaları, karların erimesi, yeraltı su seviyesinin değişmesine, şev malzemesinin kısmen ve tamamen doymuş hale gelmesine ve böylece, boşluk suyu basıncının artmasına ve iç sürtünmenin azalmasına sebep olur. Ayrıca boşlukları dolduran su, zemin ağırlığını artırır ve zeminde kohezyonu temin eden yüzeysel gerilme azalır. Bundan dolayı yer kaymaları en çok yağmurlu mevsimlerde olur (Erdem, 1976).

1.4.5. Yanal Yayılma

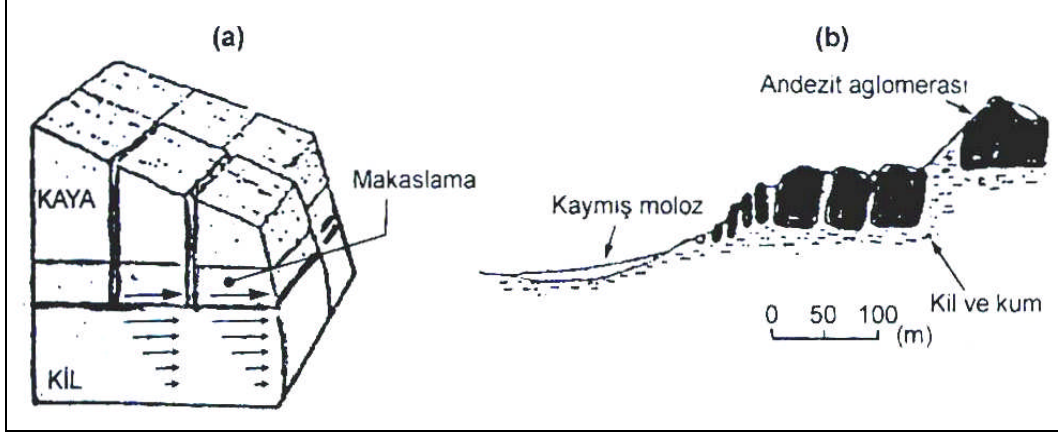
Bu tür duraysızlığın meydana gelmesinde, makaslama ve çekme çatlaklarının eşlik ettiği yanal bir genişleme hareketi rol oynamaktadır. İki türü bulunmaktadır.

1.4.5.1. Yanal Kaya Yayılması

Şev yumuşak bir malzemenin üzerinde yer alan daha sıkı-sert birimden oluşur. Yumuşak malzeme şevin dışına doğru plastik bir davranış sergiler ve akma şeklindeki harekete bağlı olarak alttaki sert malzeme de bloklara ayrılır ve plastik malzeme tarafından taşınarak bu harekete katılır.

1.4.5.2. Yanal Zemin Yayılması

Bu duraysızlık türü killi, göreceli olarak zayıf ve sünümlü bir malzeme içinde yüzer konumdaki sert ve eklemlili büyük kaya bloklarının bu malzeme ile birlikte yavaş bir harekete maruz kalmasını tanımlar. Yıllık hareket hızı 10–25 mm arasında değişir ve genellikle hareket kolay fark edilmez. Aşırı gözenek suyu basıncı hareketi etkileyen önemli faktörlerden biridir (Ulusay, 2001).



Şekil 13. (a) Yanal kaya yayılması ve (b) Yanal zemin yayılması (Ulusay, 2001).

1.4.6. Karmaşık Hareketler

Birden fazla türde kütle hareketinin görüldüğü olaylara karmaşık kütle hareketleri denir. Örneğin devrilme türü bir hareket kaya düşmesine, daha sonrada kaya akmasına, kaya kayması ise kaya düşmesine dönüşebilir. Killi siltli zeminlerde meydana gelen heyelan daha sonra çamur akmasını meydana getirebilir. Bu nedenle kütle hareketleri incelenirken, hareketin şekline, hareket eden malzemenin türü ve su içeriğine göre, olayları sırasıyla izlemek, isimlendirmek ve duruma göre önlem almak gerekir (Tarhan, 1989).

1.5. Kütlelerin Dengesine Etki Yapan Faktörler

Şev ya da yamaçlardaki kütlelerin dengesine etki yapan faktörlerin en önemlileri; litolojik özellik, bileşim, jeolojik yapı, süreksizlikler yeraltı su basıncı, gerilme durumu ve miktarıdır. Basınç doğrudan doğruya; bileşim, tane çapı, tane şekli, diziliş, yeraltı suyu ve jeolojik yapı dolaylı olarak etki yapar. Bunlardan herhangi birinde değişimin meydana gelmesi, dengenin bozulmasına neden olur.

Litolojik özellik yani tanelerin çapı, biçimi, dağılışı, dizilişi, yüzeylerinin kayganlık ve pürüzlülük derecesi, taneleri birleştiren çimentonun miktarı, cinsi ve tanelerin çimentolanma derecesi, tortul bir kütlelerin mekanik duraylılığına etki yapan en önemli faktörlerdir. Bunların bir kısmı sürekli, diğer bir kısmı da geçicidir.

Tortul kayalarda şev duraylılığının saptanmasında ortamdaki su miktarı çok önemlidir. Kayaların fiziksel özellikleri, kapsadıkları suyun miktarı ve bulunuş şekliyle

ilgilidir. Suyun serbest bir yüzeye malik olup olmadığına, bulunuş şekline göre etki derecesi değişir. Ayrık kayaçların (çimentosuz tortulların) içinde bulunan hava ya da diğer gazlar, zeminin fiziksel veya kimyasal özelliklerine etki yapar. Çimentolu tortul kayaçların duyarlılığına direkt olarak etkileyen litolojik faktörlerin tümü “Doku” deyimini ile tanımlanır. Bunlar tane büyüklüğü, tane biçimi, tane yüzü ve tane dağılışıdır.

1.5.1. Tane Büyüklüğü

Tortul taşlardaki tanelerin büyüklüğü duraylılığa geniş ölçüde etki yapmaz; ancak, ufak ve çok ufak taneli zeminlerde kapiler kuvvet, yüzeysel gerilim ya da kil minerallerinin kendilerine özgü hidrasyon özellikleri yönünden, tane çapının etkisi önemlidir. Konglomera ve kum taşlarında tane büyüklüğünün esas etkisi geçirgenliği arttırmasıdır. Tane çapları düşey ya da yatay olarak, yavaş yavaş değişen tortul taşlarda, boşlukların koloidal maddelerle doldurulması, permeabiliteye etkir. Ayrıca nemli ve gevşek kumlarda, tanelerin dağılışı tarzı kompressibiliteyi değiştirir. Diğer taraftan, kohesif killi zeminlerde tanelerin küçülmesiyle kompressibilitenin arttığı da saptanmıştır.

1.5.2. Tane Biçimi

Tortul kayaçların ve zeminin içindeki parçacıkların biçimi fiziksel özellikleri etkiler; kuru zeminlerde tanelerin köşelilik derecesi arttıkça, kompressibilite ve iç sürtünme açısı da artar. Ayrıca, danelerin biçimi çökelme ve konsolidasyon esnasında çok değişik büyüklükte boşlukların oluşmasına, malzemenin basınç direncine ve yoğunluğuna etkir. Biçimleri yuvarlak ve küresel olan kumlar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri, çökelme hızının porozite ve yoğunluğa etki yaptığını göstermiştir. Mineral parçacıklarının biçimi, sedimentasyonda rol oynar ve dayanıklılığa etkir. Örneğin, mika pulcukları geniş yüzeyleri üzerinde çökeler. Bu, bir yönde sıralanma, içsel sürtünmeyi ve kesme direncini azaltır ve dolayısıyla kaymalar kolaylaşır.

1.5.3. Tanelerin Kimyasal Bileşimi

Minerallerin kimyasal bileşimlerinin kütle hareketlerine etki yaptığı eskiden beri bilinmektedir. Masif tortul taşların dane ve çimentoları, kütle hareketlerinde dolaylı rol oynar. Jipsli, killi, glokonili ve serpantinli arazide oluşan heyelanlar, doğrudan doğruya kimyasal reaksiyon sonucudur. Suların etkisiyle kalker, tuz ve jipsin eriyip boşluklar meydana getirmesi, çökme ve kaymaların nedenidir. İçerlerinde, erimiş halde kalker, jips ve tuz içeren sular, killi şistler ve kil taşları içine girdikçe, fissür ve çatlaklarda yeniden kristallenirler. Bu esnada hacim ve basınç artar geçirimsiz ve masif olan kayaçlar geçirgen hale gelir. Bu duruma gelen zemin, az bir eğim ve yağmur etkisiyle kolayca hareket edebilir. Bu yolla meydana gelmiş heyelanlara çok rastlanır. Orta Anadolu da jipsli serilerde bu tip heyelanlar çok görülür. Sulu Fe, K, Mg, Al silikat bileşimli bir mineral olan glokoninin etkisiyle meydana gelen heyelanlar birçok ülkede ve örneğin Fransa, Yeni Zelanda ve İngiltere’de gözlenmiştir. Bütün dünyada kütle hareketlerinin en çoğu kil ve killi zeminlerde meydana gelmektedir. Bunlar yol ve demir yollarında her zaman görülür. Killer su ile temasta hacim artmasını ve baz değişimini ve şevlerin duraylılığını etkiler. Bundan dolayı killerin, mühendislik işlerinde, gerek temel inşaatında ve gerekse malzeme olmada önemli bir yeri vardır.

1.5.4. Jeolojik Yapının Etkisi

Tabakaların gerek içyapıları ve gerekse yapısal durumları, stratigrafik sıralanışları, kalınlıkları, tanelerin dizilişi homojenlik derecesi, tabakalaşma yüzeyleri, fissür, çatlak, kırık, fay ve kıvrım şekilleri kütlelerin dengesine etki yapar. Yatay ya da eğik durumlu ve farklı litolojik karakterli tabakalardan örneğin kil, marn, gre, kalker vb.den oluşmuş yamaç ve şevlerde, dış etkilerle yumuşak seviyeler aşınmada, sert tabakalar çıkıntı teşkil etmekte ve bir süre boşa, askıda kaldıktan sonra aşağıya düşmektedir. Bu gibi heyelan ve düşme hareketleri akarsu ve deniz kenarlarındaki falezlerde çok iyi görülür. Bütün kayaçlarda ve özellikle kiltası, silttası ve benzerlerinde fissür, kırık ve çatlaklar bunların kesmeye karşı dirençlerini azaltır ve aynı zamanda buradan suların sızmasına, içlerindeki eriyiklerin çökmesine, kimyasal ve mekanik değişmeye neden olur. Ufak taneli kayaçlar içinde geçirgen olan yüzey ve tabakaların bulunması bilhassa tehlikelidir. Bu tabakalar eğimli olduklarında ve geçirgen olmayan bir örtü ile kaplı bulduklarında kayma yüzeyi

üzerindeki kütle önemli bir hidrostatik basınca uğrar ve sonuç olarak kütle hareket eder. Eğik tabakalı sert kayalarındaki hareketler ise, daha ziyade çatlaklar, kırıklar ve faylar boyunca oluşmaktadır.

1.5.5. Basınç ve Gerilmelerin Etkisi

Basınç, bir kütlenin hareket edip etmemesine doğrudan doğruya etki yapan bir faktördür. Hareketin esas nedeni yerçekimidir. Fakat bazen zeminin içinde oluşan ek bazı kuvvetler de buna eklenir. Basınç miktarı kütle ile basınç durumu da topoğrafik şekilde bağımlıdır. Bileşimin, boşluk suyu basıncının ve jeolojik yapının değişmesi de basınca etki yapar. Deprem, dinamik yükler ve patlatıcı maddelerin kullanılması kütle içindeki gerilme durumunu değiştirir.

1.6. Yamaç ve Şevlerin Duraylılığı (Stabilitesi)

Doğada kayaların serbest olan eğik yüzlerine “Yamaç”, yapay olarak, kazılarak ya da doldurularak oluşturulan eğik yüzlere de “Şev” adı verilir.

Şevin duraylılığı deyince akla, şev yüzeyinin arkasında bulunan kitlede göçme ve yıkılma olup olmadığının araştırılması ve doğrulanması gelir.

İnşaat mühendisliği açısından şevlerin duraylılığı her türlü kazı ve dolguda yol ve demir yolları boyunca yamaçların kaymasında; toprak barajlarda suni inşa edilen gövdenin iki tarafına verilecek eğiminin saptanmasında; kanal yanlarına verilecek şev açısının saptanmasında önemli rol oynar.

Şevler, içine aldıkları malzemenin ya da dolgunun türüne göre:

1. Zemin Şevleri
2. Kaya Şevleri

diye iki gruba ayrılır. Diğer taraftan şevler, mühendislik açısından kullanılma sürelerine göre:

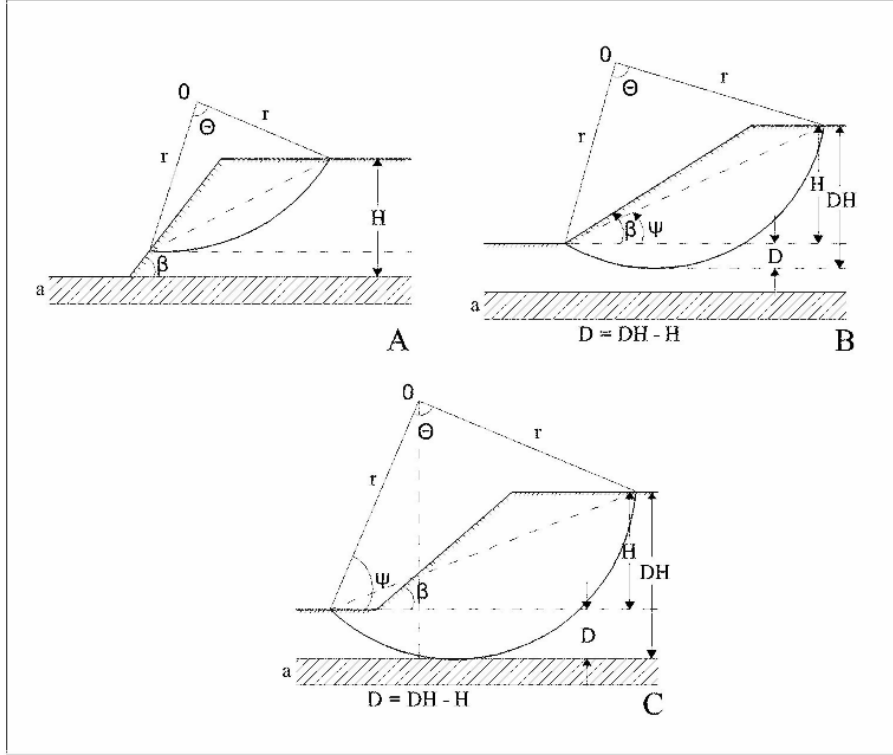
1. Kısa Süreli Şevler
2. Uzun Süreli Şevler

şeklinde adlandırılır (Erguvanlı, 1995).

1.6.1. Zemin Şevleri

Zemin, kayaçların ayrışması, taşınması ve depolanması ile meydana gelmiş, ayrık ya da çok zayıf derecede çimentolanmış elemanlardan oluşur. Elemanlar oluştukları ana kayacın pek çok özelliğini içerir, fakat bir araya geldiklerinde ana kayacı tamamen farklı davranış ve özellik gösterir. Bu nedenler zeminlerde oluşturulan şevlerin duraylılığı ile zemin mekaniği ve mühendislik jeolojisi bilimi dalları ilgilenir.

Zeminlerde görülen kütle hareketlerinin en önemlisi ve en fazla zarar vereni eğrisel kayma yüzeyli hareketler yani heyelanlardır. Zemin şevlerinde görülen heyelanlar şev, topuk ve taban heyelanı şeklinde oluşur.



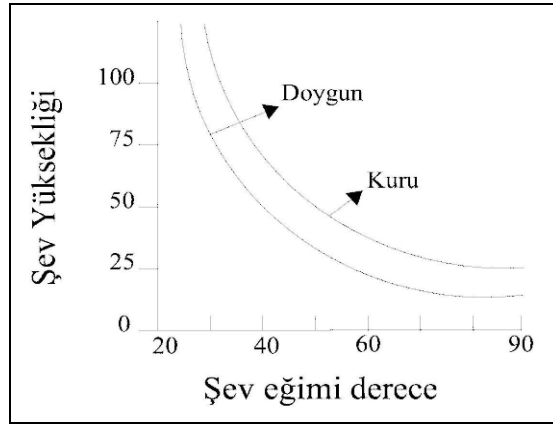
Şekil 14. Şevlerde görülen heyelan türleri, A) Şev heyelanı, B) Topuk heyelanı, C) Taban heyelanı, a-sağlam, zemin (Erguvanlı, 1995).

Şev heyelanı, sağlam zemin üzerinde açılmış eğik yüzeylerde meydana gelen kayma hareketidir. Kayma hareketi eğik yüzeyin bir kısmında görülüyorsa buna şev heyelanı, kayan kısım eğik yüzeyin tümünü kapsayıp, kayma yüzeyi eğik yüzeyin topuğundan geçiyor ise bu tür kaymaya da topuk heyelanı adı verilir. Kayma daha derine iner ve kayma

yüzeyi alttaki sağlam zemine değerek geçerse, bu tür kayma hareketine taban heyelanı denir.

Eğrisel kayma hareketlerinde, şevlerin duraylılığı açısından, şev yüksekliği ile şev açısı arasındaki ilişki önemlidir. Yapılan araştırma ve gözlemlerde görüldüğü gibi şev açısı arttıkça şev yüksekliği azalmaktadır.

Hoek ve Bray, 1977'de şev yüksekliği ile şev açısı arasındaki ilişkiyi aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi belirtmiştir.



Şekil 15. Zeminlerde şev yüksekliği-şev açısı ilişkisi (Tarhan, 1989).

Şev yüksekliği ile şev açısı arasındaki ilişki, zeminlerin suya doygunluk derecesi tarafından etkilenmektedir. Dolayısıyla zeminlerde açılacak şevlerde duraylılık, şev açısı ile şev yüksekliğinin kritik değerleri için mümkün olabilecektir (Tarhan, 1989).

Bu faktörlerden başka:

Malzeme özellikleri:

ϕ : İçsel sürtünme açısı

c: Kohezyon

γ : Birim hacim ağırlığı

D: Sağlam tabakanın şev tabanına olan derinliği ve geometrik konum

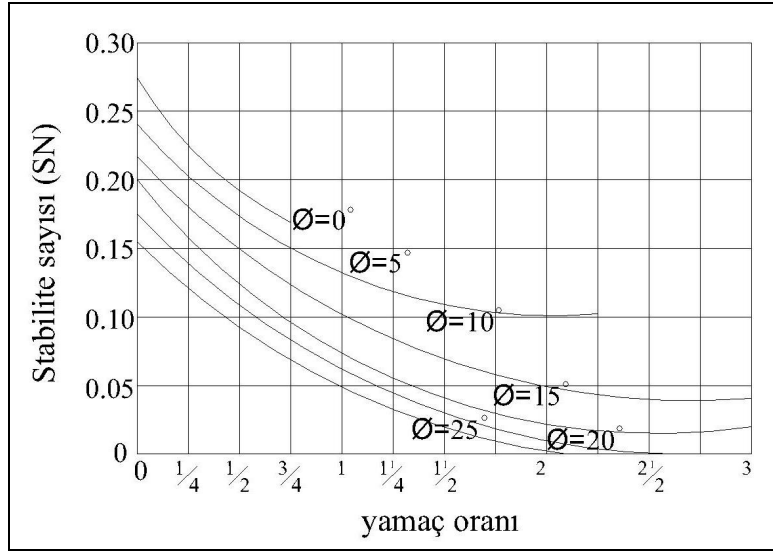
Yukarıda belirtilen faktörlerin heyelanda rolü vardır. İç sürtünme açısı (ϕ), taneler arasında sürtünmeden doğan değerdir. Kohezyonda (c) taneleri beraberce bir katı cisim gibi tutmağa çalışan kuvvetlerden doğan dirençtir. Bütün bu faktörler dikkate alınarak heyelanlarda önemli olan “Güvenlik Sayısı” ve “Kayma Dairesi” saptanır.

Yumuşak, konsolide olmamış, killi zemin şevlerinin duraylılığı $\phi=0$ (Fellenius) yöntemi kullanılarak analiz edilir. En genel halde c , ϕ ve γ laboratuvar deneyleri ile (c ve ϕ üç eksenli basınç ile) elde edildikten sonra şev kritik yüksekliği;

$$H_{cr} = \frac{1}{sn} x \frac{c}{\gamma} \quad (1.2)$$

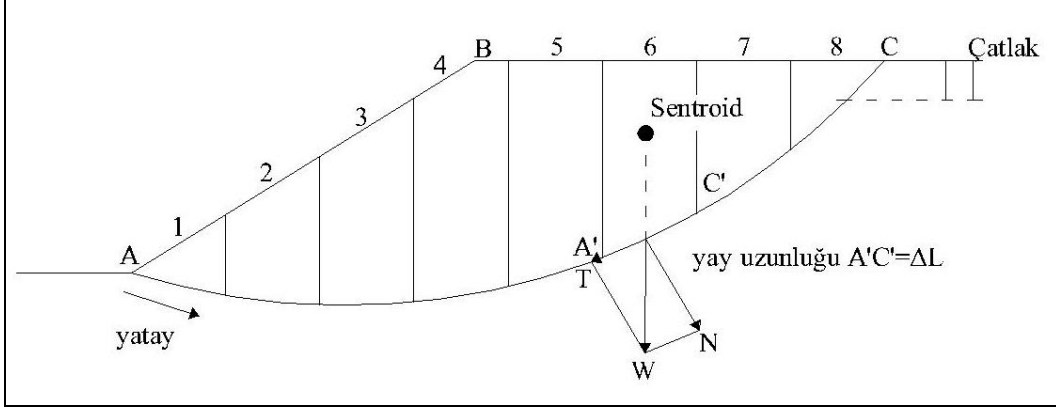
denklemden bulunur.

sn : ϕ 'nin fonksiyonu olan duraylık sayısıdır. En basit ve üniform şevler için sn Şekil 16'daki grafikten bulunur.



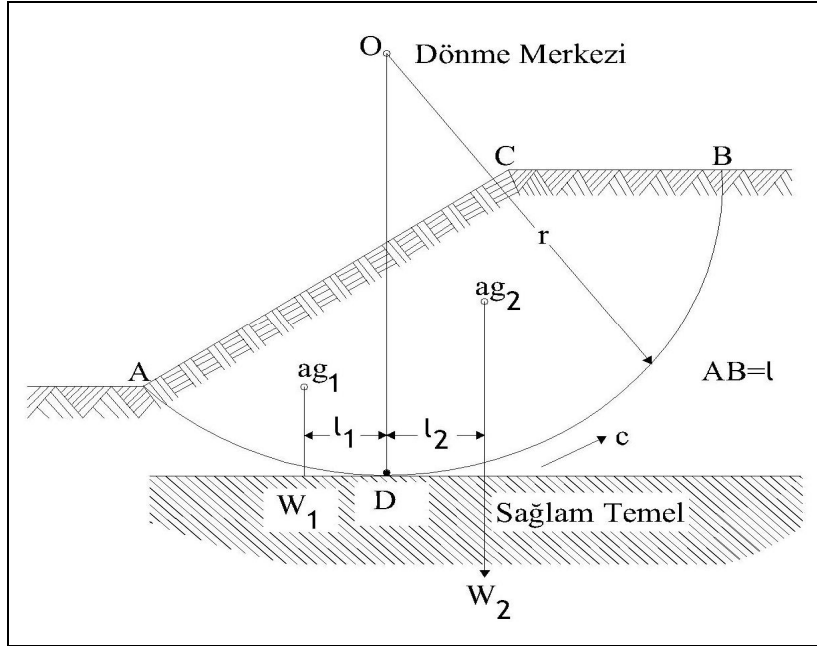
Şekil 16. Yamaç eğiminin saptanmasında kullanılan Taylor grafiği (Erguvanlı, 1995).

Fakat genellikle hesaplarda zeminin homojen olduğu kabul edildiğinden, yani doku, kimyasal bileşim, yeraltı su seviyesi durumu dikkate alınmadığından ve bunlar için denkleme ayrı ayrı katsayılar konulmuş bulunduğundan problemlerin kesin bir çözüm şeklinin olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle de güvenlik katsayısını birden büyük olarak, sonucun, belli bir oranda, güvenli tarafta kalmasına çalışılmaktadır.



Şekil 17. Şevlerin duraylılığının saptanması için dilimlere bölme yöntemi (Erguvanlı, 1995).

Sürtülmeli ve kohezyonlu zeminlerde heyelanların etüdü kayma dairesini dilimlere bölme (İsveç yöntemi) ile yapılır. Bu yöntem; homojen bir zeminde meydana gelmesi olası şev ve taban kayma dairesi, yaklaşık birer metrelik parçalara bölünür ve her parçayı kaydıracak ve yerinde tutacak kuvvetler araştırılır. Parçanın ağırlığı (W), teğet (T) ve normal (N) bileşenlerine bölünebilir. Teğet noktasından çıkarılan dikeyin sağındaki dilimlerin kaydırıcı etkisi ve soldakilerin ise, kaydırıcılara karşı tutucu etkisi göz önünde tutulur.



Şekil 18. Sağlam temel üzerinde, kohezyonlu zeminde açılan bir şevde dengeyi sağlayacak kuvvetler (Erguvanlı, 1995).

Burada kuvvet bakımından, kayma dairesi boyunca mevcut iç sürtünme açısı ϕ , AB eğrisi üzerindeki kohezyon (c) ve üstteki malzemenin ağırlığı ile meydana gelen normal gerilme (σ) ve kayma yüzeyindeki normal basınç önemlidir. Bulunan bu değerler Coulomb formülünde yerine konularak, kayma direnci:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1.3)$$

şeklinde hesaplanır.

Eğer taneler arasında su varsa, o zaman formül:

$$\tau = c + (\sigma - u_w) \tan \phi \quad (1.4)$$

olur. Burada;

τ : Kayma Direnci

c: Kohezyon

σ : Üstteki malzemeden oluşan normal gerilme

ϕ : İç sürtünme açısı

u_w : Boşluk suyu basıncı

Genellikle ayrıntılı şev duraylılık analizleri için A.W.Bishop'un geliştirilmiş "Dilim Yöntemi" kullanılır.

Kayma yüzeyi, genel olarak, daire yayı kabul edilir ve uygulamada kayma dairesi veya kayma dairelerinin çizim şekilleri araştırılır. Şekil 18'de görüldüğü gibi altında yumuşak bir tabaka olmadıkça kritik kayma dairesi yamacın (A) topuğundan geçer.

Genel olarak Şevlerin Güvenlik Sayısı (G_s):

$$G_s = \frac{\text{Tutucu Kuvvetler}}{\text{Kaydırıcı Kuvvetler}} = \frac{\sum W_1 \times L_1}{\sum W_2 \times L_2} \quad (1.5)$$

ile ifade edilmektedir.

Güvenlik sayısı 1,0'dan az ise: Güvenilmez.

Güvenlik sayısı 1,0–1,2 ise: Kuşku (kısa süreli şevler).

Güvenlik sayısı 1,3–1,4 ise: Yarma ve dolmalar için güvenilir (uzun süreli şevler).

Güvenlik sayısı 1,5'den fazla ise: Barajlar için de emniyetlidir.

Sağlam temel üzerinde bulunan kohezyonlu bir şevdeki denge durumu yukarıdaki şekilde görülmektedir. Burada, sağlam temele teğet olan kayma dairesi (ABD) olsun, ABD yay parçasının merkezi, (D) teğet noktasından çizilen dikey üzerinde bulunur ki bu da (O) dönme merkezidir. Burada dönmenin (O) merkezi etrafında olduğu düşünülmektedir. Hareketi meydana getiren moment $W_2 \times L_2$, karşı koyan momentler ise $W_1 \times L_1$, ve kayma yüzeyi boyunca etkiyen sürtünme kuvvetleri bileşkesinin OD ile çarpımının toplamıdır.

Yeryüzünde çeşitli zeminlerde kaymaya karşı gösterilen direnç değişiktir. Kohezyonsuz zeminlerde kayma direnci, kayma düzlemine etki yapan normal gerilmeyle orantılıdır. Suya doymun kohezyonlu zeminlerde kayma direnci, verilen bir noktadan geçen bütün düzlemlerde aynı olup normal basınçtan bağımsızdır ve daha ziyade katı cisimlerininkine benzemektedir.

Zeminleri kayma direnci yönünden üç gruba ayırmak mümkündür:

1.Grup: Kohezyonsuz Zeminler: Bu zeminlerde kayma direnci taneler arasındaki sürtünmeden doğar ve dolayısıyla;

$c=0$ olduğundan kayma direnci;

$$\tau = \sigma \tan \phi \quad (1.6)$$

olur.

Bundan dolayı özel olarak kumlu zeminlerde göçmeye karşı güvenlik sayısı:

$$G_s = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (1.7)$$

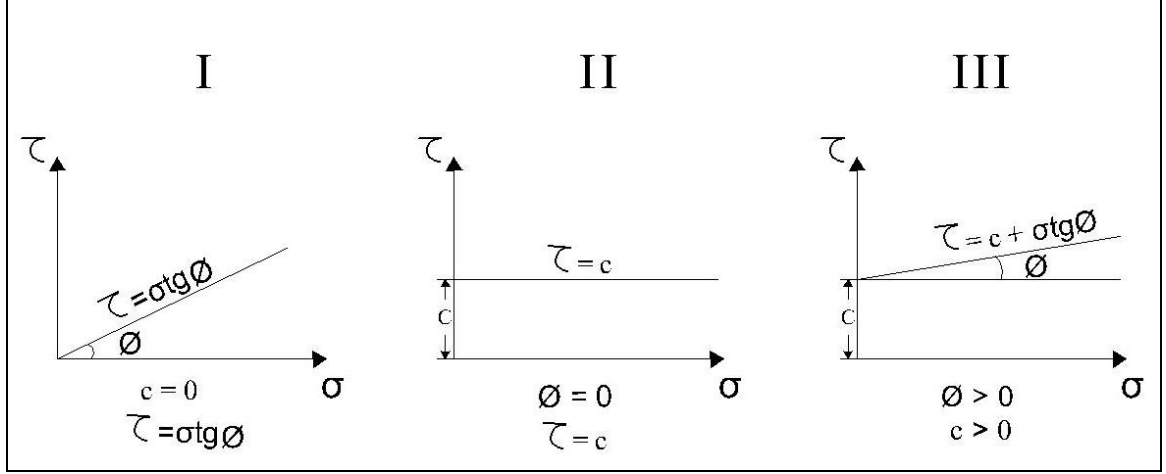
olarak bulunabilir. Burada:

ϕ : Kumun kayma direnci açısı (içsel sürtünme açısı)

β : Şev yüzünün yatayla yaptığı açıdır.

2.Grup: Kohezyonlu Zeminler: Bunlarda özellikle suya doymun oldukları zaman $\phi=0$ ve $\tau = c_u$ dir. Şekil 19'da görüldüğü gibi kohezyon, serbest basınç deneyi ile saptanabilir ve serbest basınç direncinin yarısına eşittir.

$$\tau = \frac{q_u}{2} = c_u \quad (1.8)$$



Şekil 19. Çeşitli zeminlerde kayma direnci 1) Sürtünmeli zemin, 2) Kohezyonlu zemin, 3) Sürtünmeli ve kohezyonlu zemin (Erguvanlı, 1995).

3.Grup: Tabii Zemin ve Kayalar: Bu zeminlerde c ve ϕ sıfırdan farklı olup ($\tau = c + \sigma \tan \phi$) Mohr daireleri yardımıyla saptanırlar.

Burada zorluk c ve ϕ 'nin gerçek değerlerinin bulunmasıdır. Bu da deney düzenini iyi kurmakla, tüm özelliği yansıtacak numune almakla, yeraltı sularının sızışımını ve değerini hesaba katmakla mümkündür (Erguvanlı, 1995).

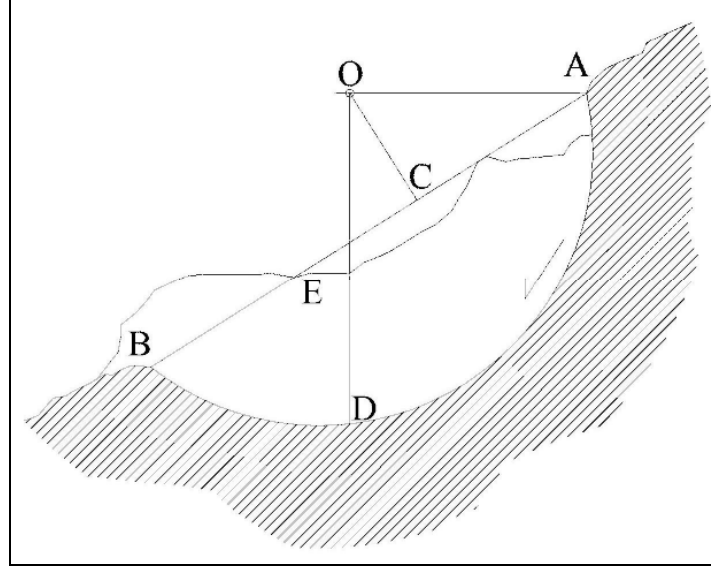
1.6.2. Kayma Dairesi Derinliğinin Yaklaşık Bulunması

Kayma dairesi arazi gözlemlerine göre yaklaşık, arazide yapılan ölçülere göre ise kesin olarak saptanabilir. Kayma dairesinin yaklaşık olarak bulunma yolları;

1.6.2.1. Kayma Dairesi Yolu

Bu yolun uygulanmasında heyelanın karakteristik noktaları; heyelanın başlangıç noktası (A) ile topuk (B) noktasının bilinmesi gerekir. Heyelanın başlangıç noktası bellidir. Topuk noktası (B) heyelanın kabarma bölgesi altındadır. Kabarma bölgesindeki enine çatlaklar B noktasında kesişirler. Ayrıca B noktası yamacın hareket etmeden önceki yüzeyi üzerinde bulunur. Bu iki özellikten yararlanarak B noktası yaklaşık olarak bulunur. Kayma dairesinin merkezi (O), (A) ile (B) noktalarını birleştiren doğrunun orta dikeyi ile (A)

noktasından çizilen yatay doğrunun kesim noktasıdır. Bu nokta merkez olmak üzere OA doğrusunu yarıçap kabul eden daire, yaklaşık kayma dairesi olarak kabul edilir.



Şekil 20. Kayma dairesi yolu (Erguvanlı, 1995).

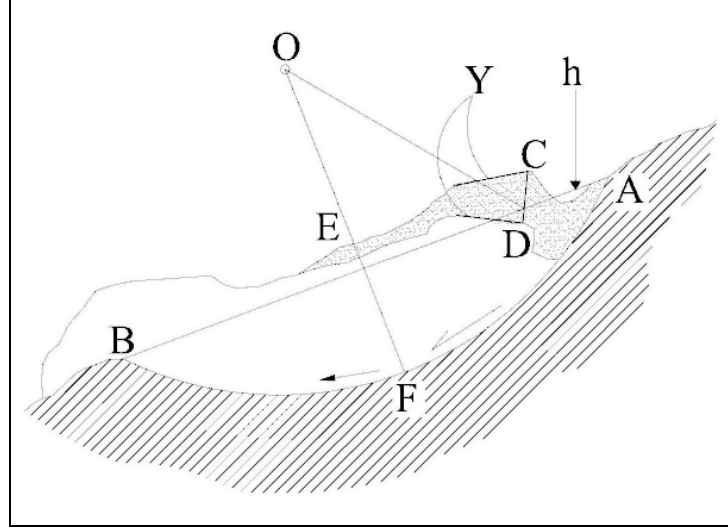
1.6.2.2. Konsantrik Daire Yolu

Bu yöntemde, kaymadan evvel bilinen noktaların, kaydıktan sonraki durumları birleştirilerek kayma yüzeyi bulunur. Örneğin yol başları ya da yol uçları birleştirilir. (A) ve (B) noktaları da kayma dairesi yolundaki gibi bulunarak birleştirilir. CD ve AB doğru parçalarının orta noktalarından çıkılan dikmelerin birleştiği nokta, yaklaşık olarak, kayma dairesinin merkezini verir. Diğer bir yoldan da yer değiştiren belli noktalar birleştirilir, ortalarından dikmeler çıkılır. Bunların kesiştikleri nokta, kayan kütle için kayma merkezini verir.

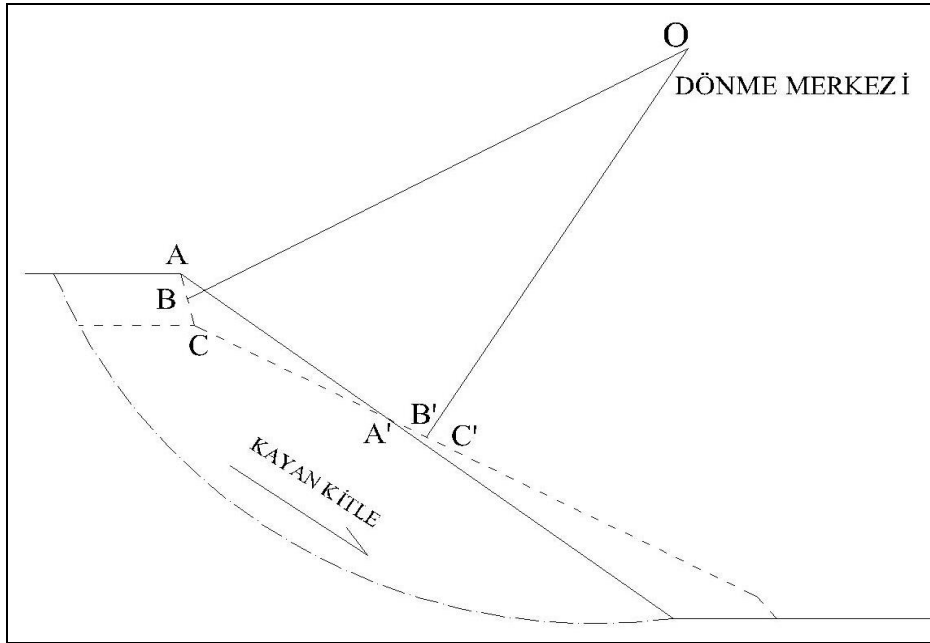
Bunlardan başka, sondajlarla sondaj deliklerine indirilen plastik borularla da kayma noktaları bulunur. Plastik borular içine sokulan ince demir çubuklar kayma yerinde takılır, aşağıya gidemez. Her sondajda aynı yolla, kayan kısımlar tayin edilir. Bunlar birleştirilerek üst kayma yüzeyi kesiti elde edilir.

Bu yolla en üstteki kaymalar ortaya çıkarılır. Altındaki kaymalar, sondajlarla ve sondaj karotlarının ayrıntılı litolojik, petrografik ve paleontolojik yönden incelenip, kotlarının saptanması ve korelasyonlarının yapılmasıyla ancak ortaya çıkabilir.

Diğer taraftan heyelan başlangıcında ve gerisinde oluşan yay şekilli gerilme çatlaklarının derinliğine gidiş şeklinden de kayma yüzeyi kestirilmeye çalışılmaktadır (Erguvanlı, 1995).



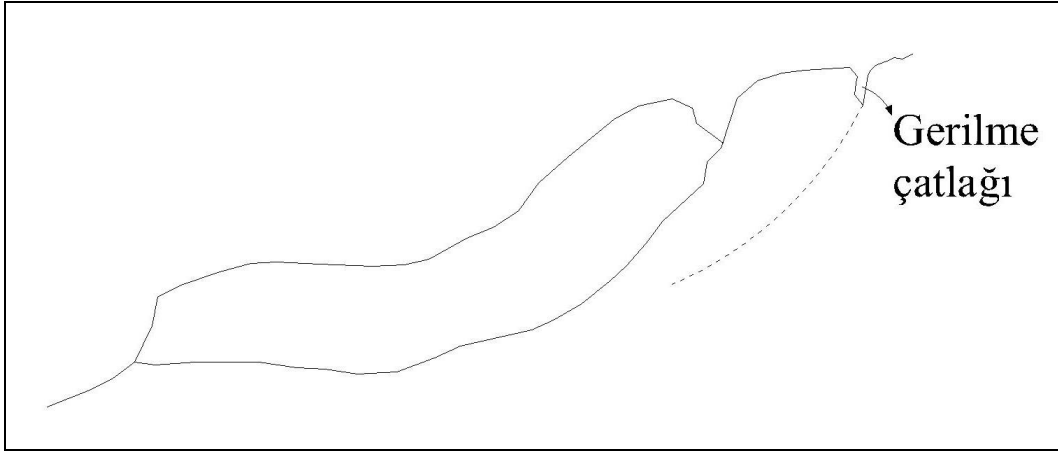
Şekil 21. Konsantrik daire yolu (Erguvanlı, 1995).



Şekil 22. Belli noktaları birleştirme yolu (Erguvanlı, 1995).

1.6.2.3. Gerilme Çatlaklarından Yararlanma

Hareket eden kütlenin tepe noktası arkasında oluşan gerilme çatlaklarının uzanımı, kayma dairesinin bulunmasında yardımcı olabilir. Bu usulle çoğu zaman gerçek kaymanın başlangıcında yararlanılarak kabaca olası kayma dairesi yaklaşık olarak saptanabilir (Tarhan, 1989).



Şekil 23. Gerilme çatlakları gidişinden kayma dairesinin yaklaşık olarak bulunması (Tarhan, 1989).

Ölçülerle kayma dairesi saptama yolları ise:

1.6.2.4. Sondajlardan Yararlanma

Hareket eden kütle üzerinden başlamak üzere birkaç metre sağlam zemini de içeren karotlu sondajlar yapılır. Sondajlara yumuşak plastik borular yerleştirilir ve bu boru içinden sondaj derinliği periyodik olarak ölçülür. Hareket olması halinde plastik borular hareket yüzeyleri boyunca bükülür. Bükülme olması halinde ilk sondaj derinlikleri ölçülemez. Ölçü aletinin takıldığı yerler işaretlenerek kayma dairesi bulunur. Eğer kayan kütle birden fazla kayma dairesi içeriyorsa, bu yolla ilk kayma dairesi saptanır. Sondajlardan alınan karotların, petrografik, litolojik, paleontolojik ve yapısal özellikleri incelenerek esas kayma dairesi daha kesin olarak saptanır. Karotların en belirgin özelliği hareketten dolayı parçalanması, kayma izleri içermesidir. Hareket eden kısım, sağlam kısım kolayca ayırt edilebilir (Tarhan, 1989).

1.6.2.5. Jeofizik Yöntemlerden Yararlanma

Bu yöntemin uygulanmasında, hareket eden kütlenin, hareket sonucunda parçalı, boşluklu bir yapı kazanması ve boşluklarda suyun kolayca sızması, depolanması, parçalanmamış sağlam kayaca oranla bazı fiziksel özelliklerinin değişmesinden yararlanarak kayma yüzeyinin saptanmasıdır. En çok kullanılan yöntemler rezistivite ve sismik yöntemlerdir. Parçalanmış, hareket etmiş kayacın elastik dalga hızını iletmesi ve rezistivitesinde sağlam kayaca oranla önemli ölçüde azalma olacaktır. Bu iki zonun sınırının saptanmasıyla kayma dairesi kolayca bulunabilir (Tarhan, 1989).

1.6.3. Kaya Şevleri

Kayaçlarda kazılarla oluşturulan eğik yüzeylere kaya şevleri adı verilir. Kayaçların özellikleri zeminlerin özelliklerinden farklı olduğu için zemin şevleri duraylılığında kullanılan analiz yöntemleri kaya şevleri duraylılığında kullanıldığında pek yararlı olmamaktadır. Kaya şevlerinin duraylılığını incelemek için yapılan ilk çalışmalar doğada uzun süre bozulmadan duran dik yamaç ve şevlerin incelenmesiyle başlamıştır.

1.6.3.1. Kaya Şevleri Duraylılığını Etkileyen Faktörler

1.6.3.1.1. Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısı

Kaya şevlerinin duraylılığına etki yapan faktörler, kayaların süreksizlik yüzeylerinin kohezyonu (c) ve sürtünme açısı (ϕ)'dir. Bu özellikler laboratuvar ve arazide yapılan deneylerle (kesme deneyleri ve üç eksenli basınç deneyleri) elde edilen verilerden yararlanarak, çizilen kırılma zarfları yardımıyla bulunur. Kayaçlara etki yapan normal (σ) ve kayma (τ) gerilmeleri arasında;

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1.9)$$

bağıntısı vardır.

Kayaçların kırılmasını doğuran max. kırma direnci (Peak Strength) ile kalıcı direnç (Residual Strength) arasında bir fark vardır. Bu fark yumuşak zeminlerde çok az, sert, sağlam, gevrek kayaçlarda ise fazladır (Erguvanlı, 1995).

1.6.3.1.2. Süreksizlik Şeklinin Etkisi

Kayaçların içinde fissür, çatlak, kırık, fay, şistiyet, foliasyon gibi değişik büyüklükte ve şekilde süreksizlikler bulunur. Bu süreksizliklerin uzanış yönelimleri, genişlikleri kesme direncine ve şevlerin duraylılığına etki yapmaktadır.

1.6.3.1.3. Çatlak Pürüzlülüğünün Etkisi

Kayaçlarda görülen çatlakların yüzeyi düz, kayma izli, genellikle pürüzlü ve ondülelidir. Pürüzlülük kayaçların kayma direncini ve duraylılığını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Patton duraysız kireçtaşı şevlerinde, tabaka düzlemlerinde yapmış olduğu gözlemlere göre tabaka yüzünün pürüzlülüğü arttıkça şev eğiminin arttığını göstermiştir (Tarhan, 1989).

1.6.3.1.4. Çatlak Dolgu Malzemesinin Etkisi

Doğada süreksizlik yüzleri bazen dolgusuz ve temiz, bazen de çeşitli maddelerle dolmuş olarak bulunmaktadır. Dolgu maddeleri ya sonradan çökelmiş ya da faylarda olduğu gibi, oluşma sonucu meydana gelmiştir. Dolgu kalınlığının pürüzlü şev yüzlerinin duraylılığına etki yaptığı, dolgu malzemesi direncinin önemli olduğu ve süreksizliklerin kesme direncinin, dolgu malzemesinin kesme direnci ile bağlantılı olduğu bilinmelidir (Erguvanlı, 1995).

1.6.3.1.5. Çatlak Suyu Basıncının Etkisi

Kayaçların içinde bulunan çatlaklar arasında değişik miktarda su bulunur. Bu su kayaların ayrışmasına, birim hacim ağırlığının artmasına, çatlak suyu basıncının

doğmasına sebep olur. Süreksizlikleri dolduran suyun basıncı, süreksizlik derinliğine, süreksizlik içindeki su yüksekliğine bağlıdır (Tarhan, 1989).

1.7. Kütle Hareketlerini ve Heyelanları Önleme

Kütle hareketleri incelenirken, önerilen yöntemler, iyileştirmeden çok önleyici ve koruyucu türdendir.

Heyelanın ne zaman olacağını söylemek mümkün değildir. Ancak bazı belirtiler, örneğin; binalarda ve zeminlerde görülen fissür ve çatlaklar, topografya değişmesi, ufak kaymalar, çökmeler, yer yer oturmalar ve kabarmalar, drenaj sistemindeki ani değişmeler, eski heyelan topografyası araştırmacılara ipuçları verebilir.

Heyelan etütlerinde yerçekiminin etkisi, yeraltı sularının aktif rolü, değişik karakterli tabakaların litolojik bileşimleri, dokusu ve jeolojik yapıları ayrıntılı bir şekilde araştırılır. Heyelandan sonra aynı yerde başka göçmelerin meydana gelmemesini sağlamak için, heyelanın analizi yapılır, önleyici ve koruyucu çareler alınır (Erguvanlı, 1995).

Kütle hareketlerini önleme, hareketi meydana getiren sebepleri ortadan kaldırmak, kaydırıcı kuvvetleri azaltmak ve harekete karşı koyan kuvvetleri arttırmakla sağlanabilir. Kayan ya da kayma olasılığı olan kütlelerin ortadan kaldırılması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle harekete neden olan kuvvetleri azaltmak ve harekete karşı koyan kuvvetleri arttırmakla yamaç ya da şevlerin duraylılığı sağlanabilmektedir. Bu şekilde duraylılığı sağlama yolları aşağıdaki gibidir.

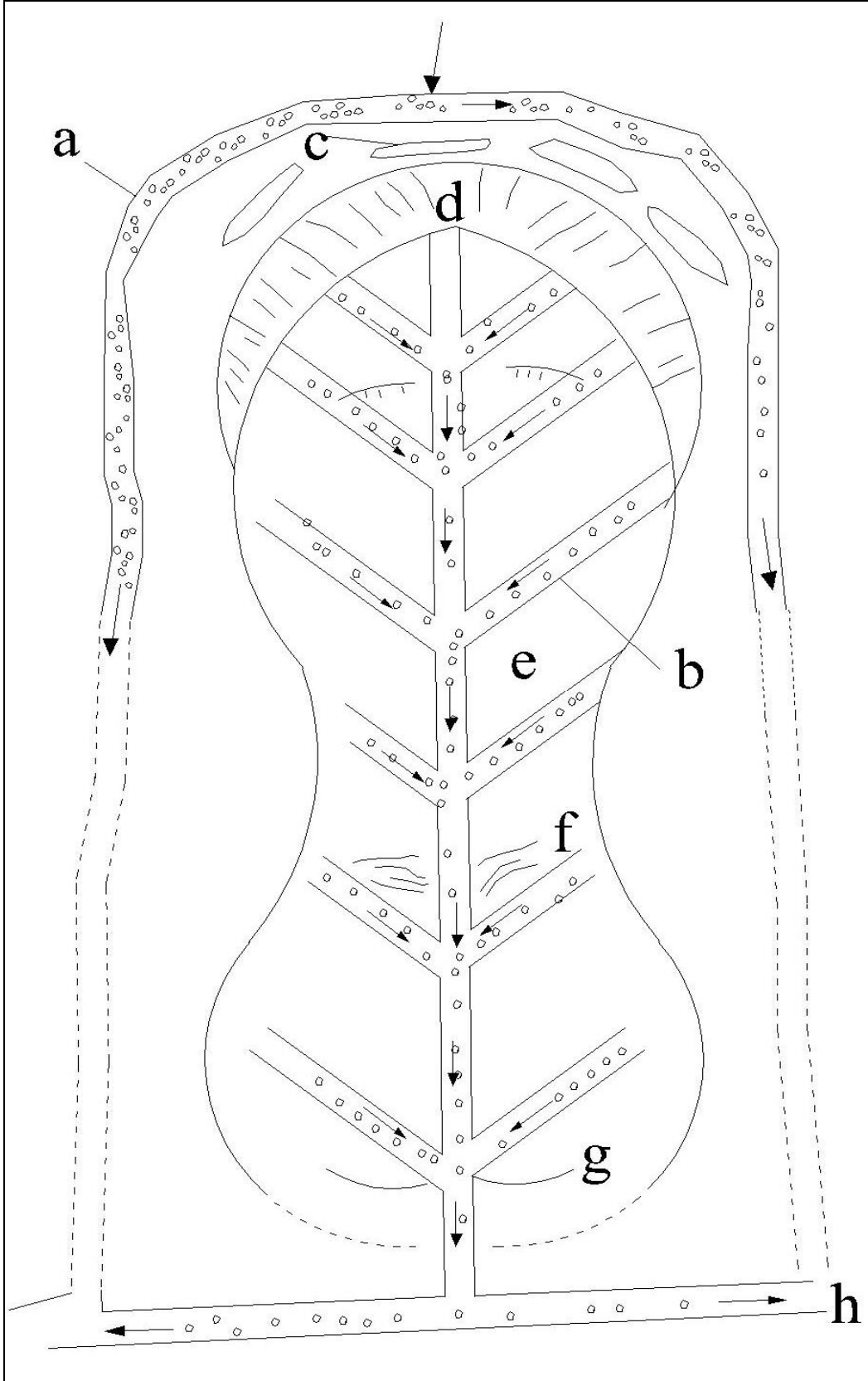
1.7.1. Yerüstü ve Yeraltı Sularının Drenajı

Kütle hareketlerinin oluşmasında rol oynayan en etkin faktörlerden biri yüzey ve yeraltı sularıdır. Kayaç ve zeminlerin içerdiği boşluklara suyun dolması, boşluk suyu basıncının, kaldırma ve itme kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Bunlar ise harekete karşı koyan kuvvetleri azaltıp, hareket ettirici kuvvetleri arttırmaktadır. Diğer taraftan suya hassas zeminler ve çatlak dolgularının atterberg (kıvam) limitleri değişmekte buna bağlı olarak içsel sürtünme açısı ve kohezyonları azalmaktadır. Bazı hallerde suyun kendisi kaydırıcı bir yüzey oluşturmaktadır. Yamaç ya da şev yüzeylerinde hareket eden yüzey suları aşınmaya neden olarak eğik yüzeylerin eğim açısını ve yüksekliklerini değiştirip

duraysızlığa neden olmaktadır. Kütle hareketi görülen sahalarda yüzey ve yeraltı sularından arındırılması gerekir.

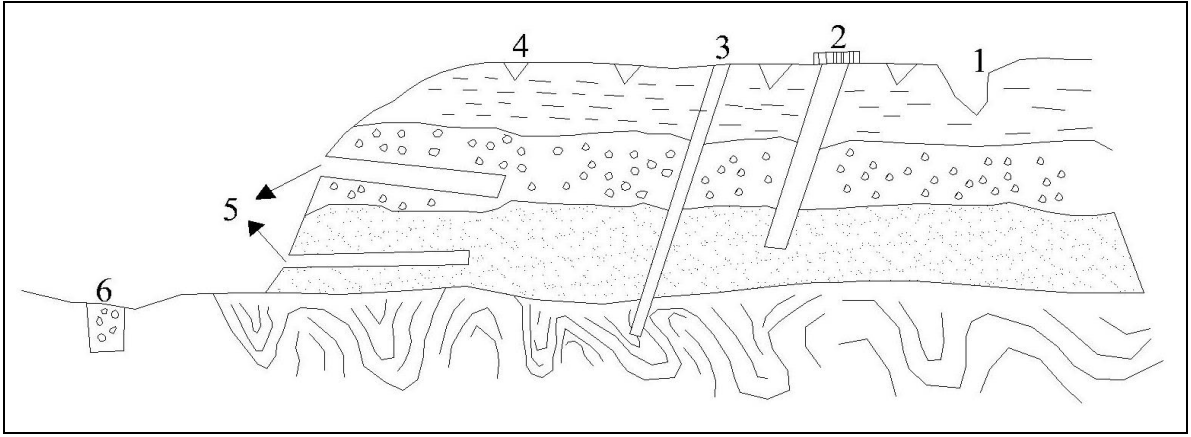
Yüzey sularının drenajı için değişik yöntemler uygulanabilir. Kaynak ve çeşme suları borularla hareket ettirilip saha dışına akıtılır. Yağış suları ise gerilme çatlakları üzerinde kafa hendekleri, hareket eden sahada ise balıksırtı ya da birbirine dik destek drenleri ile dışarı atılır (Şekil 24). Su drenlerle hareket eden saha dışına atıldıktan sonra yine bir kanalla uygun yan derelere iletilir. Drenlerde çakıllama yapılarak, geçirimsiz malzeme ile dolmasının önüne geçilir.

Kesin çözüm olmamakla birlikte, hareket sonucu oluşan çatlaklar (gerilme, enine, boyuna) doldurularak buralardan suların heyelanlı sahaya sızmaları önlenmeye çalışılır.



Şekil 24. Heyelanda yüzeysel drenajın uygulaması a) Çevirme (kafa) hendeği, b) Balıksırtı hendeği, c) Gerilme çatlağı, d) Esas ayna, e) Çökme bölgesi, f) Kabarma bölgesi, g) Akma bölgesi, h) Boşaltma kanalı (Tarhan, 1989).

Yeraltı suları duraysızlığın ana nedenlerinden biridir. Drenaj uygulanmış bir şevin duraylılığı, drenajsız yamaçtan çok daha fazladır ve daha dik şevler açılabilir. Bu nedenle kütle hareketinin meydana geldiği ya da hareket olasılığı olan yamaç ya da şevlerde düşey kuyular açarak yeraltı suyu dışarı atılarak yeraltı su seviyesi düşürülür ya da ortamdaki su tamamen boşaltılır. Bu işlemin gerçekleştirilmesi detaylı araştırma gerektirir. Drenaj kuyularının çapı 30 cm civarındadır ve göçmemesi için filtreli borular yerleştirilir, gerekli hallerde çakıllama yapılır. Kuyuların adedi, derinliği ve pompaj süresi ortamın hidrojeolojik durumuna bağlıdır. Kuyu açılmasında portatif ve sıvı yakıtle çalışan sondaj makineleri kullanılır. Yamaç ve şevlerde daha fazla su boşaltılması için drenaj galerilerinden yararlanır. Şekil 25'de görüldüğü üzere drenaj galerileri, yamaçın hidrojeolojik koşullarına bağlı olarak, yamaç içine doğru açılır.



Şekil 25. Yamaçlarda düşey ve yatay drenlerle yeraltı suyu düzeyinin alçaltılması
1) Çevirme hendeği, 2) Kuyu, 3) Düşey dren, 4) Tıkanmış yüzeysel çatlaklar, 5) Yatay dren, 6) Topuk dreni (Erguvanlı, 1995).

Drene edilen suyun yamaç dışına kolayca atılabilmesi için galeriler yamaç dışına doğru eğimli yapılır. Drenaj alanının artırılması için galeri içinde ve sonunda çeşitli istikametlerde, drenaj sondajları açılır. Galerilerin bozulmaması için galeri içleri blok ve çakıllarla doldurulur. Yamaç ya da şevden boşaltılacak su az ise bu halde galeri yerine yatay sondajlardan yararlanır. Yamaç dışına doğru hafif meyilli olarak açılan drenaj sondajları içine filtre boruları yerleştirilir. Filtre borularının et kalınlığı fazla olmalıdır (>6mm), aksi halde ince borular dönmeden dolayı deforme olabilir.

Yamaçlardaki suyu yamaçtan dışarı atmak için uygulanan drenaj sistemlerinden biride yarmalardır. Yarmaların açılması esnasında dikkatli olunması gerekir. Derin

açılmaları halinde yeni kaymalara neden olabilir. Yeraltı suyunun boşaltılması esnasında zeminin ince malzemesi yıkanabilir. Bu durumlarla karşılaşılması için yarmaların iri blok ve çakılla doldurulması önerilir. Yarma derinliği, soğuk iklim bölgelerinde don etki sınırının altına indirilmelidir. Ayrıca yüzey sularının getirdiği silt ile dolmaması için yüzeyde önlem alınması gerekir. Yarmalar genellikle heyelan başlangıcı üstünde ve topuk kısmında açılır.

1.7.2. Şev ve Yamaçların Korunması

Şev ve yamaçların aşınmasını önlemek için uygulanan yollar:

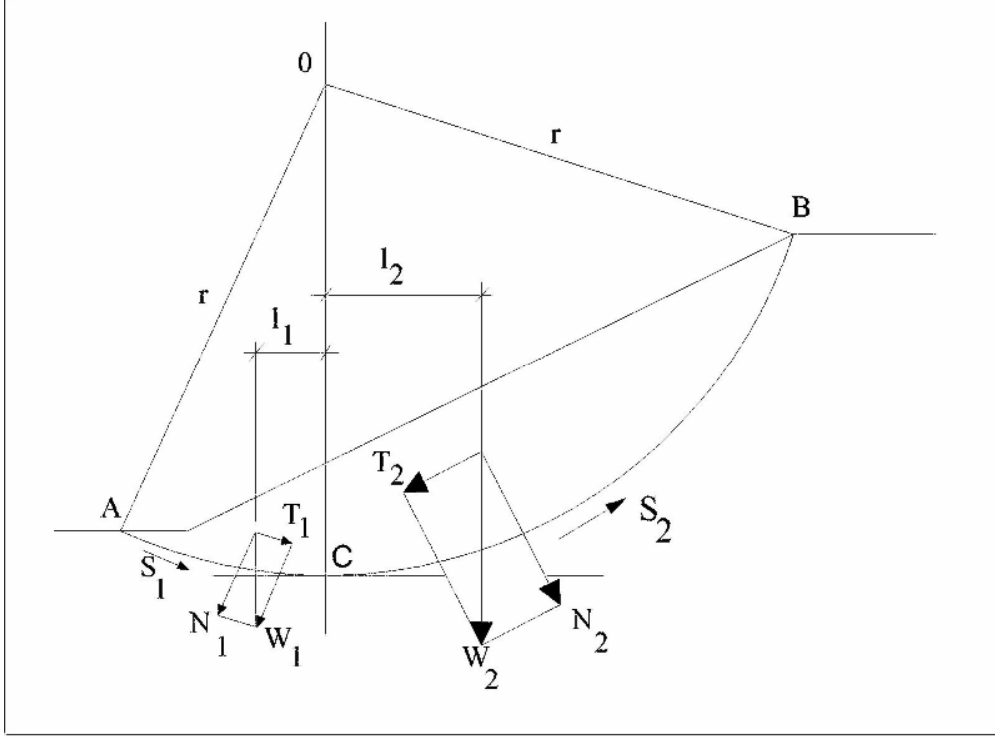
Eğik yüzeyler;

- Bitki örtüsü (çim, ağaç, vb) ile kaplanır.
- Taş ve beton bloklarla örtülür.
- Püskürtme harç (Gunnite) ve püskürtme beton (Schotcrete) ile sıvanır.
- Çelik levha ve kaya civataları (rock bolt) ile kaplanır.

Şev ve yamaçların aşınmasını önlemek için bu yöntemlerden biri veya birkaçı birlikte uygulanabilir. Bu yöntemler kütle hareketlerinin önlenmesinde de önemli rol oynar. Bitkiler yüzeysel ve yüzeye yakın kaymalarda, zemin suyunu kökleriyle emer yapraklarıyla buharlaştırır ve zeminin su içeriğini, boşluk suyu basıncını, suyun kaldırma ve itme kuvvetini azaltır. Püskürtme beton ve harcı kaya düşmelerini, kaya civataları kaya kayma ve düşmelerini önlemede önemli rol oynar.

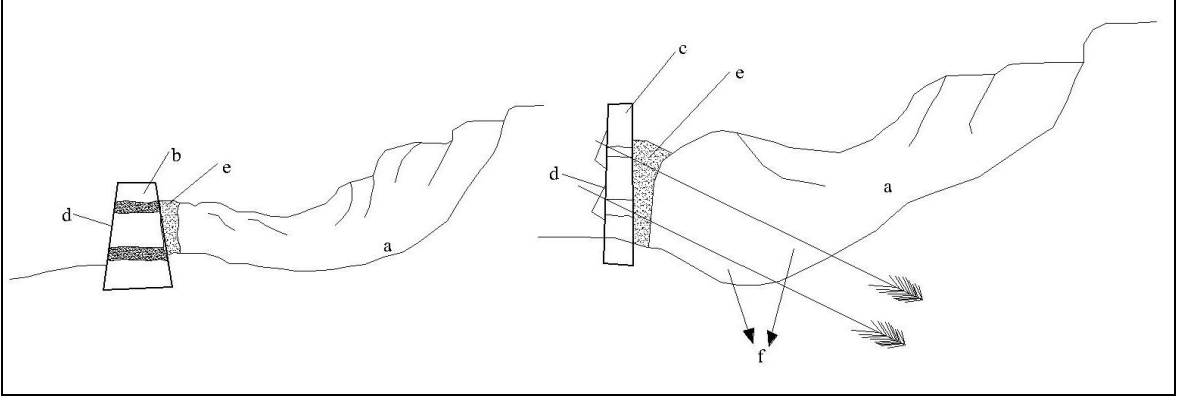
1.7.3. Topuğa Ağırlık Yapıların İnşası

Eğrisel kayma yüzeyli kütle hareketinde hareket eden kütle Şekil 26'da görüldüğü gibi bir kısmı harekete neden olan kuvveti, bir kısmı ise harekete karşı koyan kuvveti oluşturur. Şekil de OC doğrusu solunda (topuk kısmında) ki kısım harekete karşı koyan kısımdır. Bu kısma ek ağırlık konması ile karşı koyucu kuvvetler arttırılır. Bu şekilde güvenlik sayısı da artar ve harekete engel olunur.



Şekil 26. Dairesel kayma yüzeyli bir kütle hareketine etkiyen kuvvetler (Tarhan, 1989).

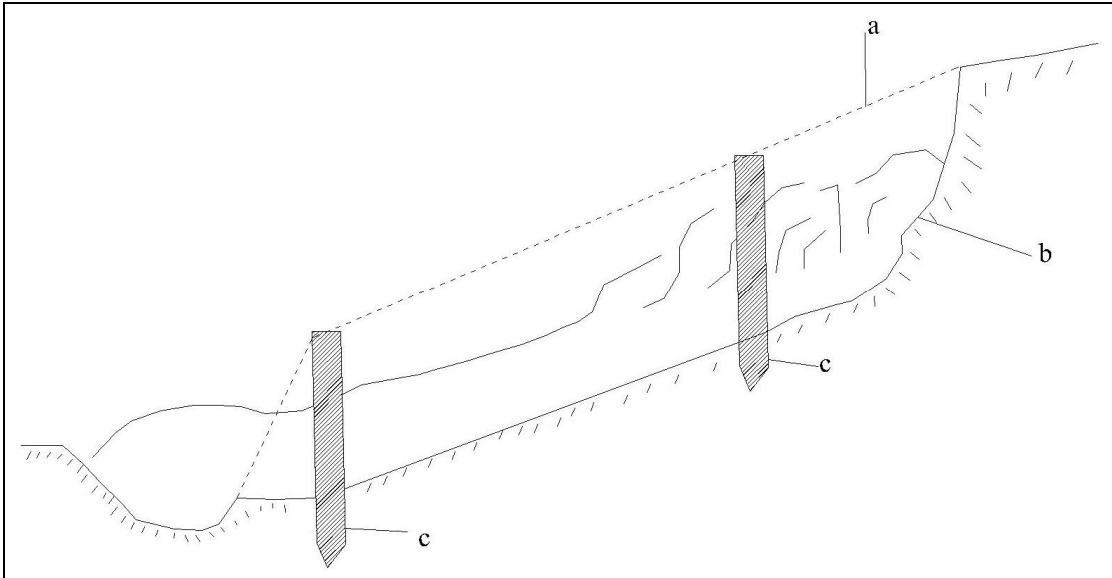
Harekete karşı koyan kuvvetlerin artırılmasının en basit şekli, hareket eden kütle için topoğuna, ahşap beton veya çelik kazıklar (palplanşlar) çakmak ya da kuru taş duvar örmektir. Bu usullerden daha iyisi beton veya betonarme duvar (istinat duvarı) inşa etmektir (Şekil 27). Bu şekilde yapılarda dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar vardır. Duvar boyutlarının saptanabilmesi için arkadaki toprak basıncının, su alması halinde suyun kaldırma kuvvetinin ve duvarın sağlam zemine oturmasına dikkat etmek gerekir. Harekete neden olan kuvvetlerin ve toprak basıncının azaltılması için, hareket eden kütle için üst kısımları (taç kısmında) kazılarak kademelendirilir. Boşluk suyu basıncı ve suyun kaldırma, itme kuvvetini yok etmek için istinat duvarında drenaj delikleri, arka tarafına drenajı sağlayacak malzeme konulmalıdır. Sağlam zeminin derin olması halinde istinat duvarı beton kazıklarla desteklenerek sağlam zeminle irtibatı sağlanır. İstinat duvarlarının alt tarafında kazılarının yapılmaması gerekir. Aksi halde kazıya bağlı olarak kendileri de kaydırıcı kuvvet durumuna gelerek yıkılmalarına neden olur.



Şekil 27. Kütleye yük koyma şekilleri a) Kayma dairesi, b) Betonarme istinat duvarı, c) Ankrajla takviyeli ince duvar, d) Drenaj boruları, e) Filtre malzemesi, f) Ankraj (Tarhan, 1989).

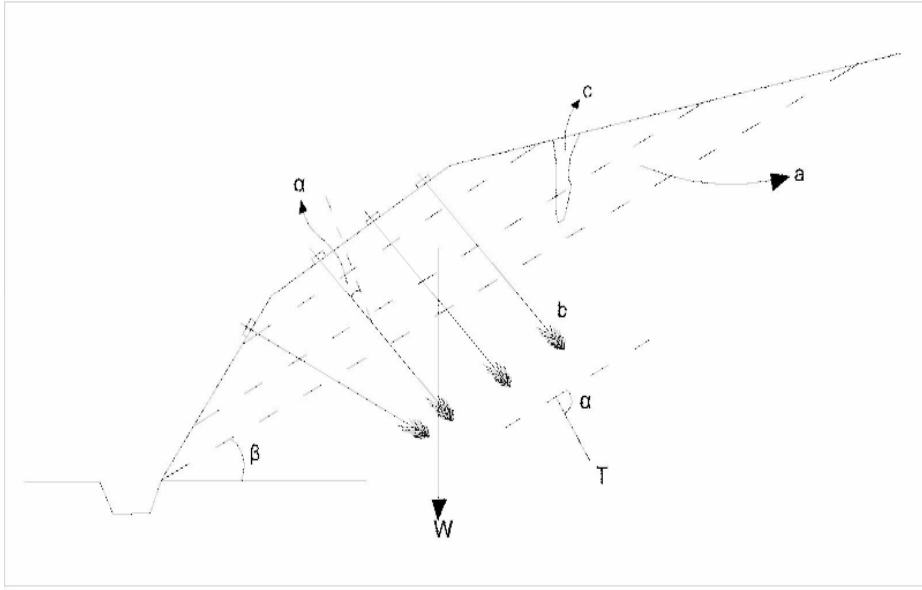
1.7.4. Kazık ve Kaya Blonları

Zeminlerde meydana gelen sığ heyelanlarda başarı ile kullanılan bir yöntemdir. Kazıklar ahşap çelik, betonarme (fore kazık) türünde olabilir ve işin amacına göre seçilir. Kazıklar sağlam zemin içine kadar indirilir (Şekil 28). Kazıkların duraylılığın sağlanması kohezyonlu ve yüksek sürtünme dirençli zeminlerde daha başarılı olmaktadır. Zemin özelliklerine ve kayma yüzeyi derinliğine bağlı olarak, kazık araları ve uzunlukları saptanır. Kazıklar zeminin sürtünme direncini artırıcı yönde rol oynar.



Şekil 28. Yüzeysel (sığ) kaymalarda kazıkların duraylılığın sağlanması a) Kaymadan önceki yamaç, b) Kayma yüzü, c) Kazıklar (beton) (Tarhan, 1989).

Kayaçlardan oluşmuş eğik yüzeylerdeki hareketlere engel olmada, tünellerde duraylılığın sağlanmasında kullanılan kaya blonlarından yararlanılmaktadır (Şekil 29). Hatta zeminlerde bile duvar yapılarıyla birlikte kullanılmaktadır (Şekil 27). Kaya blonları kayaçların çatlaklarında bulunan suların hidrostatik basıncından ve donmaları sonucu oluşan gerilmelerden etkilenmektedir. Bu nedenle çoğu zaman kaya blonları püskürtme harç, püskürtme beton ya da yüzeysel çimento enjeksiyonu ile birlikte uygulanmaktadır. Bazı hallerde eğik drenaj kuyuları da açılmaktadır.



Şekil 29. Kaya yamaçların kaya blonu ile duraylılığının sağlanması
a) Süreksizlik yüzeyi, b) Kaya blonları, c) Çatlak, W) Kayan malzeme ağırlığı, T) Kaya blonundan gelen kuvvet (Tarhan, 1989).

Kaya blonları kullanılması halinde kaya yamacının güvenlik sayısı artmaktadır. Yukarıdaki şekilde görülen kuvvetlerin süreksizlik yüzeyine göre denge denklemi yazılarak güvenlik sayısı (G_s),

$$G_s = \frac{c \times A + (W \times \cos \beta + T \times \sin \alpha - U) \tan \phi}{W \times \sin \beta - T \times \cos \alpha + V} \quad (1.10)$$

ifadesiyle bulunur. Burada; W: Kayan kayacın ağırlığı, T: Kaya blonundan gelen kuvvet, β : Süreksizlik yüzeyinin eğimi, α : Kaya blonunun süreksizlik düzlemi ile yaptığı açı, U:

Süreksizlikteki suyun kaldırma kuvveti, V: Suyun itme kuvve, c: Süreksizlik yüzeyindeki kohezyon, A: Sürtünme alanı, süreksizliklerdeki suyun drene edilmediği halinde;

$$G_s = \frac{c \times A + (W \times \cos \beta + T \times \sin \alpha) \tan \phi}{W \times \sin \beta - T \times \cos \alpha} \quad (1.11)$$

ile bulunur. Kaya blonları kayaçların duraylılığını arttırıcı yönde rol oynamaktadır (Tarhan, 1989).

1.7.5. Yamaç ve Şevlerin Düzenlenmesi

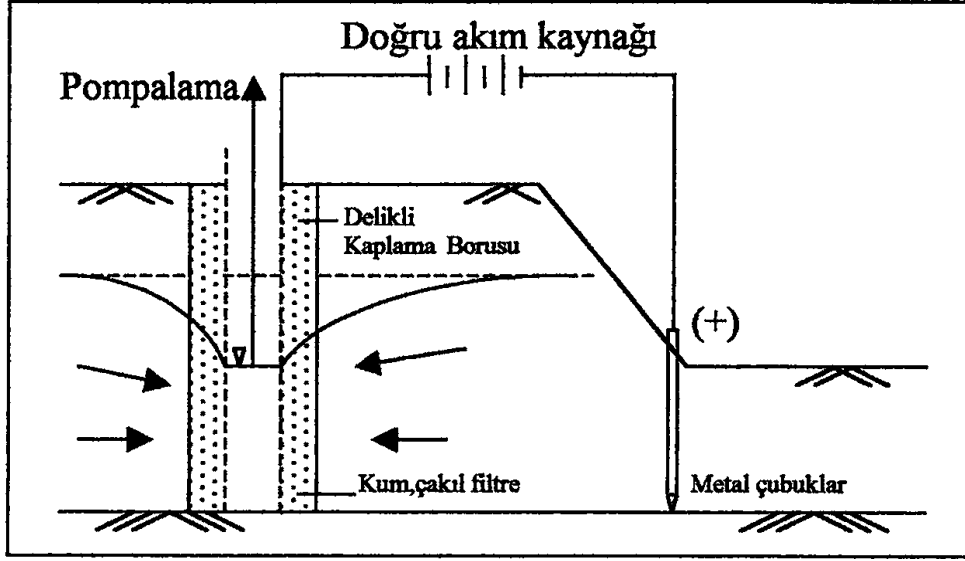
Yamaç ya da şevlerin dengesinin bozulmasında eğik yüzeyin eğim açısının dolayısıyla yüksekliğinin değişmesi ya da kaydırıcı kuvvetlerin artırılmasıdır. Yamaç ya da şev düzleminin üst kotlarına aşırı yük konması hem kaydırıcı kuvvetleri arttırmakta hem de şev açısını değiştirmektedir. Bu durumda şev eğimi azaltıldığında ya da kaydırıcı kuvvetler azaltıldığında şevlerin duraylılığı sağlanabilmektedir. Bu nedenle yamaç ya da şevlerin yüzeyleri kademelendirilir (Tarhan, 1989).

1.7.6. Zeminlerin Sertleştirilmesi

Zeminlerin sertleştirilmesinde amaç, zeminin kohezyonu ve içsel sürtünmesini arttırmaktır. Bu da zemin içindeki suyun uzaklaştırılmasıyla sağlanabilir.

1.7.6.1. Electro-Osmoz

Elektro-Osmoz yöntemi ile zemindeki su drene edilebilmekte ve dolayısıyla şevin kayma mukavemeti artırılarak stabilitesi sağlanmaktadır. Zemine yerleştirilen anot ve katoda elektrik ile sağlanan gerilimden ötürü yeraltı suyu katot'ta toplanır. Katot delikli borudan imal edildiğinden toplanan su dren edilmektedir. Eğer zemin siltli kil ise bu metod uygun olup konvensiyonel drenaj sistemlerinden daha çabuk drenaj sağlanabilmektedir (Tunç, 2001).



Şekil 30. Elektro-Osmoz yöntemi (Uzuner, 2000).

1.7.6.2. Dondurma Yöntemi

Temel, shaft (kuyu) ve tünel gibi kazıların yapıldığı ortamlarda oluşturulan kazı duvar ve tavanları kendini tutamayacak kadar zayıf olan zeminlerde duraylılığın sağlanması için uygulanan geçici bir yöntemdir. Zemin ya da kayaç dondurulduğu süre içinde yüksek kayma direnci kazandığı bilinmektedir. Kayma direncindeki artma zemin ya da kayacın içerdiği suyun donması sonucudur. Bu durumda iki unsura dikkat etmemiz gerekir. Birincisi dondurulmak istenen ortamın ısı durumunun bilinmesi gerekir. İkincisi ise zemin ya da kayaç dondurulduğunda yani içindeki su buz haline geldiğinde artan hacme bağlı olarak oluşacak gerilmelerin duraylılık üzerindeki etkisinin önceden bilinmesi gerekir. Genel olarak yeraltı su akımının olmadığı ($2 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'den az) her ortamda dondurma yolu uygulanabilir (Tarhan, 1989).

1.7.6.3. Pişirme Yöntemi

Pişirme yöntemi, zemin ve kayaçlar içerisinde bulunan suyun sıcaklıkla buharlaştırılarak ya da zemini pişirerek geçici ve kalıcı olarak uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde amaç zeminin içsel sürtünme açısını (ϕ) ve kohezyonu (c) arttırmaktır. Killer $400\text{--}600^\circ\text{C}$ ye kadar ısıtıldıklarında rutubet almayacak kadar değişikliğe, 900°C ye kadar

ısıtıldıklarında ise tuğlaya dönüşmektedir. Pişirme sonucunda killerin plastisitesi kaybolmakta ve basınç dirençleri artmaktadır (Tarhan, 1989).

1.7.6.4. Çimentolama Yöntemi

Bu yöntem saf kohezyonlu ve organik zeminler dışındaki zeminler için uygundur. Çimentolama yöntemi ile kumlu, çakıllı bloklu zeminler ile parçalı, çatlaklı kayalar çimento şerbeti ile birbirine yapıştırılmaktadır. Bu sayede sürtünme direnci ve kohezyon artırılmış olur. Zemin ya da kayacın boşluk boyutları dikkate alınarak uygun çimento miktarı serbest basınç ve diğer dayanıklılık deneyleri ile belirlenir. Enjeksiyonda kullanılacak olan çimento-su karışımı belirli bir basınçla boşluklara doldurulur. Bu yöntemle kalıcı bir zemin sertleştirilmesi elde edilir. Enjeksiyon işlemi, sağlam zemine kadar açılmış olan sondaj kuyularında gerçekleştirilir. Böylece kayan zemin ile sağlam zemin çimento şerbeti ile birbirine bağlanarak kayma engellenmiş olur (Tarhan, 1989; Erguvanlı, 1995).

1.7.6.5. Kimyasal Maddelerle Enjeksiyon

Bu yöntem çimento enjeksiyonunun etkili olmadığı durumlarda kullanılır. Kimyasal maddeler tek başlarına kullanılabildiği gibi çimento ile karıştırılarak da kullanılabilir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. İstanbul İli Avcılar İlçesi İETT Triaaj Alanı Önü Heyelanının İncelenmesi

2.1.1. Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler

İnceleme alanı, İstanbul ili, Avcılar ilçesi, İstanbul Üniversitesi, Avcılar Kampüsü, İETT Durağı, Triaaj Alanı Önü üzerinde yer almaktadır. İstanbul ili, Avcılar ilçesi imar sınırları içerisinde bulunan yerin haritası Şekil 31’de görülmektedir.



Şekil 31. İnceleme alanının bulunduğu yerin haritası



Şekil 32. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Bölgede morfoloji itibariyle yayvan tepeler mevcuttur. İklim itibariyle Marmara Bölgesi'nin tipik iklim şartları altında olmasına rağmen Karadeniz ve Balkanlardan gelen soğuk ve yağışlı iklimin etkisi altında kalması söz konusudur. Genel olarak yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Coğrafi konum ve fiziki coğrafya özellikleri nedeniyle aynı enlemde yer alan birçok farklı iklim özelliklerine sahiptir.

İstanbul subtropikal yüksek basınç kuşağı ile, soğuk-ılık bölgenin alçak basınçlarının ya da karasal alize rüzgarları ile batı rüzgarlarının sınırındadır. Yer kürenin hareketleri ile yaz kış mevsiminde farklı iklim özelliklerine sahiptir.

2.1.2. Genel Jeoloji

Alüvyonlar (Qa):

Geç Kuvaterner'de İstanbul ve Kocaeli yarımadalarında mevcut olan çeşitli akarsu yataklarında depolanmış gevşek blok-çakıl-kum-kil'den oluşmuş çökellerdir. Genelde çapraz tabakalı ve devresel çökeller şeklinde olup kalınlıkları ve kendilerini oluşturan malzeme çevrelerine ve akarsuların fiziksel ve geometrik özelliklerine bağlıdır. Halosen yaşlıdır.

Bakırköy Formasyonu (Baf):

Halkalı Grubu'nun en genç birimidir. Genelde yeşil-kahve renkli kil-marn-beyaz mactralı kireçtaşı ardışımından oluşmuştur. Kireçtaşları içinde yoğun şekilde mactra, ünio ve melanopsis kavkuları izlenir. Bakırköy kuzeyindeki Çırpıcı çayırındaki taş ocaklarında en gelişmiş şekli ile 40–50 m bir kesit sunar. Kireçtaşları genel olarak 30–50 cm, maksimum ise 110 cm kalınlıklıdır. Petrografik açıdan, kireçtaşları biyosparit bileşimlidir ve yaygın boşlukludur.

Bunlar içinde küçük büyük ölçekli karst gelişmiştir. Bakırköy Formasyonu alttaki Güngören Formasyonu ile uyumludur. Üstte ise, Kuvaterner birimleriyle uyumsuz olarak örtülür. Formasyon içerisindeki acı-tatlı göl faunasına göre (mactra türleri, melanopsis, ünio vs) Sarmasiyen yaşlıdır.

Güngören Formasyonu (Gnf):

Genellikle gri-yeşilimsi gri renkli ve paralel laminalı killerden oluşmuştur. İçinde yer olarak çok iyi boylanmış gri renkli ince kum mercekleri ve yeşil renkli marn ara tabakalarının bulunduğu killer 120 m kalınlığa kadar erişebilmektedir. Alt kesimi yukarıda kısaca tanımlandığı gibi laminalı killerden oluşan formasyonun Bakırköy Formasyonu ile sınırında 10–15 metrelik bir geçiş zonu izlenir. Bu zonun alt kesiminde istif içinde önce lamina düzeyinde sonrada giderek sayı ve kalınlıkça artan kireçtaşı ara tabakaları ortaya çıkar ve böylelikle tedricen üstteki Bakırköy Formasyonu'na geçilir. Bu birimde alt ve üstteki Çukurçeşme ve Bakırköy Formasyonları gibi Sarmasiyen (üst miyosen) yaşındadır.

Çukurçeşme Formasyonu (Çf):

Genelde blok-çakıl-kum'dan oluşmuştur. Bu litolojiler birbirleri ile aşınmalı yüzeylerle ilişkili mercekler şeklinde ve büyük ölçekli düzlemsel ya da tekne tipi çapraz tabakalıdır. Bazı merceklerin en üst kesimlerinde ince kil tabakaları bulunmaktadır. Karasal örgülü akarsu ortamında çökeltilmiş bu kesimde maksimum tane boyu 35 cm dir. Bu örgülü akarsu fasiyesinin kalınlığı ortalama 35–40 m civarındadır. Fakat yerel olarak büyük farklılıklar gözlenmiştir. Formasyon tüm yaşlı birimler üzerinde açılı uyumsuz olarak bulunur. Genel geometrisi örtü şeklindedir. Maksimum kalınlığı Silivri kuzeyinde 75–80m'dir. Formasyon içinde literatürde "Küçükçekmece Faunası" olarak bilinen omurgalı faunası bulunmaktadır. Bu fauna formasyonun Sarmasiyen'de (üst miyosen) depolandığını ortaya koymuştur.

2.1.3. İnceleme Alanı Mühendislik Jeolojisi

Etüd alanında üst miosen yaşlı birimlerinden oluşmuş Güngören formasyonu (Gnf) gözlenmektedir.

Güngören Formasyonu (Gnf) gri-yeşilimsi gri renkli ve paralel laminalı killerden oluşan bir istif sunar. İçinde yer olarak çok iyi boylanmış gri renkli ince kum mercekleri ve yeşil renkli marn ara tabakalarının bulunduğu killer, Güngören çevresinde 120 m kalınlığa erişirken, Büyükkçekmece kuzeyinde ancak birkaç metrelik laminalı kil şeklinde bulunmaktadır.

Bu durum formasyonun genel geometrisinin mercek şeklinde olduğunu göstermektedir. Formasyon gri-yeşilimsi gri renkli, paralel laminalı killere başlamaktadır. İçerisinde yer yer ince boylanmış gri renkli, ince kireçtaşı çakıllı mercekler ve yeşil renkli marn ara tabakaları bulunmaktadır. Güngören Formasyonu (Gnf)' nun laminalı killerden oluşan alt sınırı, Bakırköy kireçtaşlarına geçişte, 3-4 metrelik kalınlıkta marn, kireçtaşı ve kilden oluşan bir geçiş zonu ile temsil edilmektedir. Bu zon alt kesiminde istif içinde önce lamina düzeyinde, sonrada giderek sayı ve kalınlıkça artan kireçtaşı ara tabakaları ortaya çıkar ve böylelikle tedricen üstteki Bakırköy Formasyonu'na geçer.

Tablo 3. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Öztaş, 1998).

YAŞ	FORMASYON ADI	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KUVATERNER	DOLGU	2 - 40		
	ALÜVYON	10 - 15		
	ESKİ ALÜVYON	6 - 8		Taraça
	BOĞAZIÇI-HALIÇ ÇÖKELLERİ	40 - 60		Kum, kil, kavkılı kum ve silt
NEOJEN	BELGRAT FORMASYONU	10 - 25		Kum + kil + çakıl
	BAKIRKÖY FORMASYONU	15 - 20		Kil arakatlı kireçtaşı
	GÜNGÖREN FORMASYONU	10 - 80		Silt arakatlı mavi kil
	ÇUKURÇEŞME FORMASYONU	20 - 30		Çakıllı kum ve silt
KARBONİFER	TRAKYA FORMASYONU	600 - 1700		Kumtaşı (grovak), silttaşı, kiltası, ardalanması, mercekli kireçtaşı ve konglomera
	BALTALİMANI FORMASYONU	40		Litit silisli şeyl+radyolarit
DEVONİYEN	BÜYÜKADA FORMASYONU	180		Kireçtaşı, karbonatlı şeyl
	KARTAL FORMASYONU	325 - 400		Kumtaşı (grovak), silttaşı, kiltası, şeyl
SİLURİYEN	İSTİNYE FORMASYONU	100		Kireçtaşı, karbonatlı şeyl
	DOLAYOBA FORMASYONU	200		Subarkoz, kireçtaşı, şeyl
	GÖZDAĞ FORMASYONU	50 - 100		Kumtaşı, şeyl, çamurtaşı
ORDOVİSİYEN	AYDOS FORMASYONU	100 - 200		Kuarsit
	KURTKÖY FORMASYONU	1000		Arkoz, şeyl, Çamurtaşı ve konglomera



Şekil 33. Heyelan esnasında yıkılan perde duvarlar



Şekil 34. Heyelandan bir görüntü



Şekil 35. Heyelan sonrasında yıkılan istinat duvarları



Şekil 36. Heyelan sonrasında tahrip olmuş bitki örtüsü

2.2. İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar

İnceleme alanı için arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Söz konusu taşınmazın zemin şartlarının incelenmesi, ekonomik bir proje için verilerin elde edilmesi, deprem anında zemine gelecek dinamik yüklere karşı zeminin ve yapının davranışları

incelenmiştir. Zemin–temel–yapı etkileşiminin belirlenmesinde esas teşkil eden, yerinde kayma dalga hızı (V_s) ve boyuna dalga hızı (V_p) hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak zemin hakim titreşim periyodu (T_0), dinamik elastisite modülü (E_d), dinamik kayma modülü (G), poisson oranı (ν), zemin taşıma gücü (q), yoğunluk (γ) ve güvenli taşıma gücü (q_s) değerlerinin hesaplanarak zeminin sınıflandırılması belirlenmiştir. İnceleme alanı ve civarı gözlemsel olarak incelenmiş, parselin jeolojik yapısının ve yeraltı suyu durumunun ortaya çıkarılması amacıyla bir adet 30,00 m, iki adet 35,00 m derinliğinde olmak üzere toplam üç adet sondaj kuyusu açılmış, numune alınmıştır ve sismik ölçüm çalışması yapılmıştır.

- Laboratuvar çalışmalarında; kesme kutusu, Atterberg Limitleri ve elek analizi deneyleri yapılmıştır.
- Büro çalışmalarında ise; yer dinamiğine ilişkin parametreler, deprensellik, taşıma gücü, güvenli taşıma gücü, zemin ve yapı özelliklerine bağlı mühendislik parametreleri ortaya çıkarılmıştır.

2.2.1. Arazi Çalışmaları

Etüd alanı ve civarı gözlemsel olarak incelenmiş ve 30,00 m ve 35,00 m derinliklere sahip toplamda üç adet sondaj kuyusu açılmış ve üç adet sismik ölçüm yapılmıştır. Arazi üzerinde ofset aralığı 1,00 m, jeofon aralıkları 2,00 m ve 1,50 m olarak sismik serim yapılmıştır. Açılan kuyudan numune alınmış, alınan numune laboratuvar ortamında analizlere tabi tutularak fiziksel özellikleri incelenmiştir.

2.2.1.1. Sondaj Kuyuları

Zemin etütlerinde, zemini tanımak için uygulanan metotlardan biriside sondajlardır. Sondaj çalışmaları darbeli sondaj ve rotary sondaj yöntemleri uygulanarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, basınçlı su ile sondaj metodu uygulanmıştır.

2.2.1.2. Yeraltı ve Yerüstü Suları

2.2.1.2.1. Yerüstü Su Durumu

Etüd alanında devamlı veya fasıllı yüzey sularının varlığı söz konusu değildir. Dolayısıyla yatak derinliği, genişliği, akış hızı ve buna bağlı olarak aşındırma ile taşkın durumu değerlendirilmemiştir.

Mevsimsel yağışlar sonucu oluşan kar ve yağmur suları gibi yüzeysel sular iklim şartlarına ve topografyaya bağlı olarak buharlaşma ve yüzeysel akışa geçmek suretiyle uzaklaşırken bir kısmı da zeminin geçirgenliğine bağlı olarak zemin içerisine süzülmemektedir. Zemin içerisindeki su, boşluk suyu basıncı artacağından ve içsel sürtünme açısı da düşeceği için dolaylı jeoteknik açıdan istenmez. Dolayısıyla yapı temellerinin drenaj yolu ile yüzey sularından korunması gerekir.

2.2.1.2.2. Yeraltı Su Durumu

Sondaj çalışmasında SK-1 nolu kuyu borulanmıştır. 04.08.2008 tarihlerinde yeraltı suyu seviyeleri ölçülmüş ve 12,00 metrede yeraltı suyu ile karşılaşmıştır. Yine 08.08.2008 ve 13.08.2008 tarihlerinde su seviyeleri tekrar ölçülmüş ve 12,00 metrede olduğu görülmüştür. Yeryüzüne düşen yağışın bir kısmı yerçekimi, kapiler ve moleküller gerilmeler etkisiyle zemin içine süzülür. Süzülen su önce zemin nemini artırır ve yüzey altı akışını meydana getirir, geri kalanı da derinlere sızarak yeraltı suyuna karışır. Bu durum yeraltı suyunun en önemli kaynağı olması bakımından büyük önem taşır. Gevşek zeminlerde sızma hareketine karşı koyan direnç daha küçük olduğu için sızma kapasitesi daha yüksektir. Gerek yeraltında bulunan ve gerekse yüzeyden zemin içerisine süzülen suların zemine ve temel betonları ile beton perdelerini etkilememesi için inşaat çevresinde drenaj önlemlerinin ve yalıtım tedbirlerinin alınması gereklidir.

2.2.1.3. Yerinde (In-Situ) Deneyler

2.2.1.3.1. Standart Penetrasyon Deneyi

İnceleme alanında standart penetrasyon deneyi yapılmıştır. Sahadaki zemin birimlerinin kıvam durumunu belirlemek amacıyla, standart penetrasyon deneyi yapılmış ve zeminden örselenmiş numuneler alınmıştır.

Tablo 4. 1 Nolu sondaj kuyusu SPT verileri

Sondaj No	Derinlik (m)	N30	Mühendislik Özelliği
SK1	3,00-3,45	10	Gevşek-katı kıvamlı
SK1	4,50-4,95	7	Gevşek-orta katı kıvamlı
SK1	6,00-6,45	10	Gevşek-katı kıvamlı
SK1	10,50-10,95	18	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK1	12,00-12,05	23	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK1	15,00-15,45	32	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK1	16,50-16,95	36	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK1	18,00-18,45	40	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK1	19,50-19,95	32	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK1	22,50-22,95	36	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK1	24,00-24,45	40	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK1	25,50-25,95	36	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK1	27,00-27,45	31	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK1	28,50-28,95	34	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK1	31,50-31,95	35	Çok sıkı-sert kıvamlı

Tablo 5. 2 Nolu sondaj kuyusu SPT verileri

Sondaj No	Derinlik (m)	N30	Mühendislik Özelliği
SK2	6,00-6,45	18	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK2	7,50-7,55	R	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK2	9,00-9,45	22	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK2	10,50-10,95	16	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK2	12,50-12,95	17	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK2	14,00-14,30	R	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK2	16,50-16,95	38	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK2	18,50-18,95	36	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK2	19,50-19,95	33	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK2	21,00-21,45	30	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK2	22,50-22,95	42	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK2	24,00-24,80	R	Çok sıkı-sert kıvamlı

Tablo 6. 3 Nolu sondaj kuyusu SPT verileri

Sondaj No	Derinlik (m)	N30	Mühendislik Özelliği
SK3	4,50-4,95	17	Gevşek-orta katı kıvamlı
SK3	6,00-6,45	20	Gevşek-katı kıvamlı
SK3	7,50-7,95	23	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK3	9,00-9,45	26	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK3	10,50-10,95	27	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK3	12,00-12,45	33	Orta sıklıkta-çok katı kıvamlı
SK3	13,50-13,95	39	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK3	15,00-15,45	R	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK3	16,50-16,95	47	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK3	19,50-19,95	41	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK3	21,00-21,45	38	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK3	22,00-22,45	42	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK3	25,50-25,95	49	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK3	27,00-27,45	R	Çok sıkı-sert kıvamlı
SK3	28,50-28,95	R	Çok sıkı-sert kıvamlı

2.2.1.4. Jeofizik Çalışmalar

2.2.1.4.1. Sismik Kırılma

Etüd alanında, sismik metot uygulanmak suretiyle jeofizik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 12 kanallı U.S.A yapımı GEOMETRICS ES-2401 Smart Seis cihazı kullanılmıştır. Sistem otomatik örnekleme ve gösterim yapabilen 12 adet sinyal artırıcı, bir triggerli balyoz, 12 yatay jeofon, 12 adet düşey jeofon, kablolar ve özel bağlantı üniteleri ve çok kanallı olarak otomatik sinyal grafiği verebilen bir optik üniteden oluşmaktadır. Koharent sinyaller sorunsuz olarak alınmakta ve enerji sorunu için önlem alındığında büyük sismik projeleri yapabilecek performansta görülmektedir.



Şekil 37. Etüd alanındaki 1 nolu sismik ölçüm çalışması

Sismik serimde jeofon aralıkları 2,00 m alınmıştır. Ortalama hızlar $V_{p1} = 287$ m/sn, $V_{p2} = 826$ m/sn ve $V_{s1} = 140$ m/sn, $V_{s2} = 293$ m/sn olarak ölçülmüştür.



Şekil 38. Etüd alanındaki 2 nolu sismik ölçüm çalışması

Sismik serimde jeofon aralıkları 1,50 m alınmıştır. Ortalama hızlar $V_{p1} = 199$ m/sn, $V_{p2} = 685$ m/sn ve $V_{s1} = 83$ m/sn, $V_{s2} = 222$ m/sn olarak ölçülmüştür.



Şekil 39. Etüd alanındaki 3 nolu sismik ölçüm çalışması

Sismik serimde jeofon aralıkları 2,00 m alınmıştır. Ortalama hızlar $V_{p1} = 318$ m/sn, $V_{p2} = 717$ m/sn ve $V_{s1} = 153$ m/sn, $V_{s2} = 294$ m/sn olarak ölçülmüştür.

Tablo 7. 1 Nolu dinamik parametre tablosu

Zeminler İçin Jeofizik-Geoteknik Parametrelerin Belirlenmesi (2 Tabaka)				
Ölçülen Jeofizik Parametreler ve Yapı Bilgileri	Simge	Birim	1.Tabaka	2.Tabaka
P (Sıkışma) Dalga Hızları	V_p	m/sn	287	826
S (Kayma) Dalga Hızları	V_s	m/sn	140	293
Tabaka Kalınlıkları	h	m	3,00	-
Sıkışma Dalga Hızı /Kayma Dalga Hızı	V_p / V_s	-	2,05	2,82
Türetilen Geoteknik Parametreler				
	Simge	Birim	1.Tabaka	2.Tabaka
YOĞUNLUK (Gardner ve diğ., 1974)	γ	kN/m ³	12,7	16,6
Maksimum Kayma Modülü (Kramer, 1996)	G_{max}	kN/m ²	24970	142450
Elastisite Modülü (Bowles, 1988)	E	kN/m ²	67110	406860
Poisson Oranı (Bowles, 1988)	ν	-	0,34	0,43
Bulk Modülü (Bowles, 1988)	K	kN/m ²	71640	942200
Hakim Titreşim Periyodu (Kanai, 1983)	T_o	sn	0,73	
Serbest Basınç Dayanımı (Uchiyama ve diğ. 1984)	q_u	kN/m ²	110	585
Zemin Büyütmesi (Midorikawa (1987)	Z_B	Göreceli	2,4	

Tablo 8. Zemin spektrum karakteristik periyotları

$T_A = 0,20$ sn	$T_B = 0,90$ sn
-----------------	-----------------

Tablo 9. 2 Nolu dinamik parametre tablosu

Zeminler İçin Jeofizik-Geoteknik Parametrelerin Belirlenmesi (2 Tabaka)				
Ölçülen Jeofizik Parametreler ve Yapı Bilgileri	Simge	Birim	1.Tabaka	2.Tabaka
P (Sıkışma) Dalga Hızları	V_p	m/sn	199	685
S (Kayma) Dalga Hızları	V_s	m/sn	83	222
Tabaka Kalınlıkları	h	m	1,20	-
Sıkışma Dalga Hızı /Kayma Dalga Hızı	V_p/ V_s	-	2,4	3,09
Türetilen Geoteknik Parametreler				
Simge	Birim	1.Tabaka	2.Tabaka	
Yoğunluk (Gardner ve diğ., 1974)	γ	kN/m^3	11,6	15,8
Maksimum Kayma Modülü (Kramer, 1996)	G_{max}	kN/m^2	8010	78040
Elastisite Modülü (Bowles, 1988)	E	kN/m^2	22340	224970
Poisson Oranı (Bowles, 1988)	ν	-	0,39	0,44
Bulk Modülü (Bowles, 1988)	K	kN/m^2	35360	638960
Hakim Titreşim Periyodu (Kanai, 1983)	T_o	sn	0,94	
Serbest Basınç Dayanımı (Uchiyama ve diğ. 1984)	q_u	kN/m^2	34	313
Zemin Büyütmesi (Midorikawa (1987)	Z_B	Göreceli	2,8	

Tablo 10. 3 Nolu dinamik parametre tablosu

Zeminler İçin Jeofizik-Geoteknik Parametrelerin Belirlenmesi (2 Tabaka)				
Ölçülen Jeofizik Parametreler ve Yapı Bilgileri	Simge	Birim	1.Tabaka	2.Tabaka
P (Sıkışma) Dalga Hızları	V_p	m/sn	318	717
S (Kayma) Dalga Hızları	V_s	m/sn	153	294
Tabaka Kalınlıkları	h	m	5,20	-
Sıkışma Dalga Hızı /Kayma Dalga Hızı	V_p/ V_s	-	2,08	2,44
Türetilen Geoteknik Parametreler				
Simge	Birim	1.Tabaka	2.Tabaka	
Yoğunluk (Gardner ve diğ., 1974)	γ	kN/m^3	13,1	16
Maksimum Kayma Modülü (Kramer, 1996)	G_{max}	kN/m^2	30600	138440
Elastisite Modülü (Bowles, 1988)	E	kN/m^2	82580	387350
Poisson Oranı (Bowles, 1988)	ν	-	0,35	0,40
Bulk Modülü (Bowles, 1988)	K	kN/m^2	91380	638820
Hakim Titreşim Periyodu (Kanai, 1983)	T_o	sn	0,75	
Serbest Basınç Dayanımı (Uchiyama ve diğ. 1984)	q_u	kN/m^2	135	589
Zemin Büyütmesi (Midorikawa (1987)	Z_B	Göreceli	2,5	

2.2.1.4.2. Jeofizik Parametreler

- Sismik Hızlar : (V_p , V_s)

Sismik hızlar bir zeminin yoğunluğuna ve elastik parametrelere bağlıdır.

Elastik boyuna dalga hızı; tanelerin karışım biçimi, kayaçtaki yapısal bağların karakterleri ve bileşenleri, yoğunluk, kayaçtaki boşluklar, çatlakları ve boşlukları dolduran malzemeler, gözenek suyunun kıvam ve sıkışabilirliği, basınç ve sıcaklıktan etkilenir.

Elastik enine dalga hızı; birimi oluşturan tanelerin boyutu, biçimi ya da sıklığından etkilenen yapısal esnekliktir.

- Sismik Hız Oranı : (V_p/V_s)

Zeminin sıklığını ve zemin sıvılaşmasını belli eden parametredir.

- Kayma Modülü:

$$G = \frac{G}{G} = \frac{dV_s^2}{g} = \frac{dV_s^2}{100} \quad (2.1)$$

Makaslama gerilmelerine karşı formasyonun direncini gösterir. Sıvıların makaslamaya karşı direnci olmadığından bu modül sıvılar için sıfırdır. Kayma modülü ne kadar yüksekse formasyonun makaslama gerilmelerine karşı direnci de o kadar fazla demektir. Bu değer büyükse S-dalgası geldiğinde, yer büyük esneme direnci gösterir. Ters durumda, yapıda X-biçimli çatlamlar ve kolon-kiriş noktalarında göçmeler görülür.

- Elastisite (Young) Modülü :

$$E = \frac{dV_s^2}{100} \left(\frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \right) \quad (2.2)$$

Esneklik esneme direncini, düşey basınç altında yerin yamulmasını tanımlar. Dolayısıyla elastisite (young) modülü, yere düşey bir yük bindirme ya da yerden düşey bir yük kaldırma durumunu da yerin yamulmasını tanımlar. Ayrıca bir doğrultuda streslerin strainlere oranı olarak tanımlanır ve inşaat mühendislerince hesaplamalarda dikkate alınır.

- Poisson Oranı :

$$\nu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2V_p^2 - 2V_s^2} \quad (2.3)$$

Poisson değeri yer türünü belirlemek üzere kullanılır. Poisson oranı 0 ile 0,5 arasında değişir. 0,5 ortamın sıvı, 0 ortamın katı olduğunu gösterir. 0,25 değerine Poisson katılığı denir. Ortamın sulu, kırıklı, çatlaklı olmasına göre bu değer değişir.

- Güvenli Taşıma Gücü:

$$q_s = \frac{q}{\frac{V_p}{V_s}} = \frac{dV_s^2}{100V_p} = \frac{G}{100V_p} \quad (2.4)$$

İnşaat mühendislerinin bina kat sayısı ve projelendirme sahasında dikkate aldıkları en önemli parametrelerden birisi olup, yerin göçmeden ve ayrı ayrı oturma yapmadan taşıyabileceği maksimum düşey yük (yapı yükü) dür.

- Etkin Yer İvme Katsayısı :

Deprem esnasında oluşan maksimum yer ivmesi, kütlesi m olan bina üzerinde;

$$F = m \times A \quad (2.5)$$

formülü ile verilen dinamik bir kuvvet (deprem yükü) oluşturur. Burada maksimum yer ivmesi (A) ile yerçekimi arasında;

$$A_0 = A/g \quad (2.6)$$

formülü ile verilen sabit bir bağıntı vardır. Buradaki A_0 sabiti “Etkin Yer İvme Katsayısı” olarak tanımlanır.

2.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde kesme kutusu, Atterberg Limitleri ve elek analizi deneyleri yapılmıştır.

2.2.2.1. Kesme Kutusu Deneyi

Açılan sondaj kuyularında, farklı derinliklerden alınan numuneler üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçlarında bulunan parametreler aşağıda verilmiştir. Bu parametreler ile B=1000 cm lik temel genişliği için taşıma gücü değerleri;

$$q = c \times N_c + Df \times \gamma \times N_q + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \quad (2.7)$$

formülü ile hesaplanmıştır.

SK-1 nolu kuyudan 7,50–8,00 m alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. 1 nolu sondaj kuyusu (7,50–8,00 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	48,2
ø (derece)	7,1

ø = 7,1 için;

$N_c = 7,16$, $N_q = 1,88$, $N_\gamma = 0,19$ dur. B= 10 m , $\gamma = 17,3$ kN/m³

$q = 604$ kN/m²

$q_s = 120$ kN/m² (Güvenli taşıma gücü) dir.

SK-1 nolu kuyudan 9,00–9,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. 1 nolu sondaj kuyusu (9,00–9,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	43
ϕ (derece)	5,4

$\phi=5,4$ için;

$N_c=6,49$, $N_q=1,57$, $N_\gamma=0,09$ dur. $B=10$ m, $\gamma=17$ kN/m³

$q=526$ kN/m²

SK-1 nolu kuyudan 12,00–12,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 13. 1 nolu sondaj kuyusu (12,00–12,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	42,9
ϕ (derece)	7,5

$\phi=7,5$ için;

$N_c=7,16$, $N_q=1,88$, $N_\gamma=0,19$ dur. $B=10$ m, $\gamma=17,2$ kN/m³

$q=711$ kN/m²

SK-1 nolu kuyudan 18,00–18,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. 1 nolu sondaj kuyusu (18,00–18,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	37
ϕ (derece)	7,1

$\phi = 7,1$ için;

$N_c = 7,16$, $N_q = 1,88$, $N_\gamma = 0,19$ dur. $B = 10$ m, $\gamma = 15,1$ kN/m³

$q = 788$ kN/m²

SK-1 nolu kuyudan 21,00–21,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15. 1 nolu sondaj kuyusu (21,00–21,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	54,6
ϕ (derece)	8,2

$\phi = 8,2$ için;

$N_c = 7,53$, $N_q = 2,06$, $N_\gamma = 0,27$ dur. $B = 10$ m, $\gamma = 18,6$ kN/m³

$q = 1240$ kN/m²

SK-1 nolu kuyudan 30,00–30,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. 1 nolu sondaj kuyusu (30,00–30,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	45,1
ϕ (derece)	6,1

$\phi = 6,1$ için;

$N_c = 6,81$, $N_q = 1,72$, $N_\gamma = 0,14$ dur. $B = 10$ m, $\gamma = 18,4$ kN/m³

$q = 1268$ kN/m²

SK-2 nolu kuyudan 11,00–11,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17. 2 nolu sondaj kuyusu (11,00–11,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	45,6
ø (derece)	6,1

ø= 6,1 için;

$N_c= 6,81$, $N_q= 1,72$, $N_\gamma= 0,14$ dur. $B= 10$ m, $\gamma=16,8$ kN/m³

$q= 638$ kN/m²

SK-2 nolu kuyudan 12,00–12,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. 2 nolu sondaj kuyusu (12,00–12,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	41,6
ø (derece)	7,8

ø= 7,8 için;

$N_c= 7,16$, $N_q= 1,88$, $N_\gamma= 0,19$ dur. $B= 10$ m, $\gamma=18,1$ kN/m³

$q= 722$ kN/m²

SK-2 nolu kuyudan 13,50–14,00 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. 2 nolu sondaj kuyusu (13,50–14,00 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	30,4
ø (derece)	7,5

$\phi = 7,5$ için;

$N_c = 7,16$, $N_q = 1,88$, $N_\gamma = 0,19$ dur. $B = 10$ m, $\gamma = 16,6$ kN/m³

$q = 653$ kN/m²

SK-3 nolu kuyudan 3,00-3,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. 3 nolu sondaj kuyusu (3,00–3,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	33,8
ϕ (derece)	6,4

$\phi = 6,4$ için;

$N_c = 6,81$, $N_q = 1,72$, $N_\gamma = 0,14$ dur. $B = 10$ m, $\gamma = 16,5$ kN/m³

$q = 326$ kN/m²

SK-3 nolu kuyudan 4,50–5,00 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. 3 nolu sondaj kuyusu (4,50–5,00 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	33,7
ϕ (derece)	8,5

$\phi = 8,5$ için;

$N_c = 7,53$, $N_q = 2,06$, $N_\gamma = 0,27$ dur. $B = 10$ m, $\gamma = 16,1$ kN/m³

$q = 423$ kN/m²

SK-3 nolu kuyudan 24,00–24,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. 3 nolu sondaj kuyusu (24,0–24,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	83,4
ϕ (derece)	7,5

$\phi = 7,5$ için;

$N_c = 7,16$, $N_q = 1,88$, $N_\gamma = 0,19$ dur. $B = 10$ m, $\gamma = 17,7$ kN/m³

$q = 1411$ kN/m²

SK-3 nolu kuyudan 27.00–27.50 metreden alınan numune üzerinde yapılan kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23. 1 nolu sondaj kuyusu (27,00–27,50 m) kesme kutusu deney sonuçları

Parametreler	Değer
c (kN/m ²)	40,1
ϕ (derece)	7,8

$\phi = 7,8$ için;

$N_c = 7,16$, $N_q = 1,88$, $N_\gamma = 0,19$ dur. $B = 10$ m, $\gamma = 18,2$ kN/m³

$q = 1320$ kN/m²

2.2.2.2. Atterberg Limitleri Deneyi

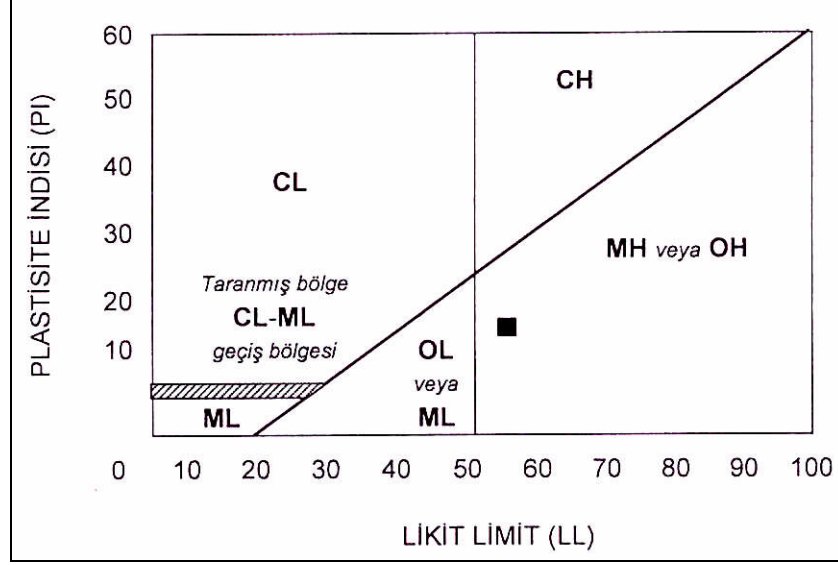
Açılan sondaj kuyularında, farklı derinliklerden alınan numuneler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri deneyi sonuçlarında bulunan parametreler aşağıda verilmiştir.

SK-1 nolu kuyudan 7,50-8,00 metreden alınan numune üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi sonucu;

Likit limit (LL) = 53,7

Plastik limit (PL) = 36,9

Plastisite indisi (PI) = 16,8 olarak bulunmuştur.



Şekil 40. SK-1 nolu kuyudan (7,50–8,00 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi

Laboratuar sonuçları Casagrande plastisite grafiğinde değerlendirildiğinde, zeminin OH zemin grubunda olduğu görülmektedir.

OH olarak sembolendirilen ortadan yüksek plastisiteli organik killer sıkıştırılmış halde iken geçirimsiz permeabilite özelliği sunmaktadırlar. Sıkıştırılmış ve suya doymun halde iken kayma mukavemetleri zayıf, kompressibiliteleri yüksektir.

Tablo 24. OH zemin grubu ve özellikleri

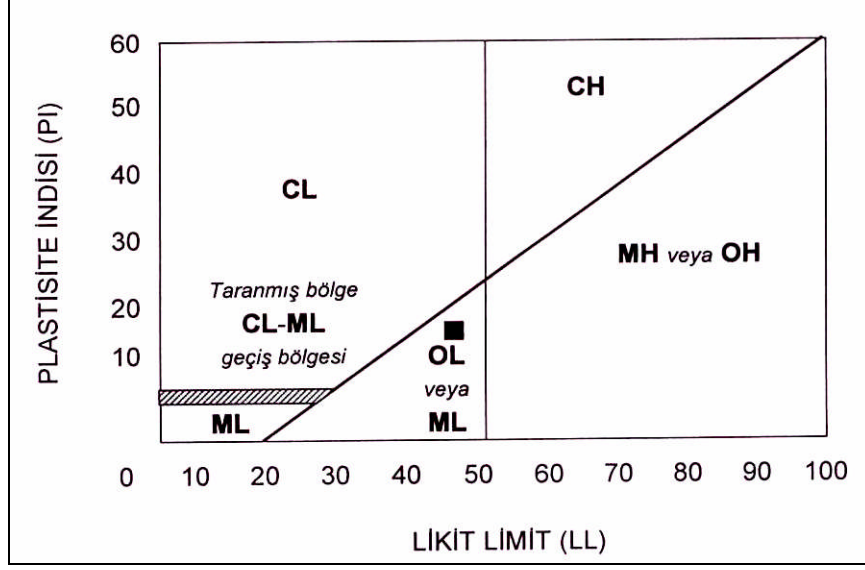
ZEMİN GRUBUNUN ÖZELLİĞİ	Grup Sembolü	Sıkıştırılmış halde iken permeabilite	Sıkıştırılmış ve Suya Doymun Halde İken Kayma Mukavemeti	Sıkıştırılmış ve Suya Doymun Halde İken Kompressibilite
Ortadan yüksek plastisiteli organik killer	OH	Geçirimsiz	Zayıf	Yüksek

SK-1 nolu kuyudan 12,00–12,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi sonucu;

Likit limit (LL) = 48,5

Plastik limit (PL) = 35,2

Plastisite indisi (PI) = 13,3 olarak bulunmuştur.



Şekil 41. SK-1 nolu kuyudan (12,0–12,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi

Laboratuvar sonuçları Casagrande plastisite grafiğinde değerlendirildiğinde, zeminin ML zemin grubunda olduğu görülmektedir.

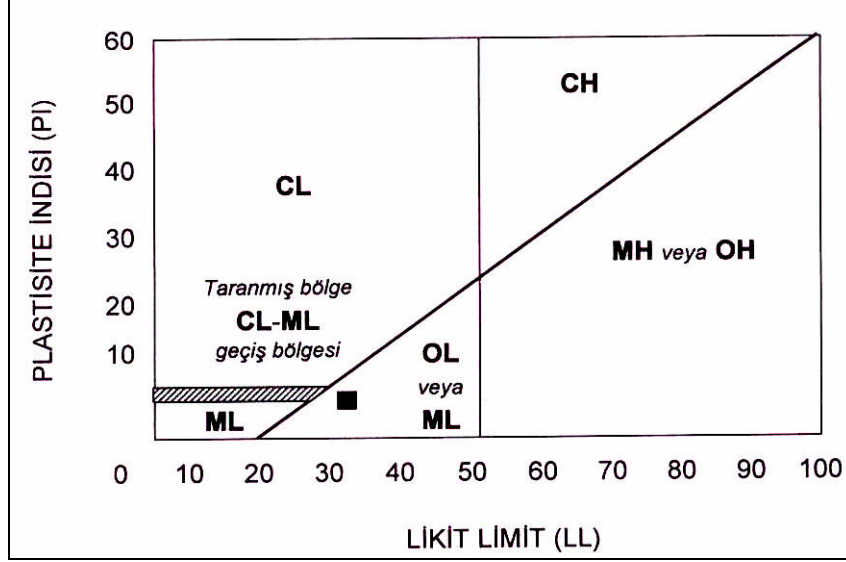
ML olarak İnorganik silt ve çok ince kumlar, kaya tozu çok az plastik siltli veya killi ince kumlar sembollendirilen sıkıştırılmış halde iken yarı geçirimli-geçirimsiz permeabilite özelliği sunmaktadırlar. Sıkıştırılmış ve suya doymun halde iken kayma mukavemetleri zayıf, kompressibiliteleri ortadır.

Tablo 25. ML zemin grubu ve özellikleri

ZEMİN GRUBUNUN ÖZELLİĞİ	Grup Sembolü	Sıkıştırılmış halde iken permeabilite	Sıkıştırılmış ve Suyu Doymun Halde İken Kayma Mukavemeti	Sıkıştırılmış ve Suyu Doymun Halde İken Kompressibilite
İnorganik silt ve çok ince kumlar,kaya tozu çok az plastik siltli veya killi ince kumlar	ML	Yarı Geçirimli-Geçirimsiz	Zayıf	Orta

SK-1 nolu kuyudan 21,00-21,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi sonucu;

Likit limit (LL) = 34,1
 Plastik limit (PL) = 27,5
 Plastisite indisi (PI) = 6,6 olarak bulunmuştur.



Şekil 42. SK-1 nolu kuyudan (21,00–21,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi

Laboratuar sonuçları Casagrande plastisite grafiğinde değerlendirildiğinde, zeminin ML zemin grubunda olduğu görülmektedir.

ML olarak İnorganik silt ve çok ince kumlar, kaya tozu çok az plastik siltli veya killi ince kumlar sembollendirilen sıkıştırılmış halde iken yarı geçirimli-geçirimsiz permeabilite özelliği sunmaktadırlar. Sıkıştırılmış ve suya doymun halde iken kayma mukavemetleri zayıf, kompressibiliteleri ortadır.

Tablo 26. ML zemin grubu ve özellikleri

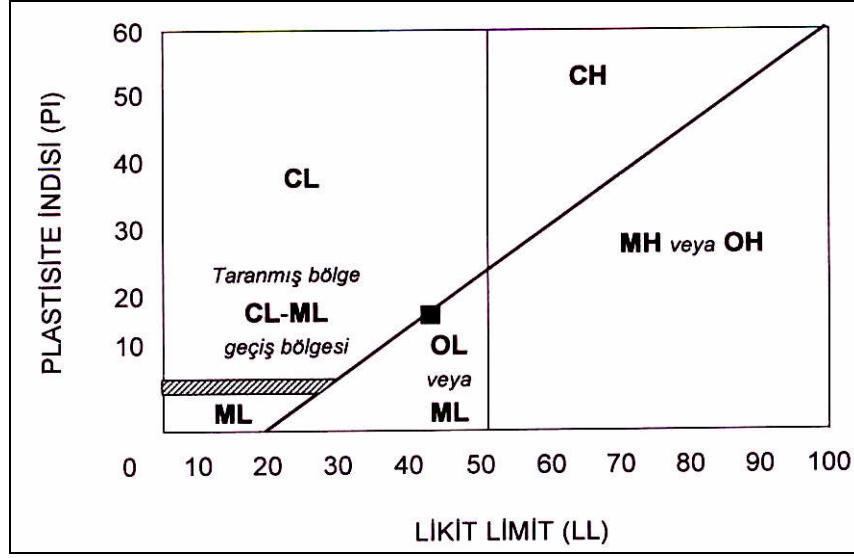
ZEMİN GRUBUNUN ÖZELLİĞİ	Grup Sembolü	Sıkıştırılmış halde iken permeabilite	Sıkıştırılmış ve Suyu Doymun Halde İken Kayma Mukavemeti	Sıkıştırılmış ve Suyu Doymun Halde İken Kompressibilite
İnorganik silt ve çok ince kumlar, kaya tozu çok az plastik siltli veya killi ince kumlar	ML	Yarı Geçirimli-Geçirimsiz	Zayıf	Orta

SK-2 nolu kuyudan 11,00-11,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi sonucu;

Likit limit (LL) = 42,6

Plastik limit (PL) = 21,7

Plastisite indisi (PI) = 20,9 olarak bulunmuştur.



Şekil 43. SK-2 nolu kuyudan (11,00–11,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi

Laboratuar sonuçları Casagrande plastisite grafiğinde değerlendirildiğinde, zeminin CL zemin grubunda olduğu görülmektedir.

CL olarak sembollendirilen (düşük ile orta plastisitede) kumlu, çakıllı, siltli, yağsız killer sıkıştırılmış halde iken geçirimsiz permeabilite özelliği sunmaktadırlar. Sıkıştırılmış ve suya doygun halde iken kayma mukavemetleri orta, kompresibiliteleri iyi ile ortadır.

Tablo 27. CL zemin grubu ve özellikleri

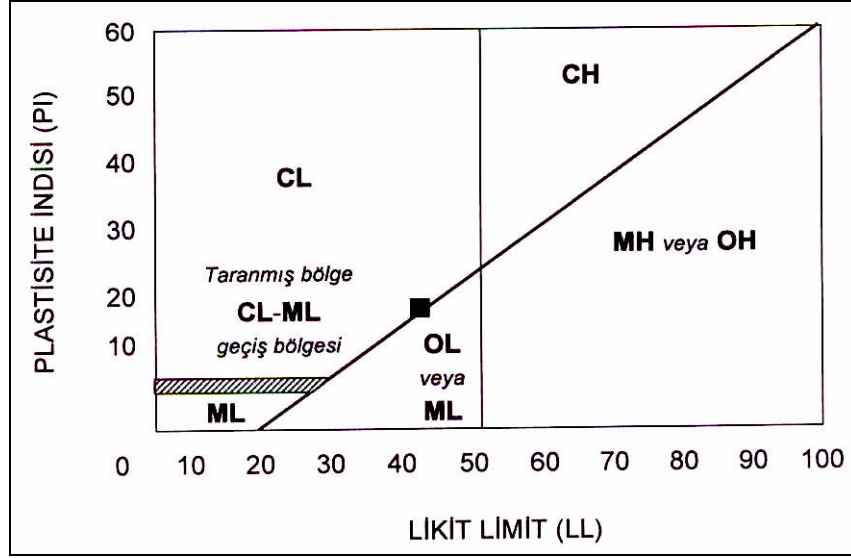
ZEMİN GRUBUNUN ÖZELLİĞİ	Grup Sembolü	Sıkıştırılmış halde iken permeabilite	Sıkıştırılmış ve Suya Doymun Halde İken Kayma Mukavemeti	Sıkıştırılmış ve Suya Doymun Halde İken Kompresibilite
İnorganik killer (düşük ile orta plastisitede) çakıllı, kumlu, siltli, yağsız killer	CL	Geçirimsiz	orta	İyi ile orta

SK-2 nolu kuyudan 12,00–12,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi sonucu;

Likit limit (LL) = 42,6

Plastik limit (PL) = 21,7

Plastisite indisi (PI) = 20,9 olarak bulunmuştur.



Şekil 44. SK-2 nolu kuyudan (12,00–12,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi

Laboratuvar sonuçları Casagrande plastisite grafiğinde değerlendirildiğinde, zeminin CL zemin grubunda olduğu görülmektedir.

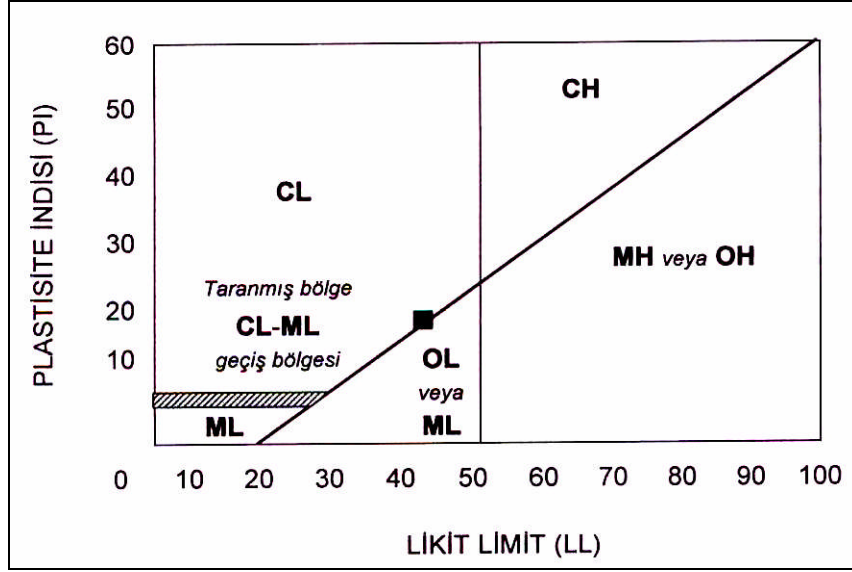
CL olarak sembollendirilen (düşük ile orta plastisitede) kumlu, çakıllı, siltli, yağsız killer sıkıştırılmış halde iken geçirimsiz permeabilite özelliği sunmaktadırlar. Sıkıştırılmış ve suya doymun halde iken kayma mukavemetleri orta, kompressibiliteleri iyi ile ortadır.

Tablo 28. CL zemin grubu ve özellikleri

ZEMİN GRUBUNUN ÖZELLİĞİ	Grup Sembolü	Sıkıştırılmış halde iken permeabilite	Sıkıştırılmış ve Suyu Doymun Halde İken Kayma Mukavemeti	Sıkıştırılmış ve Suyu Doymun Halde İken Kompressibilite
İnorganik killer (düşük ile orta plastisitede) çakıllı, kumlu, siltli, yağsız killer	CL	Geçirimsiz	orta	İyi ile orta

SK-2 nolu kuyudan 24,00-24,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi sonucu;

Likit limit	(LL)	= 44,0
Plastik limit	(PL)	= 29,9
Plastisite indisi	(PI)	= 14,1 olarak bulunmuştur.



Şekil 45. SK-2 nolu kuyudan (24,00–24,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi

Laboratuar sonuçları Casagrande plastisite grafiğinde değerlendirildiğinde, zeminin CL zemin grubunda olduğu görülmektedir.

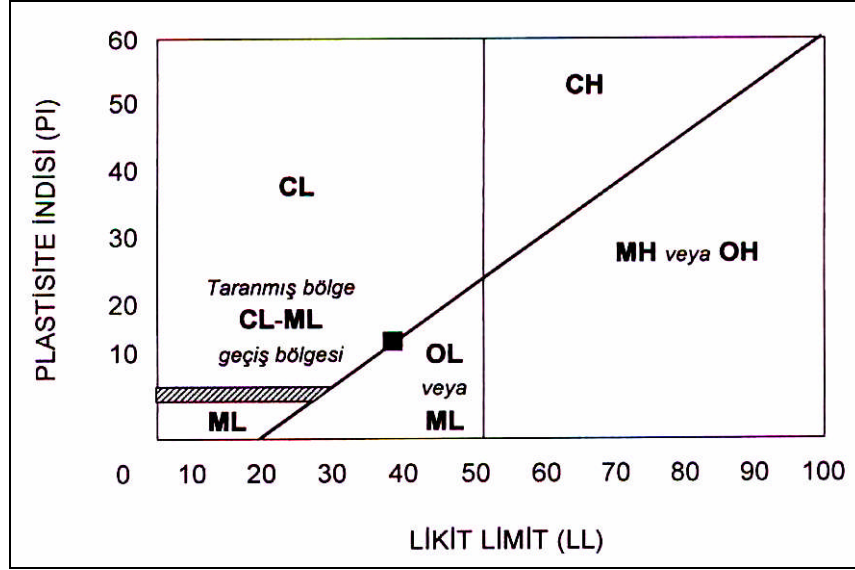
CL olarak sembollendirilen (düşük ile orta plastisitede) kumlu, çakıllı, siltli, yağsız killer sıkıştırılmış halde iken geçirimsiz permeabilite özelliği sunmaktadırlar. Sıkıştırılmış ve suya doygun halde iken kayma mukavemetleri orta, kompresibiliteleri iyi ile ortadır.

Tablo 29. CL zemin grubu ve özellikleri

ZEMİN GRUBUNUN ÖZELLİĞİ	Grup Sembolü	Sıkıştırılmış halde iken permeabilite	Sıkıştırılmış ve Suya Doygun Halde İken Kayma Mukavemeti	Sıkıştırılmış ve Suya Doygun Halde İken Kompresibilite
İnorganik killer (düşük ile orta plastisitede) çakıllı, kumlu, siltli, yağsız killer	CL	Geçirimsiz	orta	İyi ile orta

SK-3 nolu kuyudan 4,50–5,00 metreden alınan numune üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi sonucu;

Likit limit	(LL)	= 40,9
Plastik limit	(PL)	= 25,7
Plastisite indisi	(PI)	= 15,2 olarak bulunmuştur.



Şekil 46. SK-3 nolu kuyudan (4,50-5,00 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi

Laboratuvar sonuçları Casagrande plastisite grafiğinde değerlendirildiğinde, zeminin CL zemin grubunda olduğu görülmektedir.

CL olarak sembollendirilen (düşük ile orta plastisitede) kumlu, çakıllı, siltli, yağsız killer sıkıştırılmış halde iken geçirimsiz permeabilite özelliği sunmaktadırlar. Sıkıştırılmış ve suya doygun halde iken kayma mukavemetleri orta, kompressibiliteleri iyi ile ortadır.

Tablo 30. CL zemin grubu ve özellikleri

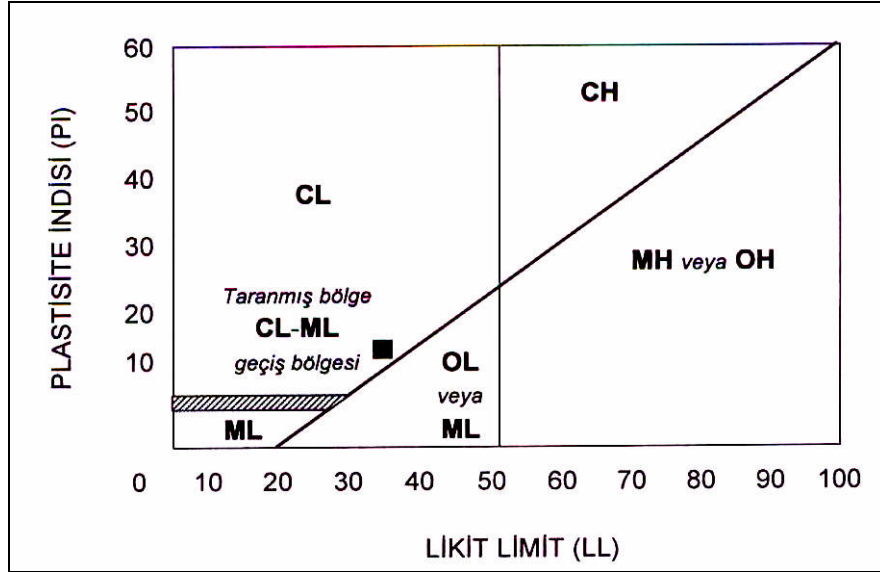
ZEMİN GRUBUNUN ÖZELLİĞİ	Grup Sembolü	Sıkıştırılmış halde iken permeabilite	Sıkıştırılmış ve Suyu Doygun Halde İken Kayma Mukavemeti	Sıkıştırılmış ve Suyu Doygun Halde İken Kompresibilite
İnorganik killer (düşük ile orta plastisitede) çakıllı, kumlu, siltli, yağsız killer	CL	Geçirimsiz	orta	İyi ile orta

SK-3 nolu kuyudan 27,00–27,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi sonucu;

$$\text{Likit limit (LL)} = 35,6$$

$$\text{Plastik limit (PL)} = 23,3$$

$$\text{Plastisite indisi (PI)} = 18 \text{ olarak bulunmuştur.}$$



Şekil 47. SK-3 nolu kuyudan (27,00–27,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi

Laboratuar sonuçları Casagrande plastisite grafiğinde değerlendirildiğinde, zeminin ML zemin grubunda olduğu görülmektedir.

ML olarak İnorganik silt ve çok ince kumlar, kaya tozu çok az plastik siltli veya killi ince kumlar sembollendirilen sıkıştırılmış halde iken yarı geçirimli-geçirimsiz permeabilite

özelliği sunmaktadırlar. Sıkıştırılmış ve suya doygun halde iken kayma mukavemetleri zayıf, kompressibiliteleri ortadır.

Tablo 31. ML zemin grubu ve özellikleri

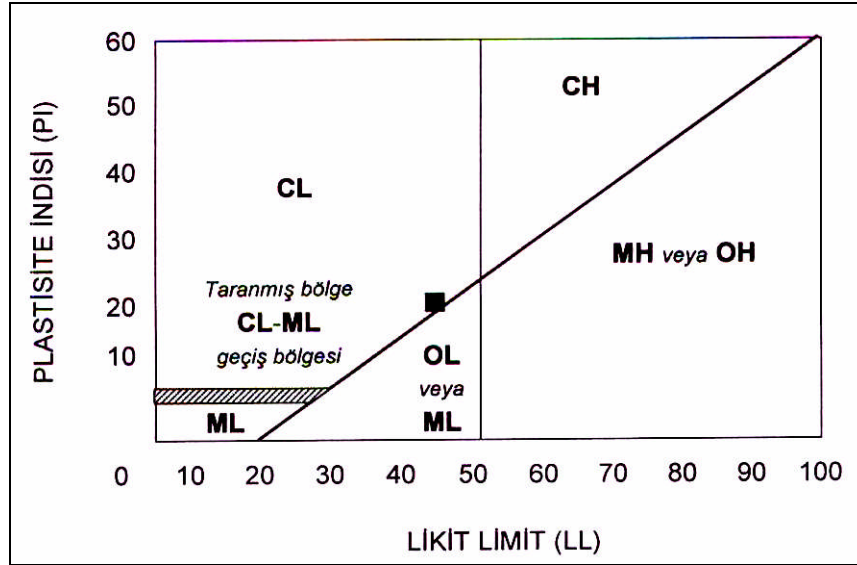
ZEMİN GRUBUNUN ÖZELLİĞİ	Grup Sembolü	Sıkıştırılmış halde iken permeabilite	Sıkıştırılmış ve Suya Doygun Halde İken Kayma Mukavemeti	Sıkıştırılmış ve Suya Doygun Halde İken Kompressibilite
İnorganik silt ve çok ince kumlar, kaya tozu çok az plastik siltli veya killi ince kumlar	ML	Yarı Geçirimli-Geçirimsiz	Zayıf	Orta

SK-3 nolu kuyudan 30,00–30,50 metreden alınan numune üzerinde yapılan Atterberg (kıvam) limitleri deneyi sonucu;

Likit limit (LL) = 49,9

Plastik limit (PL) = 31,9

Plastisite indisi (PI) = 18 olarak bulunmuştur.



şekil 48. SK-3 nolu kuyudan (30,00–30,50 m) alınan numunenin Casagrande plastisite grafiğinde gösterimi

Laboratuar sonuçları Casagrande plastisite grafiğinde değerlendirildiğinde, zeminin CL zemin grubunda olduğu görülmektedir.

CL olarak sembollendirilen (düşük ile orta plastisitede) kumlu, çakıllı, siltli, yağsız killer sıkıştırılmış halde iken geçirimsiz permeabilite özelliği sunmaktadırlar. Sıkıştırılmış ve suya doygun halde iken kayma mukavemetleri orta, kompresibiliteleri iyi ile ortadır.

Tablo 32. CL zemin grubu ve özellikleri

ZEMİN GRUBUNUN ÖZELLİĞİ	Grup Sembolü	Sıkıştırılmış halde iken permeabilite	Sıkıştırılmış ve Suya Doymuş Halde İken Kayma Mukavemeti	Sıkıştırılmış ve Suya Doymuş Halde İken Kompresibilite
İnorganik killer (düşük ile orta plastisitede) çakıllı, kumlu, siltli, yağsız killer	CL	Geçirimsiz	Orta	İyi ile orta

2.2.2.3. Elek Analizi Deneyi

SK-1 no'lu sondaj kuyusundan 13,00–13,50 metre derinlikten alınan numune üzerinde yapılan elek analizi deneyi sonuçları;

% 200 no'lu elekten geçen = % 30 Kil+silt

% 4 no'lu elekten geçen = % 0 Çakıl

% 4 no'lu elekte kalan = % 70 Kum

SK-2 no'lu sondaj kuyusundan 24,00–24,50 metre derinlikten alınan numune üzerinde yapılan elek analizi deneyi sonuçları;

% 200 no'lu elekten geçen = % 79 Kil+silt

% 4 no'lu elekten geçen = % 0 Çakıl

% 4 no'lu elekte kalan = % 21 Kum

SK-3 no'lu sondaj kuyusundan 18,00–18,50 metre derinlikten alınan numune üzerinde yapılan elek analizi deneyi sonuçları;

% 200 no'lu elekten geçen = % 15 Kil+silt

% 4 no'lu elekten geçen = % 0 çakıl

% 4 no'lu elekte kalan = % 75 Kum

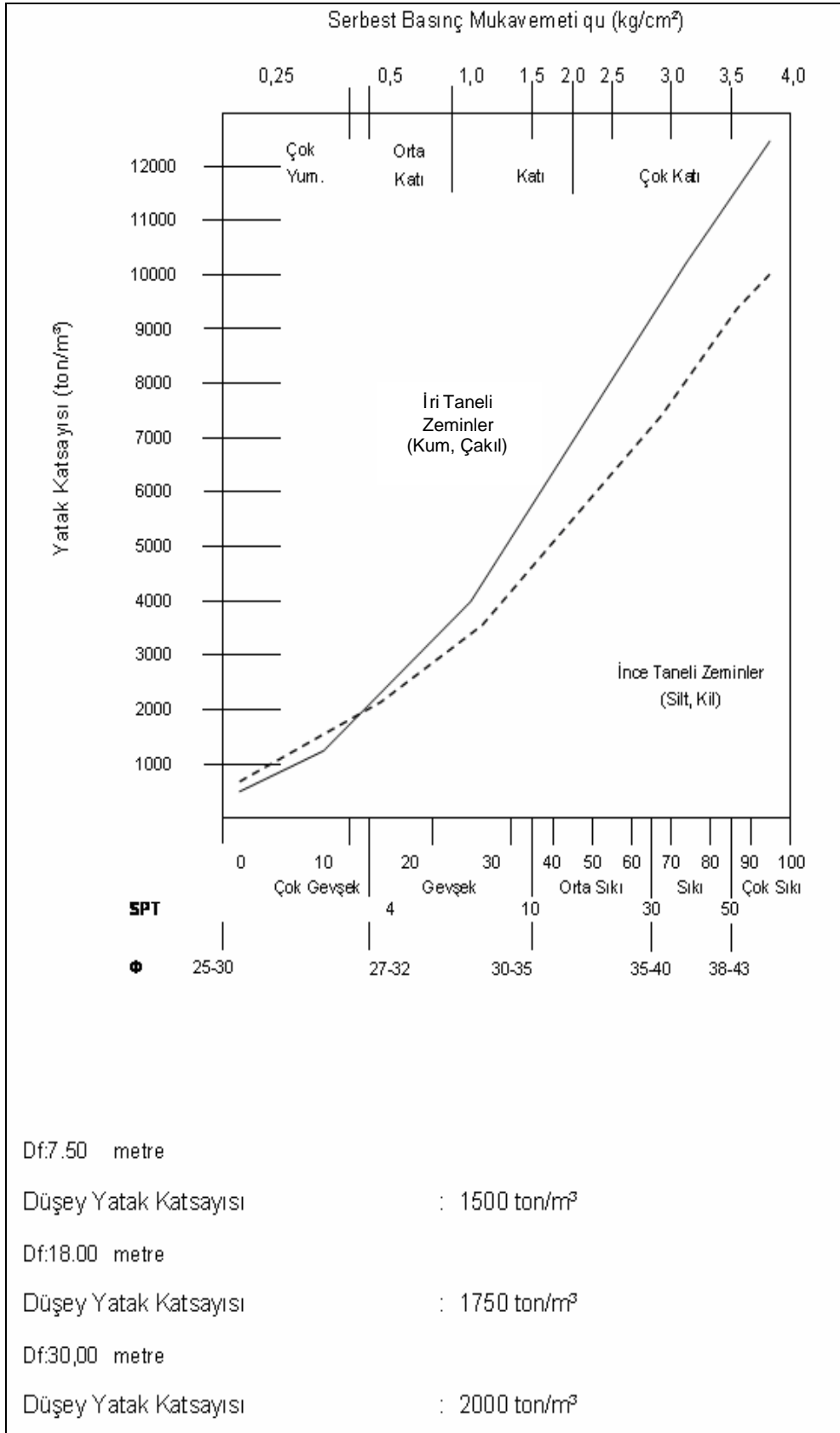
SK-3 no'lu sondaj kuyusundan 27,00–27,50 metre derinlikten alınan numune üzerinde yapılan elek analizi deneyi sonuçları;

% 200 no'lu elekten geçen = % 2 Kil+silt

% 4 no'lu elekten geçen = % 25 çakıl

% 4 no'lu elekte kalan = % 73 Kum

verilmiştir.



Şekil 49. Zemin özellikleri ve yatak katsayısı ilişkisi

3. BULGULAR

3.1. Plaxis Programı

Plaxis'in gelişimi 1987 yılında Delft University of Technology'de Hollanda Bayındırlık İçleri ve Su Bakanlığı'nın girişimiyle başlamıştır. Hollanda ovalarında bulunan yumuşak zeminlerdeki su bentlerinin analizi için kolay bir 2D sonlu eleman kodu geliştirmek amaçlanmıştır. İlk Plaxis 2D programı gerilme-şekil değiştirme analiz programı 1998 yılında oluşturulmuştur (Afacan, 2007).

Sonlu elemanlar yöntemi, diferansiyel denklemlerle ifade edilen mühendislik problemlerinin analizi için geliştirilen nümerik bir çözüm yöntemidir. Sürekli bir ortam sonlu elemanlara bölünerek denklemler bir eleman için yazılır ve integre edilerek sistem denklemleri elde edilir.

Sonlu elemanlar yöntemi, inşaat mühendisliğinde akım ağı, yükleme, zemin-yapı etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, zemin dinamiği konularında ve malzeme çeşitliliği olan durumlarda kullanılmakta ve gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir (Alim, 2006).

PLAXIS, geoteknik mühendislik projelerinde, özellikle de deformasyon ve stabilite analizleri için geliştirilmiş bir sonlu eleman paketidir. PLAXIS, basit grafiksel girdi işlemleri, karışık sonlu eleman modellerinin çabuk bir şekilde oluşturulmasını olanaklı kılmaktadır. ıktı olanakları da, hesaplanan sonuçların detaylı bir şekilde sunumuna olanak sağlamaktadır. Plaxis programında analiz edilecek her yeni proje için ilk olarak geometri modelini oluşturmak gereklidir. Noktalardan, çizgilerden ve hücrelerden oluşan geometri modeli gerçek bir problemi temsil eder. Bir geometri modeli farklı zemin tabakalarını, yapısal elemanları, inşa aşamalarını ve yükleri kapsmalıdır. Problemin sonuçlarını etkilememesi için seçilen modelin sınırları yeterince geniş olmalıdır. Geometriyi oluşturan üç ana bileşen bulunmaktadır. Bunlar noktalar, çizgiler ve hücrelerdir.

3.1.1. Noktalar

Çizgilerin başlangıç ve bitişini oluştururlar. Noktalar aynı zamanda ankraj, nokta kuvvetler vb. için lokasyonlarını belirlemede kullanılır.

3.1.2. Çizgiler

Çizgiler geometrinin fiziksel sınırlarını, model sınırlarını, geometrinin süreksizliklerini, farklı tabakalarını, ayrımını veya inşa aşamalarını belirlemede kullanılır. Bir doğrunun farklı fonksiyonları ve özellikleri olabilir.

3.1.3. Hücreler

Hücreler her tarafı çizgilerle kapatılmış alanlardır. PLAXIS geometri çizgilerinin girilmesiyle oluşturulmuş hücreleri otomatik olarak tanır. Hücre içerisinde zemin özellikleri homojendir. Bu yüzden, hücreler zemin tabakalarını oluşturan parçalar olarak düşünülebilir. Hücrelere gelen etkiler hücre içerisindeki bütün elemanlara etkir. Geometri modeli oluşturulduktan sonra, sonlu elemanlar modeli geometri modelinin içerisindeki hücre ve çizgilerin bileşimine bağlı olarak otomatik olarak oluşturulur. Bir sonlu elemanlar ağında, üç tip bileşen ayırt edilebilir, bunlar aşağıda açıklanmıştır.

3.1.4. Elemanlar

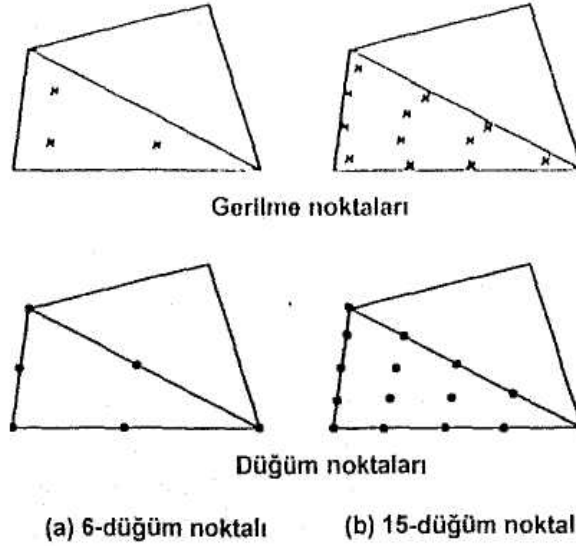
Ağın oluşturulması sırasında, hücreler üçgen elemanlara ayrılırlar. Plaxis'te varsayılan üçgen eleman 15-düğümlü elemandır. Ek olarak, 6-düğüm noktalı üçgen elemanlar mevcuttur. Kullanıcı aynı sonlu elemanlar ağında 15-düğüm noktalı elemanların 6-düğüm noktalı elemanlara nazaran daha detaylı ve daha esnek fakat bu elemanlara göre hesabın çok daha fazla zaman aldığını bilmelidir.

3.1.5. Dügüm Noktaları

15-dügüm noktalı üçgenler 15 dügüm noktasından, 6-dügüm noktalı üçgenler ise 6 dügüm noktasından oluşur. Elemanlar üzerinde dügüm noktalarının dağılımı şekilde gösterilmiştir. Sonlu elemanlar hesabı esnasında, deplasmanlar dügüm noktalarında hesaplanır. Dügüm noktaları yük-deplasman eğrilerini oluşturmak için önceden seçilebilir.

3.1.6. Gerilme Noktaları

Deplasmanların tersine, gerilmeler düğümler yerine her bir Gauss-noktasında (veya gerilme noktaları) hesaplanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 15-dügüm noktalı üçgen eleman 12 gerilme noktasına sahiptir ve şekilde gösterilen 6-dügüm noktalı üçgen eleman 3 gerilme noktasına sahiptir. Gerilme noktaları gerilme izlerini veya gerilme şekil değiştirme eğrilerini oluşturmak için önceden seçilebilir (Turan, 2006).

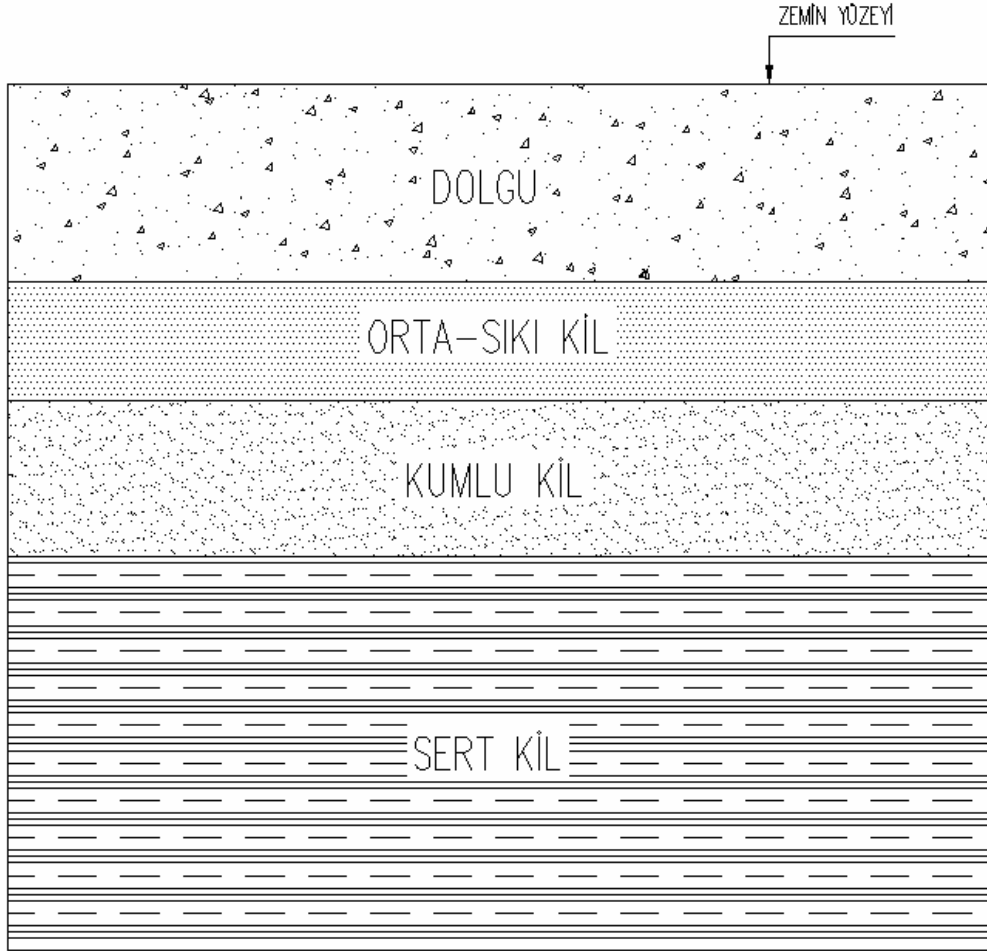


Şekil 50. Gerilme noktaları ve dügüm noktaları

3.2. Sistemin Plaxis Programı ile Modellendirilmesi

İstanbul ili, Avcılar ilçesi, İstanbul Üniversitesi, Avcılar Kampüsü, İETT Durağı, Triaj Alanı önü üzerinde oluşmuş zemin kaymasına ait davranışın incelenip üretilmiş olunan çözüm yöntemine ait verileri inceleyelim.

Yapılan inceleme ve değerlendirmeler sonucunda zeminin stabilitesini sağlayabilmek için uygun çözümün fore kazıklar ile teşkil edilmiş olan kademeli istinat duvarları olduğu öngörülmüştür. İki sıra halinde oluşturulacak istinat duvarları için seçilen kazık çapı 1,00 m ve kazık yatay aralığı da 1,20 m olarak öngörülmüştür. Bu kazıkları iki ucundan rijitliği yüksek olan bir kazık grubuna bağlamak suretiyle sistemin stabilitesinin sağlanacağı öngörülmüştür. Çözüm için önerilen sistemin Plaxis programı ile modellendirilmesi ve modelden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 51. İnceleme alanı zemin profili

Şekil 51’de inceleme alanına ait idealize edilmiş ve analizlerde kullanılan zemin profili verilmiştir. Zemin tabakaları inceleme alanında yapılmış olan sondajlara dayalı olarak oluşturulmuştur.

Proje alanında yapılan sondaj çalışmalar sonucunda zemin yüzeyinden itibaren 4,00~5,00 m arasında değişen kalınlıklarda kahve renkli, çakıllı gevşek kil dolu olduğu görülmüştür.

Bu seviyenin altında ise yaklaşık 3,00 m kalınlığında yeşil renkli, orta sıklıkta, orta-katı kıvamlı, kırıntılı kireç taşı parçacıklı kil tabakası olduğu görülmüştür.

Bu tabakanın altında ise yaklaşık 4,00 m kalınlığında açık kahve-mavi renkli, ortadan yüksek plastisiteli organik, orta çok katı kıvamlı, kumlu karbonatlı siltli kil birimi gözlenmiştir.

Bu seviyeden sonra ise sondaj kuyusu sonuna kadar yeşilimsi-mavi renkli, sıkı-sert kıvamlı, kumlu, siltli, marnlı kil birimin olduğu tespit edilmiştir.

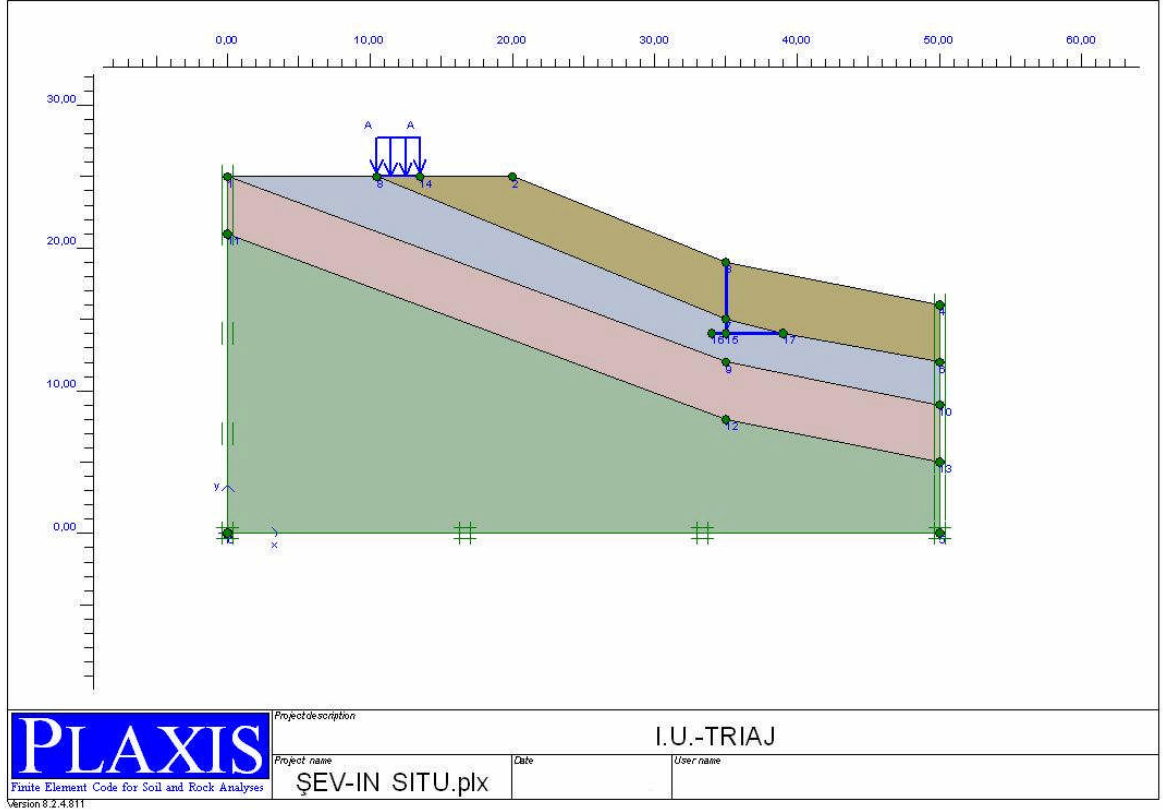
Bu bölge İETT otobüslerine ait triaj alanı olarak kullanıldığından stabilitenin sağlanması ayrıca önem teşkil etmektedir. Bölgede daha önce de ufak zemin kaymalarının olduğu gözlenmiş ve bunu önlemek amacıyla da arazide istinat duvarı uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmada istinat perdesi mevcut durum içinde var olarak analizlere girmiştir.

Yapılan sondaj çalışmaları, yerinde incelemeler ve bölgenin geçmişine bakıldığında kaymaların asıl olarak yapılan dolgudan kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayrıca yağmur suyunun dolgunun bu hareketini olumsuz yönde etkilediği görülmüş olup geliştirilen çözümde ilave olarak uygun drenaj sağlanması amaçlanmıştır. Sorunun şev stabilitesi olmasından dolayı geliştirilecek olan çözümün elde edilmesinde uygun bir stabilite analizi yapmak gerektiğinden çözümlerde plaxis programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile şev stabilite analizlerinde;

- Karmaşık geometri
- Gerçeğe yakın malzeme bünye davranışı
- Karmaşık yükleme koşulları
- Uzun ve kısa süreli stabilite
- Su etkisi
- Deformasyon seviyesine bağlı güvenlik katsayısı

gibi avantajlardan söz edilebilir (Berilgen, 2006).

Çözüm aşamasında iki farklı model kullanılmıştır. İlk modelde mevcut durum kontrol edilmiş sistemin hareketi belirlenmeye çalışılmıştır. İkinci modelde ise stabilite sorununu, uzun süreli olarak çözebilecek sistem irdelenmiş ve güvenlik faktörü kontrolü yapılmıştır.



Şekil 52. Mevcut durum için hazırlanan bilgisayar modeli

Birinci modelde yukarıda gösterilen zemin profili ve yüklemeler kullanılmıştır. Şekil 52'de görüldüğü gibi dört tabakalı zemin profili mevcut durumdaki hali ile modele girilmiştir.

Tablo 33. Modelde kullanılan zemin birimlerine ait parametreler

Birim adı	Tanımı	Kohezyon, c	İçsel sürtünme açısı, ϕ	Birim hacim ağırlığı, γ_n
DOLGU	Kahve renkli, çakıllı Gevşek kil dolgu	0,15 kN/m ²	4°	0,00161 kN/m ³
ORTA-SIKI KİL	Yeşilimsi renkli, orta sıkı kil	0,45 kN/m ²	6°	0,00168 kN/m ³
KUMLU KİL	Mavi-yeşil renkli kumlu katı kil	0,30 kN/m ²	7°	0,00166 kN/m ³
SERT KİL	Yeşilimsi-mavi renkli sert kil	0,55 kN/m ²	8°	0,00186 kN/m ³

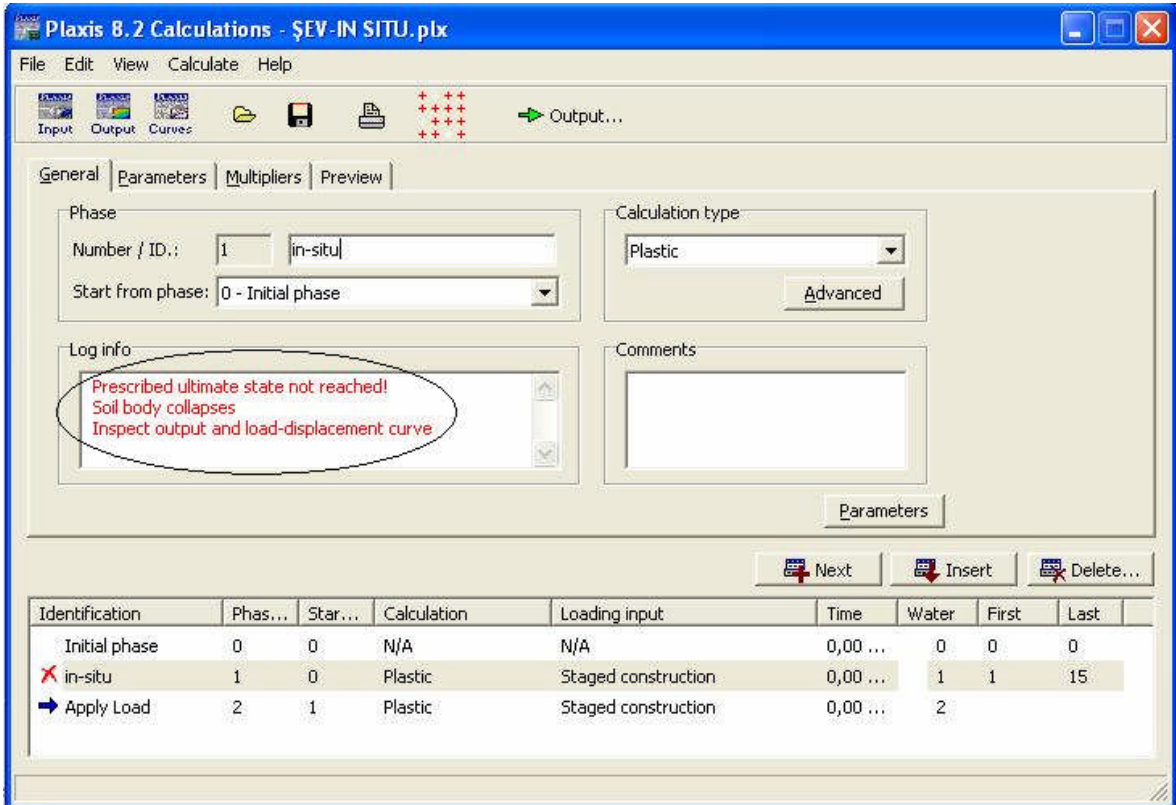
Zeminle ilgili programda kullanılan parametreler, arazide yapılan sondaja dayalı zemin etüt raporundan alınmıştır.

İnceleme alanımız triaj alanı olarak otobüslerin kullanacağı bölge olduğundan yüzeyde otobüslerin beklemesi veya dönüşler için burayı kullanacağından dolayı bir yaylı yük etkilmiştir. Yaylı yük olarak 10 kN/m² değeri alınmıştır.

Ayrıca zemin raporundan hareketle yüzeyden 12,00 m derinde yeraltı su seviyesi programa girilmiştir. Hesaplamalar sırasında izlenen yol ilk önce mevcut durum için zemin gerilmeleri ile yeraltı su basınçlarının program tarafından hesaplanmasıyla başlar. Daha sonra mevcut duruma ilave olan tüm imalatlar ve yüklemeler adım adım programa girilerek her bir aşamanın kendi içinde analizi yapılması amaçlanmıştır. Daha sonra uzun süreli analiz ile sistemin güvenlik faktörü araştırılmıştır.

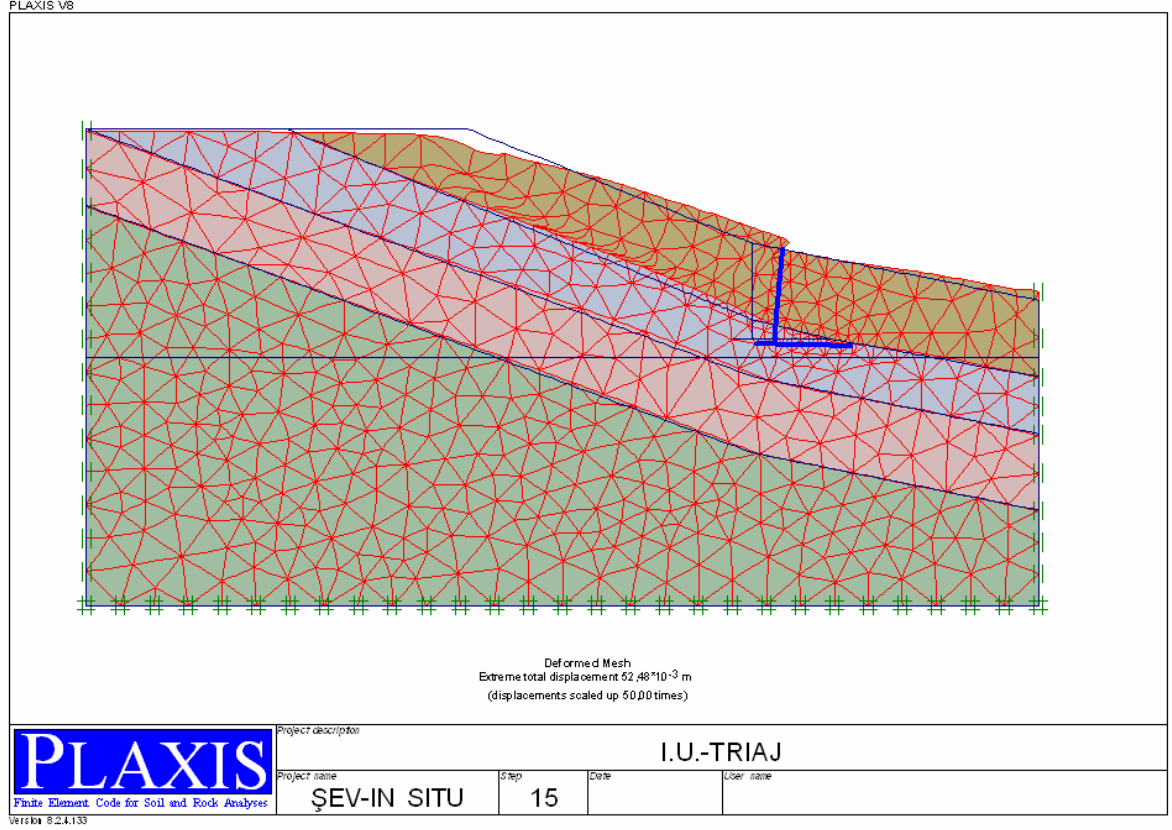
Birinci modelde hesaplamaların ilk adımında mevcut sistem stabil olmadığından program tarafından sistemin kısa süreli analizde göçtüğünü belirten sonuçla karşılaşılmıştır.

Program bu noktadan sonra bir sonraki aşamaları hesaplayamadığından uzun süreli analiz yapılamamış ve güvenlik faktörü de irdelenememiştir.



Şekil 53. Model-1 analiz bilgi ekranı

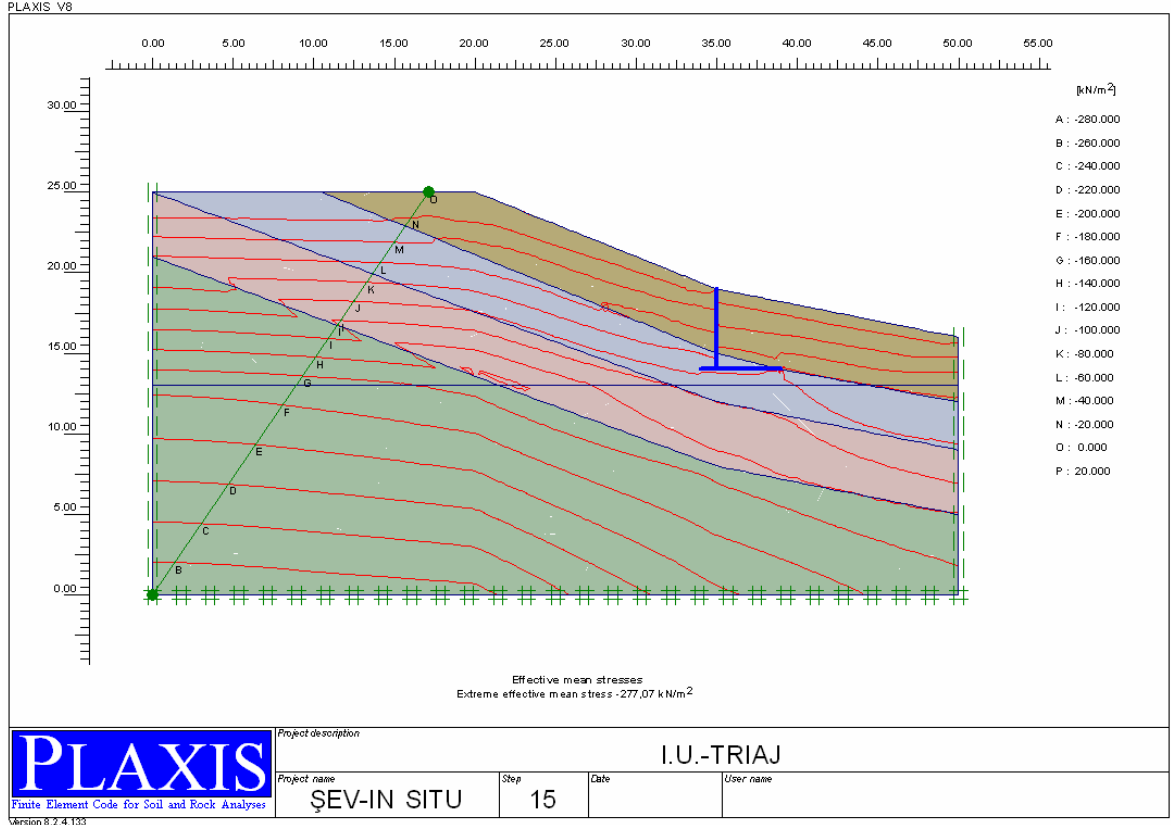
Zeminin göçtüğünü gösteren sonuç alındıktan sonra grafiklerle sistemde oluşan kaymanın doğrultusu ve düzlemi belirlenmeye çalışılmıştır. İlk önce deforme olmuş sonlu elemanlar ağına bakılmış ve buna ait grafik aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 54. Model–1 deforme olmuş sonlu elemanlar ağı

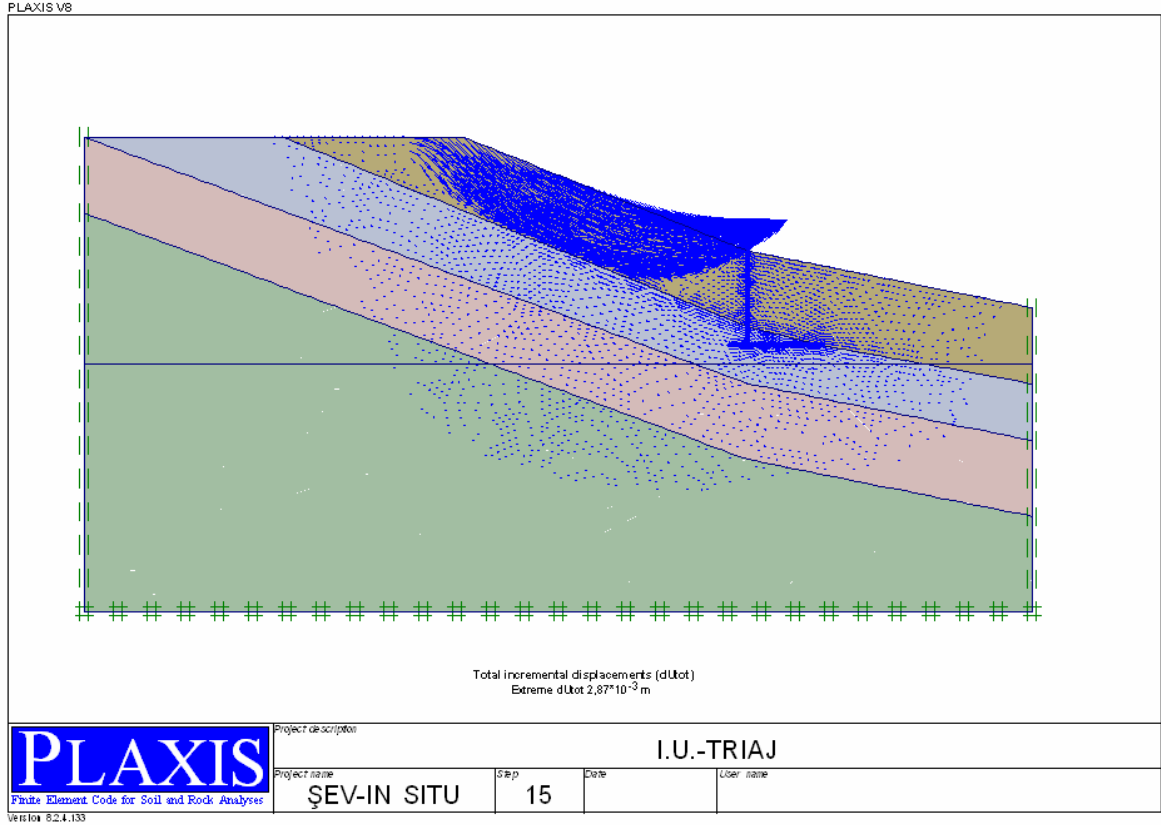
Şekil 54’de gözüktüğü gibi zemindeki kaymaların üstteki dolgu tabakasında olduğu anlaşılmaktadır. Alt kısımda bulunan istinat perdesinin bu hareketi karşılayamadığı ve devrildiği şekilden okunabilmektedir. Bu durum araziyle birebir örtüşmektedir. Zira yerindeki gözlemlerde de istinat perdesinin hareketinin zamanla artarak bazı kısımlarda tamamen devrildiği görülmüştür.

Modelin bu noktasında sistem için efektif gerilme değerleri de okunmuştur.



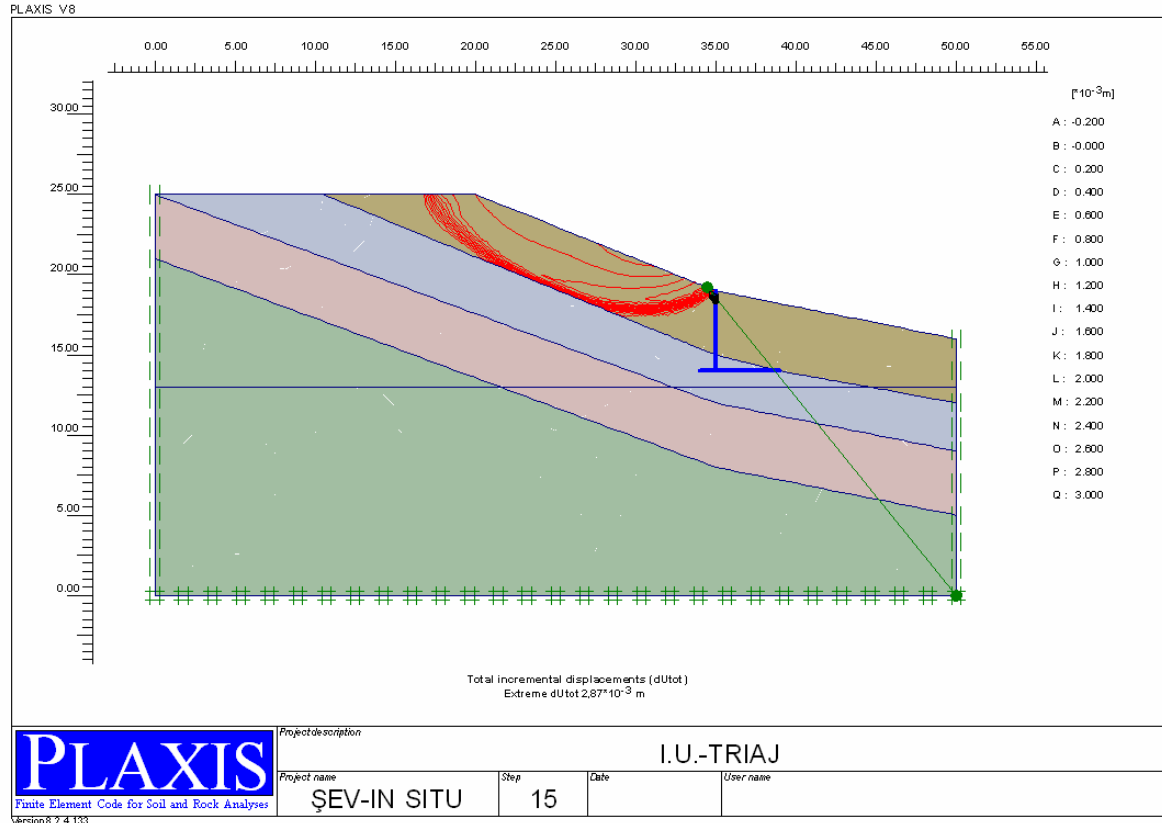
Şekil 55. Model-1 efektif gerilme kontur diyagramı

Sistem içindeki kaymanın düzlemini ve yönünü görebilmek için programdan artımsal yer değiştirme grafiği elde edilmiştir.



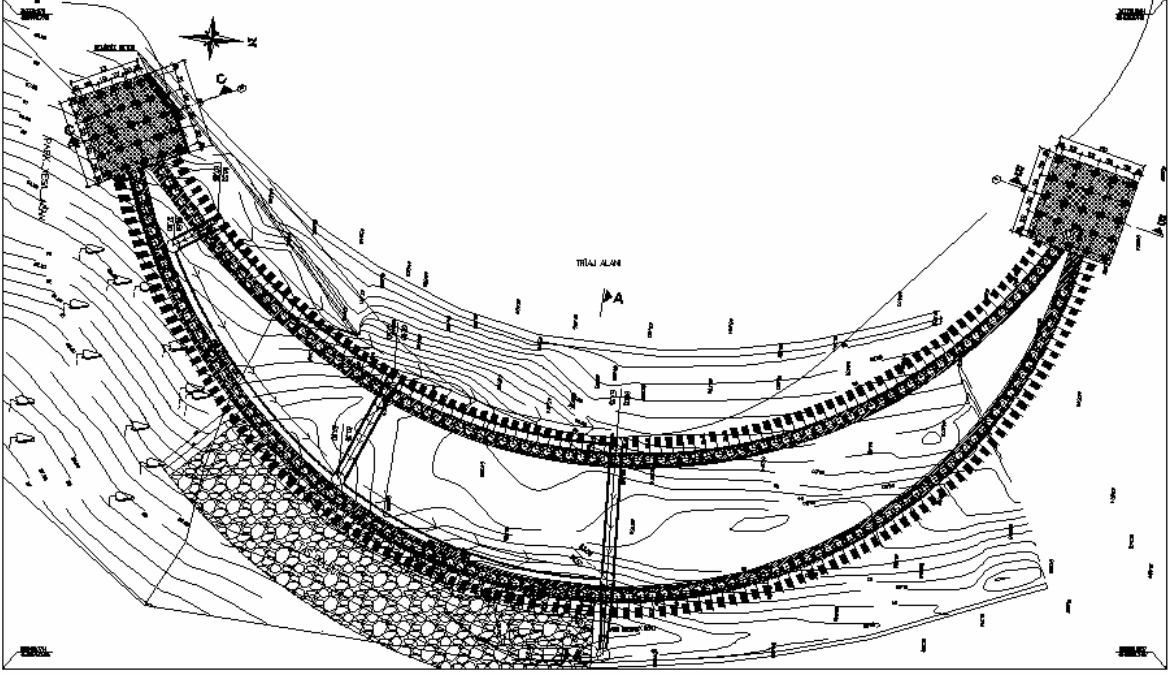
Şekil 56. Model-1 artımsal yer değıştirmelerin gösterimi

Burada oluşan kaymaların yönü oklarla belirtilmiştir. Sistemin göçmesine sebep olan kaymanın dolgu tabakası üzerinde olduğu grafikten rahatça okunmaktadır. Ayrıca kayma düzleminin yeri ve sistem hareket mekanizmasının iyi belirlenebilmesi için programdan yine artımsal deformasyonların kontur diyagramı elde edilmiştir.



Şekil 57. Model-1 deplasman artım konturları

Mevcut durumun kontrolü için yapılan ve sonuçları verilen modelden de görüldüğü üzere, arazide özellikle dolgu tabakası üzerinde büyük kaymaların olduğu gözükmektedir. Şimdi de sistem üzerindeki bu stabilite sorununu ortadan kaldırmak amacıyla hazırlanan proje uygulamasına ait model ve sonuçları da inceleyelim.

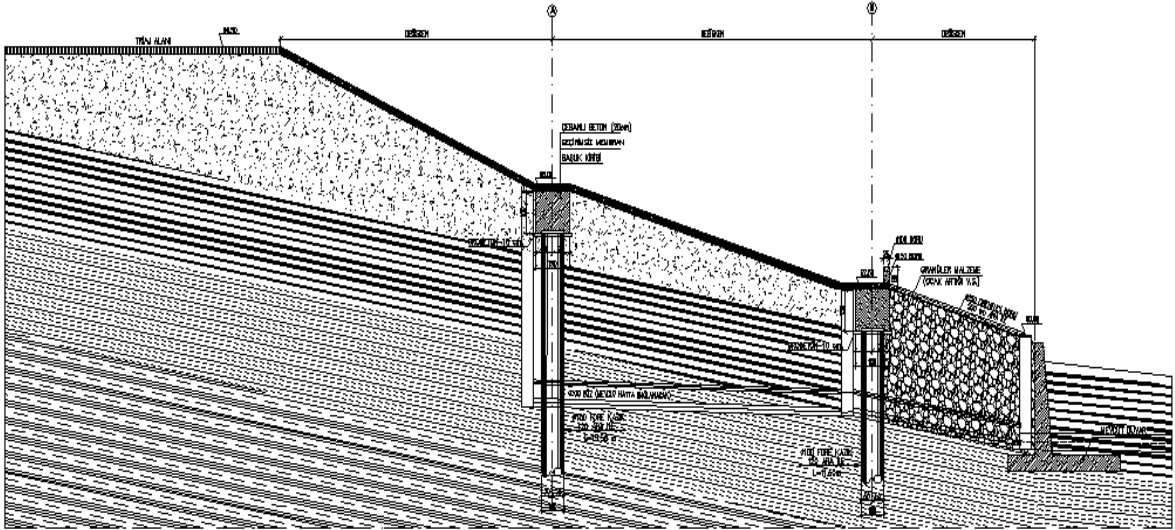


Şekil 58. Çözüm için uygulanan projeye ait genel yerleşim planı

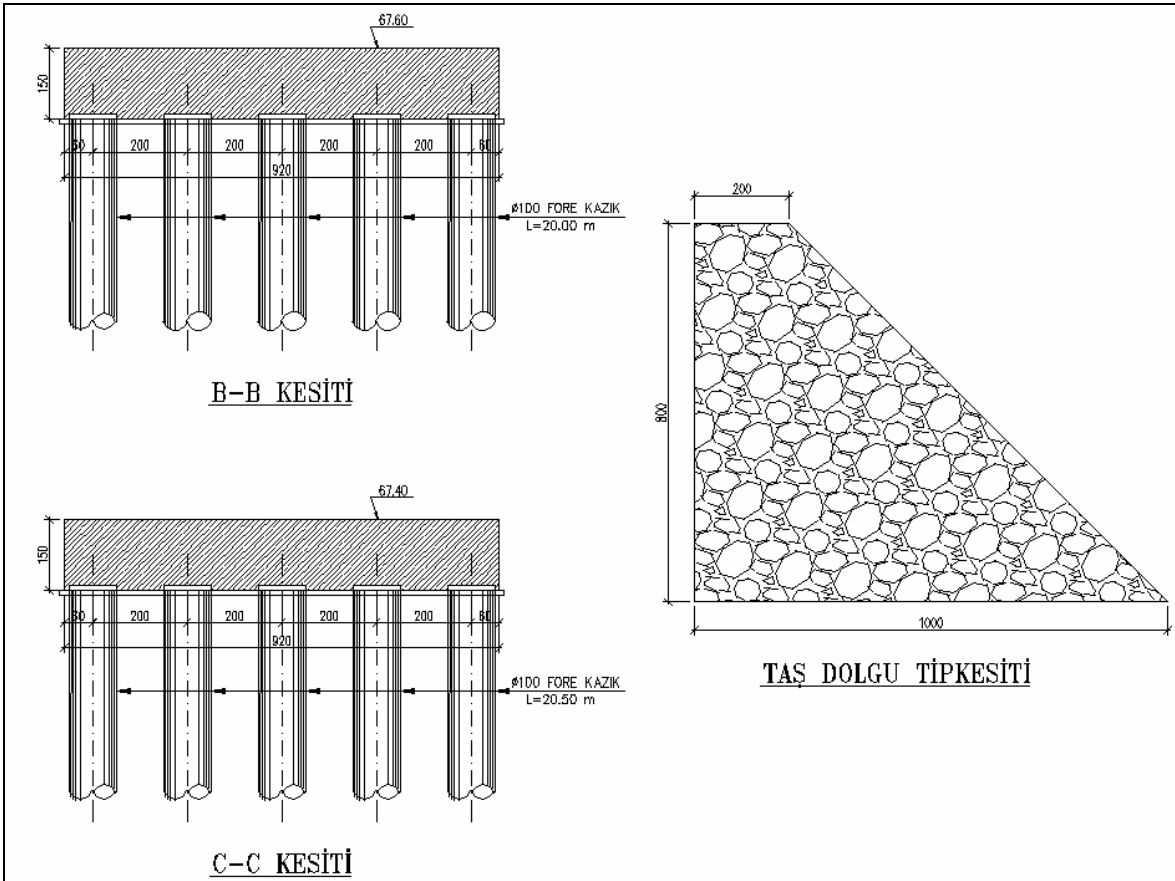
Sorunun çözümü için düşünülen sistemin ana prensibi kayma esnasında oluşan kuvvetlerin kaymaya karşı koyabilecek noktalara yine stabilite ve mukavemet sorunları doğurmadan aktarılmasını sağlamaktır. Öncelikle bölgede kaymanın olmadığı (hem yerinde inceleme hem de zemin etüdünden yorumlarla) iki noktada çok rijit iki kütle oluşturulması amaçlanmış, daha sonra bu kütlelere sistemin hareketinden kaynaklanan yükleri aktarması amacıyla kazık grubu ile üzerinde çekme elemanı olarak çalışacak olan başlık kirişi yapılmıştır.

Sistemin doğru çalışabilmesi için, öncelikle kazıkların iksa olarak zorlanmaması yani önünün boşalmaması gerekmektedir. Bu amaçla da ikinci sıra kazığın önünde kayan zayıf malzeme yerine ocak artığı gibi granüler malzeme istiflenmiştir.

Sistem doğru olarak çalıştığında, kaymaya zorlayan kuvvetler ilk önce kazığa gelecek, kazık bağlı olduğu başlık kirişleri vasıtasıyla yükleri oluşturulan iki rijit kütleyle aktaracaktır. Bu durumda kazık başlık kirişi bir çekme elemanı olarak görev yapacaktır. Betonarme projelerde kazık başlığı çekme çubuğu mantığına uygun donatılmıştır. Ayrıca özellikle yağmur sonrası kayma hareketinin hızlanması nedeniyle, ilave drenaj tedbirleri de uygulamaya dahil edilmiştir.

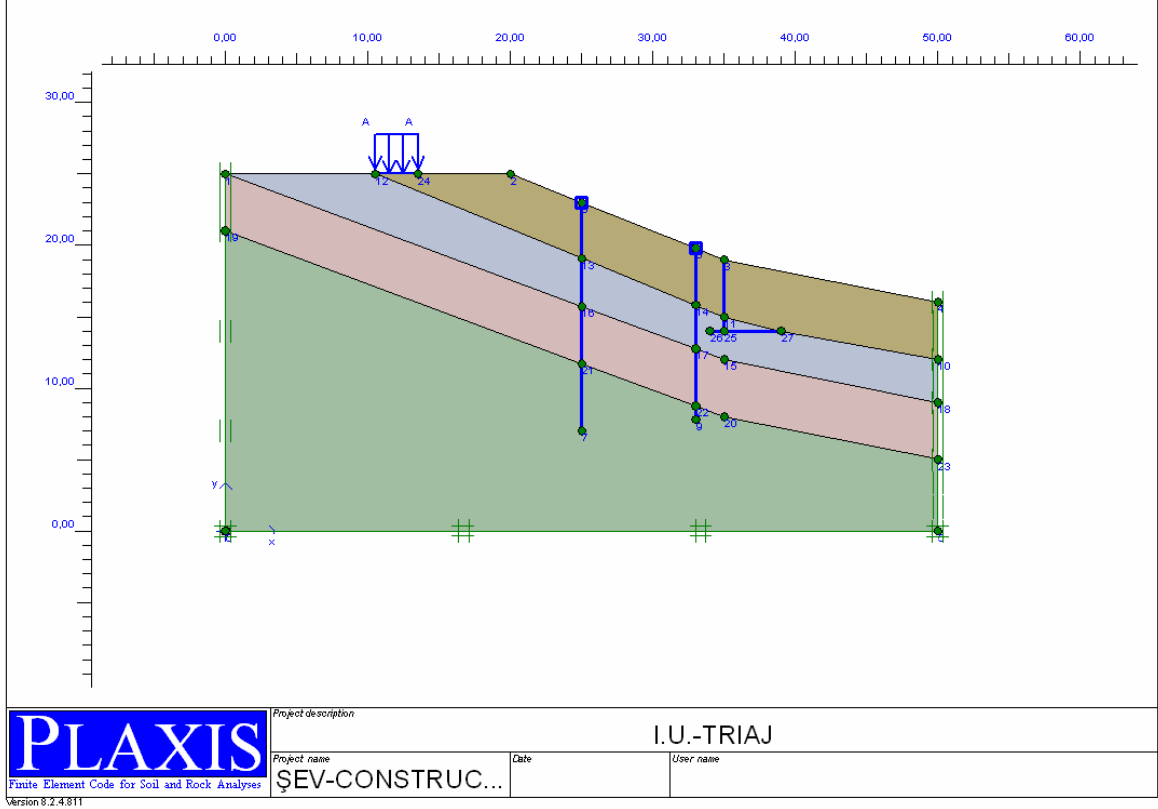


Şekil 59. Çözüm için uygulanan projeye ait A-A kesiti



Şekil 60. Çözüm için uygulanan projeye ait diğer kesitler

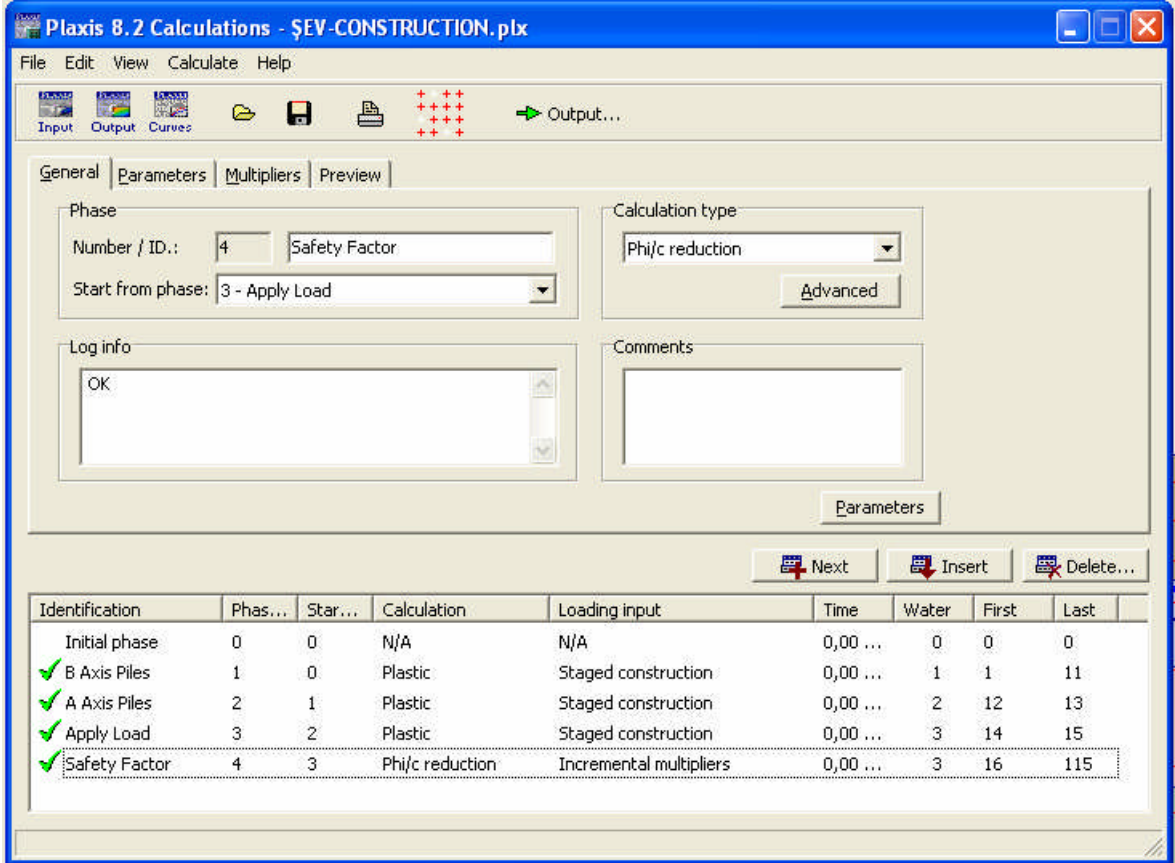
Şimdi de bu çözüme ait hazırlanan bilgisayar modeli ve sonuçlarını inceleyelim. İkinci modelde sistem üzerindeki en kritik (kazık aralarının en fazla olduğu) nokta seçilmiştir.



Şekil 61. Uygulanacak sisteme ait bilgisayar modeli gösterimi

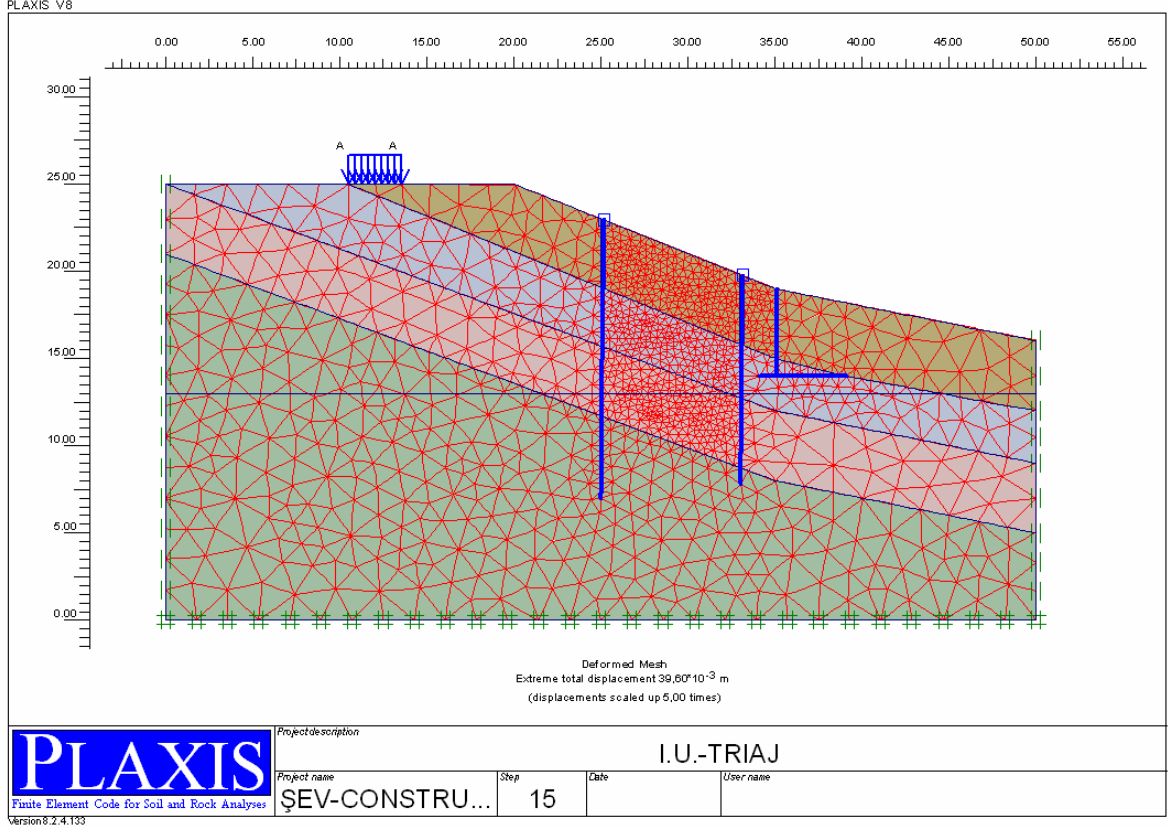
Şekil 61’de görüldüğü gibi yine mevcut arazi profilinde sisteme ilave olarak iki sıra Ø100 cm çapında 120 cm aralıklarla kazık sırasını birim metre için verebilecek kazıklar modele girilmiştir. İlk sıra kazıklar 15,5 m, ikinci sıra kazıklarda 11,5 m olarak tasarlanmıştır.

Hesaplama yöntemi olarak yine ilk önce kazıkların olmadığı mevcut durumdaki efektif gerilmeler ve su basınçları program tarafından hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra ise yine adım adım sisteme ilave edilecek kazıklar modele girilmiştir. Daha sonra triaj alanındaki otobüslerden kaynaklanacak ilave yük yaylı yük olarak modele dahil edilmiştir. Bu aşamalardan sonra program analizi tamamladığında sistemde ufak hareketler olsa dahi göçmenin olmadığı sonucu elde edilmiştir.



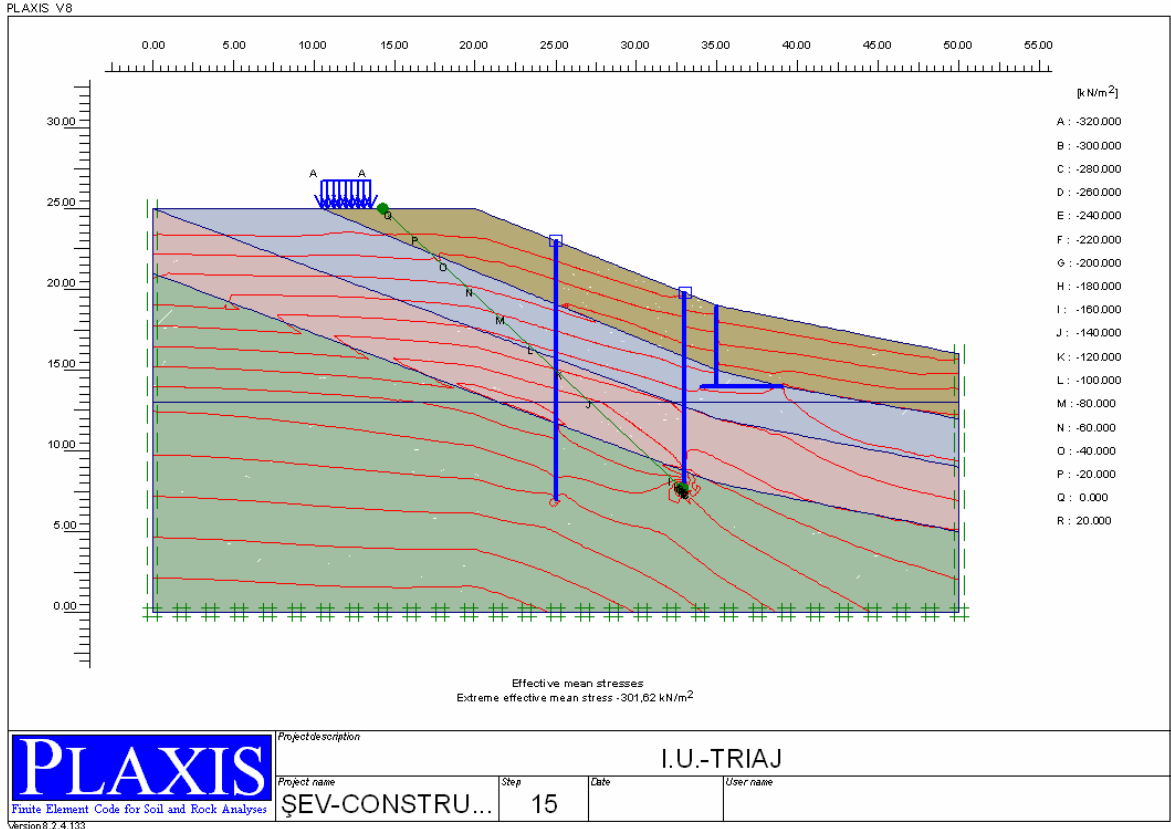
Şekil 62. Model-2 analiz bilgi ekranı

Program analizi tamamladıktan sonra sistem içindeki deplasmanları görmek amacıyla deforme olmuş sonlu elemanlar ağı grafiği gözlenmiştir.



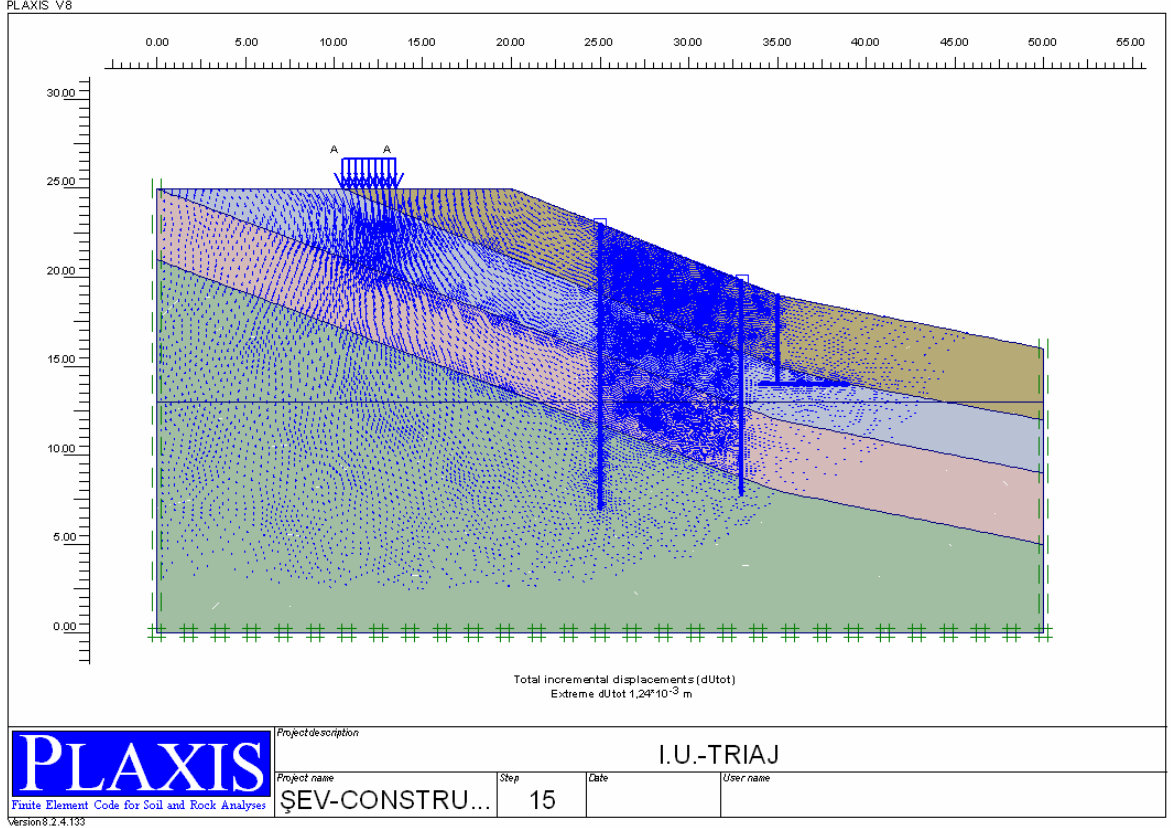
Şekil 63. Model-2 deforme olmuş sonlu elemanlar ağı

Şekil 63’de görüldüğü gibi üst kısımdaki dolgu tabakasındaki kaymaların önemli ölçüde önlenildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca yine sistemin bu noktasında efektif gerilme kontur diyagramı da program tarafından elde edilmiştir.



Şekil 64. Model-2 efektif gerilme kontur diyagramı

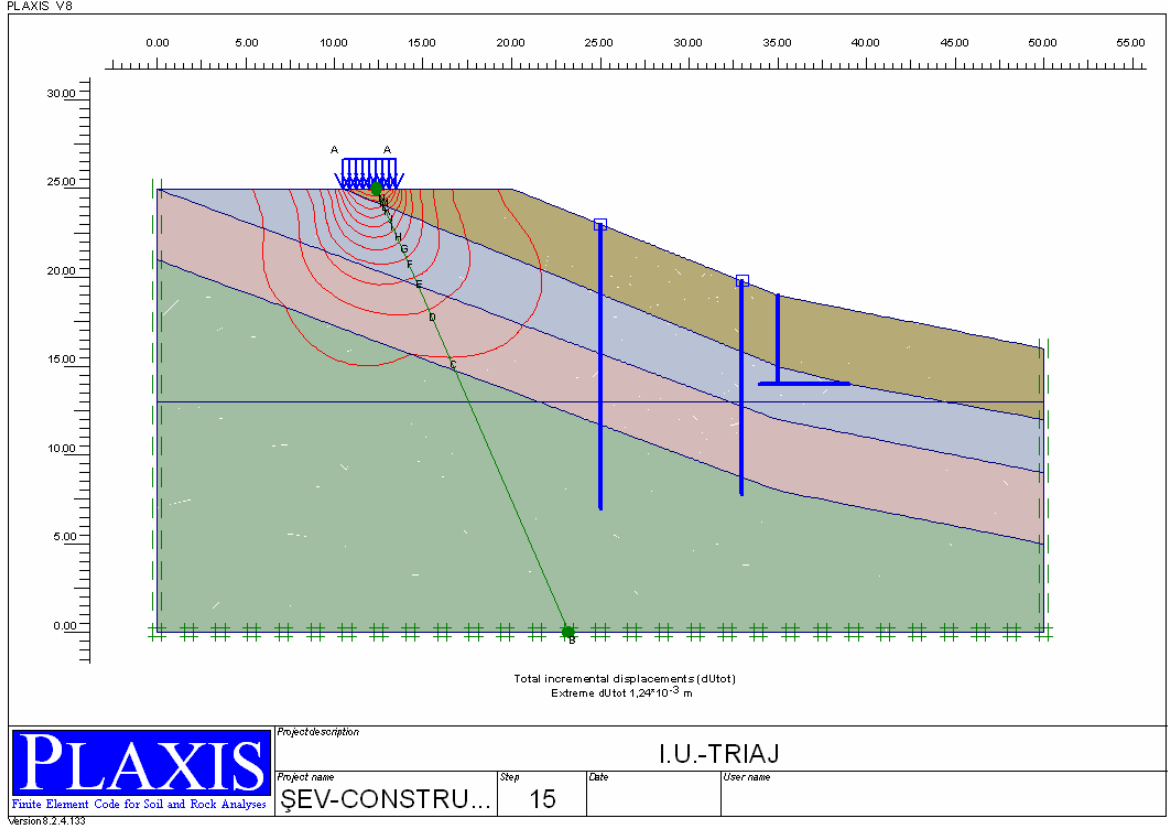
Düşünülen bu sistemin çözümünden sonra yine zemin içindeki kaymaların yönü ve düzlemini kontrol amaçlı olarak artımsal yer değiştirme grafiği programdan elde edilmiştir.



Şekil 65. Model-2 artımsal yer değiştirmelerin gösterimi

Şekil 65’de okunduğu gibi sistem içerisindeki hareketlerin büyük lde azaldığı, kazıkların olduğu noktalarda kazıkların zmde düşünüldüğü gibi çalıştığı anlaşılmaktadır. Ancak ikinci kazık sırasından sonraki kısımdaki kaymaların devam ettiği görülerek bu noktada kazık önüne kazığın nnn açılmaması ve kazıkların iksa olarak çalışmaması için granüler malzeme ile kademe kademe doldurularak her bir kademede granüler malzeme altındaki zayıf zeminin kaymasına izin vererek son kademede kazık önünde artık stabil malzeme oluşturulması amaçlanmıştır.

Sistemde kayma düzleminin yeri ve sistem hareket mekanizmasının iyi belirlenebilmesi için programdan yine artımsal deformasyonların kontur diyagramı elde edilmiştir.



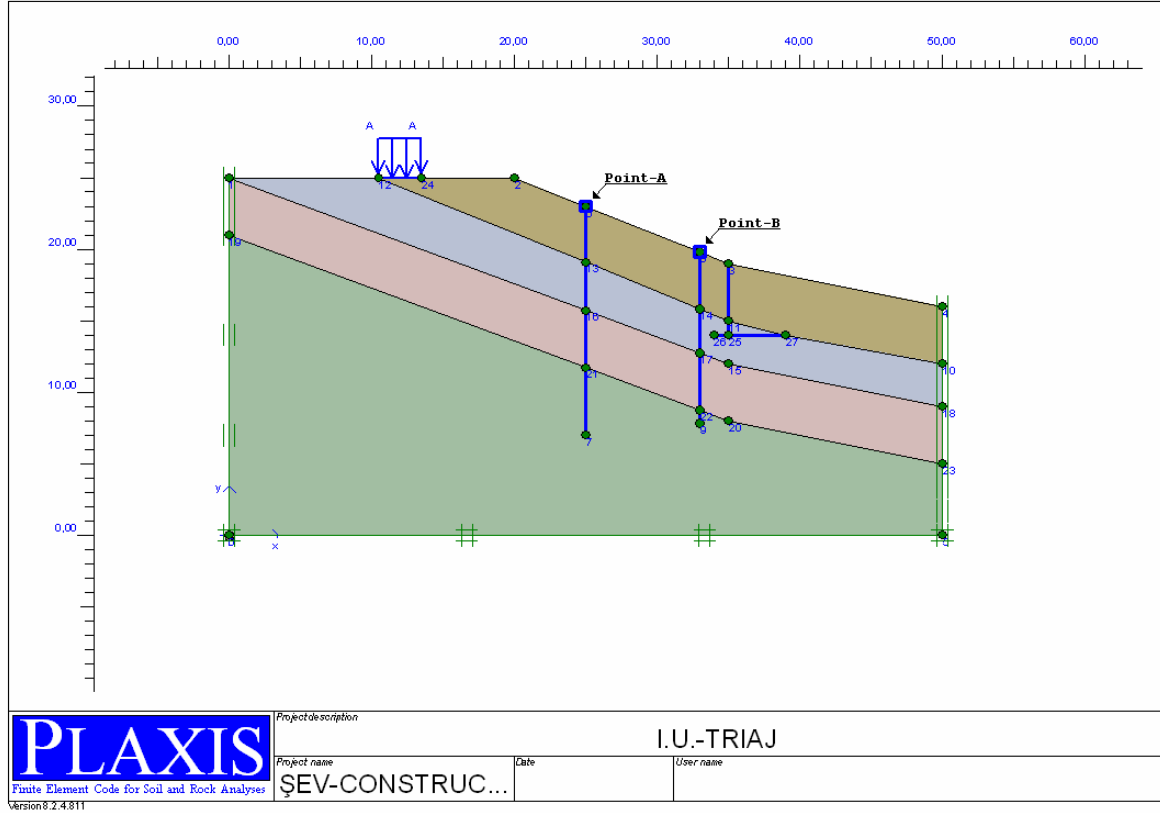
Şekil 66. Model-2 deplasman artım konturları

Çözüm olarak düşünülen bu modelde hesap adımında ilave olarak uzun süreli analiz yapılmış olup sistem üzerindeki iki noktadan güvenlik faktörü hesaplanmıştır. Bu yöntem mukavemet azaltma yöntemi (Phi-C reduction) olarak adlandırılır. Bu hesap yönteminde kayma mukavemeti parametreleri (c , ϕ) şev göçünceye ve denge çözümü ortadan kalkıncaya kadar azaltılır (Griffiths ve Lane, 1999; Zienkiewicz vd., 1975). Güvenlik faktörü;

$$\Sigma M_{sf} = \frac{c}{c_{azaltılmış}} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{azaltılmış}} \quad (3.1)$$

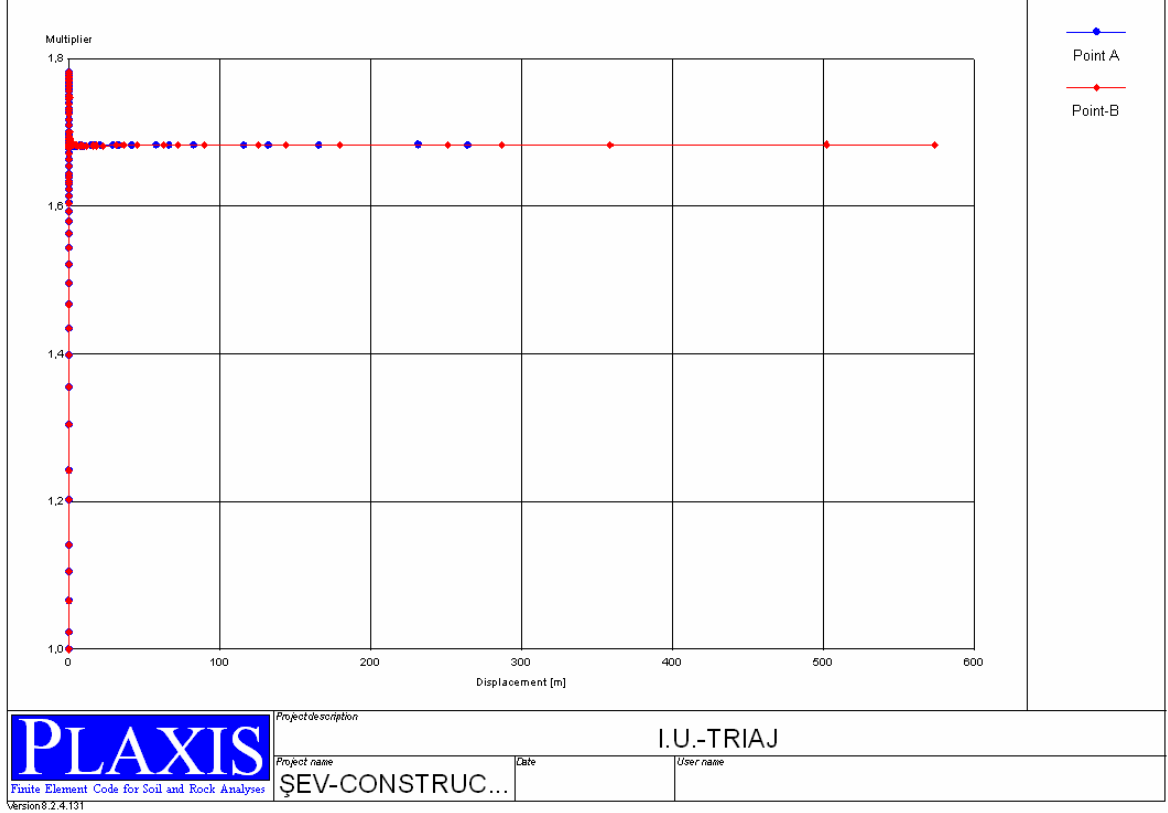
denklemleri ile özetlenebilir.

İkinci modeldeki bu analizin sonunda model üzerinde kendi belirlediğimiz iki noktanın yerlerini gösteren şekil aşağıda verilmiştir. Bu noktaların yeri sistem üzerinde herhangi bir yer olabilir. Modelde kazıkların üst noktaları seçilmiştir.



Şekil 67. Model-2 güvenlik faktörü hesaplanan noktaların gösterimi

A ve B noktalarına ait uzun süreli analizler sonunda elde edilen güvenlik faktörü aşağıdaki şekilde grafik olarak verilmiştir.



Şekil 68. A ve B noktaları güvenlik faktörü grafiği

Grafik üzerinden de okunduğu gibi çözüm olarak üretilmiş sistemin güvenlik faktörünün 1,70 mertebelerinde olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak inceleme alanında zemin kayması zemin kayması problemini önlemek amacıyla düşünülen çözümün uzun sürede de uygun olduğu görülmüştür. Kaymanın sebeplerinden bahsederken yağmur suyunun da önemli bir sorun teşkil ettiği bilindiğinden bu çözüm içinde ilave olarak uygun drenaj sağlanması için kazıkların arkalarındaki suların sistemden uzaklaştırılması amacıyla bu bölgelerde drenajlar uygulanmıştır.

4. İRDELEME

Bu çalışmada, İstanbul ili, Avcılar ilçesi, İstanbul Üniversitesi Avcılar kampüsü, İETT Durağı, Triaş Alanı önü üzerinde oluşan zemin kaymasının stabilitesini sağlamak amacıyla uygulanmış tedbirler incelenmiştir.

Bölge İETT otobüsleri triaş alanı olarak kullanılmaktadır. Kayma oluşmadan önce bölgede yer yer çatlakların oluştuğu fark edilmiş ve bunun üzerine arazide zemin etütleri yapılmıştır. Etüd alanı ve çevresi incelenmiş, toplamda üç adet sondaj kuyusu açılmış ve üç adet sismik ölçüm yapılmıştır. Laboratuvar ve arazi deneyleri, büro çalışmaları, jeodezik ve jeofizik çalışmalar yapılmış ve jeolojik kesit elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda hareketin, düzlemsel, yarı düzlemsel, kayma-akma türünde olduğu, özellikle birbirine yakın olan kayma olduğu düşünülmektedir.

Yapılan inceleme ve değerlendirmeler sonucunda zeminin stabilitesini sağlayabilmek için uygun çözümün fore kazıklar ile teşkil edilmiş olan kademeli istinat duvarları olduğu öngörülmüştür. İki sıra halinde oluşturulacak istinat duvarları için seçilen kazık çapı 1,00 m ve kazık yatay aralığı da 1,20 m olarak öngörülmüştür. İstinat duvarları A aksı ve B aksı olarak isimlendirilmiştir. A aksında 93 adet B aksında 114 adet kazık bulunmaktadır. Bu kazıkları iki ucundan rijitliği yüksek olan bir kazık grubuna bağlamak suretiyle sistemin stabilitesinin sağlanacağı öngörülmüştür. İstinat duvarlarının bağlandığı kazık gruplarında yani K1 ve K2'nin her birinde çapı 1,00 m olan ve kazık aralıkları 2,00 m olarak öngörülen 25 adet kazık kullanılmıştır. Zemin stabilitesini sağlamak amacı ile yapılan bir diğer uygulamada drenaj çalışmasıdır. Genel yerleşim planında da görüldüğü gibi A ve B akslarının paralelinde yer yer birbirlerine bağlantı yapılarak araziden suyun uzaklaştırılması şeklinde projelendirilmiştir. Arazi drenajı başlık kirişinin üst kotundan ortalama 6 m derinlikte olduğu saptanan zemin suyunun toplanabilmesi açısından ortalama 6,5 m derinlikte bir tarafı kazıklara gelecek şekilde dik, diğer tarafı 1/3 oranında olmak üzere şev yapılarak drenaj kazısı yapıldı. B aksında kazının en alt kotuna Ø300 MBB boru ve Ø150 drenflex borular yan yana döşenmek kaydıyla kazılan tranşenin tamamı 5-3 nolu kırma taş ile dolduruldu. A aksının kazısı ise aynı detayla kazılmış olup sadece Ø150'lik drenflexlerle B aksının Ø300'lük MBB boru hattına bağlantı yapılmak kaydıyla bağlanıp aynı cins kırma taş ile dolgusu yapıldı. Tranşenin tamamen kırma taşla doldurulmasının sebebi arazi sularının her kotta kırma taşın arasında kalan boşluklar yardımıyla

drenflexlere veya MBB borulara ulaşmasını sağlamaktadır. A aksı ile B aksının tranşelerinin birbirlerine bağlantılarının tamamında muayene bacaları yapılmıştır. Bu bacaların yapılma amacı tranşelerdeki su hareketlerini imalatlar tamamlandıktan sonra bile her an gözleyebilmek ve hatlarda oluşabilecek arızalara müdahale edebilecek ortam yaratmaktır.

5. SONUÇLAR

İstanbul ili, Avcılar ilçesi, İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsünde bulunan İETT Durağının yapımı esnasında triaj alanı önünde bulunan yeşil alanda zemin kayması gözlemlenmiştir. Zeminde bulunan yeraltı suyu nedeni ile arazide önce çatlaklar oluşmuş ve kısa zamanda ilerleyerek zemin kaymasına neden olmuştur. Yapmış olduğum çalışmada, heyelan olan bu bölge için hazırlanmış ve uygulanmış olan çözüm incelenmiş olup çözümde kullanılan yöntemin dayandığı temeller araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Çözüm için sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan plaxis programı kullanılmıştır. Plaxis sonlu elemanlar yöntemi ile zemin ve kaya problemleri için kullanılan bir yazılım olduğundan güvenilir çözümlene yapılmıştır.
- Çözüm esnasında iki farklı zemin modeli analiz edilmiştir.
 - İlk modelde mevcut durum irdelenmiş, oluşan kaymanın yeri ve hareket yönü belirlenmeye çalışılmıştır. Bu model çözümünde arazideki duruma paralel olarak göçme meydana gelmiş ve güvenlik faktörü hesabı yapılamamıştır. Zira sistemin göçmesi şev stabilitesi açısından güvenlik faktörünün 1'den küçük olduğu anlamını da taşımaktadır.
 - İkinci modelde ise çözüm için önerilen sistem analiz edilmiş ve uygulanması planlanan imalatların sistem üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Bu modelde, imalat olarak gözüken tüm yapısal elemanlar ve yüklemeler arazideki sırasına göre adım adım modele girilmiştir. Daha hassas sonuçlar elde etmek amacıyla, modelde kritik bölgelerdeki sonlu elemanlar ağı mümkün mertebe sıklaştırılmıştır. İkinci modelde, sistem kısa süreli analizlerde olumlu sonuç verdiği için uzun süreli analizler de güvenlik faktörü hesabı yapılmıştır. Güvenlik faktörü hesabı, kayma mukavemeti parametreleri azaltma yöntemi ile yapılmıştır. İkinci model için yapılan güvenlik faktörü hesabında, çözüm için düşünülen sistemin güvenlik faktörü, $G_s=1,70$ mertebelerinde bulunmuştur.
- Uygulanan sistem kayma kuvvetlerini belli bir güvenlik ile taşıyabilecek rijit kütlelere aktarma temeline dayandırılmıştır. Rijit kütleler, yerinde inceleme,

sondaja dayalı zemin etüd raporu ve üç boyutlu zemin modelinden yararlanılarak belirlenmiştir. Rijit kütleler, Ø100 cm dış çaplı yerinde dökme betonarme fore kazık grubu ile bunları bağlayan rijit betonarme başlık kirişinden oluşturulmuştur.

- Kayma ile oluşan yükleri aktarabilmek amacıyla kazık grubu ve başlık kirişlerinden yararlanılmıştır. Kazık grupları, iki sıra halinde Ø100 cm dış çaplı yerinde dökme betonarme fore kazıkların 120 cm ara ile çakılmasıyla oluşturulmuştur. Bu iki kazık sırasını rijit kütlelere bağlamak ve kazık yüklerini aktarabilmek amacıyla başlık kirişlerinden yararlanılarak şevdeki yer değiştirmeler azaltılmıştır.
- Kazık başlıkları, kazıklarda sistem hareketlerinden oluşacak yükleri rijit kütlelere aktarma görevi yapacağından çekme elemanı olarak çalıştırılarak zemin güvenliği artırılmıştır.
- Kazıkların iksa olarak çalışmamasına dikkat edilmiştir. Bu amaçla da kazık önlerinde kayan malzemedan dolayı oluşacak boşalmanın önüne geçmek için ocak artığı istifi yapılarak pasif direnç artırılmıştır.
- Arazide zemin suyu ve yağmur suyunun olumsuz etkilerini ortadan kaldırabilecek uygun drenaj tedbirleri alınmış, ayrıca yüzeyde yağmur sularından dolayı oluşacak ekstra su etkilerini de sisteme dahil etmemek amacıyla zemin yüzeyinde de yalıtım uygulanarak şev içine su girişi azaltılmıştır.
- Heyelanın oluştuğu bölge yeşil alan olduğundan ve üzerinde yerleşim yerleri bulunmadığından dolayı can ve mal kaybı olmamıştır.
- İnşa sonrası yerinde yapılan incelemeler ile uygulanan sistemin bölgede oluşan heyelanı tamamen durdurduğu ve amaçlanan sistemin doğru çalıştığı gözlemlenmiştir.
- Projenin tamamlanmasından sonra şev alanı için plaxis programı ile yapılan analizde güvenlik faktörü 1,7 olarak belirlenmiştir.

6. ÖNERİLER

İnsan eliyle meydana getirilen yarma veya dolgu şevlerinde düzlemsel veya dairesel kaymalar oluştuğu gibi doğal şevlerde de akma veya blok halinde kayma şeklinde stabilite bozulmaları olabilmektedir. Heyelan olarak adlandırılan bu doğa olayları karşılaştırıldığında stabilitenin sağlanması bakımından birtakım tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu tedbirler aşağıdaki gibi sayılabilir:

- Uygun zemin etüdü ile heyelanlı bölgenin tespiti
- Sistem hareketinin tipinin belirlenmesi
- Doğru çözüm yönteminin belirlenmesi
 - Kazı yapılması
 - Baş kısmın kazılarak kaymaya çalışan kuvvetlerin azaltılması;
 - Şevin yatıklaştırılması
 - Şevde palyeler yapılması
 - Stabil olmayan tüm zeminin kazılıp atılması
 - Drenaj tedbirleri;
 - Yüzeysel drenaj tedbirleri
 - Yüzey altı drenaj tedbirleri
 - İstinat yapıları;
 - Şev stabilizasyon teknikleri
 - Dayanma yapıları (Tunç, 2002)
- Heyelan bölgesinin derin köklü ağaçlarla ekili olan bir park alanı olarak bırakılması gerekir.
- Heyelan alanlarının önceden tespit edilip, heyelan bölgelerinin yerleşime açılmaması can ve mal güvenliği açısından önemlidir.
- Zemin kaymasının görüldüğü bölgelerde mühendis denetiminde kontrollü kazı ve imalat yapılmalıdır. Kazılacak malzemenin heterojen yapıda olması durumunda yan yapılara ve yollara tehlike arz etmemesi ve stabilitenin sağlanması için iksa (fore kazık vb) sistemleri uygulanmalıdır. İksa projeleri uzman inşaat mühendisi tarafından hazırlanmalıdır.

- İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında 12,00 m de yeraltı suyuna rastlanmıştır. Zeminde bulunan su boşluk suyu basıncını artırıp, içsel sürtünme açısını düşüreceğinden dolayı sakıncalı bir duruma sebebiyet verir. Bu nedenle gerek yeraltında bulunan ve gerekse yüzeyden zemin içerisine süzülen su temel betonları ile beton perdelerini etkilememesi için heyelan alanında yapılan inşaat çevresinde alınan drenaj önlemlerinde oluşabilecek arızaların muayene bacalarından sürekli kontrol altında tutulması gerekir.

7. KAYNAKLAR

- Afacan, K. B., 2007. Perde Kazıklarının Düşey Taşıma Gücünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alim, C., 2006. Arazi Zemin Dinamik Davranışının Bir ve İki Boyutlu Analizlerle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Berilgen, M., 2006. Plaxis Kurs Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geoteknik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Erdem, N. P., 1976. Mühendislik Jeolojisi, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Erguvanlı, K., 1995. Mühendislik Jeolojisi, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Gökçe, O., Demir, A. ve Özden, Ş., Türkiye'nin Heyelanlı Yerleşim Birimlerinin Dağılımı ve CBS Ortamında Sorgulama, 1. Heyelan Sempozyumu, Kasım 2006, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 24-40.
- Griffiths, D. V. ve Lane, P. A., 1999. Slope Stability Analysis by Finite Elements, Geotechnique, 49, 3, 387-403.
- Güzey Mühendislik Tic. Ltd. Şti. 2008. Sondaja Dayalı Zemin Etüd Raporu.
- Gökçeoğlu, C., Duman, T. Y., Sönmez, H. ve Nefeslioğlu, H. A., 17 Mart 2005 Kuzulu (Koyulhisar, Sivas) Heyelanı Mühendislik Jeolojisi Bülteni Sayı: 20. <http://www.muhejo.org.tr/MJB/S20/06052.pdf> 11 Nisan 2009
- Özdemir, S., 2006. Adana – Mersin Otoban Güzergahında Oluşan Heyelanlar ve Islah Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Öztürk, K., 2002. Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Ankara, 22, 2, 35-50.
- Pehlivan, M., 2008. Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün (Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sevim, S., Heyelan ve Su Baskını Afetlerine Genel Bir Bakış ve 7269 Sayılı Yasa Kapsamında Tanımlı Zarar Azaltıcı Çalışmalar, Kasım 2008. <http://www.bayindirlik.gov.tr/turkce/dosya/yeniweb/SabriSevim.ppt>, 15 Nisan 2009

- Tarhan, F., 1989. Mühendislik jeolojisi Prensipleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon.
- Tunç, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Tunç, A., 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Turan, E., 2006. Statik ve Dinamik Düşey Yükler Altındaki Kazıklı Temellerin Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:38, Ankara.
- Uzuner, B. A., 2000. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Yeşiloğlu, N., 2006. Eğirdir (Isparta) Yerleşim Merkezi İçin Heyelan Olası Tehlike Değerlendirmesi ve Haritalanması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zienkiewicz, O. C., Humpheson, C. ve Lewis, R. W., 1975. Associated and Non-Associated Visco-Plasticity and Plasticity in Soil Mechanics, Geotechnique, 25, 4, 671-689.

8. EKLER

SONDAJ DERİNLİĞİ		:35,00 metre		HX.....m		HX.....m		SONDAJ NO		1			
SONDAJ YERİ		:393371 : 4540039 ; KOT 69,10		DİŞ ÇAP		İÇ ÇAP		SONDAJ METODU		SULU			
YERALTI SU SEVİYESİ		:12,00 metre		73 mm		65,0mm		ROTARY		SAYFA NO			
BAŞLAMA-BİTİRME TARİHİ		:02.08.2008 - 04.08.2008		88,9mm		80,9mm		MUHAFAZA BORUSU DERİNLİĞİ		: 6,0			
SONDAJ MÜHENDİSİ		Arzu KAYA Jeoloji Mühendisi		114,3mm		104,7mm		FORMASYON ÖZELLİKLERİ		STANDART PENETRASYON GRAFİĞİ (50x30 cm' lik giriş için darbe sayısı)			
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	KAROT YÜZDESİ (%)	ROD %	AYRIRGMA DERESESİ	PATLAK SIKLIĞI (m)	NUMUNE TÜRÜ	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	ZEMİN TANIMI (Renk, kıvam, sıklık, doku, nemlilik, yeraltı suyu durumu v.s.)	ZEMİN PROFİLİ	SPT DENEYİ DARBE SAYISI	STANDART PENETRASYON GRAFİĞİ	SAHA KAYITLARI	
1.00													
2.00													
3.00													
4.00					SPT	1	3-3,45	DOLGU;kahverenkli, çakıllı gevşek kil dolgu.		3	3	7	10
5.00					SPT	2	4,5-4,95	KİL;kahve-yeşil renli,gevşek-orta katı kıvamli,karbonatlı,kireçtaşı parçacıklı kil.		3	3	4	7
6.00					SPT	3	6-6,45	KİL;çakık kahve-yeşil renli,gevşek-katı kıvamli,karbonatlı,siltli kil.		3	4	6	10
7.00					UD	1	7,4-8,8						
8.00					UD	2	8,4-8,8						
9.00					UD	2	8,4-8,8	KİL;çakık kahve-mavi renli,ortadan yüksek plastisiteli organik,orta çok katı kıvamli,kumlu,karbonatlı,siltli kil.		5	8	10	18
10.00					SPT	4	10,5-10,9						
11.00					UD	3	12-12,8						
12.00					UD	3	12-12,8					Y.A.S.S	
13.00					UD	4	13,8-14						
14.00					UD	4	13,8-14						
15.00					SPT	5	16-16,45			8	10	13	23
16.00					SPT	6	16,5-16,5			9	15	13	28
17.00					SPT	6	16,5-16,5						
18.00					UD	5	18-18,5						
19.00					SPT	7	19,5-19,5			11	16	16	32
20.00					UD	6	21-21,8						
21.00					UD	6	21-21,8						
22.00					SPT	8	22,5-22,5	KİL;yeşilimsi-mavi renli,sıkı-sert kıvamli,kumlu,siltli,marnli kil.		14	18	18	36
23.00					SPT	9	24-24,45			16	20	20	40
24.00					SPT	10	25,5-25,5			15	16	20	38
25.00					SPT	11	27-27,45			14	15	16	31
26.00					SPT	12	28,5-28,9			13	17	17	34
27.00					UD	7	30-30,5						
28.00					SPT	13	31,5-31,5	KUM;koyu sarı-bej renli,sıkı-sert kıvamli, kil benli kum.		13	15	20	35
29.00													
30.00													
31.00													
32.00													
33.00													
34.00													
35.00													

GÜZEY MÜHENDİSLİK
TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ

Ek Şekil 1. SK-1 sondaj logu

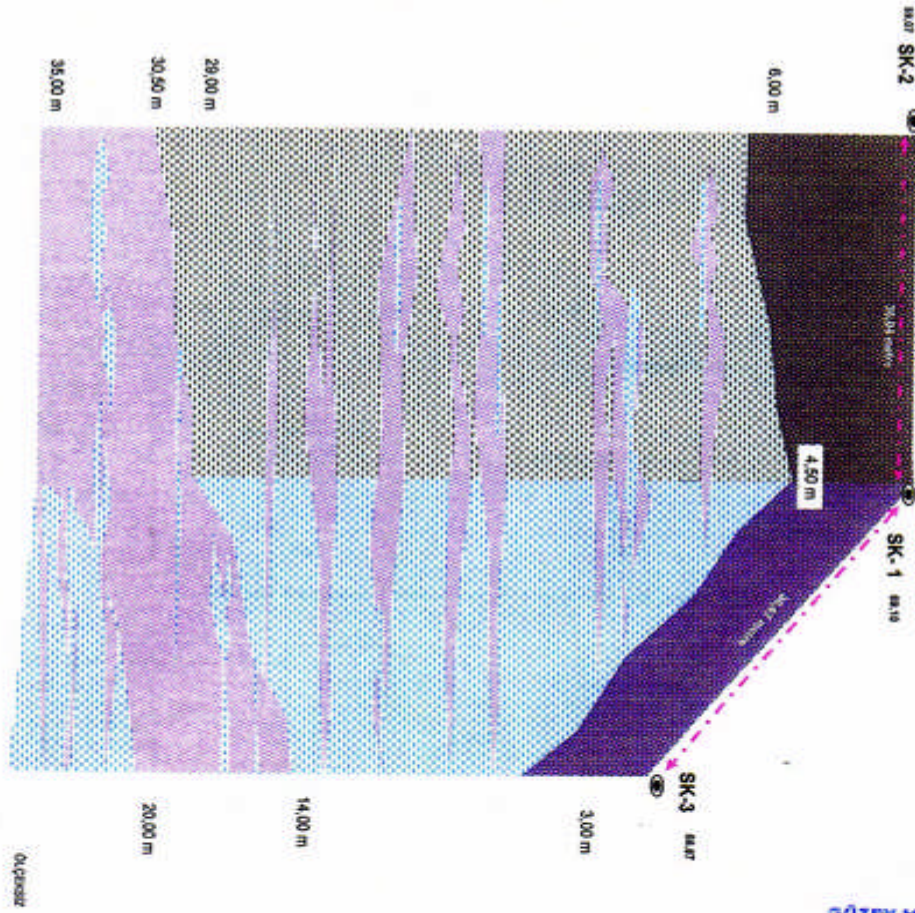
SONDAJ LOGU (BORING LOG)		SONDAJ METODU : SULLU ROTARY		SONDAJ NO : 2	
				BAYRA NO : 1	
				MUHAFAZA BORUSU DERİNLİĞİ : 9.0	
SONDAJ DERİNLİĞİ : 35.00 metre		İTK : m		HÖK : m	
SONDAJ YERİ : 265361 - 4540004 KOT: 50.07		DİŞ GAP : 73 mm		İÇ GAP : 62.0mm	
YERALTI SU SEVİYESİ		DİŞ GAP : 80.0mm		İÇ GAP : 65.0mm	
BAŞLAMA-BİTİRME TARİHİ : 04.08.2008 - 06.08.2008		DİŞ GAP : 114.0mm		İÇ GAP : 104.7mm	
SONDAJ MÜHENDİSİ : Arzu KAYA Jesep Mühendis		FORMASYON ÖZELLİKLERİ		SPT DENEYİ DARBE SAYISI	
		STANDART PENETRASYON GRAFİĞİ (Bar: 60 kN/16 grm/1sn darbe sayı)			
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	KAROT YÖZÜMLÜ (%)	AVRUPA DERECEĞİ	ZEMİN TANIMI (Renk, kıvam, sıklık, dokü, nemlik, yeraltı suyu durumu v.s.)	ZEMİN PROFİLİ	SPT DENEYİ DARBE SAYISI
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	AVRUPA DERECEĞİ (%)	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)	SONDAJ DERİNLİĞİ (m)
1.00			DOLGU		
2.00			kuşenirli, paklı geyrek kil dolgu.		
3.00					
4.00					
5.00					
6.00					
7.00		SPT 1			8 9 9 18
8.00		SPT 2	KİL,yeşil renkli orta sıklıkta çok kumlu kumlu, kumlu sineçli parçacıklı kil.		R
9.00		SPT 3			11 13 9 22
10.00					
11.00		SPT 4	KİL,yeşil renkli orta sıklıkta çok kumlu kumlu, kumlu sineçli parçacıklı kil.		10 6 10 16
12.00		UD 1			
13.00		UD 2			
14.00		SPT 5	KİL,renkli yeşil renkli, inorganik, kiler (düşük ile orta plastisite) çabuk, siltli, yağsız, orta-ort sıklıkta çok kumlu kumlu kil.		5 5 9 17
15.00		UD 3			25 R
16.00		SPT 6			
17.00		SPT 8	KUM, koyu sarı-yeşil renkli, kil renkli, kil bantlı kum.		11 10 22 38
18.00		SPT 9			13 16 20 36
19.00					
20.00		SPT 10			13 13 20 33
21.00					
22.00		SPT 11			14 15 15 30
23.00		SPT 12			17 15 23 42
24.00		UD 4	KİL,yeşil-sarı- renkli, inorganik, (düşük ile orta plastisite) çabuk, siltli, yağsız, orta-ort sıklıkta çok kumlu kumlu kil.		24 32 R
25.00		SPT 13			
26.00					
27.00		SPT 14			R
28.00					
29.00					
30.00					
31.00					
32.00					
33.00			KUM, koyu sarı-yeşil renkli, kil bantlı kum.		
34.00					
35.00					

GÖZEY MÜHENDİSLİK
İNŞAAT VE İNŞAAT ŞİRKETİ

Ek Şekil 2. SK-2 sondaj logu

GYM**GÜZEY MÜHENDİSLİK TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ**

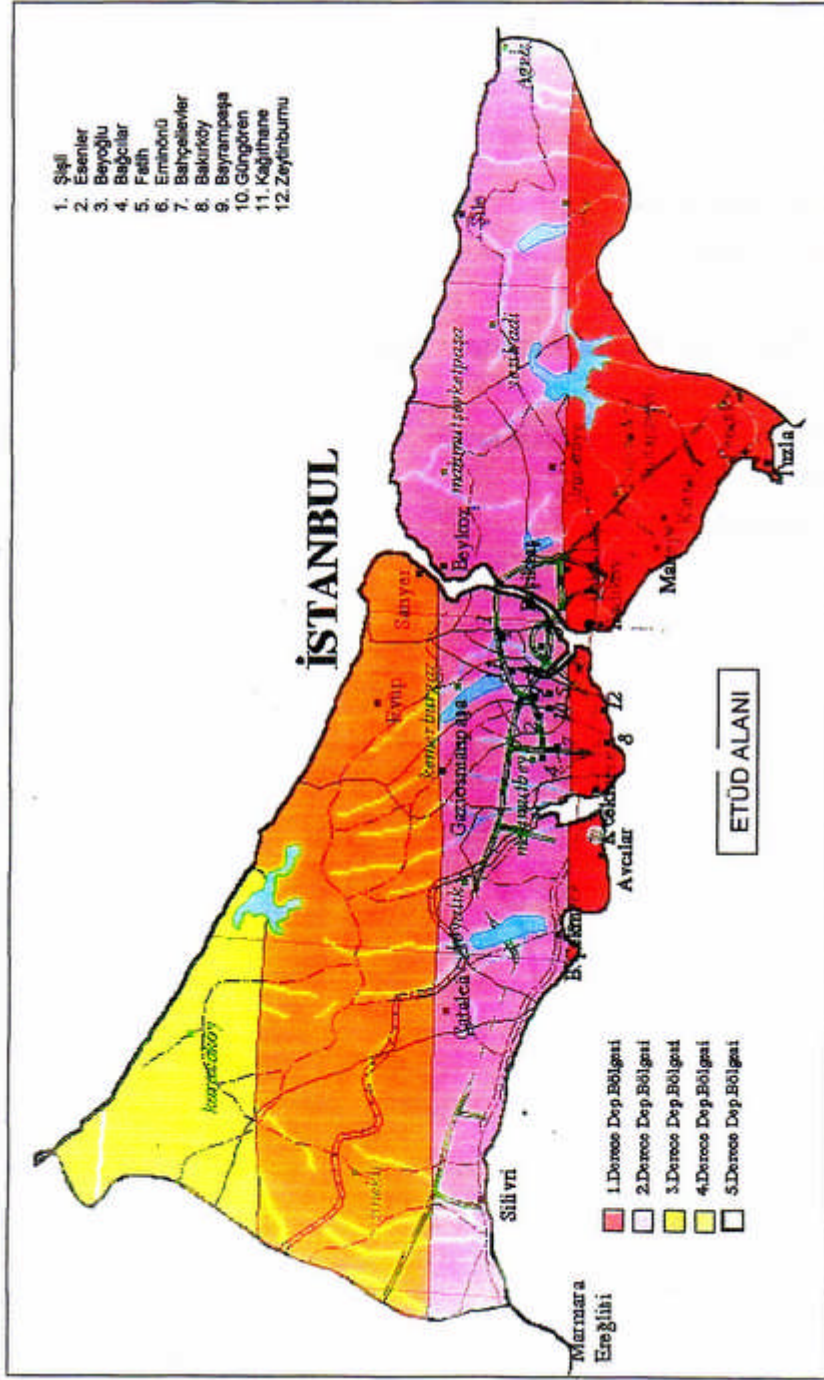
İstanbul İli, Avcılar İlçesi, İstanbul Üniversitesi, Avcılar Kampüsü, İETT Durakı, Triaj Alanı

**3 - D ZEMİN PROFİLİ****GÜZEY MÜHENDİSLİK
TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ**

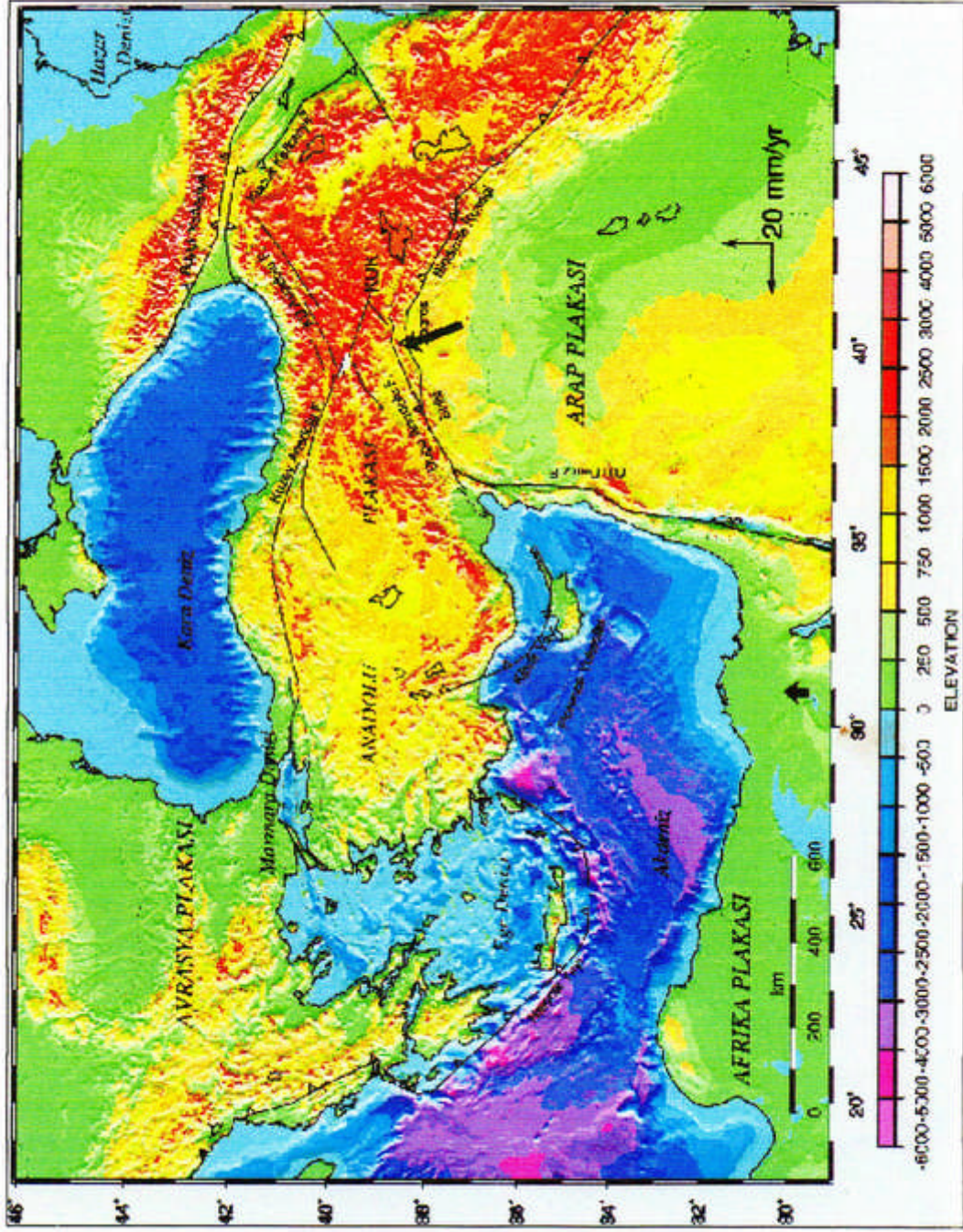
KIZILELMA CADDESİ NO: 37/1 Fındıklıca / İSTANBUL

Tel: (212) 632 25 76 Faks: (212) 633 62 13 GSM: (532) 331 23 26

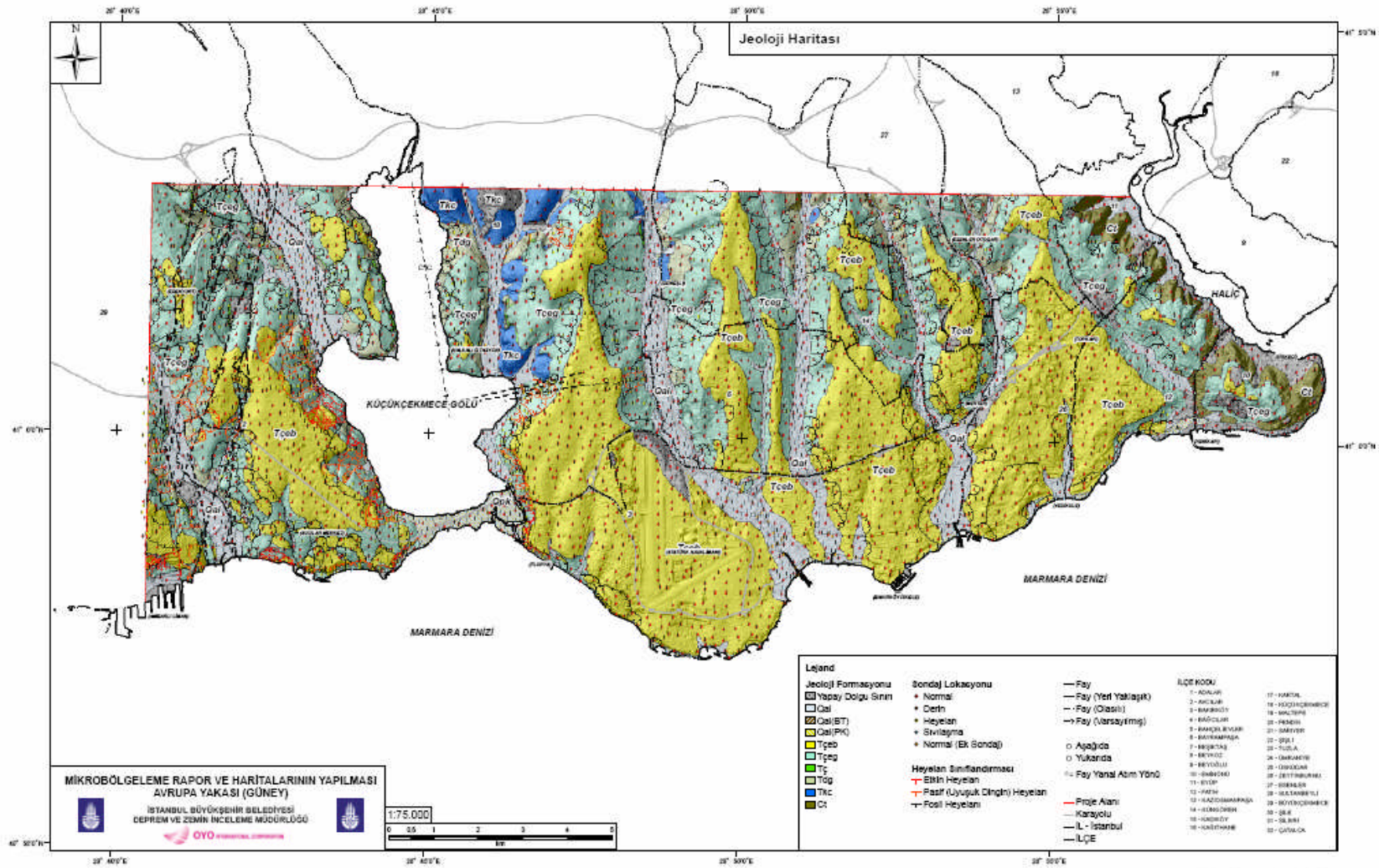
Ek Şekil 4. 3- D zemin profili



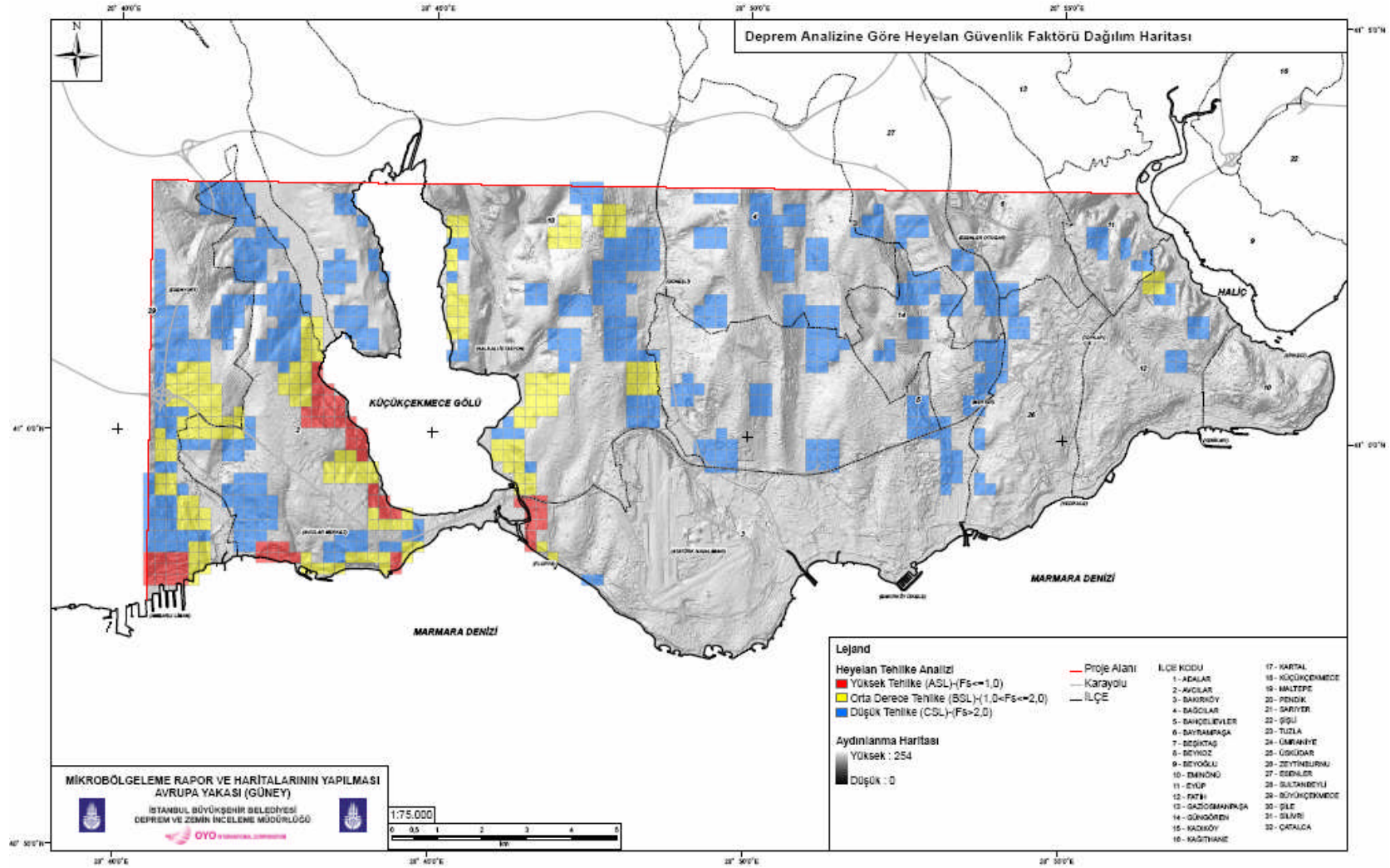
Ek Şekil 5. İstanbul deprem bölgeleri haritası



Ek Şekil 6. Türkiye tektonik haritası



Ek Şekil 7. Bölgenin jeoloji haritası



Ek Şekil 8. Deprem analizine göre heyelan güvenlik faktörü dağılım haritası



Ek Şekil 9. Heyelan bölgesinin triaj alanından görünümü



Ek Şekil 10. Heyelanın topuk kısmından görünüşü



Ek Şekil 11. Sabit kütle uygulaması



Ek Şekil 12. Başlık kirişi uygulaması



Ek Şekil 13. İmalatı bitmiş kazık grubu



Ek Şekil 14. Yüzey koruma betonu uygulaması



Ek Şekil 15. Uygulama tamamlandıktan sonra alanın görünüşü

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Mehmet Akif Ersoy ilköğretim okulunda, lise öğrenimini Trabzon lisesi'nde tamamladı. 2002 yılında kazanmış olduğu Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünden, 2004 yılında aynı üniversitenin İnşaat Mühendisliği Bölümüne geçiş yaparak 2006 yılında mezun oldu. 2006 yılı eylül ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimine başladı. GENÇ, çok iyi derecede İngilizce bilmektedir.