

756064

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HEYELANLAR VE RİZE YÖRESİNE AİT BİR UYGULAMA

İnş. Müh. Gökhan DEMİR

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.09.2004

Tezin Savunma Tarihi : 31.08.2004

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN

Mustafa Aytekin
Fikri Bulut
Zekai Angin

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Yusuf Ayvaz

Trabzon 2004

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı bana önererek yoğun iş temposuna rağmen tezimin her aşamasında ilgisini esirgemeyen, bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım yönetici hocam, değerli büyüğüm Sayın Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN'e teşekkür eder, saygılar sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan Geoteknik ve Ulaştırma Laboratuvarı Teknisyenleri Fikret BÜLBÜL ve Uzm. Ali SEMERCİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca üzerimde emeği olan, Geoteknik Anabilim Dalındaki hocalarım başta olmak üzere tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan, bana güven veren ve desteklerini her zaman hissettiren başta annem ve babam olmak üzere aileme ve çalışmalarım sırasında bana destek olan eşim Lütüfiye DEMİR'e, Arş. Gör. Egemen ARAS'a ve Arş. Gör. Ahmet Alper KAYA'a minnettar olduğumu belirtirim.

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir.

Gökhan DEMİR

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| ÖNSÖZ..... | II |
| İÇİNDEKİLER..... | III |
| ÖZET..... | VI |
| SUMMARY..... | VII |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | VIII |
| TABLolar DİZİNİ..... | X |
| SEMBOLLER DİZİNİ..... | XII |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Giriş..... | 1 |
| 1.2. Heyelanın Tanımı..... | 1 |
| 1.3. Heyelanın Nedenleri..... | 2 |
| 1.3.1. Yüksek Kesme Kuvveti Doğuran Etkenler..... | 3 |
| 1.3.2. Kayma Direncini Azaltan Etkenler..... | 5 |
| 1.4. Heyelan Tipleri ve Yamaç Hareketleri..... | 7 |
| 1.5. Heyelanın İncelenmesi..... | 16 |
| 1.5.1. Arazi Çalışmaları..... | 16 |
| 1.5.2. Laboratuvar İncelemeleri..... | 17 |
| 1.6. Kayma Mukavemeti Parametreleri..... | 18 |
| 1.7. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri..... | 21 |
| 1.7.1. Limit Gerilme Yaklaşımı..... | 21 |
| 1.7.2. Limit Denge Yaklaşımı..... | 22 |
| 1.8. Güvenlik Sayısı..... | 23 |
| 1.9. Heyelan Stabilizasyonu..... | 25 |
| 1.10. Kazı Metotları..... | 27 |
| 1.11. Drenaj..... | 28 |
| 1.11.1. Yüzey Drenajı..... | 29 |
| 1.11.2. Yer altı Drenajı..... | 30 |
| 1.12. Tutucu Yapılar..... | 33 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 1.12.1. | Dayanma Yapıları | 33 |
| 1.12.2. | İstinat Duvarlarının Boyutlandırılması | 35 |
| 1.12.3. | Palplanşlar | 37 |
| 1.12.3.1. | Ankastre Palplanşlar | 38 |
| 1.12.3.2. | Ankrajlı Palplanşlar..... | 39 |
| 1.12.4. | Projelendirmede Dikkat Edilecek Hususlar | 39 |
| 1.13. | Kazıklar | 40 |
| 1.13.1. | Ahşap Kazıklar | 41 |
| 1.13.2. | Beton Kazıklar | 42 |
| 1.13.3. | Çelik Kazıklar | 43 |
| 1.14. | Etekte Dolgu..... | 43 |
| 1.15. | Ankrajlar..... | 43 |
| 1.16. | Kayan Zeminlerin Stabilizasyonu..... | 45 |
| 1.16.3. | Yüzey Stabilizasyon Yöntemleri | 46 |
| 1.16.1.1. | Kompaksiyon..... | 46 |
| 1.16.1.2. | Çimento ile Stabilizasyon..... | 46 |
| 1.16.1.3. | Kireç ile Stabilizasyon | 47 |
| 1.16.1.4. | Bitüm ile Stabilizasyon | 47 |
| 1.16.2. | Derin Stabilizasyon Yöntemleri | 47 |
| 1.16.2.1. | Derin Kompaksiyon(Dinamik Konsolidasyon)..... | 47 |
| 1.16.2.2. | Derin Vibrasyon Yöntemi | 49 |
| 1.16.2.3. | Kompaksiyon Kazıkları..... | 50 |
| 1.16.2.4. | Patlama ile Sıkıştırma | 51 |
| 1.16.2.5. | Enjeksiyon | 51 |
| 1.16.2.6. | Elektro-Osmoz Yöntemi | 53 |
| 1.16.2.7. | Isıl İşlemler | 53 |
| 1.16.2.8. | Kireç Kazıkları..... | 54 |
| 1.16.2.9. | Donatılı Zemin..... | 54 |
| 2. | YAPILAN ÇALIŞMALAR..... | 56 |
| 2.1. | Rize-Pazar-Ocaklı Köyü ile İlgili Yapılan Çalışmalar | 56 |
| 2.1.1 | İnceleme Alanı Yeri ve Jeolojisi..... | 56 |
| 2.1.2. | İnceleme Alanı Ölçümleri | 57 |
| 2.2. | Yapılan Deneyler | 59 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 2.2.1 | Yoğunluk Deneyi | 60 |
| 2.2.2. | Plastisite Özelliklerinin Belirlenmesi..... | 60 |
| 2.2.2.1. | Likit Limitin Belirlenmesi..... | 61 |
| 2.2.2.2. | Plastik Limitin Belirlenmesi..... | 61 |
| 2.2.3. | Direk Kesme (Kesme Kutusu) Deneyi..... | 62 |
| 2.2.4. | Elek Analizi ve Hidrometre Analizi..... | 66 |
| 2.2.5. | Su İçeriği Deneyi | 69 |
| 2.3. | STABL5 Programı | 70 |
| 3. | BULGULAR VE İRDELEME | 74 |
| 3.1. | STABL5 ile Heyelan Analizi ve Sonuçları | 74 |
| 4. | SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 80 |
| 5. | KAYNAKLAR | 82 |
| 6. | EKLER | 85 |
| | ÖZGEÇMİŞ..... | 111 |

ÖZET

Heyelanlar veya şev kaymaları, yerkabuğunun yaşı kadar eskilere dayanmaktadır. Bu hareketlerin ülkemizde ve özellikle Doğu Karadeniz Bölümünde çok yaygın olarak meydana gelmesi ve bunun sunucunda can ve mal kayıplarının oluşması konunun etraflıca incelenerek çözümler üretilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Bu çalışmada, heyelanların önlenmesi için yapılması gerekenler ve Rize ili Pazar ilçesi Ocak köyünde yaklaşık 10.000 m² lik alanın stabilitesi incelenmiştir.

Bu amaçla, stabilite hesaplarını yapabilmek için arazinin jeodezik ölçümlerle 1/500 ölçekli haritası çıkartılmış ve kesitler hazırlanmıştır. Stabilite hesabı yapılacak olan bölgedeki zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla alınan numunelerin laboratuvar deneyleri ile içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyonu (c), doğal birim hacim ağırlığı ve dane dağılımı belirlenmiştir.

Bu özelliklerin tespitinden sonra yamaçların çıkarılan kesitler üzerinde, malzemenin mühendislik özelliklerini kullanarak Bishop ve Janbu yöntemlerine göre stabilite hesapları bilgisayar programı ile yapılmıştır. Elde edilen değerler, incelemesi yapılan alanın heyelan tehlikesi taşımadığını göstermektedir. Yapılaşma olması durumunda stabilite analizlerinin yeniden yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Heyelan, Yamaç Stabilitesi

SUMMARY

Landslides and Application of Rize Region

Landslides or slope failures date back as old as the age of the earth's crust. It is essential to investigate the problem of landslides in details and produce solutions for them since frequent occurrence of landslides in Turkey, especially in Eastern Black region and the loss of properties and lives.

In this study necessary measures to prevent landslides have been stated. Also the stability of an area nearly 10.000m² in Ocak (Pazar-Rize) has been investigated.

For this purpose, a map of the area with 1/500 scale and cross sections have been prepared through geodetic measurement to calculate the stability of slopes. Also for same purpose, engineering properties of soil have been determined by laboratory tests. These properties are internal friction angle (ϕ), cohesion (c), density (ρ_n) and grain size distribution.

After determining these properties, stability calculations of slopes have been made on cross sections according to Bishop and Janbu methods with a computer program namely STABL5.

Consequently, it is pointed out that the investigated area has no landslide risk. It is stated that if there will be any construction activity, stability analysis should be done again.

Key Words: Landslide, Slope Stability

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Şekil 1. Heyelanın kısımları ve adları | 2 |
| Şekil 2. Skempton'a göre sınıflandırma şev geometrisi..... | 8 |
| Şekil 3. Değişik düşme tipleri..... | 9 |
| Şekil 4. Kayma türlerinin kesitleri | 10 |
| Şekil 5. Devrilme türleri..... | 11 |
| Şekil 6. Kil şevlerinin temel hareket tipleri..... | 14 |
| Şekil 7. Kil şevlerde çoklu ve karmaşık heyelan tipleri..... | 14 |
| Şekil 8. Mohr-Coulomb kırılma zarfı (a) ve kırılma yasası (b)..... | 19 |
| Şekil 9. Kazı metotları..... | 27 |
| Şekil 10. Kafa (çevre) hendeği | 29 |
| Şekil 11. Dren hendeği kesiti..... | 30 |
| Şekil 12. Yatay dren görünüşü..... | 31 |
| Şekil 13. Düşey kum ve yatay drenlerin birlikte kullanımı..... | 32 |
| Şekil 14. Washington sifonu..... | 32 |
| Şekil 15. İstinat duvarı..... | 33 |
| Şekil 16. Ağırlık tipi dayanma duvarları..... | 33 |
| Şekil 17. Yarı ağırlık tipi dayanma duvarı | 34 |
| Şekil 18. Konsol istinat duvarları ve ana donatılarının yerleştirilmesi | 34 |
| Şekil 19. Payandalı istinat duvarı..... | 35 |
| Şekil 20. Kafes istinat duvarları..... | 35 |
| Şekil 21. Ağırlık istinat duvarlarının ön boyutlandırılması..... | 36 |
| Şekil 22. Konsol istinat duvarlarının ön boyutlandırılması..... | 36 |
| Şekil 23. Payandalı istinat duvarlarının ön boyutlandırılması..... | 37 |
| Şekil 24. H-U kesit palplanşlar | 38 |
| Şekil 25. Ankastre perde duvar (palplanş) | 38 |
| Şekil 26. Ankrajlı palplanşlar | 39 |

| | |
|---|----|
| Şekil 27. Heyelan önlenmesinde kazıklar | 41 |
| Şekil 28. Ahşap kazıklar..... | 41 |
| Şekil 29. Betonarme hazır kazıklar | 42 |
| Şekil 30. Ankrajlı kaplama | 44 |
| Şekil 31. Ankrajların heyelanlarda kullanımı..... | 44 |
| Şekil 32. Derin kompaksiyon yöntemi..... | 48 |
| Şekil 33. Vibro-flatasyon yöntemi..... | 49 |
| Şekil 34. Kompaksiyon kazıkları..... | 50 |
| Şekil 35. Başlıca iki enjeksiyon yöntemi | 52 |
| Şekil 36. Elektro-osmoz yöntemi..... | 53 |
| Şekil 37. Geotekstil uygulamaları..... | 55 |
| Şekil 38. İnceleme alanının bulunduğu yerin haritası..... | 56 |
| Şekil 39. İnceleme alanı jeoloji haritası | 57 |
| Şekil 40. İnceleme alanı | 58 |
| Şekil 41. İki zemin danesi arasındaki kayma sürtünmesi hali..... | 62 |
| Şekil 42. X zemini kırılma zarfı..... | 63 |
| Şekil 43. Y zemini kırılma zarfı..... | 64 |
| Şekil 44. Z zemini kırılma zarfı | 65 |
| Şekil 45. X zemini granülometri eğrisi | 68 |
| Şekil 46. Y, Z zeminleri granülometri eğrisi..... | 69 |
| Şekil 47. Problem geometrisi..... | 70 |
| Şekil 48. I-I Kesiti kartezyen koordinat sisteminde gösterimi | 75 |
| Ek Şekil 1. 3-23 Boykesit..... | 89 |
| Ek Şekil 2. 1-21 Boykesit..... | 90 |
| Ek Şekil 3. A-A Boykesit | 91 |
| Ek Şekil 4. B-B Boykesit | 91 |
| Ek Şekil 5. C-C Boykesit | 92 |
| Ek Şekil 6. D-D Boykesit..... | 92 |
| Ek Şekil 7. I-I Boykesit | 93 |
| Ek Şekil 8. II-II Boykesit | 93 |

TABLolar DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Tablo 1. Yamaç dengesine etkenler | 7 |
| Tablo 2. Farklı hareket tiplerine göre D_1/L_1 | 8 |
| Tablo 3. Doğal yamaç kaymaları | 13 |
| Tablo 4. Geoteknik sınıflandırma | 13 |
| Tablo 5. Varnes'in heyelan sınıflandırma sistemi | 15 |
| Tablo 6. Analiz metotları..... | 23 |
| Tablo 7. Yamaç ve şevlerde güvenlik sayıları..... | 24 |
| Tablo 8. Heyelan önleyici ve düzeltici(ıslah edici)metotları özeti | 26 |
| Tablo 9. Palplanşlarda gömme derinliği için başlangıç değerleri..... | 39 |
| Tablo 10. Çalışma alanı ölçümleri | 59 |
| Tablo 11. Yoğunluk değerleri..... | 60 |
| Tablo 12. X zemini Likit Limit deney sonuçları | 61 |
| Tablo 13. X zemini Plastik Limit deney sonuçları | 62 |
| Tablo 14. X zemini plastisite özellikleri | 62 |
| Tablo 15. X zemini kırılma zarfı çiziminde kullanılacak değerler | 63 |
| Tablo 16. X zemini kayma direnci parametreleri | 64 |
| Tablo 17. Y zemini kırılma zarfı çiziminde kullanılacak değerler | 64 |
| Tablo 18. Y zemini kayma direnci parametreleri | 65 |
| Tablo 19. Z zemini kırılma zarfı çiziminde kullanılacak değerler..... | 65 |
| Tablo 20. Z zemini kayma direnci parametreleri..... | 65 |
| Tablo 21. X zemini elek analizi sonuçları..... | 66 |
| Tablo 22. X zemini hidrometre analizi sonuçları..... | 67 |
| Tablo 23. X zemini granülometri eğrisi çiziminde kullanılacak değerler | 67 |
| Tablo 24. Y, Z zeminleri elek analizi sonuçları..... | 68 |
| Tablo 25. Y, Z zeminleri granülometri eğrisi çiziminde kullanılacak değerler..... | 68 |
| Tablo 26. X,Y ve Z zeminlerine ait su muhtevası deney sonuçları | 69 |
| Tablo 27. STABL5 ile güvenlik sayısı hesabı için kesitlerin veri girişleri | 76 |
| Tablo 28. Kesitler ve minimum güvenlik sayıları | 79 |
| Tablo 29. Doğal yoğunluk, su içeriği, kayma direnci parametreleri..... | 80 |

| | |
|--|----|
| Ek Tablo 1. X zemini yoğunluk deney sonuçları..... | 85 |
| Ek Tablo 2. Y zemini yoğunluk deney sonuçları..... | 85 |
| Ek Tablo 3. Z zemini yoğunluk deney sonuçları..... | 85 |
| Ek Tablo 4. X zemini kesme kutusu deney sonuçları, düşey yük 18 kg..... | 86 |
| Ek Tablo 5. X zemini kesme kutusu deney sonuçları, düşey yük 36 kg..... | 86 |
| Ek Tablo 6. X zemini kesme kutusu deney sonuçları, düşey yük 72 kg..... | 86 |
| Ek Tablo 7. Y zemini kesme kutusu deney sonuçları, düşey yük 18 kg..... | 87 |
| Ek Tablo 8. Y zemini kesme kutusu deney sonuçları, düşey yük 36 kg..... | 87 |
| Ek Tablo 9. Y zemini kesme kutusu deney sonuçları, düşey yük 72 kg..... | 87 |
| Ek Tablo 10. Z zemini kesme kutusu deney sonuçları, düşey yük 18 kg..... | 87 |
| Ek Tablo 11. Z zemini kesme kutusu deney sonuçları, düşey yük 36 kg..... | 88 |
| Ek Tablo 12. Z zemini kesme kutusu deney sonuçları, düşey yük 72 kg..... | 88 |



SEMBOLLER DİZİNİ

| | |
|-------------------------|--|
| a | : Zeminin özgül ağırlığı |
| A_c | : Zemin numunesi kayma alanı |
| b | : U kesit palplanş genişliği |
| B | : İstinat duvarı taban genişliği |
| B_n | : Kesme kutusu kenar uzunluğu |
| c | : Zeminin kohezyonu |
| C_p | : Patlayıcı madde miktarı |
| d | : U kesit palplanş kalınlığı |
| D | : Dane çapı |
| D_{10} | : Zeminin %10'unun geçtiği çap |
| $D_{15 \text{ filtre}}$ | : Filtre malzemesinin %15'inin geçtiği çap |
| $D_{15 \text{ zemin}}$ | : Zeminin %15'inin geçtiği çap |
| D_{20} | : Zeminin %20'sinin geçtiği çap |
| D_{50} | : Zeminin %50'sinin geçtiği çap |
| $D_{85 \text{ zemin}}$ | : Zeminin %85'inin geçtiği çap |
| D_e | : Elek çapı |
| D_g | : Palplanş gömme derinliği |
| D_i | : İstinat duvarı taban kalınlığı |
| D_k | : Kaymanın maksimum derinliği |
| D_s | : Sıkışan zemin kalınlığı |
| f | : U kesit palplanş taban genişliği |
| $G.S.$ | : Güvenlik sayısı |
| G_s | : Zeminin özgül kütlesi |
| G_w | : Suyun özgül kütlesi |
| H | : İstinat duvarı yüksekliği |
| h_c | : Efektif kompaksiyon derinliği |
| h_i | : Palplanş yüksekliği |
| h_p | : Patlayıcı derinliği |
| h_t | : Tokmağın düşme yüksekliği |
| k_3 | : Katsayı |

| | |
|-----------------|--|
| L | : Efektif derinlik |
| L ₁ | : Ön konsol uzunluğu |
| L ₂ | : Arka konsol uzunluğu |
| L _h | : Kafa hendeği taban genişliği |
| L _k | : Kayan kütlenin yamaç uzunluğu |
| LL | : Zeminin likit limiti |
| L _n | : Kesme kutusu kenar uzunluğu |
| M | : Zeminin kütlesi |
| M _t | : Tokmak kütlesi |
| M _d | : Deney kabının darası |
| M _k | : Kurutulmuş zemin kütlesi |
| M _{T1} | : Kap ve yaş numune kütlesi |
| M _{T2} | : Kap ve kuru numune kütlesi |
| M _z | : Zemin örneği kütlesi |
| M _w | : Suyun kütlesi |
| M _s | : Danelerin kütlesi |
| N | : Normal kuvvet |
| N _d | : Deney sıcaklığındaki suyun vizkozitesi |
| N _p | : Dolgu malzemesi uygunluk sayısı |
| P | : Kayma kuvveti |
| %P | : Ağırlıkça yüzde geçen |
| %P' | : Hidrometre için ağırlıkça yüzde geçen |
| PL | : Zeminin plastik limiti |
| PI | : Zeminin plastisite indisi |
| R | : Hidrometre okuması |
| R _c | : Sıkıştırma genişliği |
| R _i | : Bileşke kuvvet |
| t | : U kesit palplanş kalınlığı |
| t _r | : H kesit palplanş başlık kalınlığı |
| t _h | : Bekleme süresi |
| t _w | : H kesit palplanş iç cidar kalınlığı |
| u | : Boşluk suyu basıncı |
| V | : Toplam hacim |

| | |
|-----------|--|
| V_1 | : Ölçekli silindirik kabta birinci okuma |
| V_2 | : Ölçekli silindirik kabta ikinci okuma |
| w | : Zeminin su muhtevası |
| ρ_n | : Zeminin yoğunluğu |
| ρ_p | : Parafinin yoğunluğu |
| δ | : Yatay deplasman |
| ϕ | : Kayma direnci açısı |
| τ | : Kayma mukavemeti |
| τ_f | : Mohr-Coulomb kayma mukavemeti |
| σ | : Toplam düşey gerilme |
| σ' | : Efektif gerilme |



1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Heyelan problemi toplum yaşamında deprem, sel baskını, çığ gibi doğal afetlere benzer ciddi sorunlara, can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Mühendisliğin gelişmesiyle doğal olanları yanında yapay yamaçlardaki stabilite kayıpları da önem kazanmıştır. Nüfus artışı ve ihtiyaçların artmasına paralel olarak uzun süre dengede kalan doğal yamaçlar, insanların kazı, drenaj koşullarını değiştirme, bitki örtüsünü kaldırma gibi müdahaleleriyle dengesini yitirebilmektedirler. Karşılaşılan bu problem karşısında çalışmalar; heyelanların ve şevlerin stabilitesinin incelenmesi, stabiliteyi arttırıcı önlemlerin alınması, ekonomik ve güvenli projelendirilme alanlarında yoğunlaşmıştır. Çalışmalar bir taraftan stabilite analiz metotları üzerine yapılırken diğer taraftan da laboratuvar ve mevcut metotların geliştirilmesi yönünde olmuştur. Bugün, heyelanlar araştırmacılar için hala zorlu problemler oluşturmaktadır. Geotekniğin her konusunda olduğu gibi burada da Terzaghi'nin çalışmaları kayma mekaniğinin anlaşılmasında büyük rol oynamıştır.

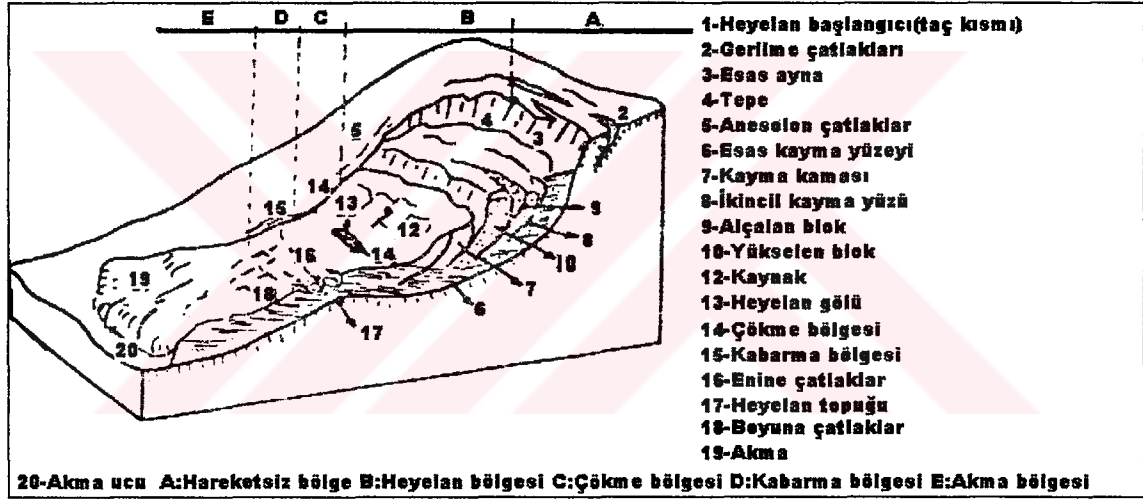
Bu çalışmada Rize ili Pazar ilçesi Ocak köyünde yaklaşık 10.000 m² araziye ait jeolojik ve mühendislik özellikleri belirlenerek stabilite analizleri bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır.

1.2. Heyelanın Tanımı

Zemin mekaniği literatüründe heyelan ile şev kaymaları çok farklı anlamlarda kullanılmaktadır. Skempton ve Hutchinson [1], zemin ve kaya kütlelerinde bir veya birkaç yüzey boyunca kayma direncinin azalmasından doğan tüm şev ve yamaç hareketlerini heyelan olarak nitelendirmiştir. Varnes [2] ise, heyelanlarla şev ve yamaç hareketlerini aynı anlamda kullanarak, bunları kaymalar olarak nitelendirmiştir. Bazı Japon araştırmacılar da; dik şevlerdeki hızlı hareketleri şev kaymaları, yatık şevlerdeki yavaş hareketleri de heyelan olarak tanımlamıştır[3]. Heyelanlar, yamacın ilk geometrisinin belirli bir zaman içerisinde gözle görülür bir şekilde değişmesine, üzerinde yada önünde bulunan mühendislik yapılarının güvenliğinin kaybolmasına neden olan kütle hareketleri olarak tanımlanmıştır [5]. Toprak, taş veya bunların karışımından oluşan bir

zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde, aşağıya ve dışarıya doğru hissedilebilir bir şekilde hareketi heyelan olarak tanımlanmıştır [4]. Heyelan; belli bir sevi olan taneli malzemelerin (doğal kaya, her çeşit zeminler, yapma dolgular, ya da bunların karışımlarının) aşağı ve dışa doğru hareketi olarak ta tanımlanmıştır [6].

Türkçe’de doğal eğime sahip arazilerin eğik yüzeylerine “yamaç”, insanlar tarafından yapılmış kazı veya dolguların eğik yüzeylerine ise “şev” adı verilmektedir. Ancak yamaç veya şevlerin stabilite analizinde herhangi bir farklılık bulunmamaktadır. Stabilite denildiğinde yamaç ya da şevlerin mevcut koşullarda durumlarını korumaları anlaşılmaktadır. Yamaç veya şevlerin dengesini kaybederek kayması olayına “heyelan” veya “toprak kayması” adı verilmektedir. Şekil 1’de heyelanların kısımları ve adları görülmektedir.



Şekil 1. Heyelanın kısımları ve adları [8].

1.3. Heyelanın Nedenleri

Heyelanın bir tek nedene bağlanması hemen hemen mümkün değildir, olsa da pek seyrekdir. Esas olarak heyelan gelişimi, nedenden sonuca kadar sürekli olaylar dizisidir. Bir heyelan sorunu ile karşılaşan mühendisin ilgileneceği husus, heyelanın zararlı etkilerini gidermektir. Birçok durumda, heyelanın ana nedeni önlenemez; ana nedeni önlemek yerine, aralıklı olarak ya da sürekli bir biçimde etkileri azaltmak daha ekonomik olabilir. Bazı heyelanlar bir tek bölgeye has kalır, birkaç saniye içerisinde oluşur ve tamamlanır. Bununla birlikte bazı heyelanlar ise daha geniş alanlara has jeolojik, topoğrafik ve iklim faktörlerinin etkisi altında yer alır. Bir heyelanın gelişmesine yol açan oluşumun kökü,

kayanın teşekkülüne, yani ana fiziksel özelliklerinin belirlediği jeolojik devirlere kadar dayanır. Heyelan kütlelerinin hareketleri, erozyon, hava şartları etkisiyle aşınmalar gibi bütün sonraki olayları da kapsamaktadır. Böylece, kütlelerin bir kısmını, herhangi bir etken, belki de en önemsizi hareket ettirmeye yeter. Bu etken olaylar zincirinin bir halkası olmakla birlikte, bu etkene heyelanın bir ve tek nedeni gözü ile bakılamaz. Sowers [7], çoğunlukla birçok nedenin aynı zamanda mevcut olduğunu ve en sonunda hangi nedenin denge bozulmasını meydana getirdiğinin karar verilmesinin güç ve yanlış olduğunu, çok kez son etkenin, dengesi esasen bozulma sınırına gelmiş olan toprak kütlelerini harekete geçirmek için bir tetikleyici olduğunu ve sadece son etkeni neden olarak kabul etmenin yanlış olacağını savunmuştur.

Düşmeler hariç bütün heyelanlarda, toprak zeminlerin kesme kuvveti etkisi altında dengelerinin bozulması söz konusudur. O halde bir heyelanın oluşumunun incelenmesini,

- Yüksek kesme gerilmesini meydana getiren etkenlerle
- Minimum kayma direnci ile ilgili etkenleri

dikkate alarak başlamak mümkündür [6]. Toprak malzemenin stabilitesinin bozulması ile ilgili belli başlı etkenler aşağıda sıralanmıştır.

1.3.1.Yüksek Kesme Kuvveti Doğuran Etkenler

A. Yanal dayanağın kaldırılması:

Denge bozulmasına götüren etkenlerden en yaygınıdır ve aşağıdaki olayların etkilerini kapsar:

1. Erozyon:

- a. Doğal şevlerin meydana gelmesine akarsu ve nehirlerin etkileri.
- b. Buzların etkileri.
- c. Dalga ve kıyıboyu akıntısı ya da med ve cezir etkileri.

2. Daha önceki kaya düşmesi, çökme ya da geniş çapta faylaşma sebebiyle yeni şev meydana gelmesi.

3. İnsanların sebep olduğu etkenler:

- a. Yarmalar, malzeme ocakları, ariyet çukurları ve kanallar.
- b. İstinat duvarlarının, palplanşların kaldırılması, v.b.
- c. Göllerin drene edilmesi, rezervuarların su düzeylerinin düşürülmesi

B. Sürşarj:

1. Doğal etkiler:

- a. Yağmur, dolu, kar ve kaynak sularının ağırlığı.
- b. Heyelan malzemesinin üzerine şev döküntülerinin gelmesi.

2. İnsanların sebep olduğu etkenler:

- a. Dolgu yapılması.
- b. Maden cevheri veya kaya depo edilmesi.
- c. Döküntü yığıntıları.
- d. Bina ve diğer yapıların ağırlıkları.
- e. Kanalizasyonlardan, kanallardan, rezervuarlardan, v. b. sızan suyun ağırlığı.

C. Geçici zemin gerilmeleri:

“Yer sarsıntıları” ufak ve büyük ya da felaketli heyelanların başlatıcısı olmuştur. Kayma direncinin artmasına ve bazı örneklerde olduğu gibi, azalmasına sebep olduğundan etkileri karmaşıktır. Yer sarsıntıları yatay hareketler meydana getirir ve bu da şevli malzemenin gerilme durumunu büyük çapta değiştirir. Dairesel kayma yüzeyli muhtemel heyelanlarda yatay hareket serbest şeve doğru yöneldiği zaman kayma yüzeyi merkezinde heyelanın dengesizliğini arttıran bir moment meydana getirir. Patlayıcı madde ateşlemeleri, makineler ve trafiğin meydana getirdiği titreşimler de zemin gerilmeleri doğurur [5, 6].

D. Bölgesel Şevlenme (Arazinin Genel Doğal Şev Durumu):

Bölgesel şevlenme yüzünden şev açısının sürekli olarak artması bazı heyelanların nedeni olarak düşünülmektedir. Böyle ufak ve yavaş hareket eden bir değişimin etkili olabilmesi için şev dengesinin esasen bozulmak üzere bulunması gerekir.

E. Alt dayanağın kaldırılması:

1. Kıyılarda nehir ve dalga etkisiyle alt oyulmalar.
2. İslanma, kuruma ve donma yüzeyaltı etkileri.
3. Yeraltı erozyonu.
 - a. Karbonat, tuz ya da jips gibi eriyebilen maddelerin sürüklenmesi; mağara ve boşluklardaki çöküntü.
 - b. Sıkı malzemenin altında granüler malzemenin su ile akıp gitmesi.
4. İnsanların yaptıkları etkiler (Maden ocakları gibi).
5. Alttaki tabakada mukavemetin kaybolması:
 - a. Killi şist tabakaları üzerinde büyük kalker kütleleri.
 - b. Kil tabakası üzerinde sert kil tabakası.

c. Yanal yayılma yüzünden denge bozulması.

F. Aşağıdaki sebeplerden ileri gelen yanıl basınçlar:

1. Çatlak ve boşluklardaki su.
2. Çatlaklardaki suyun donması.
3. Şişme:
 - a. Kilin hidratasyonu.
 - b. Anidrit hidratasyonu.

1.3.2. Kayma Direncini Azaltan Etkenler

Kaya ve toprağın kayma direncini azaltan etkenler iki gruba ayrılabilir. Birinci grup, malzemenin asal karakteristiklerinden ya da ilk durumundan ileri gelen etkenleri kapsamaktadır. Bunlar jeolojik yapının heyelana elverişli kısımları olup jeolojik kütlelerin varlığı süresince bu etkenler değişmeyebilir, ya da çok az değişikliğe uğrar. İkinci grup, malzemenin kesme kuvvetini azaltıcı yönde etki yapan değişken ya da zamanla değişme kaydeden etkenleri kapsamaktadır.

A. İlk Durum:

1. Malzemenin bileşimi:

Su seviyesindeki değişmeler yüzünden bazı zemin türleri gevşek duruma gelebilir. Bunlar özellikle sedimanter killler, killi şistler, bozulmuş kayalar, hava etkisiyle killi malzemeye dönüşen volkanik tüf bileşimli kayalar, bileşenlerinin çoğu mika, şist, talk veya serpantin gibi yumuşak ve levhasal minerallerdir.

2. Malzemenin dokusu:

- a. Hassas kil, marn, lös, düşük yoğunluklu kum ve gözenekli organik maddelerin tek tek parçacıklarının "gevşek" düzeni.
- b. Danelerin yuvarlaklığı (Danelerin köşe sayısı arttıkça içsel sürtünme ve sıkışabilme özelliklerinin artması).

3. Kütle yapısı:

- a. Yapıdaki kusurlar, tabakalaşma düzlemleri, şistlerde yapraklanmalar, tabaka düzlemleri boyunca ayrılmalar, derzler, eski, yeni kaya birleşim bölgeleri gibi kesiklikler.
- b. Gevşek ya da plastik malzeme üzerinde masif tabakalar.
- c. Şev yüzüne doğru eğimli tabakalar.

d.Kumtaşı gibi geçirgen tabakalarla kil ya da killi şist gibi fakat geçirgen olmayan tabakaların üst üste bulunuşu.

B. İklim şartlarından, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlardan ileri gelen değişmeler:

1. Granit ya da kumtaşı gibi granüler kayaların don, termik genişlemeler v.b. etkiler altında fiziksel ayrışımı. Kohezyonunun azalması.

2. Kil minerallerinin hidratasyonu.

3. Killerde baz değişmesi.

4. Killerin kurumması.

5. Killi şistlerin kurumması.

6. Suda çözelti sonucu bağlayıcının yok olması.

C. Daneler arası kuvvetlerin boşluk suyu yüzünden değişmesi:

1.Aşırı doygunluk durumunda suyun kaldırma kuvveti, daneler arasındaki elverişli basınç ve sürtünmeyi azaltır.

2. Zemindeki rutubet “doygunluk” durumuna varınca kılcal gerilmelerden doğan taneler arası basınç ortadan kalkar.

3.Yer altı sızıntı sularının “sızma basıncı” sıvı ve katı daneler arasındaki “viskozite” kuvvetinden ileri gelir.

D. Yapıdaki değişmeler

1.Yarma kazısı sonucunda yanıl dayanaktan yoksun olan sıkışmış killerde görülen çatlamlar.

2. Lös ve kuru ya da doygun gevşek kum gibi hassas malzemede düzen bozulması ya da yeni bir kalıba sokulmasının etkisi olarak tanımlanmıştır [4,6].

Eldeki bilgiler heyelanların oluşumunu tüm diğerlerinden fazla etkileyen faktörün su olduğunu göstermektedir. Yağışlardan sonra oluşan heyelan sayısı diğer nedenlerden kaynaklanırlara oranla çok daha yüksektir. Bunun sebebini anlamak için Tablo 1'deki etkenlerden hangilerinin suyla ilişkili olduğunu saptamak yetecektir. Suyla ilgili gibi görünmeyen I.b nin dahi ağır yağışlardan dolayı topukta akışın oluşturduğu erozyon sonucu olduğu kolayca görülebilir. Yer altı suyunun stabiliteye olan bu büyük etkisini ilk olarak Terzgaht [9] incelemiştir. Heyelanların oluşumunda çevresel ve birçok diğer etkilerin olduğu görülmektedir. Bu etkilerin bilinmesi hareketin boyutu ve süresi, yapılacak olan inşaat, projelendirme ve benzeri çalışmalarda birçok yarar sağlayacak, aynı zamanda da yapılması düşünülen heyelan önleme çalışmalarına ön bilgi mahiyetinde olacaktır.

Tablo 1. Yamaç dengesine etkenler [10].

| I.GERİLME ARTIŞI | II.DİRENÇTE AZALMA |
|--|---|
| a) Yamaç üstündeki yüklerin artışı | a) Aşınma ve yıpranma |
| b) Topuğa yakın bölgeden malzeme kaybı | b) Süreksizlik yüzeylerinde su basıncı |
| c) Deprem, diğer titreşim ivmeleri | c) Kuru ortamda ani ıslanma |
| d) Boşluk veya çatlak suyu basınçlarında artış | d) Zaman ve hareket sonucu direnç kaybı |
| e) Çekme çatlaklarına su dolması | e) Killi matrisin şişmesi |
| f) Giderek kırılma olayı | f) Çatlak ve boşluklarda oluşan buz merceklerinin şişmesi |
| g) Yamaç dışındaki su düzeyinde düşme | g) Çimentolayıcı malzemenin yıkanması |

1.4. Heyelan Tipleri ve Yamaç Hareketleri

Bugüne kadar heyelanlar için, zemin cinsi, hareketin tipi ve nedenleri gibi çeşitli etkenlere dayanan sınıflandırmalar ileri sürülmüştür. Terzaghi, çeşitli zemin cinsi ile çok sayıda stabilite bozucu etkenin grift olduğu böyle karışık bir olayın, sınıflandırma yapmak heveslilerine çok değişik görüşler arz edebileceğini, sınıflandırmanın sonucunun, pek tabii ki, sınıflandırmayı yapanın olayın çeşitli yönlerinden çok asıl önem verdiği yöne bağlı olarak değişebileceğini belirtmiştir. Tüm çalışmalarda, hareket şekli ve hareket eden malzeme ele alınıp, diğer etkileyici parametreler göz önünde tutularak sınıflandırmalar yapılmıştır [11].

Bu sınıflandırmalarda kullanılan parametrelerin en önemlileri:

- Hareketin türü, miktarı ve hızı.
- Hareket eden malzemenin türü, dizilişi, yaşı.
- Hareket eden kitlenin şekli.
- Su miktarı.
- Hareket edenle alttaki temel arasındaki bağıntı.
- Hareketin nedenleri.
- Kohezyon (c) ve iç sürtünme (ϕ) karakteristikleridir.

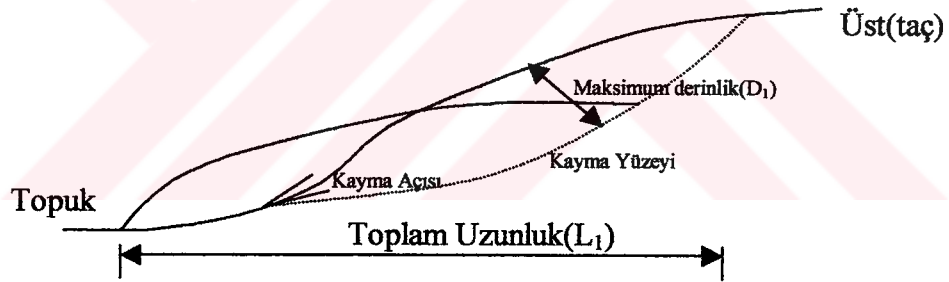
Bu konudaki çalışmalara bakıldığında, Varnes [12], Sharpe [13], Skempton [1,14], Blong [15], Blyth [16] ve Hutchinson [17]'da heyelan ve şev hareketi sınıflandırma kriterlerinin de çok çeşitli olduğu görülür.

İlk çalışmalardan birini yapan Sharpe [13], heyelan ve şev hareketlerinin sınıflandırılması için;

1. Hareketin tipi, boyutu, nedenleri ve miktarı,
2. Zeminin su içeriği,
3. Malzeme cinsi,
4. Kayma direnci özellikleri ve hareket eden kütledeki malzemelerin dizilişi,
5. Hareket eden kütle ile alttaki kütleler arasındaki bağlantının gözönüne alınması gerektiğini belirtmiştir.

Skempton [14], kayma sırasında hareket eden kütlelerin boyutlarıyla kayma tipi arasında önemli bir ilişki saptamıştır. Arazide yapılan ölçmelere göre de belirli kayma türlerinin, farklı kayma derinliği (D_1) / kayan kütlelerin yamaç uzunluğu (L_1) oranlarını verdiği görülmüş ve bu orana göre sınıflandırma yapılmıştır.

Şekil 2’de görüldüğü gibi D_1 , kaymanın maksimum derinliği ve L_1 , kayan kütlelerin maksimum uzunluğunu vermektedir. Bu D_1 / L_1 oranına göre bulunan hareket tipleri de Tablo 2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Skempton’a göre sınıflandırma şev geometrisi [14].

Tablo 2. Farklı hareket tiplerine göre D_1 / L_1 oranları [14].

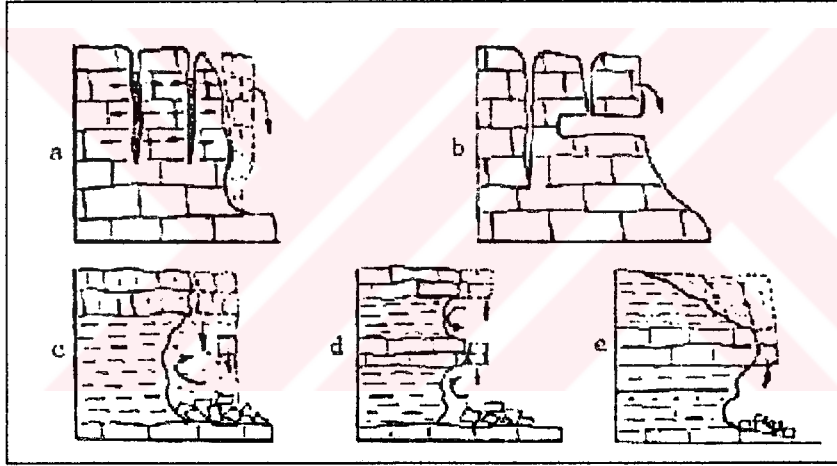
| Hareket Tipi | D_1/L_1 (%) |
|--------------|---------------|
| Kaymalar | 5-10 |
| Akmalar | 0.5-3.0 |
| Çökmeler | 15-30 |

Varnes [12], yaptığı çalışmada, yamaç hareketlerini sınıflandırmak için, yavaş sayılabilecek 6mm/yıl hareketten, çok hızlı sayılabilecek 3m/sn’ lik harekete kadar olan yamaçları incelemiştir. Varnes’a göre yamaçta stabilite kaybı;

- 1.Düşme
- 2.Devrilme
- 3.Kayma
- 4.Yanal Yayılma
- 5.Akma

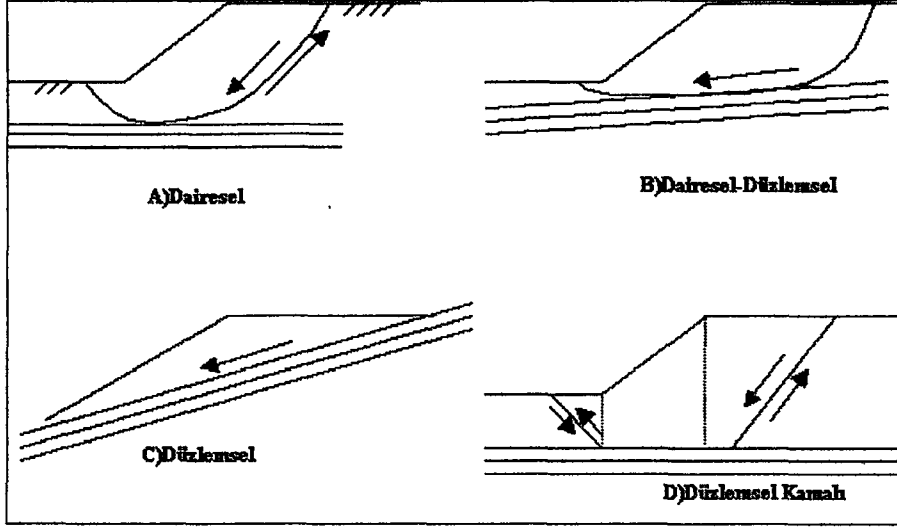
gibi beş ana grubta incelenebilir.

Düşme (Şekil 3); dik bir şevde, bölünmüş blok ve kütlelerin ana kayaya göre hareketleri sonucunda, yüzey bölgesinde oluşan çatlak ve formasyonların neden olduğu, ihmal edilebilecek kadar küçük olan kesme kuvvetinden meydana gelen hareket tipidir [18]. Kayaçların içerdiği çatlaklarda biriken suların hidrostatik basıncı; bu suların tekrarlı donma ve çözülmesi, dik şev ve yamaçların topuk kısımlarında yapılan kazılar, rüzgar, dalga ve akarsuların aşındırma ve oyma işlevleri düşmenin nedenlerini oluşturur.



Şekil 3. Değişik düşme tipleri [8].

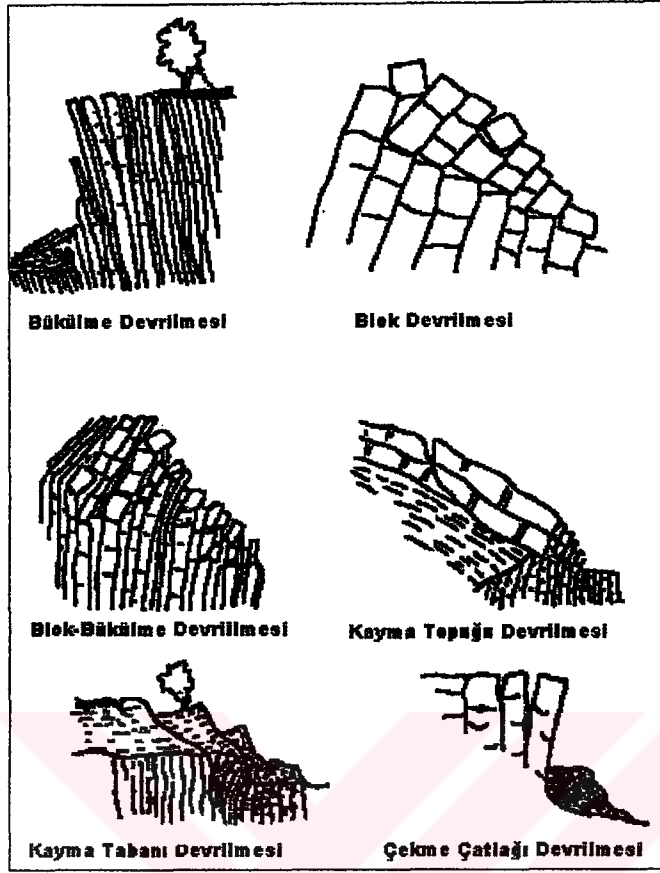
Kaymalar; bir veya birkaç yüzey boyunca, kütle içinde uyanan kayma direncinin azalması sonucu oluşan, düzlemsel veya dairesel özellikli göçmelerdir [10]. Düzlemsel kaymalar ya sağlam katmanlar arasındaki kil tabakası gibi zayıf yüzeyler boyunca ya da ortamdaki fay, çatlak gibi süreksizlik düzlemleri boyunca meydana gelmektedir. Dairesel kaymalar ise kaya ve zemin ortamlarda konkavlığı olan göçme yüzeyleri boyunca oluşmaktadır. Tüm kütlede oluşabileceği gibi, belli birkaç yüzey boyunca da oluşabilen kayma hareketi; kayma gerilmelerinin, kayma direncinden fazla olmasının bir sonucudur. Şayet kayma tek bir düzlem boyunca oluşuyorsa, kayan kütledeki deformasyonlar çok fazla olmamakta, yüzey eğri olduğunda da kayma sonucu kütlede büyük şekil değişiklikleri görülmektedir.



Şekil 4. Kayma türlerinin kesitleri [4].

Devrilme (Şekil 5); birim ya da blokların bir nokta etrafında öne doğru dönmesi sonucu oluşan bir harekettir. Düşey kazılarda toprağın göçmesinden düşeye yakın çatlak sistemli kaya blokların devrilmesine kadar değişik karakter gösteren devrilme olayının kökeni blokların ağırlık vektörünün taban dışına düşmesi olarak tanımlanmıştır. Düşme ve devrilme ile denge kaybı birçok kez heyelandan farklı bir olay gibi düşünülürse de bunun makul bir nedeninin olmadığı söylenebilir [12].

Yanal yayılma; çekme ve kayma deformasyonlarının birlikte izlendiği heyelan türüdür [8]. Belirgin bir kayma yüzeyi ya da bölgesinin bulunmaması yanal yayılmayı kaymadan ayıran belli başlı özelliklerindedir. Bu denge kaybı kayaçta, altta oluşan kilin kayma direncinin azalmasıyla birlikte, üstteki kayaç tabakalarının yanlara doğru hareket etmesini, hassas killerde ise, titreşim, su etkisi gibi ortamın sıvılaşarak yayılması gibi aşırı etkiler meydana getirmektedir.



Şekil 5. Devrilme türleri [8].

Arazide izlenen heyelan ve yamaç hareketleri, bazı durumlarda kayma yada yanıl yayılma gruplarına sokulmayacak kadar farklı özellikler gösterebilir. Zeminde yavaş veya hızlı, kuru ya da yaş akma olayında, belirli bir kayma yüzeyi tanımlanamamakta, malzeme çok değişik deformasyon özellikleri göstermekte ve kütle kaymasından çok dairesel bir hareketin hakim olduğu sonucuna varılmaktadır.

Akmalarda; yer değiştiren kütle içerisindeki hareket, malzemenin aldığı şekil ve görünen hız dağılımı, yüksek vizkoziteli sıvılardaki harekete benzerlik göstermektedir. Hareket eden kütle içinde de kayma yüzeyleri çoğunlukla görülmemekte ve kısa ömürlü olmaktadır. Sonuçta bu belirtilere bakılarak akmanın süneklik ile aynı süreç olduğu öne sürülmüştür. Malzeme biliminde sünmenin tanımı, sabit bir gerilme altında şekil değiştirme ya da uzama-kısalma şeklinde yapılmakta ve üç aşamadan oluşmaktadır. Bu açıdan süneklik olayının sadece akma değil diğer tüm dengesizlik belirtilerine de uygulanabilir bir terim olduğu savunulabilir [10]. Akmalar, yüzeysel kayaların ayrışması sonucu oluşmuş kumlu ve killi zeminlerde, toprak ya da taş-toprak karışımından ibaret yüzeysel örtüde, su muhtevasının artması sonucunda bazen hızlı, bazen de gözle fark edilemeyecek kadar

yavaş akmalar olarak tanımlandığı gibi malzemenin akma hızına göre yavaş akma yada hızlı akma olarak da iki gruba ayrılmıştır.

Yavaş akma (Krip); yamaç ya da şevlerde yüzeysel kısmın çok yavaş ve sürekli olarak yer değiştirmesine krip adı verilir. Krip başta yerçekimi olmak üzere, yüzeysel kısımdaki malzemenin ıslanması-kuruması, ıslak olması halinde içerdiği suyun donma-erimesi, yeraltı ve yerüstü sularının etkisi, bitki köklerinin büyümesi ve benzeri olayların etkisiyle meydana gelir. Kripte hareket çok yavaş olup yılda 3-5 cm kadardır. Krip olduğu malzemeye göre toprak krip, moloz krip, kaya krip gibi isimler almaktadır. Toprak kripinde en etkili faktör danelerin su ile ıslanıp kurumasıdır. Bu esnada su alıp şişen daneler yerçekiminin etkisi ile yamaç eğimine dik olarak hareket ederler. Moloz kripinde ise etkili olan faktör, molozu oluşturan blok ve iri parçalar arasındaki suyun donup-erimesidir. Bu nedenle moloz krip daha çok soğuk bölgelerde meydana gelir. Sıcak bölgelerde ise hareketin nedeni gece, gündüz arasındaki ısı farkından dolayı molozu oluşturan elemanların genişleme ve büzülmesidir. Kaya krip ise, yamaçlardaki bloklu kayaların, içerdiği yamaç dışına doğru eğimli düzlem üzerinde, bu düzlem boyunca eğim aşağı yavaş hareket etmesidir. Buradaki hareket akmadan çok kayma olup, hareketin hızı bakımından kripe benzer. Kaya kripinde de hareketin nedeni iklim koşullarına bağlı olarak, süreksizliklerdeki suyun donması ve erimesi, genişleme ve büzülmesi ile bitki köklerinin büyümesi olarak tanımlanmıştır [8].

Hızlı akma; Yavaş akmanın meydana geldiği zemin, zemin-blok karışımı veya ayrışarak gevşemiş kısımlar ortamda bulunan suyun çoğalması ve buna bağlı olarak da boşluksuyu basıncının artması, çeşitli titreşimler (deprem veya araç yükleri gibi) sonucunda altta bulunan nispeten sağlam tabaka üzerinde gözle görülebilecek bir hızla hareket ederler. Bu olaya hızlı akma adı verilir. Bu hareket eğimi 2-3 derece olan yamaçlarda görülebilir. Kayan malzemenin cinsine bağlı olarak kaya-blok akması, toprak akması ve moloz akması gibi isimler alırlar.

Varnes [2,10], sınıflandırmada öncelikle gözönüne alınması gereken kriterlerin hareket tipi ve daha sonra malzeme tipi olması gerektiğini belirtmiş ve sonuç olarak Tablo 3'te verilen sınıflandırmayı hazırlamıştır.

Tablo 3. Doğal yamaç kaymaları[12].

| HAREKET TİPİ | MALZEME ÖZELLİĞİ | | |
|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | ANA KAYA | İRİ | İNCE |
| DÜŞME | Kaya Düşmesi | Moloz Düşmesi | Zemin Düşmesi |
| DEVİRİLME | Blok Devrilmesi | Moloz Devrilmesi | Zemin Düşmesi |
| DÖNELKAYMA DÜZLEMSEL KAYMA | Kaya Çökmesi Blok Kayma | Moloz Çökmesi Moloz Kayması | Zemin Çökmesi Zemin Kayması |
| YANAL KAYMA | Kayma Yayılması | Moloz Yayılması | Zemin Yayılması |
| AKMA | Kaya Akması (derin sünme) | Moloz Akması (zemin sünmesi) | Zemin Akması (zemin sünmesi) |

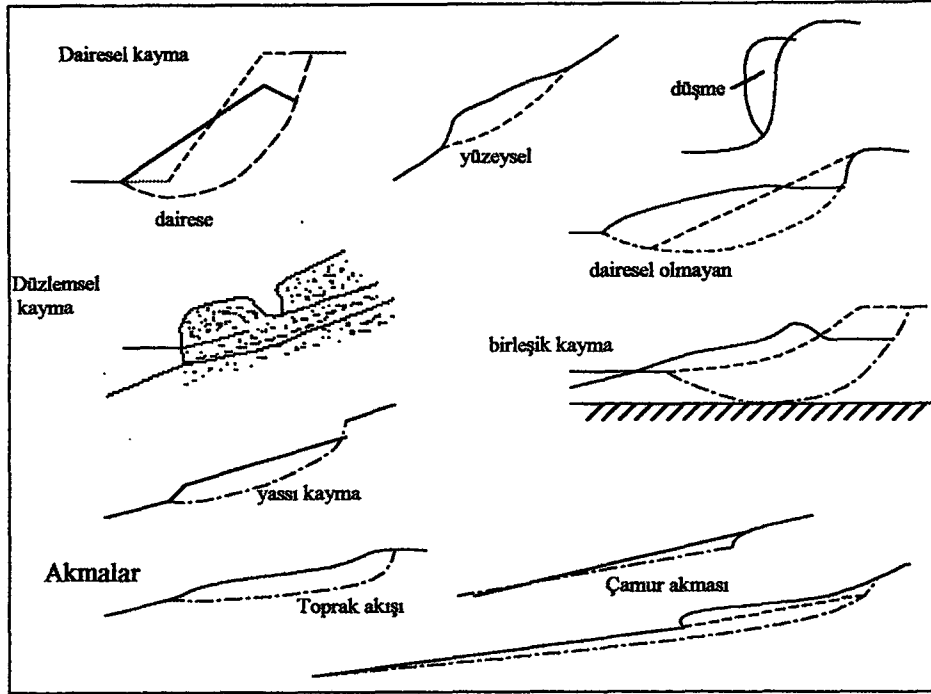
Skempton ve Hutchion [1], daha sonra yaptıkları çalışmada, kil şevleri Şekil 6'da görüldüğü gibi bazı temel hareket tipleri ve Şekil 7'de görüldüğü gibi çoklu ve karmaşık heyelanlar olarak sınıflandırmışlardır. Göçme sırasında meydana gelen hareketlerin nedenleri, sadece şev malzemesinin özelliklerine ve doğasına bağlı değil, aynı zamanda kayma yüzeyinin şekline de bağlı olmaktadır. Kayma direncinin, şekil değiştirme ve deformasyon ile değiştirme tarzı da bu aşamada çok önem kazanmaktadır.

Blong, yamaç hareketlerini ve heyelanları basit bir sınıflandırma ile dört grupta incelemiştir [15]. Bu gruplar, Kaymalar, Dönel kaymalar ve Çökmeler, Akmalar, Düşmelerdir. Bu ayırım basit olmasının yanı sıra, birçok mühendislik amaç için de yeterli olduğu söylenebilir [3].

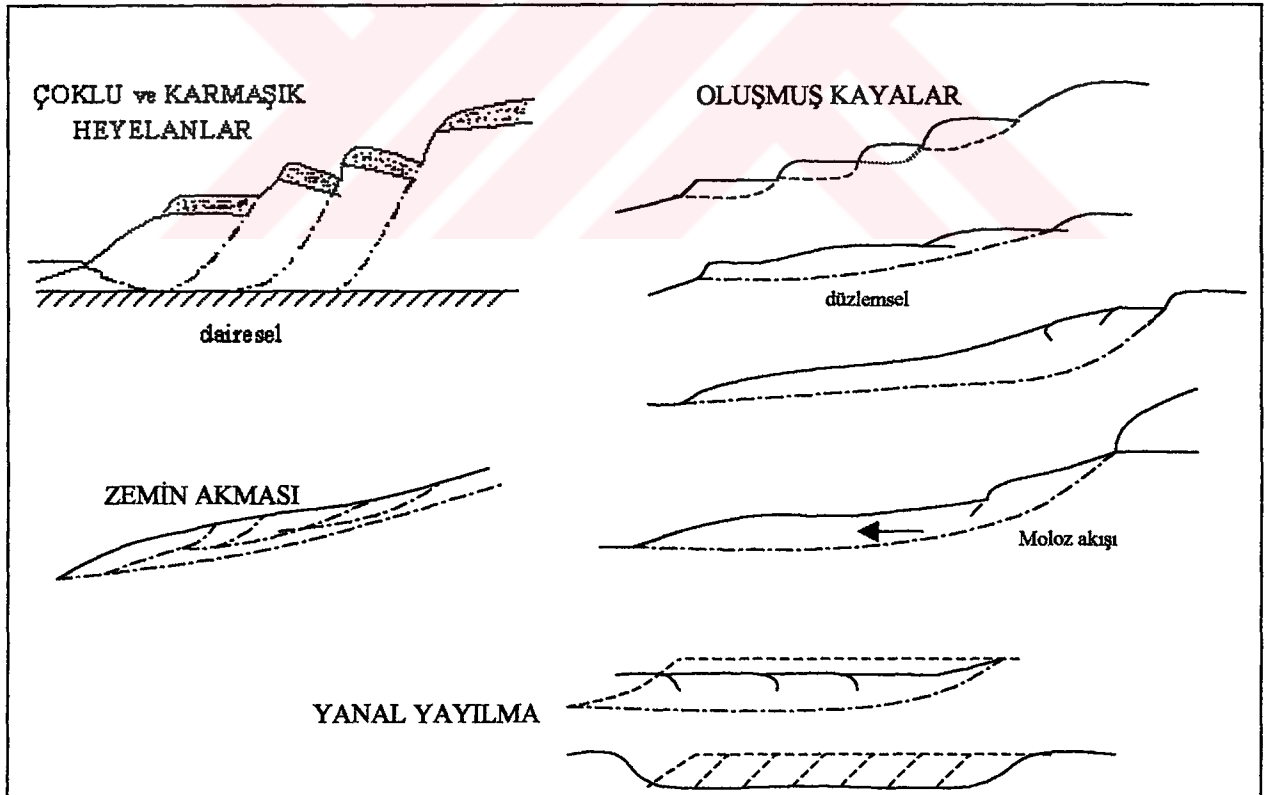
Hutchinson, Tablo 4'te gösterilen sınıflandırmayı yaparken yamacın maruz kaldığı hareketin geçmişini ve sürecini dikkate almıştır [17].

Tablo 4. Geoteknik sınıflandırma [17].

| c ve ϕ 'den etkilenen zemin bünye durumları | Boşluk suyu basıncından etkilenen zemin bünye durumları |
|---|---|
| 1. Önceden hiç kayma görülmemiş zeminlerde kısa dönem heyelanları(Kayma direnci parametreleri ya pik veya kalıcı değerler arasındadır). | 1.Kısa Dönem(Drenajsız) (Fazla boşluk suyu basıncı dengede değil) |
| 2. Önceden kaymış zeminlerdeki heyelanlar(Kayma direnci parametreleri kalıcı değerlere çok yakındır). | 2.Orta (Fazla boşluk suyu basıncı kısmen dengededir) |
| | 3.Uzun dönem(Drenajlı) (Fazla boşluk suyu basıncı sürekli sızıntı değerlerine yakındır). |



Şekil 6. Kil şevlerinin temel hareket tipleri [1].



Şekil 7. Kil şevlerde çoklu ve karmaşık heyelan tipleri [1].

Heyelan sınıflandırmanın bir değişik şekli de hızlarını incelemek olduğunu belirten Varnes'e [2] göre 0.3m/dak ve yüksek hızla hareket çok hızlı, 1.5m/gün ve üstü hızlı; 1.5m/ay – 1.5 m/gün orta ve 1.5m/ay – 60m/yıl arası yavaş hareketleri yansıtmaktadır. Bu ölçeğin üst limitini kaya düşmesi ve hareket mesafesi büyük akma-kaymalar, alt sınırını ise ana kayaçta sünme oluşturmaktadır.

Anlatılan tüm sınıflandırma sistemlerinin içinde geniş uygulama bulan ve U.S Transportation Research Board ve National Academy of Sciences tarafından da kabul edilen sınıflandırma Varnes'in önermiş olduğu Tablo 5' te gösterilen sınıflandırma sistemidir.

Heyelanların ve yamaç hareketlerinin sınıflandırılması konusu geniştir. Mühendisin çeşitli olayları ayırt etmek ve tanımlamak suretiyle bir proje hazırlayabilmesi ve gerekli önleme ve emniyet tedbirlerini alabilmesi bakımlarından stabilite bozulması tiplerine göre yapılmış bir sınıflandırmaya ihtiyaç vardır.

Tablo 5. Varnes'in heyelan sınıflandırma sistemi [2].

| HAREKET TİPİ | ZEMİN CİNSİ | | | |
|-------------------------|--|---------------------------|---------------------------|---|
| | ANA KAYA | | TOPRAK | |
| DÜŞMELER | KAYA DÜŞMESİ | | TOPRAK DÜŞMESİ | |
| AZ ÜNİTELİ KAYMALAR | DÖNEL ÇÖKME | DÜZLEMSEL BLOK KAYMASI | DÜZLEMSEL BLOK KAYMASI | DÖNEL BLOK ÇÖKMESİ |
| ÇOK ÜNİTELİ KAYMALAR | KAYA KAYMASI | | DÖKÜNTÜ KAYMASI | YANAL YAYILMADAN ÖTÜRÜ KIRILMA- KAYMA |
| AKMALAR | HİÇ KONSOLİDE OLMAMIŞ (GEVŞEK) | | | |
| KURU | KAYA PARÇALARI | KUM VEYA SİLT | KARIŞIK | ÇOK PLASTİK |
| | KAYA PARÇALARI AKMASI | KUM AKMASI | LÖS AKMASI | |
| YAŞ | | | HIZLI TOPRAK AKMASI | YAVAŞ TOPRAK AKMASI ÇAMUR AKMASI |
| KARMAŞIK | ÇEŞİTLİ MALZEME VEYA HAREKET TİPLERİNİN KOMBİNEZONLARI | | | |

Coğrafya ve jeoloji uzmanları ise topoğrafik durumun geçmişte geçirdiği safhaları incelemek yerine bugünkü hareket eğilimlerini kestirmelerine yarayan bir sınıflandırmayı tercih ederler. Buradan da anlaşılacağı üzere sınıflandırmanın en önemli yanı araştırmacının amacına uygun olmasıdır. Bu anlamda Varnes'in [2] yapmış olduğu sınıflandırma detaylı ve kapsamlı olduğundan birçok araştırmada kullanılabilir.

1.5. Heyelanın İncelenmesi

Heyelanlar büyük zararlar ve güçlüklerle neden olduklarından genellikle her ülkede, karayolları, demiryolları, tapu-kadastro, imar-iskan ve şehir planlama daireleri tarafından ayrı ayrı yönlerden incelenmektedir. Üniversiteler, zemin mekaniği ve mühendislik jeolojisi laboratuvarları ve araştırma enstitüleri de olayların nedenlerini ve önlemlerini araştırmakta, projelerin hazırlanmasında yardımcı olmaktadır. Peck ve Deere [19] arazi çalışmalarının önemini kabul etmekle birlikte bir projede teorik ve deneysel çalışmaların muhakkak bir arada yürütülmesi gerektiğini ve arazi çalışmalarının analitik çözümün gerçekçi bir uygulamasını sağlamada hayati önem taşıdığını, teorik temele dayandırılmamış arazi çalışmalarının yetersiz kalmaya mahkum olacağı gibi büyük bir olasılıkla da yanıltıcı sonuçlar vereceğini vurgulamaktadırlar.

Heyelanların incelenmesi arazide yerüstü ve yeraltı çalışmaları, laboratuvarlarda çeşitli deney ve çizimler olmak üzere iki kısımda yapılmaktadır.

1.5.1. Arazi Çalışmaları

Bu çalışmalarda, olayın meydana geldiği yerin yüzey şekilleri, iklim, bitki örtüsü ve iç özellikleri, litoloji, jeolojik yapı ve yeraltı suyu durumu incelenir, bunlardan numuneler alınır ve bunların heyelanların oluşumuna etkileri araştırılır.

Arazi çalışmaları için hareketin meydana geldiği yerin ve çevresinin 1/500-1/5000 ölçekli topoğrafik haritasının bulunması gerekmektedir. Aksi halde yapılan gözlemleri kıymetlendirmek, olumlu bir fikir vermek kolay olmayabilir.

Arazi çalışmalarının ilk kısmını yerüstü çalışmaları oluşturur.

1) Topoğrafya: Yüzey şekilleri, yükseklik, topoğrafya yüzeyinin eğimi, heyelan topoğrafyasının özelliği ve erozyon şekilleri, hava fotoğrafları üzerinde incelenir, heyelanların genel görünüşü ve yayılışı bulunur.

2) İklim: Yağış miktarı, süresi, hızı, tipi, sıcaklık, hava basıncı, buharlaşma ortalamaları bulunur. Bu rakamlar karşılaştırılarak bir bağıntı aranır.

3) Bitki örtüsü: Ağaç, funda ve ot çeşitleri, kök derinlikleri ve su emme dereceleri saptanır.

4) Sarsıntuların olaya etkisi: Deprem, tren ve kamyon v.b. gibi ağır makine sarsıntılarının, hareketin başlamasına etkisi olup olmadığı araştırılır.

5) Litoloji: Zemini oluşturan toprak ve kayaların türleri, su tutma, suda erime derecesi ve suya karşı hassasiyeti, silt ve killi kayaların türü saptanır.

6) Jeolojik yapı: Fissür, çatlak, fay ve kıvrımlar incelenir. Tabakaların doğrultu ve eğimleri haritaya geçirilir.

7) Hareket eden kitlenin incelenmesi: Bugünkü ve eski hareket belirtileri, hareket tipi, hızı, yönü, miktarı, akım çizgileri baş ve ucu, kayma dairesinin şekli, meydana gelen, enine, boyuna, kesme, gerilme çatlakları, boyları ve derinlikleri, yer değiştirme miktarı, eğimleri, insan yapısı tesislerde (yol, bina, depo, baraj v.s) görülen değişmeler, belli röperlerle bağlanarak yapılan ölçülere göre hareketin miktarı ve gidişi saptanır. Bu incelemelerin, havadan alınmış fotoğraflar üzerinde yapılması, heyelan alanının yayılışını ve heyelan topoğrafyasının kolayca görülmesini sağlar.

8) Yerüstü ve yeraltı sularının durumu: Kaynak, çeşme ve sızmalar, debileri, yer altı su seviyesi, akış doğrultusu ve hızı, boya ve radioaktif izotop kullanarak araştırılır.

Yer altı incelemeleri ise, toprak altında bulunan malzemenin türünü, yapısını ve yer altı su durumunu anlamak amacıyla yapılır. Bunların en çok kullanılanları:

- 1) Kazı: Çukur, hendek, kuyu galeri açma;
- 2) Burgulama: Bitkisel toprağın ana kayaya kadar olan derinliğini saptama;
- 3) Sondaj: Örselenmiş ve örselenmemiş numune alma, sondaj deliklerine konulan plastik borular yardımıyla üst kayma dairesini bulma;
- 4) Standart penetasyon deneyleri;
- 5) Jeofizik etüdler: Rezistivite, sismik, gama ışını v.b.dir. Bunların uygulanacağı yerin, derinliğin ve yapıma şekillerinin saptanması deneyim ve bilgi ister [4, 6, 10].

1.5.2. Laboratuvar İncelemeleri

Yapılan gözlemler, elde edilen veri ve ölçüler haritalara işlenir; kesitler, blok diyagramlar yapılır. Alınan taş, toprak, fosil ve su numuneleri çeşitli laboratuvarlarda incelenir. Alınan numunelerin;

- 1) Fiziko-Mekanik özellikleri araştırılır.
- 2) Plastik limit, likit limit, doğal su içeriği, birim hacim ağırlığı örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde kesme, serbest ve üç eksenli basınç deneyleri yapılır. Killerin hassaslık dereceleri saptanır.

3) Heyelan bölgesinin jeolojik ve litolojik haritası hazırlanır, kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri, ayrışma dereceleri, fiziksel ve mekanik özellikleri saptanır, arazi gözlem ve sondajlar yardımıyla kesitler ve blok diyagramları çizilir. Yer altı su tablası haritası yapılır. Yer altı su seviyelerinin değişimi incelenir.

4) Arazide, heyelana sebep olduğu sanılan kayaçların ayrıntılı analizleri yapılır. Burada bilhassa kil minerallerinin türleri, çeşitli yollarla bulunur. Genellikle glaukonit, serpantin ve jipsli kayaçlar ayrıntılı olarak incelenir.

5) Gerektiğinde, araziden ve karotlardan alınan örnekler içindeki mikro ve makro fosiller saptanır. Seviyeleri bulunur ve bu fosiller röper noktası olarak kullanılır. Bu seviyeler kayma dairelerinin bulunmasında yardımcı olabilir [4, 6, 10].

Araştırma ve etütler sonucu elde edilen bilgiler bir bütün oluşturacak ve bir anlam ifade edecek şekilde birbirine bağlanmadıkça çok az bir değer ifade ederler. Bütün bilgileri bir araya toplanmadan kaymanın nedeni hakkında karar vermek, önleme ve kontrol projeleri yapmak yanlış olacaktır. Aşırı yağışların etkisini tespit etmek bakımından araştırmanın yapılacağı zamana ve son birkaç yıla ait yağış miktarı verilerinin de dikkate alınması, üzerinde çalışılan şevim veya yamacın tarihçesi ile ilgili bilgi toplanması faydalı olacaktır.

Aktif bir heyelan veya muhtemel bir heyelan bölgesi ile ilgili yapılacak araştırmalar kaymanın önemine dayanmaktadır. Yapılacak etüdün büyüklüğü, heyelana maruz kalmış arazinin yerine, önemine, büyüklüğüne, etüdün tamamlanması için verilen zamana ve kontrol veya ıslah için gerekli tedbirlerin ne kadar acele alınması gerektiğine bağlıdır.

1.6. Kayma Direnci Parametleri

Zemin kitlesi üzerine yapılan bir yükleme sonucunda dengenin (stabilitenin) korunması ve kırılma (göçme) olayı meydana gelmemesi istenir. Öte yandan; yapılan yüklemeler sonucunda meydana gelecek deformasyonların da belli sınırları aşmaması gerekmektedir. O halde; zemin kitlesi üzerine yapılacak yüklemelerde iki koşulun aynı anda sağlanması gerekmektedir. Bunlar kısaca denge (stabilite) ve yer değiştirme (deformasyon) koşulları olarak adlandırılabilir. Zemin kitlesinin denge koşulunda kırılma (göçme) anındaki gerilme durumuyla ilgilenilirken, yer değiştirme (deformasyon) koşulunda kırılma oluşmadan önceki gerilme durumu ile ilgilenilir. Her iki koşulun

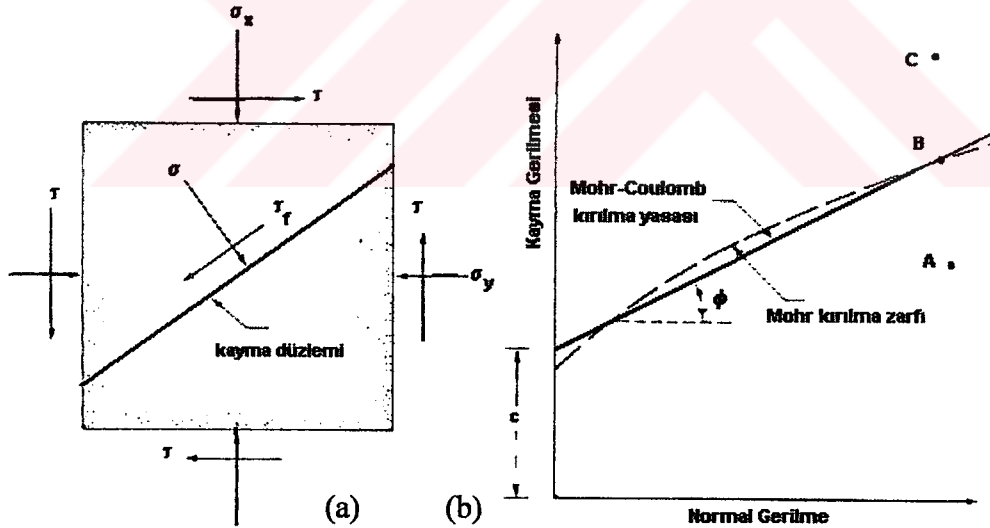
incelenmesinde de zemine ait kayma direncinin, bunun için de kayma direnci parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir.

Zeminin kayma direncini oluşturan bileşenler;

- Zemin danelerinin oluşturduğu yapının kaymaya karşı gösterdiği direnç,
- Danelerin temas yüzeylerindeki oluşan sürtünme kuvvetleri ve
- Daneler arasındaki kohezyon kuvvetleri olarak sıralanabilir.

Zemin kitlesi içinde kayma veya göçmeye sebep olan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini göz önüne alan birçok hipotez geliştirilmiştir. Bu hipotezlerden en basit ve uygulamada yaygın olanı Mohr-Coulomb kayma kriteridir. Kayma direncinin belirlenmesinde Coulomb (1776) tarafından önerilmiş ve Mohr tarafından genel hale getirilmiş Mohr-Coulomb kırılma kriteri kullanılmaktadır. Mohr'a [8] göre Şekil 8'deki gibi bir düzlem üzerindeki kaymayı oluşturan kayma gerilmesi eşitlik (1) de verildiği gibi aynı düzleme etkiyen normal gerilmenin bir fonksiyonudur.

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (1)$$



Şekil 8. Mohr-Coulomb kırılma zarfı (a) ve kırılma yasası (b) [9].

Eşitlik (1) deki ifade ile elde edilen normal gerilme-kayma gerilmesi ilişkisi şekil 8. (b) de görüldüğü gibi eğrisel olan bir çizgidir. Zemin mekaniği problemlerinin çoğunda bu ilişkinin doğrusal olarak kabul edilmesiyle yeterli doğrulukta sonuçlar alınabilmektedir. İlişkinin doğrusal değiştiği varsayılarak aşağıdaki bağıntı yazılabilmektedir.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2)$$

Bu eşitlik Mohr-Coulomb kırılma kriteri (Zeminlerde kırılma şartı) olarak adlandırılır. Burada c zemine ait görünür kohezyon, ϕ ise zeminin içsel sürtünme açısı (yada kayma direnci açısı) olarak tanımlanmaktadır. Bu iki değer kısaca zeminin kayma direnci parametreleri olarak adlandırılmaktadır. İlk defa Fellinius kohezyon ve sürtünme açısı kabulü ile stabilite analizi yapmıştır [20]. Herhangi bir zemin ortamında dikkate alınan bir düzlemdeki normal gerilme ve kayma gerilmesi hesaplanarak $\sigma - \tau$ ekseninde işaretlendiğinde A noktasına geliyorsa söz konusu düzlemde kayma meydana gelmeyecek demektir. B noktasına geliyorsa kayma oluşmaktadır.

Zemin kitlelerinin kayma direnci parametreleri, aynı zemine ait drenaj ve konsolidasyon koşullarına bağlı olarak değişik değerler almaktadır. Geçirgenliği yüksek zeminlerde su çabuk drene olacağından, yükleme sırasında zemin konsolide olma olanağı bulacak, bu durumda analiz drenajlı koşullarda bulunan parametrelerle yapılmalı, aksi durumda yükleme sırasında su drene imkanı bulamayacağından analiz, drenajsız koşullarda bulunan parametrelere göre yapılacaktır. Zeminlerin kayma direncinin laboratuvarında belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan deneyler 1- Serbest basınç deneyi, 2- Üç eksenli kesme deneyi, 3- Direkt kesme (kesme kutusu) deneyi, 4- Vane (kanatlı sonda) deneyi olarak sıralanabilir.

Zeminin, yük altında sıkışması, şekil değiştirmesi gibi ölçülebilen bütün davranışları efektif gerilmeler tarafından kontrol edilmektedir. Efektif gerilme, zemin içindeki herhangi bir nokta üzerine etkiyen toplam asal gerilmeler ile hidrostatik boşluk suyu basıncı arasındaki farka eşittir. Bu tanıma göre tamamen suya doygun bir zeminde efektif veya daneler arası gerilme, Terzaghi [11] tarafından,

$$\sigma' = \sigma - u \quad (3)$$

eşitliği ile verilmektedir.

Efektif gerilme hesaplarında kullanılan toplam gerilmenin, zemin iskeleti tarafından taşınan bileşeni olduğu kabul edilirse Mohr-Coulomb [8] kırılma kriteri,

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad (4)$$

şeklini alır. Eşitlik (4) de görülen c çakıl, kum ve organik olmayan siltlerde sıfırdır. Normal konsolide killerde de bu değer sıfıra yakındır. Aşırı konsolide killerde ise c değeri sıfırdan büyüktür. İçsel sürtünme açısı ya da kayma direnci açısının, ϕ , değerleri ise dane şekline, zemin türüne ve sıklığına bağlı olarak değişmektedir.

1.7. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri

Heyelan ve şev kaymalarının nedenleri, bunların aldıkları şekillerin de çeşitli olması stabilitesizliğin doğasını matematiksel olarak yorumlamayı zorlaştırmaktadır. Şevlerde ve heyelanlarda, yalnızca nedenlerine ve çeşitlerine bakarak analiz yapmak bir bakıma yanlıştır. Çünkü şevden beklenen fonksiyonların da analiz aşamasında önemi büyüktür. Çoğu hallerde şevlerin fonksiyonel tasarımı için, şev zemininde oluşacak deformasyonların sınırlı olması gerekmektedir. Şev yakınlarında özel herhangi bir yapı yoksa, deformasyonlar göçmeyi gerçekleştirecek kadar kontrolsüz olmamak koşuluyla büyük olabilirler. Fakat şev yakınlarında veya altında önemli yapılar var ise, küçük deformasyonlar bile kabul edilememektedir. Bu durumda fonksiyonel bir tasarım için, zemin kütlelerinde ortalama gerilme seviyesi de düşük olmalıdır. Tasarımın önemli noktalarından biri de şevin kullanım süresidir. Bu durumun stabilite analiz yöntemlerinde, en az diğer bileşenler (yapım süreci, drenaj koşulları, malzeme özellikleri) kadar önemli olduğunu vurgulamak gerekir.

Mühendislik açısından, hemen her problemde denge, sayısal olarak ifade edilir ve sonuçta bir güvenlik sayısının hesaplanması istenir. Bu hesaplar sırasında da, limit gerilme ve limit denge olmak üzere iki ana yaklaşım yapılır.

1.7.1. Limit Gerilme Yaklaşımı

Limit gerilme yaklaşımı gerçekçi bir yaklaşım olup, dış yükler ve kendi ağırlığı altındaki ortamın, hangi ölçüde hareket edeceği, gerilmelerin hangi noktalarda yoğunlaştığı ve bunun sonucunda göçmenin olup olmayacağını incelenmesi esasına dayanır. Ancak bu yaklaşım, gerilme analizini yapacak yöntem ve araçların bulunmasını ve ortamın özelliklerinin her noktada doğru olarak belirlenmesini gerektirir. Sonlu elemanlar yöntemi ve sayısal analiz tekniklerinin gelişmesiyle birinci zorluk büyük ölçüde kaldırılmıştır. Ortam özelliklerini tarifte karşılaşılan güçlükler, yapılan birçok aşamaya rağmen henüz tümüyle çözülememiştir [10].

Ortam özelliklerinin yetersiz olarak bulunmasının en önemli nedenleri:

1. Temel malzemesinde, gerilme-deformasyon modelinin saptanması, başka bir deyişle rijitliğin verilememesi;
2. Malzeme özelliklerinde yersel, yönsel değişimin olasılığı;
3. Üniform olmayan boşluk ve çatlak suyu basınçlarının varlığı;
4. Özellikle kayaçta yönü ve şiddeti belli olmayan doğal gerilmelerin varlığıdır [21].

Bu sakıncalardan dolayı limit gerilme analizi, yamaç stabilitesinde geniş uygulama alanı bulamamaktadır. Karşılaşılan teknik güçlüklerin yanında, limit gerilme çözümüne gelen eleştiriler, yamaçların büyük bir çoğunluğunda kaymanın, önceden mevcut süreksizlik yüzeyleri boyunca oluştuğu ya da tek kayma yüzeyinin, sonradan belirmesi nedeniyle genel deformasyon analizinin gereksiz olduğu şeklinde yapılmıştır.

1.7.2. Limit Denge Yaklaşımı

Limit gerilme yaklaşımı, çözümde yarattığı zorluklardan dolayı başka yaklaşımların geliştirilmesi ihtiyacı duyulmuştur. Bu yaklaşım, ölçülmüş veya seçilmiş yüzeyler boyunca stabilitenin hesaplanmasına dayanır. Bu basitleştirme, hesapların elle yapılmasına olanak sağlaması açısından tercih edilir olmuştur. Diğer taraftan, limit denge prensiplerine dayanan basit yöntemlerle, gerilme altında yapıların deformasyonları hesaplanmasa bile, yapıların güvenliği hakkında karşılaştırmalı sonuçlar bulmak mümkün olmaktadır. Göçen şevler için, geriden yapılan hesaplardan bulunan mukavemet parametreleri laboratuvar deney sonuçlarına benzemekte bu da limit denge yaklaşımına güven vermektedir.

Limit denge yaklaşımının dayandığı ana fikir; göçme olasılığı olan bir yüzey varsaymak ve bu yüzey boyunca göçmeye yol açacak gerilme durumunu bulmaya çalışmaktır. Bunun için kayma yüzeyinin yeri ve şekli önceden kabul edilir. Sonra kayma bölgesindeki kütle için dengede kalması için gerekli olan kayma direnci hesaplanır. Bu analize göre güvenlik sayısı, denge için gerekli kayma direnci ile kayma yüzeyinde gerçekte varolan veya uyanan (mobilize) kayma direncinin karşılaştırılması ile bulunan bir katsayıdır. Kritik güvenlik sayısını bulmak için işlem, değişik şekil ve yerdeki kayma yüzeylerine göre iterasyon ile tekrarlanmalı ve en düşüğü seçilmelidir. Limit denge yaklaşımı klasik elastisite teorisi ile incelendiğinde hesaplanacak dengenin, gerçek değerinden daha düşük olacağı saptanmıştır. Bu yaklaşımın kullandığı yöntemlerin hepsi şu üç ortak noktayı içermektedir.

1.Güvenlik sayısı; mevcut kayma direncinin, makaslama gerilmesine oranlanmasıyla bulunur.

2.Malzemenin kayma direnci; yenilme noktasına kadar doğrusal, bunun üzerinde yataydır.

3.Denge; bilinen üç denklemlerle hesaplanır. Hiperstatik durumlarda, bunun derecesi kadar varsayım yapılır.

Denge denklemleri iki ana koşulda uygulanmıştır. Geliştirilen ilk metotlarda kayan kütle için uygulama yapılmış, sonradan ortamın heterojenliği, su basınçlarındaki farklılıklar gibi nedenler ve tek gövde analizinin getirdiği hataların önlenmesi amacıyla dilim yöntemleri geliştirilmiştir [10]. Kısaca limit denge yaklaşımı yamacı hiperstatik bir problem olarak kabul ederek, bilinmeyen kuvvet ve momentleri hesaplamaktadır. Tablo 6'da geoteknikte en çok kullanılan yöntemler tanıtılmaktadır.

Tablo 6. Analiz metotları [22].

| Metot | Kayma Yüzeyi | Toplam Moment Dengesi | Toplam Kuvvet Dengesi | Dilimlerarası kuvvetlerde yapılan kabuller |
|------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|--|
| $\phi_u=0$ | Dairesel | * | | |
| İsveç Dilim Yöntemi | Dairesel | * | | Dilimlerarası kuvvetlerin bileşkesi dilim tabanına paralel |
| Kama Analizi | Dairesel değil | | * | Belirli Eğim |
| Sonsuz Şev Analizi | Dairesel değil | | * | Şeve paralel |
| Bishop | Genel | * | | Paralel |
| Basitleştirilmiş Janbu | Genel | | * | Paralel |
| Genel Janbu | Genel | * | * | Belirli itki çizgisi |
| Spencer | Genel | * | * | Sabit eğim |
| Morgenstern-Price | Genel | * | * | $X/E=\lambda.f(x)$ |
| Genel Dilim Yöntemi | Genel | * | * | $X/E=\lambda.f(x)$ |

1.8. Güvenlik Sayısı

Genel olarak bütün mühendislik problemlerinde yapıların, belirli bir katsayı ile güvenlikte olması istenir. Şev stabilitesi açısından güvenlik sayısı; şevi dengede tutmak için, ortamın kayma direnci parametrelerinin, şevi denge kaybına zorlayan parametrelerle bölünmesiyle elde edilen bir değerdir. Bu sayı, şevin stabil olup olmadığı veya ne kadar

stabil olduğunu gösterir. Yapılan stabilite analiz sonuçları bir güvenlik sayısı ile açıklanır. Morgenstern ve Sangrey [23], güvenlik terimini, belli bir kayma yüzeyi boyunca, sevi limit denge durumuna getirebilmek için, kayma direnci parametrelerinin azaldığı bir faktör olarak tanımlamıştır. Chugh [24], limit denge yöntemine dayanan şev stabilite analiz yöntemlerinde, zeminin kayma direncindeki belirsizlik ve değişimleri hesaba katmayan, tüm kayma yüzeyi boyunca sabit olan bir güvenlik sayısı kabulü yapmaktadır. Baikie [25] ise, kayma direncinin bileşenleri olan sürtünme($\tan\phi$) ve kohezyon (c) için iki ayrı güvenlik sayısı kullanılmasını gerektiğini belirtmiştir. De Mello [26], küçük jeolojik detayların, gerçek boşluk suyu basıncının, zeminin gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin, başlangıç gerilmelerinin ve diğer faktörlerin güvenlik sayısını önemli derecede etkilediğini ve güvenlik sayısı hesabında her değişkenin hesaba katılması gerektiğini ileri sürmüştür. De Mello'ya göre güvenlik sayısının 1.0 olması, şev göçmesinin çok yakında olduğunu göstermektedir. Problemin tüm stabilitesi için eşitlik, ilk defa Collin [27] tarafından,

$$G.S. = \frac{\text{Direnen Kuvvetler}}{\text{Hareket geçiren kuvvetler}} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu denkleme göre seçilen bir potansiyel kayma yüzeyi boyunca, yalnızca göçme değil, dengede olma durumunda da güvenlik sayısı 1.0 'den büyük olmalıdır. Özel olarak şev stabilite analizlerinde bu güvenlik sayısının 1.5 'den büyük olması tercih edilmektedir. Değişik şartlarda sağlanması gereken güvenlik sayıları Tablo 7'de verilmektedir [5].

Tablo 7. Yamaç ve şevlerde güvenlik sayıları [5].

| Şart | Güvenlik Sayısı G.S. | | |
|--|----------------------|-----------------|--------|
| | Toplam Gerilme | Efektif Gerilme | Deprem |
| Dolgularda yapım sonu | 1.50 | - | - |
| Yarmalar | 1.50 | 1.25 | 1.0 |
| Barajda sızıntı | 1.50 | 1.25 | - |
| Barajda ani su düşmesi | 1.50 | 1.10 | - |
| Laboratuvar maksimum direnç Parametrelerin kullanımını ile | 1.50 | 1.35 | 1.0 |
| Kalıcı dirence göre | - | 1.20 | 1.0 |
| Uzun vadede duraylık | - | 1.20 | - |
| Yamaç üzerinde yapı bulunması | 1.80 | 1.50 | 1.2 |
| Fisürlü killer | - | 1.50 | - |

1.9. Heyelan Stabilizasyonu

Heyelanların stabilizasyonu etkenlerin fazlalığı nedeniyle her zaman kesin çözüm getirilemeyen bir konudur. Yeryüzü geometrisinin yarattığı doğal şevler ve bu şevler üzerinde inşa edilen yapılar, tasarımı ve stabiliteleri ile mühendislerin güvenlik ve ekonomik açıdan çok ilgilendikleri konulardan biri olmuştur. Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere paralel olarak çoğalan yollar, problemi zeminler üzerindeki yüksek dolgular, barajlar, büyük ve derin kazılar beraberinde stabilite problemlerini de getirmektedir.

Heyelan önleme ve düzeltme ile ilgili mühendislik çalışmaları muhtemelen 1830'ların başlarında İngiltere ve Fransa'da demiryolu ve büyük kanallar boyunca yapılmaya başlanmıştır. Heyelan stabilizasyonunun ilk çalışmaları topuğa destekler yerleştirme ve kapsamlı alt drenaj üzerinde yoğunlaşmıştır. 19.yüzyılın sonlarında endüstriyel gelişimle birlikte kayan kütlelerin tümünün yerinden kaldırılması ve yeniden kompaksiyonu sıradan olmuştur [28]. Heyelanların stabilizasyonu değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Ladd [29], çalışmalarında heyelan önleme tekniklerinin kıyaslamasını yapmış ve heyelan incelenmesinin önemini incelemiştir. Hennes [30], alınacak önlemlerin teori bakımından tatbikini ve pratikte uygulanmasını incelemiştir. Backer [31] ise hareketin mekaniğini ve önleme ile ilgili tedbirleri ekonomik açıdan incelemiştir.

Şev stabilite analizinde kullanılan yöntemlerin amacı, mühendislere karşılaştıkları kayma hareketlerinde uygulayabilecekleri uygun ıslah çarelerini bulmakta yardımcı olmaktır. Heyelanların önlenmesi anlamına da gelen ıslah ve meydana getirdiği, getirebileceği tahribatın giderilmesi veya önlenmesi çeşitli şekillerde olabilir. Heyelan önleyici ve düzeltici metotların özeti Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 8. Heyelan önleyici ve düzeltici metotlar [27].

| Stabiliteye Etkisi | Kullanılan Islah Metodu | Açıklamalar |
|---|---|--|
| Herhangi bir etkisi yok | I.Sakinme Metotları A.Yerdeğiştirme(ripaj) B.Köprü ile Geçme | Yeni güzergah ekonomik olduğu takdirde uygundur. |
| Kayma gerilmelerini azaltır. | II.Kazı A.Baş kısmının kaldırılması B.Şevlerin yatırılması C.Şevlerin teraslanması D.Kayan bütün malzemenin kaldırılması | A.Kalınlığı fazla olan kohezyonlu malzemelere B.C.Ana kayada,etekte az malzeme atılmış geniş kohezyonlu kütlelerde D.Kayan malzemenin küçük ve kalınlığının az olduğu hallerde |
| Kayma gerilmelerini azaltır ve kayma direncini artırır. | III.Drenaj A.Yüzey 1.Yüzey hendekleri 2.Şevlerin Islahı 3.Çatlakların tıkanması B.Yer altı 1.Yatay drenler 2.Boru drenleri 3.Tüneller(galeriler) 4.Düşey dren kuyuları 5.Mütemadi sifon | A. 1.Bütün tipler için esastır. 2.Sızıntıyı kontrol için şev yüzünü kaplama 3.Bütün tiplerde uygulanabilir. B. 1.YAS bulunan derin ve geniş zemin kütlelerinde 2.YAS bulunan nispeten derinliği az zeminlerde 3.Geçirimliliği olan derin ve geniş zeminlerde 4.Değişik tabaka ve cepler halinde YAS bulunan derin zeminlerde 5.Yer altı dren boruları veya düşey dren deşarjında kullanılır |
| Kayma direncini artırır. | IV.Tutucu yapılar A.Dayanma yapıları B.Etekte dayanaklar C.Kazıklar D.Palplanşlar E.Zemin Ankrajları | A.Kayan kütlelerin nisbeten küçük olduğu durumlarda uygundur. B.Etekte ilave mukavemet temini C.Kesme ve eğilmeye çalışan kazıklarla kayma direnci artırılır. E.Özellikle sürekli destek sağlamak amacı ile yapılırlar. |
| Daha ziyade kayma direncini artırır. | V.Çeşitli Metodlar A.Kayan kütlelerin stabilizasyonu 1.Enjeksiyon 2.Isıtma 3.Dondurma 4.Patlayıcı madde kullanma 5.Kompaksiyon 6.Elektro-osmoz 7.Derin kompaksiyon 8.Derin vibrasyon 9.Donatılı zemin 10.Kompaksiyon kazıkları | Yalnızca özel koşullarda uygulanabilen özel yöntemlerdir. |

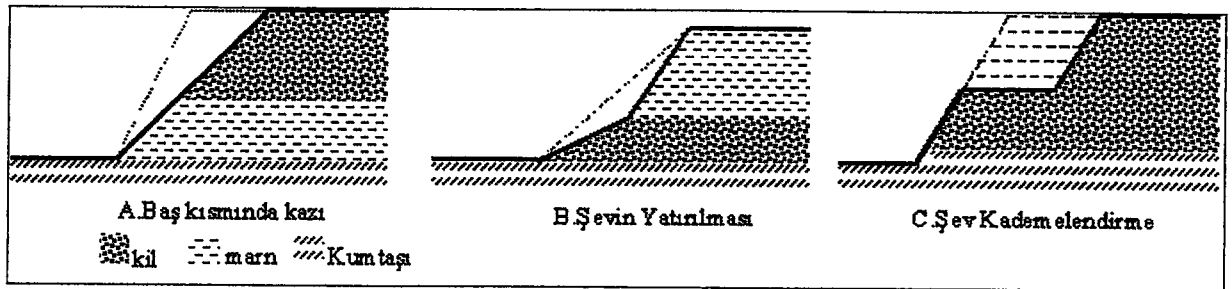
1.10. Kazı Metotları

Kazı metotları bir kaymaya sebep olan kuvvetleri azaltmak suretiyle bir heyelan kütlesini stabil duruma getirmek için tatbik edilmektedir. Tek başına veya diğer ıslah yöntemleri ile birlikte uygulanabilir. Bir şevde kaymaya sebebiyet verecek kütlenin azaltılmasının şev emniyetini arttıracığı söylenebilir. Gereği gibi uygulandığında yüzey drenajına da yardım edebilir. Kazı metotları,

- Heyelanın taç kısmının kazılıp kaldırılması.
- Şevlerin yatırılması.
- Şevlerin kademelendirilmesi.
- Stabil olmayan bütün malzemenin temizlenmesi.

olarak tanımlanabilir. Kazı metotları heyelanı harekete geçirici kuvvetleri azaltırken, harekete karşı mukavemet edici kuvvetleri de azaltabileceği daima hatırdta tutulmalıdır. Kazı metotlarının belli başlı dezavantajı, büyük çaptaki heyelanların önlenmesinde yüksek maliyet gerektirmesidir. Peck, Ireland [32] , harekete geçirici kuvvetin etkisini azaltmak amaçlı şevin uygun bir seviyeye düşürülünceye kadar gereken malzeme nakliyat maliyetinin, diğer metotların tatbiki için gereken maliyetle mukayese edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Şevlere eğim verilirken, burada görülen taşların mineralojik bileşimi ve jeolojik yapısı da önemlidir.

Kesme kuvvetlerinin büyük bir kısmı heyelanın taç kısmından geldiği için, buradaki malzemelerin kazılarak buradan uzaklaştırması stabiliteye katkı sağlayacaktır. Taşınacak malzemelerin miktarı fazla değil ve kayma yüzeyi dairesel ise bu metot iyi bir ıslah metodudur. Harekete geçirici kuvvette sağlanan azalma genellikle kayma yüzeyi dairesel olan kaymalarda büyük olabilmektedir. Şekil 9' da kazı metotları görülmektedir.



Şekil 9. Kazı metotları [33].

Nedeni ise; bu gibi kaymaların üst kısmında yerçekimi kuvveti büyük ölçüde basınç meydana getirmektedir. Bu metot kaymalarda daha çok uygulanmakta,akmalarda ve kayma yüzeyi düz olan hareketler için uygulanmamaktadır. Şevin yatırılması, dolgularda uygulanması, şevi oluşturan malzemelerin gerek doğal ve gerekse yapay nedenlerle oyulması ile meydana gelen ve yarma şevi tepesi üstünden az bir mesafeye uzanan küçük kaymalarda uygulanabilmektedir. Yatırılmış şev ile oyulmaların önlenmesi ve kaymanın şevin yukarı yayılması önlenebilir.

Şevlerin kademelendirilmesi metodu, şev yatırma metodunun değiştirilmiş bir şeklidir. Kademelendirme ile ,uzun şevler birbirine kademelerle bağlı daha kısa şevlere dönüştürülür. Bölünen şev segmanlarının daha bağımsız olmalarını temin için kademeler arasındaki uzaklık en azından 7,5 m olmalıdır. Şevlerin aşınmasını önlemek amacıyla, şev yüzeyi bitki örtüsü, püskürtme beton ve harç ile kaplanabilir ve ağaçlandırılabilir.

1.11. Drenaj

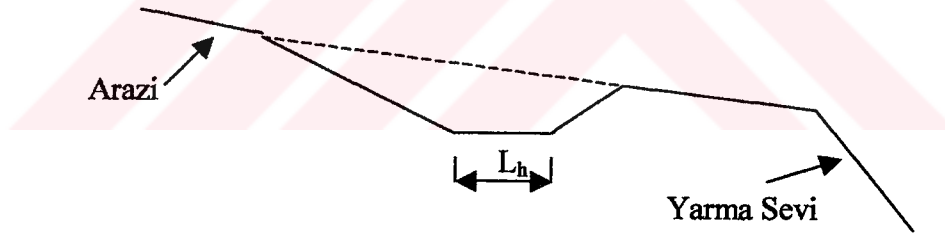
Yamaç stabilitesini tüm diğer etkenlerden fazla etkileyen faktörün su olduğu,yağışlardan sonra oluşan heyelanların diğer nedenlerden kaynaklanırlara oranla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Karların eridiği,buzların çözüldüğü ve yağışların fazla olduğu dönemlerde zemin tam doygun hale gelmekte,yeraltı suyu en yüksek seviyeye çıkabilmektedir. Kayma kütlesi içinde bulunan su kendi ağırlığı ve sızıntı kuvvetlerinin etkisi ile kesme kuvvetlerini artırır. Kayma yüzeyine yakın yerlerde boşluk basıncının veya hidrostatik basıncın artması kayma direncini azaltır. Suyun içerdiği kimyasal maddeler, kayma malzemeleri içinde kimyasal veya fiziksel değişikliklere neden olabilir. Terzaghi [11], suyun kayma yüzeyini yağlamak suretiyle etkidiğini belirtmiştir. Heyelanların önlenilmesinin bu suların çeşitli metotlarla drene edilmesine bağlı olduğu söylenebilir. Drenaj, heyelanların ıslahı ve kontrolü konusunda uygulanan metotların başında gelmektedir. Hareketin cinsi ne olursa olsun,yüzey drenajı önemli olup, birçok hallerde az bir ek maliyetle diğer metotlarla bir arada uygulanabilir. Binlerce metre küp malzemenin yer aldığı heyelanlarda drenaj metotları ekonomik birer çözüm olabilir. Drenaj metotlarının belli başlı faydası, diğer metotların uygulanması ile kontrolü mümkün olmayabilecek kaymaları kontrol edebilmektir. Her arazinin topoğrafyası, jeolojisi ve zeminin fiziksel özellikleri drenajın projelendirilmesinde esas rolü oynayacaktır.

Drenaj metotlarını yüzey drenajı ve yer altı drenajı olmak üzere 2 ana başlık altında toplayabiliriz.

1.11.1. Yüzey Drenajı

Yüzey sularının stabil olmayan bir zemine girmesini önlemek için her tedbir alınmalıdır. Yüzey drenajının aktif bir heyelanı kendi kendine ıslah ettiği pek ender görülmüş olmasına rağmen yüzey drenajı yapılması yine de fayda sağlayacaktır. Gerek kendi kendine ve gerekse birkaçı bir arada uygulanan belli başlı yüzey drenajı metotları kafa(çevre) hendekleri, şev düzenlenmesi, çatlakların kapatılması ve şevin kaplanması olarak verilebilir.

Çevre hendekleri (Şekil 10) hemen hemen her heyelanda uygulanan bir metottur. Heyelan sahası dışından gelen suların kayma bölgesine girmesinin önlenmesi için, kayma bölgesinden daha uzak, heyelanın etrafını saran çevre hendekleri yapılabilir. Yukarıdan düşen döküntü malzemesinin hendeği tıkaıyabileceği durumlarda suyun tıkanma olmadan akmasını sağlamak amaçlı borular da döşenebilir.



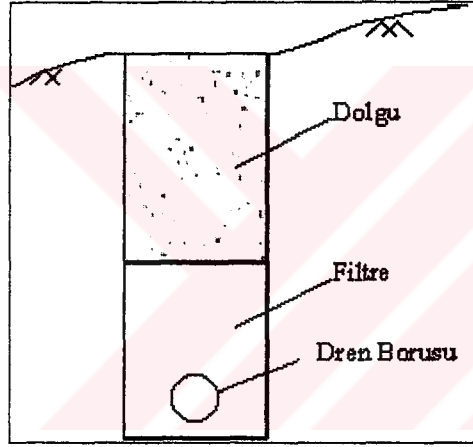
Şekil 10. Kafa (çevre) hendeği [33].

Heyelan yüzeyinin düzgün olmayışı, çukurların olması suyun birikmesine ve zamanla zemin içerisine girmesine neden olacaktır. Heyelan yüzeyinin düzlenmesi yüzey sularının akışını kolaylaştırıp, kayma kütlelerinin merkezine sızmalarını önleyebilir. Heyelan yüzeyinin geçirimsizliğinin artırılması, suyun akışının hızlandırılması ve şevin stabilitesinin sağlanması için yüzeyi çimlendirmek, ağaçlandırmak, çimento harcı veya bitümlü malzeme ile kaplamak faydalı olabilir. Herhangi bir tip kaymada yüzeysel çatlakları kapatmak, hem yüzey sularının kayma kütlelerine girmesini önlemesi ve hem de donmaya maruz bölgelerde don faaliyetini azaltması bakımından faydalı olacaktır.

1.11.2. Yeraltı Drenajı

İçsel sürtünme direncini azaltan, şev ve yamaçların stabilitesini tehlikeye sokan yer altı suyunun heyelan olabilecek bölgeden uzaklaştırılması gerekmektedir. Su kaynağına ulaşabilme, suyun drenaj sistemine serbestçe geçmesini sağlayacak geçirgen bir zeminin olması ve drenaj sisteminin gelecekte de çalışmasını temin amacıyla sağlam bir zemine oturtulması yer altı drenajının başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlayacaktır.

Dren hendekleri (Şekil 11), heyelan sahasının dik tarafına, su içeren tabakalardan aşağıya ve sağlam bir zemine kadar kazılmalıdır. Zemin sağlam değilse altlık betonu dökülerek dren borusu yerleştirilir. Taban kısmına konulan dren borusunun altı ve etrafına geçirgen filtre malzemesi konduktan sonra üzeri doldurulur.



Şekil 11. Dren hendeği kesiti [33].

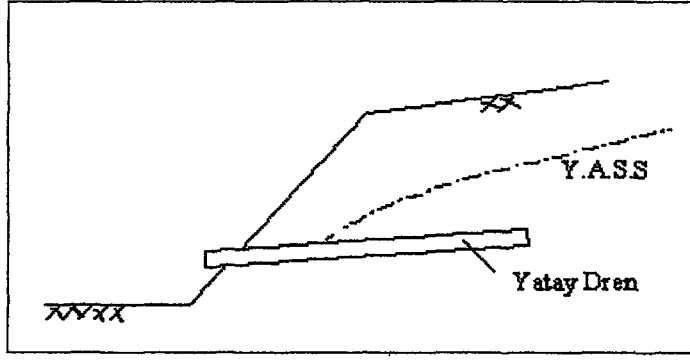
Filtre malzemesinin civar malzemelerden daha geçirgen olması gerekmektedir. Filtre malzemesinin boşluk çapları civar malzemesi dane çaplarından daha küçük olmalı ki daneciklerin sürüklenmesi ve dren borularını doldurması önlenir. Filtre malzemesi için, heyelan drenaj problemlerinde Terzghagi-Casagrande kriteri [33];

$$\frac{D_{15} \text{ filtre}}{D_{85} Z_{e \text{ min}}} < 4 - 5 < \frac{D_{15} \text{ filtre}}{D_{15} Z_{e \text{ min}}} \quad (6)$$

sağlanmalıdır.

Yatay dren boruları; yatay dren metodunun ilk uygulaması yaklaşık olarak 1939 yılında California Karayolları tarafından yapılmıştır. Yer altı suyunun yoğun olduğu yer

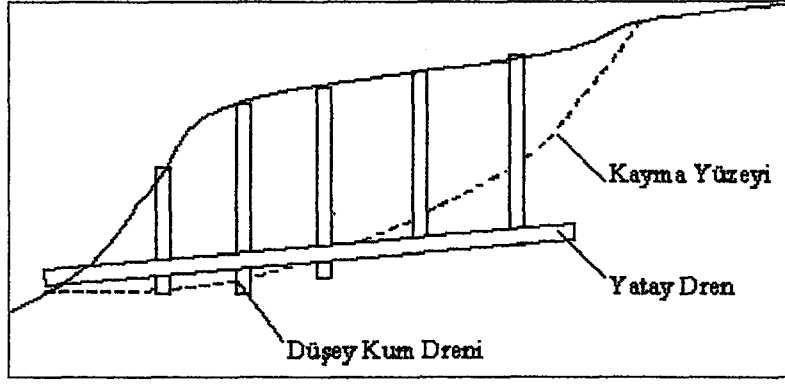
çeşitli yöntemlerle yaklaşık olarak belirlendikten sonra bu bölgeye açılan 9-12 cm çapındaki deliklere yatay veya yataya yakın 5-10 cm çapındaki borular yerleştirilir. Yatay dren borularının boyları 60-100 m veya daha fazla, aralıkları ise 10-30 m olabilir, kayma kütleindeki suyun seviyesi alçaltılabilir ve su geçirgen bir tabakaya drene edilebilir.



Şekil 12. Yatay dren görünüşü [33].

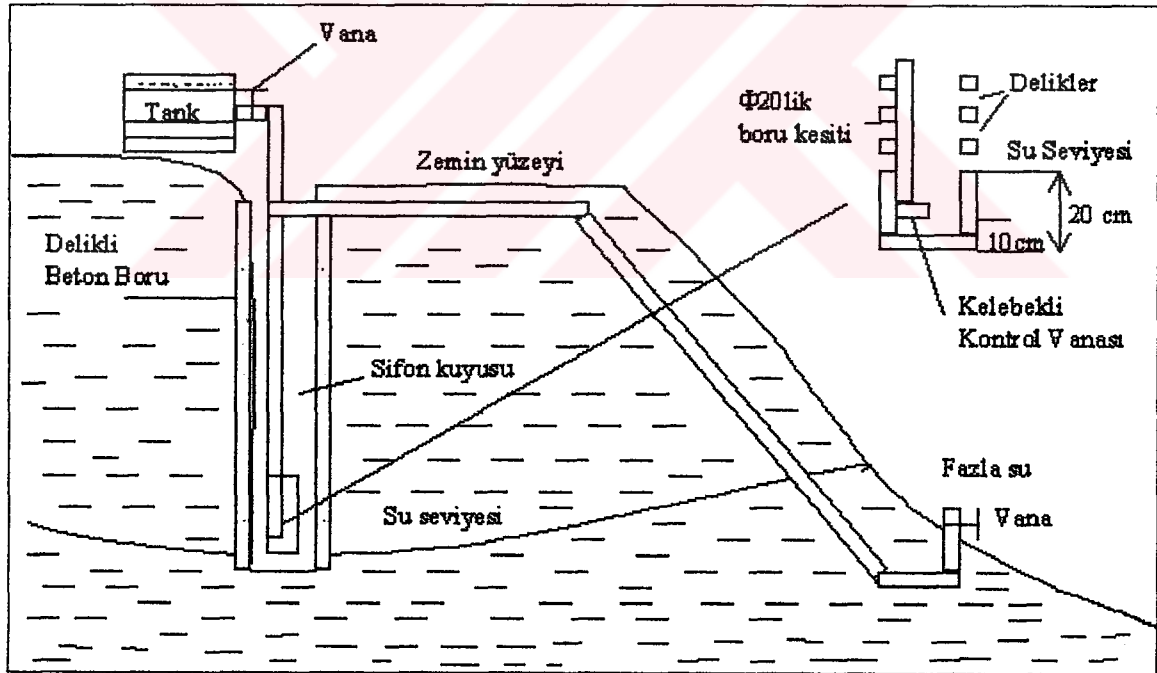
Galeriler; Dren hendek derinliğinin büyük olması durumunda maliyet yükseleceğinden galeri yapımı tercih edilebilir. Daha çok, büyük hacimli kütle hareketlerinin önlenmesinde kullanılmaktadırlar. Heyelanı muhtemel bölgenin özelliklerine bağlı olarak Y, T şekillerinde veya değişik geometrik şekillerde projelendirilirler. Galerilerin açılmasında tünel açma teknikleri kullanılır.

Düşey kum drenleri, genellikle yatay drenlerle birlikte uygulanan düşey kum drenleri, geçirgen olmayan tabakalarla ayrılan ve su ihtiva eden merccekler veya tabakalar arasından bir drenaj imkanı sağlayabilirler. Drenler genellikle 40-60cm çapında olup doygun hale gelmiş zemin tabakaları içerisine, özel matkapla açılmış bir delik yardımı ile veya doğrudan doğruya çakılarak yerleştirilirler. İri taneli kum veya diğer uygun filtre malzemeleri ile üzerleri doldurulur. Düşey drenlerde kullanılacak zeminin konsolidasyon ve mukavemet parametreleri örselenmemiş numuneler alınarak belirlenebilir.



Şekil 13. Düşey kum ve yatay drenlerin birlikte kullanımı [33].

Sifonla deşarj yöntemi maliyeti yüksek galeriler tesis etmek, sondaj yardımıyla tesis olunmuş borular ve buna benzer klasik çıkış sistemleri yerine, düşey kuyulara biriken suyu pompalama ile drene etmek için kullanılabilirler. Şekil 14' te görülen bu tip sifonlardan ilk defa Washington eyaletinde kullanılmıştır.



Şekil 14. Washington sifonu [33].

1.12. Tutucu Yapılar

Heyelanları stabil hale getirmek ve önlemek için uygulanan eski ancak çok tercih edilen metotların arasında tutucu yapılar gelmektedir. Kaymaya sebep olabilecek kuvvetler, mukavemet edici kuvvetlerden fazla ise herhangi bir tip tutucu yapı ile elde edilecek ek mukavemet sayesinde stabiliteyi sağlamak ve kaymayı önlemek mümkün olabilir. Tutucu yapıları Dayanma (İstinat) Yapıları, Paçlıaşlar, Kazıklar, Etekte Dolgu, Zemin Ankrajları olmak üzere 5 grupta inceleyebiliriz.

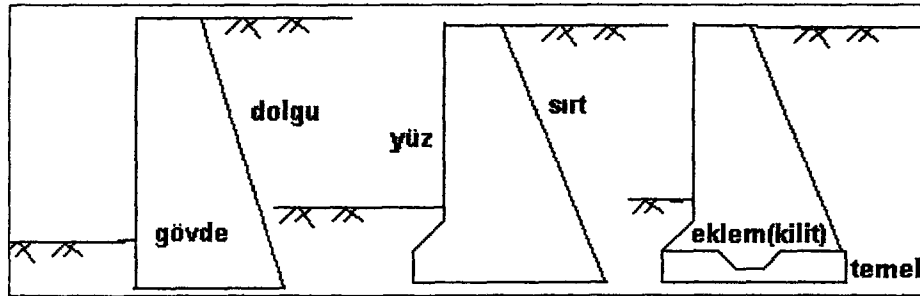
1.12.1. Dayanma Yapıları

Zemin dayanma (İstinat) yapıları uygulamada genellikle İstinat duvarları olarak anılmaktadırlar. Doğal yamaçlarda kayma olasılığı olan yerlerde yamaç dengesini (stabilitesini) sağlamak için, yada yapılan kazılar sonucunda oluşturulan şevlerin dengeyi bozacak kadar dik olması halinde şev dengesini sağlamak amacıyla yapılırlar [8,10].

İstinat duvarları, yamaç yada şevlerdeki dengeyi sağlama biçimlerine göre, ağırlık, konsol, payandalı, kafes, yarı ağırlık İstinat duvarları olmak üzere 5 grup altında toplanabilirler.



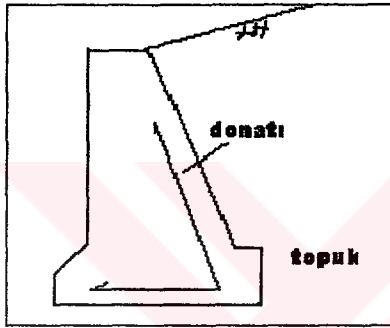
Şekil 15. İstinat duvarı [8].



Şekil 16. Ağırlık tipi dayanma duvarları [10].

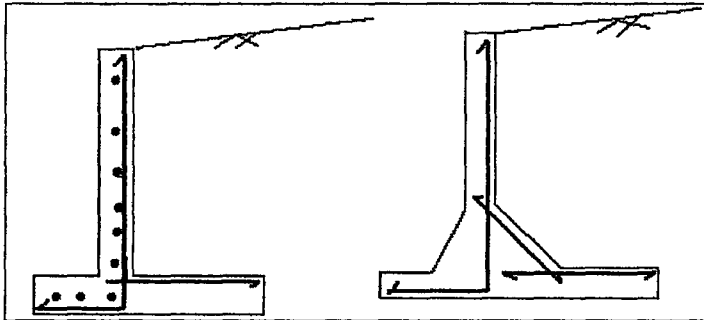
Ağırlık istinat duvarları, (Şekil 16) harçlı veya harçsız taş örgü, tuğla veya kütle betondan yapılan duvarlardır. Yatay zemin basınçlarına karşı öz ağırlığı ile karşı koyarak dengenin sağlanması amaçlanır. Yapıldığı malzemenin özelliğine uygun olarak çekme gerilmesi almaması amaçlanır. Ağırlık duvarlarının diğer tiplere göre olumlu yanı, kütlesi nedeniyle aşınma, paslanma hatta kısmi kırılmadan daha az etkilenmesidir.

Yarı ağırlık istinat duvarlarında, betona bir miktar donatı ekleyerek ağırlık tipinde kullanılan beton miktarını azaltmak mümkündür. Bu işlem ile gövde belirgin oranda küçüleceğinden temel boyutu stabilitenin sağlanması için büyüyecektir. Bu tipe yarı ağırlık tipi istinat duvarı denir. Şekil 17’de yarı ağırlık istinat duvarı görülmektedir.



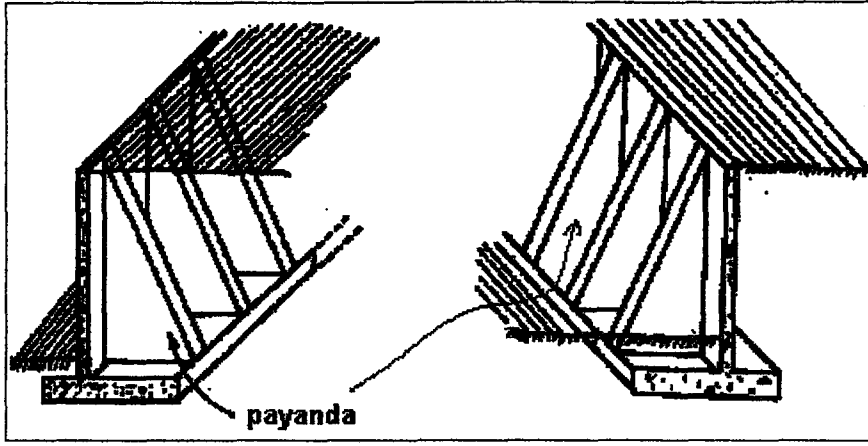
Şekil 17. Yarı ağırlık tipi istinat duvarı [10].

Konsol istinat duvarları, genelde betonarme olarak yapılırlar ve yatay basınçlarda dengeyi bir konsol gibi çalışarak sağlarlar. Şekil 18’de konsol istinat duvarları görülmektedir.



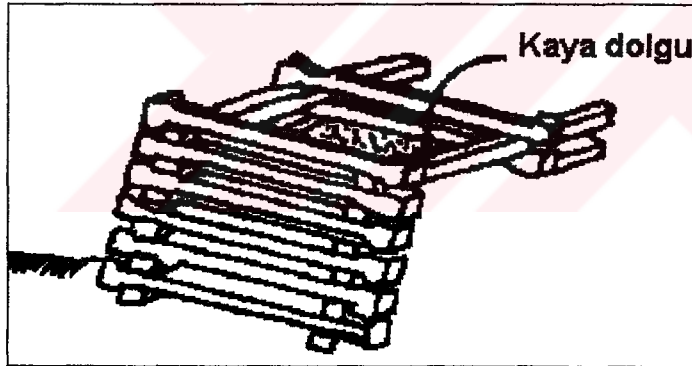
Şekil 18. Konsol istinat duvarları ve ana donatıların yerleştirilmesi [10].

Payandalı istinat duvarları, yüksekliğin konsol duvarlar için fazla olması ve yatay basınçların çok yüksek olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Şekil 19’da payandalı istinat duvarları görülmektedir.



Şekil 19. Payandalı istinat duvarları [10].

Kafes istinat duvarları (Şekil 20), ahşap, çelik yada prefabrik olarak yapılmış betonarme elemanlar kullanılarak inşa edilirler. Kafeslerin içerisi taş yada deneli zeminle doldurulur. Duvarın stabilitesi sadece bireysel hücrelerin ağırlığına değil, içine doldurulan malzemenin kayma direncine de bağlıdır [10].

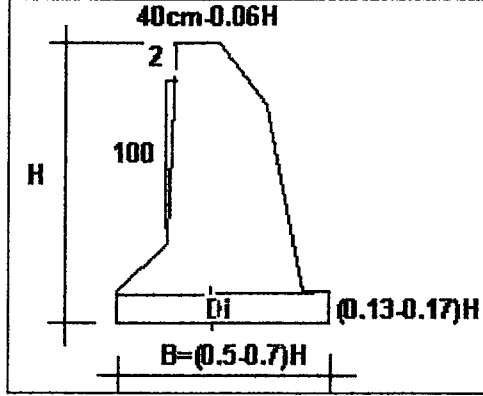


Şekil 20. Kafes istinat duvarları [8].

1.12.2. İstinat Duvarlarının Boyutlandırılması

Bütün mühendislik yapılarında olduğu gibi istinat duvarlarının boyutlandırılmasında da bir ön boyutlandırma yapılıp, seçilen boyutların yeterli olup olmadığı tahkik edilmelidir. Huntington [34], ağırlık ve betonarme istinat duvarları için yüksekliğin oranına göre boyutlandırma yapmıştır. Duvar projesinde ana kriterin H yüksekliğinin olduğunu belirtmiştir.

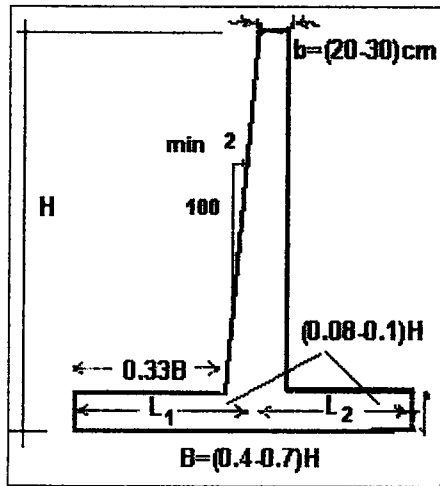
Ağırlık istinat duvarları genellikle yamuk kesitli yapılmalarına rağmen, ekonomik olmaları amacıyla kırık sırtlı da yapılabilirler. Bu tür duvarlarda beton donatısız olduğundan çoğunlukla temelin gövde genişliğinden farklı olmaması istenir. Şekil 21’de ağırlık istinat duvarı ön boyutları görülmektedir.



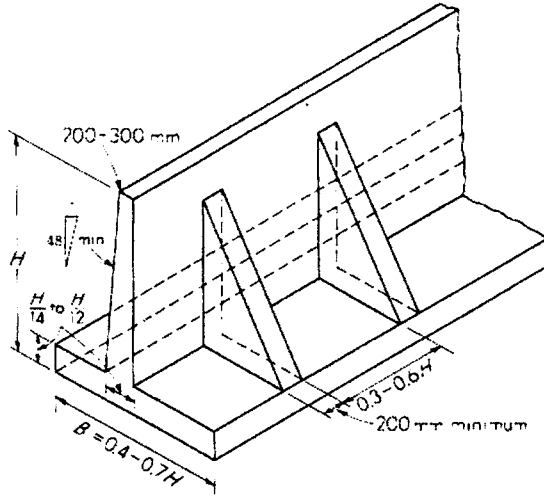
Şekil 21. Ağırlık istinat duvarlarının ön boyutları [10].

Konsol istinat duvarları aktif basıncın uyanması için öne doğru eğilmesi gerekli olduğundan duvar yüzüne önceden ters eğim verilmesi uygun olmaktadır. Diğer duvarlarda olduğu gibi konsol türde de kuvvetler bileşkesinin tabanın çekirdeği içinde kalması istenir. Şekil 22’de konsol istinat duvarı ön boyutları görülmektedir.

Payandalı istinat duvarının ekonomik olması için 7m’den alçak olması gerekmektedir. Boyutların optimum değerleri, işçilik ve malzeme fiyatlarının analizi ile seçilebilir. Şekil 23’de payandalı istinat duvarı ön boyutları görülmektedir.



Şekil 22. Konsol istinat duvarlarının ön boyutları [10].



Şekil 23. Payandalı istinat duvarlarının ön boyutları [8].

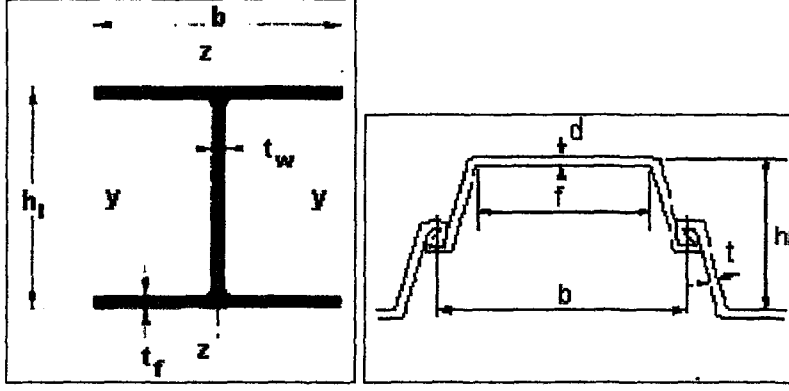
1.12.3. Palplanşlar

Dayanma duvarlarının genellikle yatay zemin basınçlarını kendi ağırlıkları ile karşıladığı, aynı büyüklükteki yatay basınçların çelik ve betonarme gibi yüksek mukavemetli yapı malzemelerinden imal edilmiş esnek elemanlarca da taşınabileceği bilinmektedir. İşte bu esnek dayanma yapılar perde duvarlar yada palplanşlar olarak adlandırılmaktadır. Palplanşlar taşıdığı yatay kuvvetlere oranla ağırlığı ihmal edilebilecek kadar hafif yapı elemanlarıdır [35]. Heyelanların önlenmesinde palplanş kullanımı geçici bir tedbir şeklinde düşünülebilir. Çoğunlukla deniz kenarlarında gerekli su yüksekliğini sağlamak amaçlı kullanılırlar.

Palplanşlar çelik, betonarme, ahşap, alüminyum, fiberglas ve PVC gibi malzemelerden üretilmektedir. Çelikten üretilen palplanşlar birçok olumlu yönü ile diğerlerinden daha çok kullanılmaktadırlar. Olumlu yönleri şöyle verilebilir.

1. Sert zeminlerde çakmadan oluşacak yüksek gerilmelere dirençlidir.
2. Boyu ve aldığı gerilmelere oranla çok hafiftir.
3. İstenirse sökülme suretiyle birçok kez kullanılabilir.
4. Basit bir koruma önlemi ile su üstü ve altında uzun süre hizmet verir.
5. Uzunluğunu çakma sırasında kaynak ya da cıvata ile artırma olanağı vardır.
6. Eklemler çakma sırasında araya dolan molozdan etkilenmez.
7. Suya geçirgen olmayan bir perde oluşturabilir.

Palplanşlar, en kesit biçimlerine göre çeşitli isimler almaktadırlar. U-kesit, Z-kesit, H kesit ve kutu kesit bunlardan birkaç tanesidir. Şekil 24'de U-kesit, H-kesit palplanşlar görülmektedir.

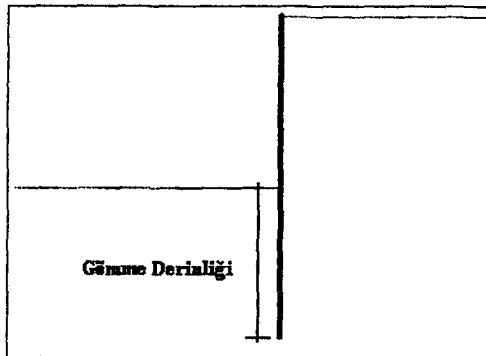


Şekil 24. H-U kesit palplanşlar [8].

İnşa edilif biçimlerine göre palplanşları, ankastre (gömmе) ve ankrajlı (bağlı) palplanşlar olmak üzere iki gruba ayrabiliriz.

1.12.3.1. Ankastre Palplanşlar

Ankastre palplanşlar zemine çakıldıktan sonra kendine etkiyen yatay yükleri gömmе derinliğinden dolayı direnç göstererek taşıyan elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Bu tür palplanşlar genellikle 4 m yüksekliğindeki kazı yada dolgular için uygun olmakta daha yüksek yerlerde yaygın olarak kullanılamamaktadırlar. Bunun sebebi, yatay basınçlar etkisiyle eğilmeye zorlanması ve meydana gelen yatay deformasyonların yüksek düzeylere ulaşabilmesidir. Şekil 25'da tipik bir ankastre palplanş görülmektedir.



Şekil 25. Ankastre perde duvar (palplanş) [8]

Tablo 9'da palplanşların ön tasarımı yapılırken dikkate alınan gömme derinlikleri verilmektedir.

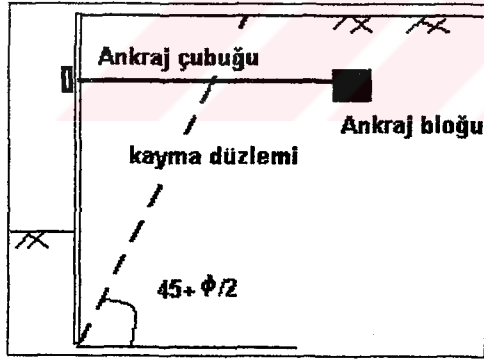
Tablo 9. Palplanşlarda gömme derinliği için başlangıç değerleri [8].

| Zemin Durumu | Gömme Derinliği, D_g |
|--------------|------------------------|
| Sıkı | 0.75H (*) |
| Orta sıkı | 1.0H |
| Gevşek | 1.5H |
| Çok gevşek | 2.0H |

*(H:Palplanşların gömme seviyesi üstündeki yüksekliği)

1.12.3.2. Ankrajlı Palplanşlar

Ankrajlı palplanşlar (Şekil 26), duvar yüksekliğinin 10 m' yi geçmesi ve yatay basınçların artması durumunda uygulanırlar. Aşırı esnemeyi ve öne eğilmeyi önlemek için perde belirli aralıklarla çelik halat veya ankraj çubuklar ile sağlam zemine yerleştirilmiş ankraj bloğuna bağlanır.



Şekil 26. Ankrajlı palplanşlar [10].

1.12.4. Projelendirmede Dikkat Edilecek Hususlar

Duvar türü ne olursa olsun proje ya da analiz yaparken aşağıdaki işlemlerin sırasıyla yürütülmesi gerekmektedir.

1. Genel bilgilerin toplanması: Kayma alanı sınırları, topoğrafya, çevre koşulları
2. Zemin profilinin ve özelliklerinin saptanması
3. Ek yüklerin değerlendirilmesi

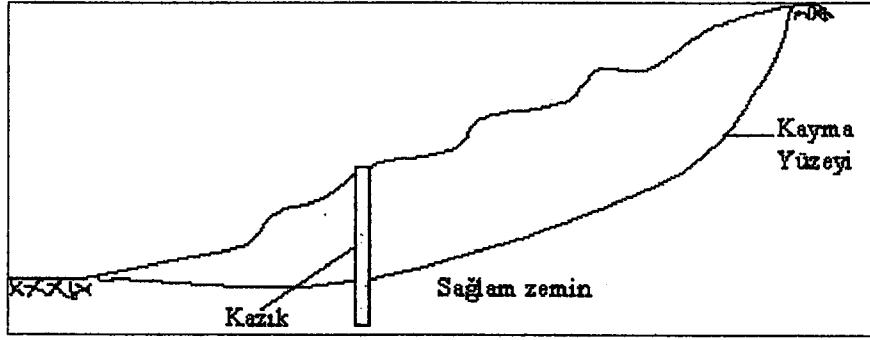
4. Ön tasarım
5. Temel stabilitesinin kontrolü
6. Yapısal elemanların boyutlandırılması
7. Toprak itkilerinin hesabı
8. Duvarın hareketlerinin kontrolü

Duvarların projelendirilmesinde en önemli aşamalardan bir tanesi de duvar stabilitesinin kontrolü ve gerekli tahkiklerin yapılmasıdır. Duvarların;

- a. Kaymaya,
- b. Devrilmeye,
- c. Taşıma gücüne,
- d. Konsolidasyon ve oturmalara,
- e. Toptan göçme'ye karşı güvenli olması gerekmektedir [6,10].

1.13. Kazıklar

Heyelan veya kayma hareketini önleyebilmek veya geciktirmek için uygulanabilirler. Bu yöntemin uygulanması ile zemin kütlesinin kayma direnci artırılabilir. Bu şekilde arttırılan bir kayma direnci ile kayma hareketini önlemek mümkün olabilir. Kazıklara gelen yüklerin hesabında istinat duvarlarında kullanılan hesap yöntemi kullanılabilir. Türkiye'de ilk defa 1963 yılında Sapanca Şimal yolunda kullanılmıştır. Kazık veya kazık gruplarının ara mesafeleri, meydana gelen eğilme momentlerine dayanarak hesaplanabilir. Kazıkların uygulanacağı heyelanı muhtemel bölgenin derinliğinin ve zemin özelliklerinin belirlenmesinden sonra kazığın sağlam zemine giren derinliği hesap edilir. Kazığın sağlam zemin içerisindeki boyu toplam boyun $1/3$ 'ü kadar, sert zeminlerde ise $1/4$ 'ü kadar alınabilir. Sağlam zemin aşırı derinde ve ulaşılması zor olduğu durumlarda yumuşak zeminler arasında mevcut kum-çakıl tabakalarını bulup,direnci sağlamakla çözüm sağlanabilir [6, 10, 33].

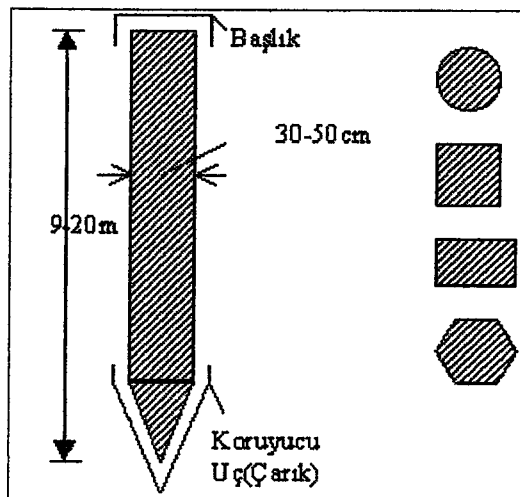


Şekil 27. Heyelanların önlenmesinde kazıklar [4].

Kazıkları yapıldıkları malzemelere göre Ahşap, Beton, Çelik, Karma (kompozit) kazıklar olarak üç grup altında toplayabiliriz.

1.13.1. Ahşap Kazıklar

Ahşap kazıklar (Şekil 28) uygulamada ilk kullanılan türdür. Ahşap kazık ağaçların gövdesinden, uzun silindir veya prizma (kare, dikdörtgen veya çokgen) biçimli yapılıdır. Çapı 30-50 cm arasında, uzunlukları ise 9-20m arasında değişmektedir. Şekil 28’de Ahşap kazık örneği görülmektedir. Ahşap kazıkların başlarını ve uçlarını çakma sırasında korumak için, kalın sacdan başlık ve çarık kullanılabilir. Çürümeye karşı, ahşap kazıkların özellikle suda kalma sırasında zararlı böcekler ve mikro organizmalardan zarar görmemeleri için ilaç içerme, kreozot denilen katranlı vb. koruyucu sıvıyı ahşabın boşluklarına, basınçlı olarak gönderme veya betonla kaplama önlemleri alınabilir.



Şekil 28. Ahşap kazıklar [38].

1.13.2. Beton Kazıklar

Beton ve betonarme kazıklar günümüzde giderek artan kullanım alanı bulmaktadır. Beton kazıklar zemine çakılma yoluyla veya sondaj deliğine beton ve gerekirse donatı yerleştirilmesiyle yapılırlar. Betonarme kazıklar 25-75 cm çapında olup, 30 m uzunluğa kadar yapılabilirler. İçlerine, boyuna donatılar, etriyeler konulur. Sebebi ise gerek kaldırma, gerekse çakma sırasında eğilme etkisinde kalmalarıdır.

Kesitleri, dairesel, karesel, uzunluk arttıkça altı ve sekiz köşeli olabilmektedir. Şekil 29'da betonarme kazık örneği görülmektedir. Aşağıda beton ve betonarme kazıkların ayrımı ve çeşitli tülkelerde uygulama adları belirtilmiştir [36, 37].

A. Hazır Betonarme Kazıklar

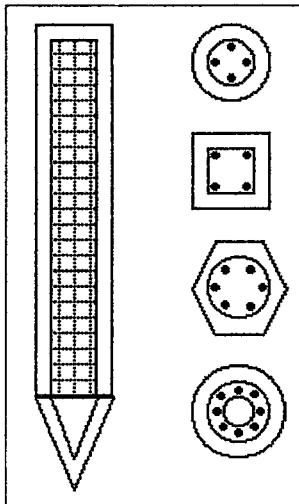
1. Betonarme
2. Ön gerilmeli

B. Yerinde Yapılan Betonarme Kazıklar

1. Kaplama borusuz (Kompess, Dullac)
2. Kaplama borusu bırakılan (Raymond, West's, Mast, Gambia)
3. Kaplama borusu çıkarılan (Franki, Expres, Simplex, Vibro, Alpha, Western)

C. Yerinde Yapılan Sondaj Kazıkları (Fore Kazık)

1. Kaplama borusuz (Icos-Veder)
2. Mantosu yerinde kalan (Lorenz, Franki)
3. Kaplama borusu çıkarılan (Strauss, Wolfsholz, Benoto, Prestcore)



Şekil 29. Betonarme hazır kazıklar [38].

1.13.3. Çelik Kazıklar

Çelik kazıklar, yapımı ve taşınması en uygun türdür. Çakma sırasında yüksek gerilmeler alabilirler. Kaynak olanağı bulunduğundan ekleme ve kesme ile istenen uzunluk hemen sağlanabilir. I, H profil boru, 4, 6, 8 köşeli yapılabilen çelik kazıkların içi istenirse betonla doldurulabilir. Yer altı suyunun zararlı maddeler taşıması durumunda paslanma ciddi bir sorun olabilmektedir. Bu sorun, boyama, çeliğe bakır v.b. eklenmesi gibi koruma yollarıyla günümüzde önemli ölçüde önlenmektedir. Kazığın genellikle ana kayaya indirilerek çakılması uçta çok yüksek gerilmeler oluşturmakta, kazık bundan aşırı zarar görebilmektedir. Hasarı önlemek için oslo ucu kullanılabilir [37,38].

1.14. Etekte Dolgu

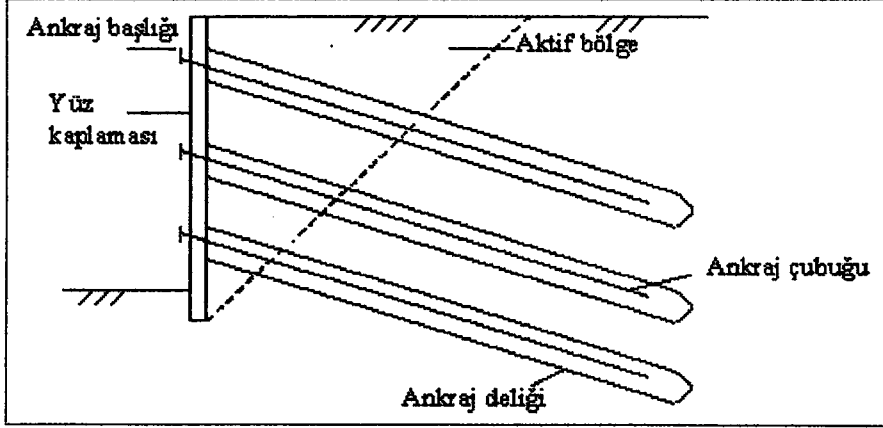
Bir heyelanın etek kısmına destek veya konturpua dolgu yapılarak ağırlık sağlamak mümkün olabilir. Orijinal zeminin kayma direncinden daha yüksek kayma direncine sahip bir toprak veya kaya dolgunun etek kısmına uygulanması ile kayma direncini arttırmak mümkün olabilir. Bu tip dolgular kayma yüzeyi altına kadar indirilerek istinat duvarı gibi çalışması sağlanabilir. Eğer etek kısmında oluşturulacak toprak veya kaya dolgular kayma yüzeyi altında sağlam bir zemin üzerinde uygulandıkları takdirde, oluşacak yüksek kayma direnci sayesinde kaymaya karşı mukavemet artabilir. Dolgu arkasında uygun bir drenaj tesis edilmesi heyelanın önlenmesine oldukça faydalı olabilir [6,10].

1.15. Ankrajlar

Bazı durumlarda tutucu yapıların zayıf malzeme üzerine oturtulması ile tutucu yapıların tabanındaki birim basınç, temel zemini taşıma kapasitesinin üzerine çıkabilir. Örneğin; tutucu yapının kazıklardan yapılmış olduğu durumlarda kazıkların, içine çakıldığı malzemelerin zemin kütlelerinin yanal basıncına mukavemet edecek kadar kesme kuvvetine sahip olmaması halinde kazıkların devrilmesi önlenemeyecektir. Bu gibi hallerde devrilmeye karşı gerekli ek mukavemet ankrajlar ile sağlanabilir. Heyelanların önlenmesinde de ankrajlar kullanılabilir. Bir kaymanın ankrajlar sayesinde kontrolü Laurence tarafından izah edilmiştir [39].

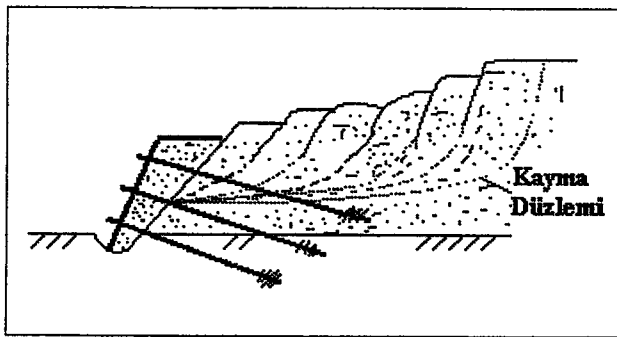
Ankrajlar (Şekil 30), zeminin ya da kayaların çekme gerilmelerini içeriye, ana kayaya iletmek, süreksizliklerin ya da tanelerin sürtünme direncini arttırmak için kullanılan

çubuklar olarak tanımlanmışlardır. Literatürde ankraj anlamında bazen Enjeksiyonlu kablo, Bağlama kirişi, Ankraj kazığı gibi deyimler kullanılmaktadır.



Şekil 30. Ankrajlı kaplama [38].

Ankrajlar; 10-30 cm çapında burgularla, bazen kaplama borusu da kullanarak, zeminin delinmesi, deliğin içine çelik çubukların yerleştirilmesi ve çubuk çevresindeki boşluğun çeşitli enjeksiyonlarla doldurulması ile oluşturulmaktadır. Enjeksiyon, aktif bölge dışındaki kısma uygulanmaktadır. Ankraj yapılacak bölgenin litolojik, hidrojeolojik ve süreksizlik özelliklerinin bilinmesi ve bu bilgiler dahilinde, taşınacak yüklerin hesaplanıp gerekli ankraj adedinin, boyunun ve aralıklarının saptanması gerekmektedir. Heyelanlarda uygulanacak ankraj boyunun kayma düzlemini geçecek biçimde boyutlandırması gerekmektedir.



Şekil 31. Ankrajların heyelanlarda kullanımı [19].

Ankrajlar, amaçlarına, sürelerine, bağlama şekillerine, gövdelerinin yapılarına, bağlama uçlarına, başlangıçtaki gerilme durumlarına ve aldıkları yük miktarına göre sınıflandırılırlar. Amaçlarına göre;

- a. Deformasyonu önleyici (öngerilmesiz),
- b. Kuvvet uygulayıcı (öngerilmeli),
- c. Ölçüm amaçlı.

Gövdelerinin yapılışına göre:

- a. Çubuk ankrajlar,
- b. Boru ankrajlar,
- c. Halat ankrajlar,
- d. Demet ankrajlar,
- e. Yapay malzeme ankrajları.

Bağlama uçlarına göre:

- a. Serbest uçlu,
- b. Konik başlıklı,
- c. Kamalı,
- d. Yapışmalı.

Sürelerine göre:

- a. Geçici,
- b. Sürekli,

ankrajlar olarak sınıflandırılabilirler [10].

1.16. Kayan Zeminlerin Stabilizasyonu

Zeminlerin stabilizasyonunda temel ilke, zemin içerisindeki mevcut boşlukların mekanik araçlarla azaltılması, zemin boşluklarının çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması, yeraltı su seviyesinin düşürülmesi veya zeminin su içeriğinin azaltılması yada çeşitli elemanların kullanılması ile mevcut zeminin güçlendirilmesi ve dolayısıyla muhtemel heyelanın önlenmesidir. Stabilizasyon yöntemleri aşağıda belirtildiği gibi iki ana grup altında verilmektedir.

- a. Yüzeysel Stabilizasyon Yöntemleri
- b. Derin Stabilizasyon Yöntemleri

1.16.1. Yüzeysel Stabilizasyon Yöntemleri

1.16.1.1. Kompaksiyon

Zeminin statik, vibrasyonlu ve darbeli aletlerle mekanik sıkıştırılması olarak tanımlanabilir. Kompaksiyon işlemiyle zemin boşluklarındaki havanın bir kısmı dışarı atılarak zeminin boşluk oranı azaltılır. Kompaksiyonla sıkıştırılan bir zemin tabakasının kayma direnci artar, permeabilitesi azalır. Belirli bir enerji seviyesi için kompaksiyon etkinliği, zeminin su muhtevasına bağlıdır. Sıkıştırılacak olan zeminin optimum su muhtevası belirlenerek, zemin, bu su muhtevasında sıkıştırılır. Araziye yapılan sıkıştırmayı takiben sıkıştırılan tabakadan alınan numunelerin kuru birim ağırlığı, aynı malzeme için laboratuarda bulunan maksimum kuru birim hacim ağırlığına oranlanarak "sıkıştırma yüzdesi" hesaplanır. Bu oranın %95'ten büyük olması istenir.

1.16.1.2. Çimento ile Stabilizasyon

Çimento stabilizasyonu ile zemin iyileştirme granüllü zeminlerin toz haline getirilerek çimento eklenmesi ve karıştırılması ile gerçekleşmektedir. Bu yöntem gevşek ve akışkan olmayan, yoğunluk ve nem olarak tüm zemin derinliğinde benzerlik, aynılık gösteren zeminlerde uygulanmakta ve etkili olmaktadır. Katılacak çimento miktarı, serbest basınç ve diğer dayanıklılık deneyleriyle belirlenmektedir. Çimento stabilizasyonuna geçmeden önce gevşek ya da uygun olmayan zemin materyalleri uzaklaştırılmalı ya da ıslatarak, bazı yerlerde kurutarak, zeminin yüzeyini karıştırarak, v.b. işlemlerle zemin her yerde aynı yoğunluğa getirilmelidir. Çimento ile stabilizasyon uygulamasına hazır hale gelen zemine gerekli oranda çimento yayılır. Zemin üzerine yayılma yolu ile serilen çimentonun aynı gün içinde karıştırma, sıkıştırma ve bitirme işlemlerinin tamamlanması gerekmektedir. Çimento ve zemin su ile karıştırılmadan önce kuru bir şekilde karıştırılmalıdır. Kuru karışım gerçekleştikten hemen sonra hızla su ile karıştırma işlemine geçilmektedir. Su ile karışımın ardından sıkıştırma yapılmaktadır. Sıkıştırma işlemi karışımın hazırlanmasını takip eden bir saatlik süre içerisinde yapılmalıdır. Aksi takdirde, mukavemette önemli kayıp meydana gelebilmektedir. İyi derecelenmiş kum-çakıllara ağırlıkça %2-4 oranında çimento karıştırılırken bu oran yüksek plastisiteli killerde %8-12 değerine kadar yükselmektedir. Çimento ile güçlendirilmiş zeminlerin istenilen ölçüde iyileştirilebildiği ölçülebilmektedir [40].

1.16.1.3. Kireç ile Stabilizasyon

Kireç ile zemin güçlendirme mevcut zemin malzemesi ile kireç tozu ya da kireç çamurunun karıştırılması ve de zeminin gerekli yoğunluğu kadar sıkıştırılması ile gerçekleşmektedir [10]. Zeminle karıştırıldığında kirecin ilk etkisi zeminin plastisite indisini düşürmesidir. Optimum su muhtevası artarken kompaksiyon eğrisi sivriliğini kaybeder. Kireç ve güçlendirilecek zemin bileşenlerinin istenilen nitelikte karıştırılması için makineler kullanılmaktadır. Hava şartlarından etkilenmeyen depolarda korunan kireç karışımı zeminin nemi ve rutubetinden de korunmalıdır. Kireç ile güçlendirmeye başlarken ilk olarak zemin yüzeyi çalışma için uygun hale getirilmelidir. Kireç ile güçlendirilecek zemin bileşenleri altında kalan mevcut tabaka temel yüzeyi oluşturacak yeterli yoğunluğa ve güce sahip değilse kireç ile güçlendirilecek yüzey sağlam bir zemin yoğunluğuna ulaşana kadar kazılmalıdır. Stabil olmayan ya da sıkıştırılması uygun görülmeyen zemin bileşenleri uygulama alanından uzaklaştırılmalıdır. Kaldırılan ve uzaklaştırılan malzeme yerine stabil malzeme eklenmelidir. Katılacak kireç miktarı, serbest basınç deneyi vb. ile belirlenmektedir. Kireç stabilizasyonunda en zararlı etken zeminde bulunabilecek organik maddelerdir. Organik madde ve sülfat iyonunun varlığı önceleri stabilizasyonu etkilediğini belli etmemekte, ancak daha sonra kuruma, ıslanma olduğunda zemin ufalanmaktadır.

1.16.1.4. Bitüm ile Stabilizasyon

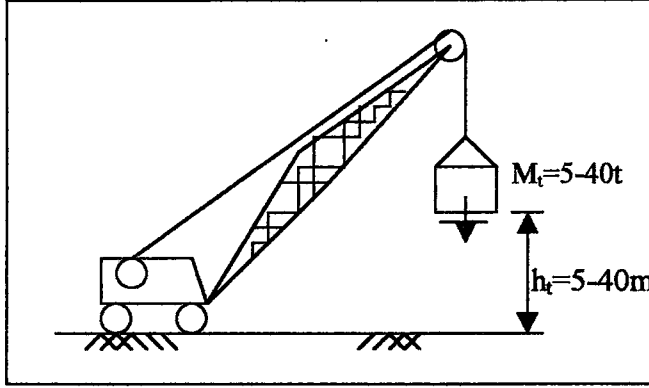
Bitüm stabilizasyonu granüler zeminlerin kohezyonunu arttırabilmektedir. Bitümlü maddeler, taneler arasında bağlayıcılık ile geçirimsizlik sağlamaktadır. Kullanılacak malzemenin kil ve organik maddelerden arındırılmış olması gerekmektedir. İnce taneli zeminle karıştırılan bitüm, malzemenin sudan etkilenmesini önlemektedir.

1.16.2. Derin Stabilizasyon Yöntemleri

1.16.2.1. Derin Kompaksiyon (Dinamik Konsolidasyon)

Dinamik konsolidasyon 12 metre derinliğe kadar zeminin, ağırlıklarla zemine darbe yapan makineler ile sıkıştırılmasıdır. Ağırlıkların seçimi ve darbe için bırakılma yükseklikleri zemin özellikleri ve sıkıştırılmak istenilen derinliğe göre belirlenmektedir.

Ağırlıklar 5 ila 40 ton arasında değişmektedir. İstenilen zemin stabilizasyonunun sağlanması için ağırlıklar 5 ila 40 m kadar çıkarılmakta ve yere serbest düşme ile bırakılmaktadır.



Şekil 32. Derin kompaksiyon yöntemi[38].

Menard ve Broine [41], tokmağın ağırlığı M_t (ton), düşme yüksekliği h (m) ve sıkışan zeminin kalınlığı D_s (m) arasında aşağıdaki bağıntıyı vermişlerdir.

$$D_s = \sqrt{M_t \cdot h_t} \quad (7)$$

Bununla beraber, bazı uygulamalarda yukarıdaki formülde verilen D_s kalınlığının ancak yarısının sıkıştırılabildiği görülmüştür. Leonards [42], moloz dolgularda ve daneli zeminlerde başarılı olmuştur. Menard ve Broise [41], yöntemin kil zeminlerde de başarılı olduğunu iddia etmişlerdir. Sıkıştırmanın kalitesi, sıkıştırma öncesi ve sonrası yapılan, standart penetasyon, koni penetasyon, presiometre v.b. deneylerle kontrol edilir.

Dinamik konsolidasyon normalde aşağıda belirtilen özellikleri sağlamak için kullanılmaktadır:

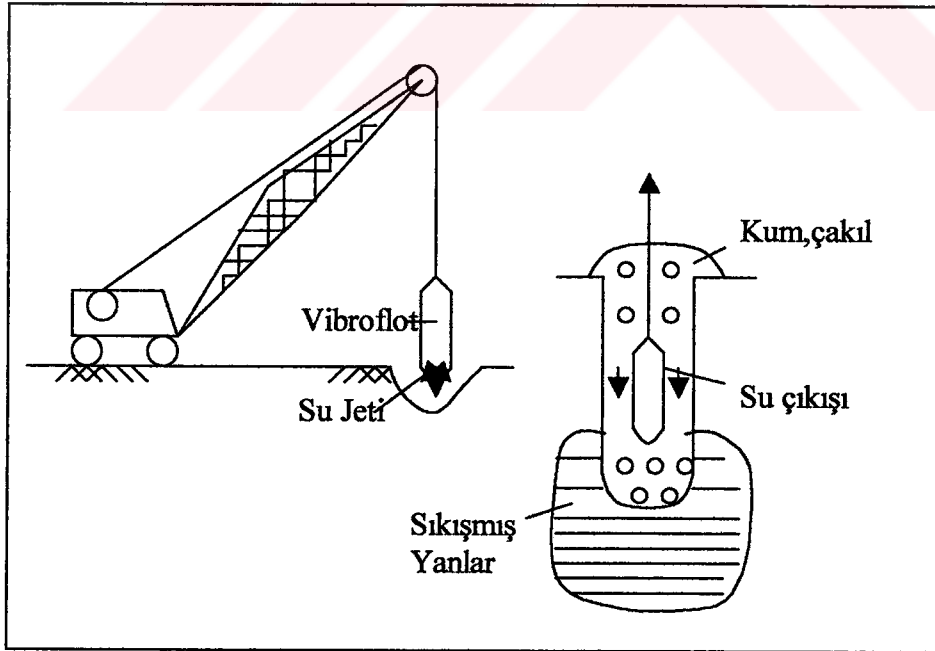
1. Zeminin doğal yoğunluğunun, taşıma kapasitesinin ve konsolidasyon karakteristiğinin artırılması.
2. Zeminin akışkanlık özelliğinin azaltılması ve doğal yoğunluğun artırılması.
3. Geleneksel yöntemler ile yapılan temellerin güvenle kullanılabilmesi için zemin oluşturma.

1.16.2.2. Derin Vibrasyon Yöntemi

Derin ve gevşek kohezyonsuz zeminler, zemine sokulan yüksek frekanslı sondalarla sıkıştırılabilmektedir. Bu sıkıştırma yöntemi ile zemin makaslama gücü ve zeminin akmaya karşı dayanımı artırılır. Uygulamada her biri patente bağlı çeşitli sondalar kullanılmaktadır.

Titreşimli sondajla sıkıştırma fikri 1930 larda Almanya'da Steuerman ve Keller tarafından geliştirilerek uygulamaya konulmuştur. Vibroflatasyon yönteminde, yaklaşık 0,3-0,5 m çapında, 1,5-2,5 m uzunluktaki ağır silindirik sonda vibrasyonla ve ucundan püskürtülen yüksek basınçlı su jeti ile zemine itilmektedir. Alet zemine sokulurken ucundaki su jetinden, sıkıştırma sırasında üstündeki su jetinden yararlanılmaktadır.

İstenilen derinliğe inildikten sonra sonda ucundaki su jeti kesilir, zemin taneciklerini aşağıya doğru itecek şekilde, sonda üstünde su jeti meydana getirilir. Bu arada sonda içindeki vibratör çalıştırılır. Yaklaşık 20 mm kadar genişliği olan vibratör, sonda çevresinde 2,5-3 m çapında bir kesimin sıkışmasını sağlar. Bu yöntemle 10 m derinliğe kadar zemin sıkıştırılabilir. Sonda yukarı çekilirken ortaya çıkan çukur içerisine taneli malzeme doldurulur. Zeminin sıkıştırılması sırasında doldurulacak malzeme ile doğal malzemenin uyumluluğu stabilizasyonun etkinliğini artırır.



Şekil 33. Vibro-flotasyon yöntemi [38].

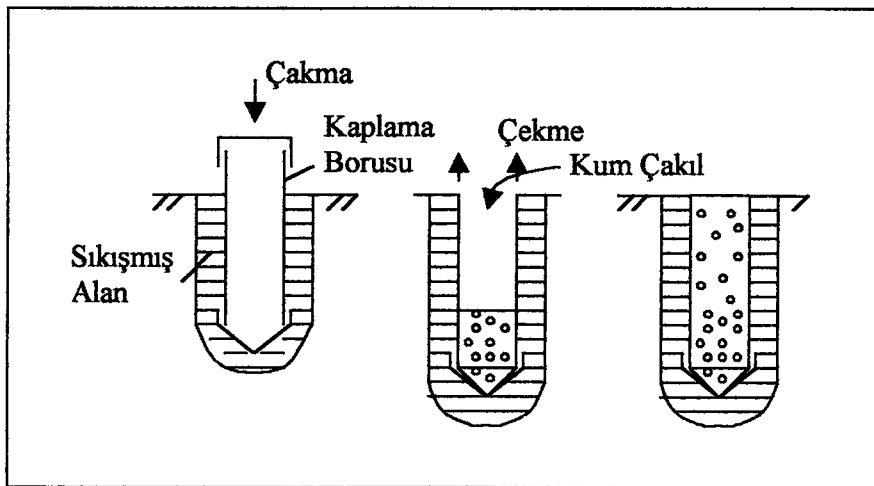
Dolgu malzemesi uygunluk sayısı,

$$N_D = 1,7 \cdot \sqrt{\frac{3}{(D_{50})^2} + \frac{1}{(D_{20})^2} + \frac{1}{(D_{10})^2}} \quad (8)$$

olarak tarif edildiğinde 0-20 iyi, 20-30 orta, 30-50 katsayılı malzeme ise düşük uygunluk durumunu yansıtmaktadır. 50' den büyük N_D malzemesi dolgu için kullanılmaz. Vibroflasyon özellikle su altındaki gevşek kum zeminlerin sıkıştırılmasında etkili olabilmektedir. Silt miktarı %25, kil miktarı %5' e kadar olan siltli veya killi kumlarda uygulanabilmektedir. Zemindeki silt yüzdesi arttıkça kompaksiyon etkinliği azalmaktadır. Çakıl yüzdesi veya çimentolaşmış kum yüzdesi arttığı takdirde yöntem ekonomik olmamaktadır.

1.16.2.3. Kompaksiyon Kazıkları

Kompaksiyon kazığı, gevşek taneli zemini sıkıştırmak için zemin içerisinde teşkil edilmektedir. Gevşek zeminlerin sıvılaşma potansiyelini azaltmak ve taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Bu yöntemde, zemine önce ucu bir plaka ile kapatılan kaplama borusu çakılmakta, daha sonra taban plakası zemin içerisine bırakılmakta, kaplama borusu içerisine konan granüler dolgu malzemesi sıkıştırılırken kaplama borusu geri çekilmektedir. Kplama borusu zemine girerken, hacmi kadar zemini yanlara iterek çevresindeki zemini sıkıştırmaktadır. Kompaksiyon kazıkları arasındaki uzaklık genellikle 1.2-1.5m dolayındadır [10, 38].



Şekil 34. Kompaksiyon kazıkları [38].

1.16.2.4. Patlama ile Sıkıştırma

Patlatma ile sıkıştırma yapışkanlığı az olan gevşek zeminlerde zemini oluşturan malzemenin daha küçük parçalara dönüştürülerek sıkıştırılmasının sağlandığı bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu yöntem ile bağlayıcı ve yapışkanlık özelliği az olan zemin bileşenleri patlatma etkisi ile yer değiştirerek ve daha küçük parçalara ayrılarak çıkan tozun da etkisi ile sıkışmaya uygun bir yapıya dönüştürülmektedir. Sıkıştırılacak zemin tabakaları içerisine yerleştirilen yeterli miktarda patlayıcılar ardışık ateşlemelerle patlatılmakta ve bu şekilde hızlı basınç dalgaları oluşturmaktadır. Patlama kaynağı yakınında meydana gelen şok dalgaları ile gevşek zeminde önce sıvılaşma ortaya çıkmakta, daha sonra başlangıçtaki duruma oranla daha kompakt bir zemin yapısı elde edilmektedir. Patlayıcı madde olarak dinamit veya TNT kullanılabilir. Yük miktarları, iyileştirilecek tabaka yüksekliğine bağlı olarak 2-30 kg arasında değişmektedir. Lee [43], suya doymun gevşek kumlarda yapılan arazi deneylerinde, patlayıcı madde miktarı C_p (kg) ile patlayıcı derinliği h_p (m) arasında,

$$C_p = 0,055 \cdot h_p^3 \quad (9)$$

bağıntısı sağlandığı takdirde efektif kompaksiyon derinliği,

$$h_c = 1.5 \cdot h_p \quad (10)$$

olduğunu, orta sıkı kumlarda sıkıştırma derinliği $h_c = 1,2 \sim 1,3 h_p$ değerine inebildiğini belirtmiştir. Sıkıştırma genişliğini ise,

$$R_c = k_3 \cdot \sqrt[3]{C_p} \quad (11)$$

ifadesinden hesaplamıştır. k_3 katsayısı ince kumlarda relatif sıklığa bağlı olarak 7-35, orta kumlarda ise 6-8 aralığında değerler almaktadır.

1.16.2.5. Enjeksiyon

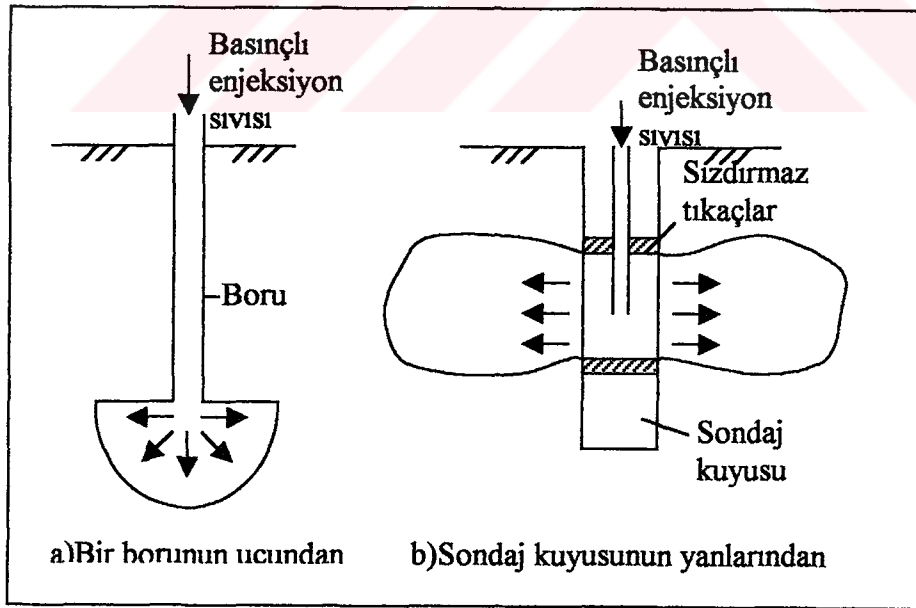
Enjeksiyon; temel zemininin veya kayaların kayma direncini arttırmak ve permeabilitesini azaltmak amacıyla kaya veya zemin içerisine basınç altında çeşitli

bileşimdeki karışımların basılması olarak tanımlanmıştır [44]. Zemine enjeksiyon sıvısının gönderilmesi başlıca iki yöntemle yapılabilmektedir. Bir borunun ucundan veya bir sondaj kuyusunun yanlarından yapmak mümkün olmaktadır. Şekil 35’de başlıca iki enjeksiyon yöntemi görülmektedir.

Enjeksiyon karışımının cinsi doğrudan iyileştirme yapılacak zeminin tane çapı ile ilgilidir. Taneli karışımlarla yapılan enjeksiyonun başarılı olabilmesi için zeminlerde “Alma Oranı”

$$\frac{(D_{15})_{ze \min}}{(D_{85})_{ze \min}} > 25 \quad (12)$$

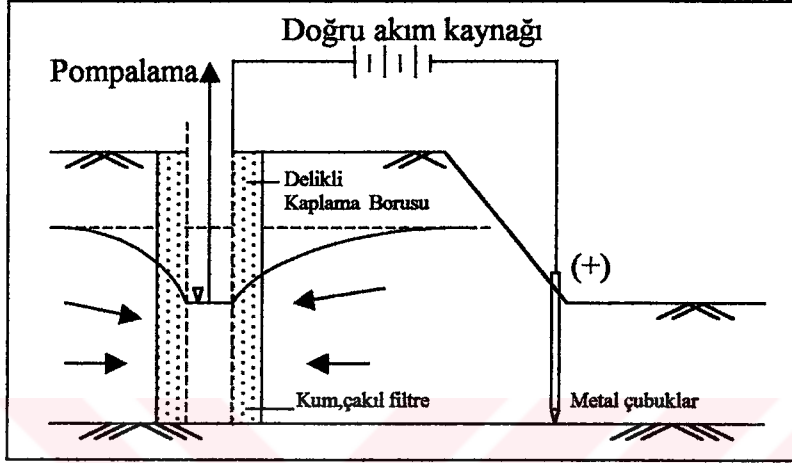
olmalıdır. Alma oranı, sıvının ortama sızabilme yeteneğini gösteren katsayıdır. En çok kullanılan enjeksiyon malzemesi çimento türleri; bentonit, silikatlar ve lignin, akrilamid, rezorsinol, formol gibi kimyasal bileşimlerdir. Çimento, kireç ve bentonit gibi taneli karışımlar çakıl tane boyutundan orta kum boyutuna kadar olan zeminlerde kullanılabilir. İnce kum ve siltlerin enjeksiyonunda kimyasal eriyikler kullanılmaktadır.



Şekil 35. Başlıca iki enjeksiyon yöntemi [38].

1.16.2.6. Elektro-Osmoz Yöntemi

Elektro-Osmoz ince taneli zeminlerde katot (-) ve anot (+) kullanılarak elektriksel alan oluşturma sonucu su akışının ve hareketinin sağlandığı bir işlem olarak tanımlanmıştır. Katotta toplanan su pompayla alınarak konsolidasyon sağlanır.



Şekil 36. Elektro-osmoz yöntemi [38].

Anottan, katoda doğru su akımı sırasında zeminde negatif boşluk suyu basıncı meydana gelir. Toplam gerilme sabit kaldığına göre efektif gerilme artmaktadır. Efektif gerilme artışı zeminde konsolidasyona sebep olmaktadır. Elektro-osmoz uygulamasının amacı kirli zemin suyunun hareket ettirilmesi sonucu zemin stabilizasyonunun sağlanmasıdır [45].

1.16.2.7. Isıl İşlemler ile Stabilizasyon

Başta Löss olmak üzere doymuş olmayan silt ve killer ortam sıcaklığının olağan koşulların üstüne çıkartılması ile kuvvetlendirilebilir. Bu tip zeminler ısıtıldıkça kayma gerilmelerinde artış meydana gelmektedir. Bu yöntem için açılan sondaj deliklerinin ağzı kapatılarak içerde likit gaz veya benzin basınç altında yakılmaktadır. Isıtma işlemi yaklaşık 8 gün devam ettiği zaman sondaj deliği çapının 10 katı kadar bir bölge stabil edilebilmektedir. Bu yöntemde, sondaj deliklerinin yerlerinin, aralıklarının ve derinliklerinin, arazide yapılacak deneylerle belirlenebileceği belirtilmiştir [40]. Killer 900°C'ye kadar ısıtıldıklarında tuğlaya dönüşebilmektedirler.

Isıl işlemlerin ikincisi zeminin dondurulmasıdır. Dondurma işlemi, zemin içerisine yerleştirilen boru şebekesi içerisinden bir soğutucunun sirkülasyonu ile sağlanmaktadır. Bu yöntem sayesinde zemin içerisinde boşluk suyunun donması ile oluşan buz mercikleri, zeminin kayma direncini ve rijitliğini artırır. Genellikle, "Poetsch İşlemi" olarak bilinen teknik uygulanmaktadır [46]. Bu teknikte, amonyak veya freon gazı ile kalsiyum klorürlü su eriyiği soğutulmakta ve bu karışım sirkülasyon borularına yollanmaktadır. Bazı araştırmacılar, zemin-su-buz karışımının geçici yüklere direncinin büyük olduğunu, ancak uzun vadede sünümlülük nedeniyle çok daha düşük gerilmeler alabileceğini ve yer altı suyunun hareketli olması durumunda yöntemin uygulanamayacağını belirtmişlerdir [10].

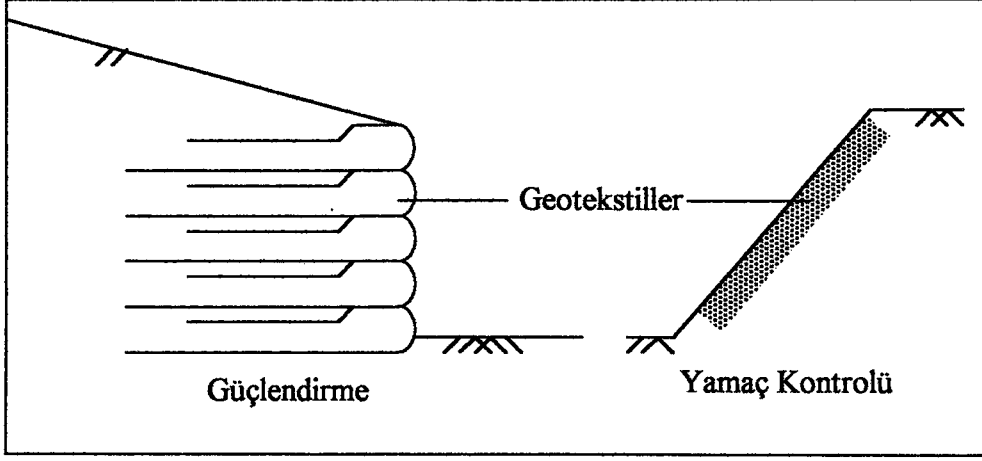
1.16.2.8. Kireç Kazıkları

Su muhtevası %50' nin üzerinde olan ince taneli zeminlerde konsolidasyonu hızlandırmak amacıyla başarıyla kullanılmaktadır. Stabilizasyon yapılacak zeminde 1 m aralıklarla 30 cm çapında ve 10 m derinlikte açılan kuyulara sönmemiş kireç sıkıştırılarak doldurulmaktadır. Stabilizasyon iki aşamada gerçekleşmektedir.

1. Su ile temasa gelen sönmemiş kireç ağırlığının %32'si kadar su emmektedir.
2. Hidratasyon işlemi sonucu hacmi artan kireç, kuyu duvarlarında 1250 kPa değerine varabilen radyal basınç uygulamaktadır. Böylece, zeminde radyal konsolidasyon meydana gelmektedir.

1.16.2.9. Donatılı Zemin

Geotekstil veya geomembran, inşaat mühendisliği ve daha özel olarak geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan ve sentetik hammaddelerden üretilen geçirimli dokuma ve geçirimsiz membran tipli tekstil ürünleri ile bu tanımın dışında kalan ve benzer sentetik hammaddelerden üretilen ağ, ızgara, tabaka, şerit hücre ve diğer ürünlere verilen genel isimdir. Geotekstil kullanılarak zeminin kayma direncini ve taşıma kapasitesini arttırmak, permeabilitesini ise azaltmak mümkün olmaktadır. Geotekstiller örgülü ve örgüsüz olabilmektedirler [47]. Şekil 37'de geotekstil uygulamaları görülmektedir.



Şekil 37. Geotekstil uygulamaları [38].

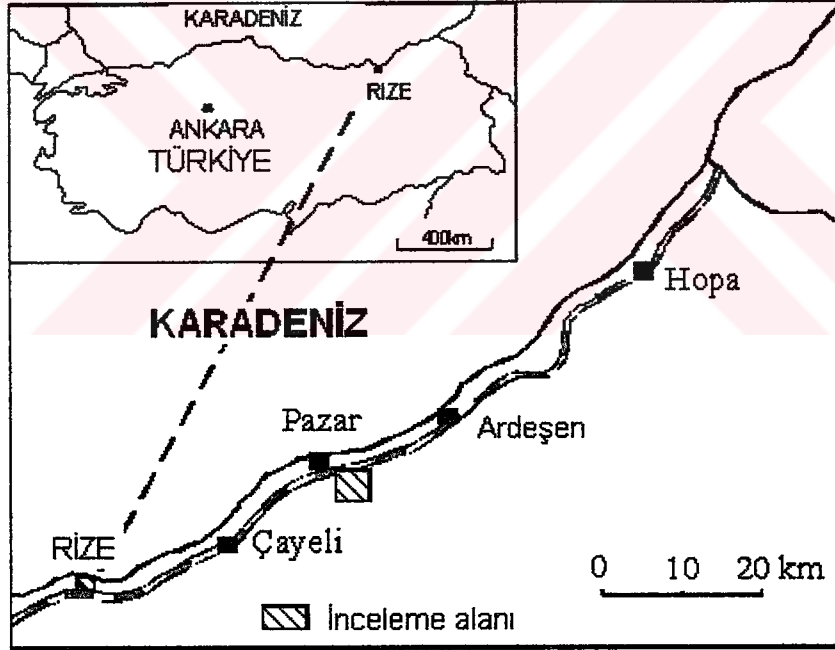


2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Rize-Pazar-Ocaklı Köyü ile İlgili Yapılan Çalışmalar

2.1.1. İnceleme Alanı Yeri ve Jeolojisi

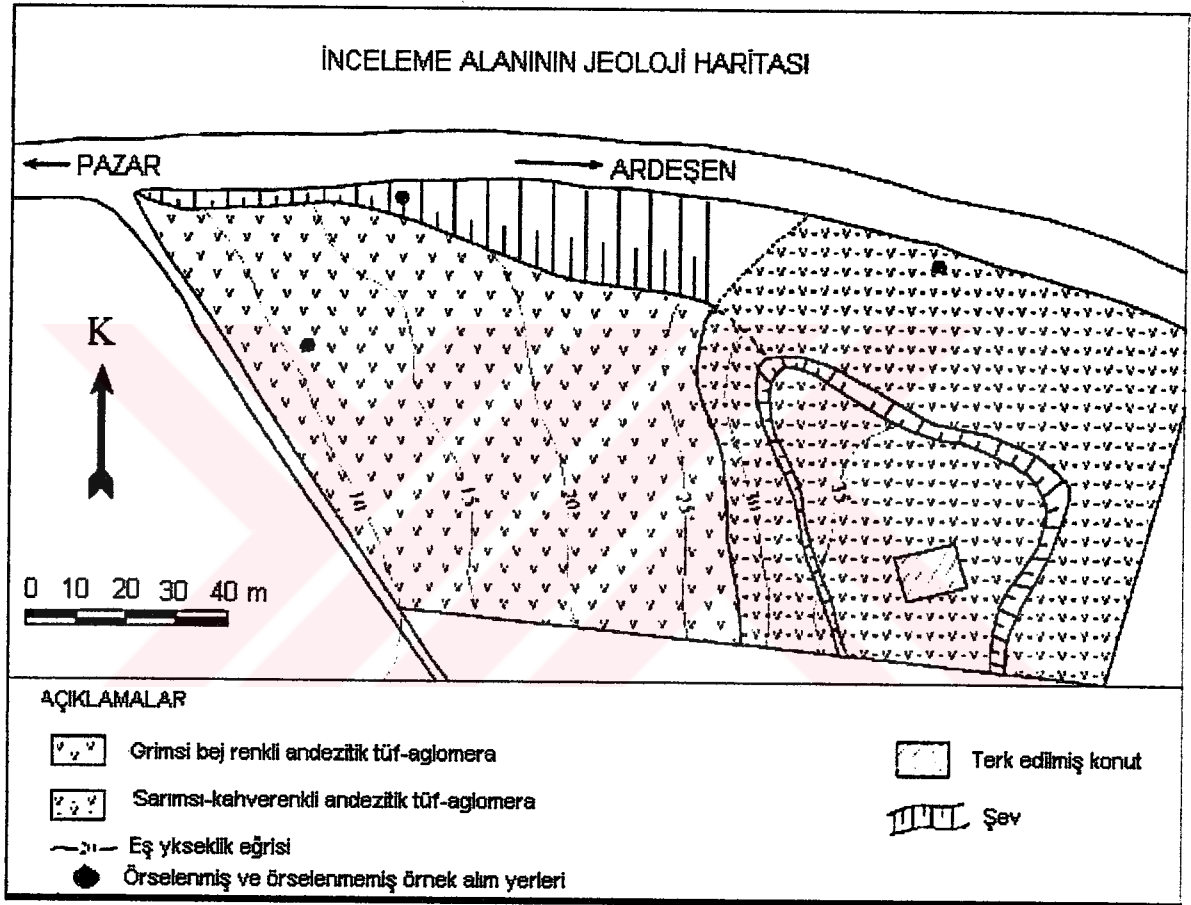
Şekil 38' de görülen İnceleme alanı, Rize/Pazar ilçe merkezinin karayolu mesafesi olarak 3700 m. doğusunda, Pazar-Ardeşen karayolunun sağ yamacında ve güneyinde yer almaktadır. İnceleme alanının karayoluna bitişik yamacı 40° - 90° arasında değişen eğimlere sahip olup, çalılık türünde bitki örtüsü ile kaplıdır. Yamacın güneyindeki alanda yamaç eğimleri 6° - 23° arasında değişmektedir. İnceleme alanının bulunduğu yerin haritası Şekil 38' de görülmektedir.



Şekil 38. İnceleme alanının bulunduğu yerin haritası

İnceleme alanında tuf ve aglomeralar yüzeylenmektedir. Tuf ve aglomeralar grimsi bej ve sarımsı kahverengi renklerde olup, atmosferik koşullar etkisiyle yüksek derecede ayrılmışlardır. Sarımsı kahverenkli olan tuf ve aglomeralar yer yer killeşmiş olarak izlenirler. Bunlar gevşek matrikslidirler. Grimsi bej renkli tuf ve aglomeralar sıkı matriksli olup, yer yer çakıl boyutunda malzeme içerirler. Bu kayalardan silindirik örnek alıcıyla

bozulmamış örnek alımı güçlükle gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları esnasında grimsi bej renkli tuf ve aglomeralar içerisindeki 85°-90° eğimli karayolu şevinin topuğunda daha önce şevden yerçekimi etkisiyle düştüğü anlaşılan 1-2 m³ boyutlu zemin bloklarının varlığı gözlenmiştir. İnceleme alanında gerek karayolu şevi boyunca, gerekse bu şevin güneyindeki alanda yapılan gözlemler sonucunda herhangi bir su kaynağı veya sızıntısına rastlanmaması incelenen alanın yer altı suyu içermediğini göstermektedir.

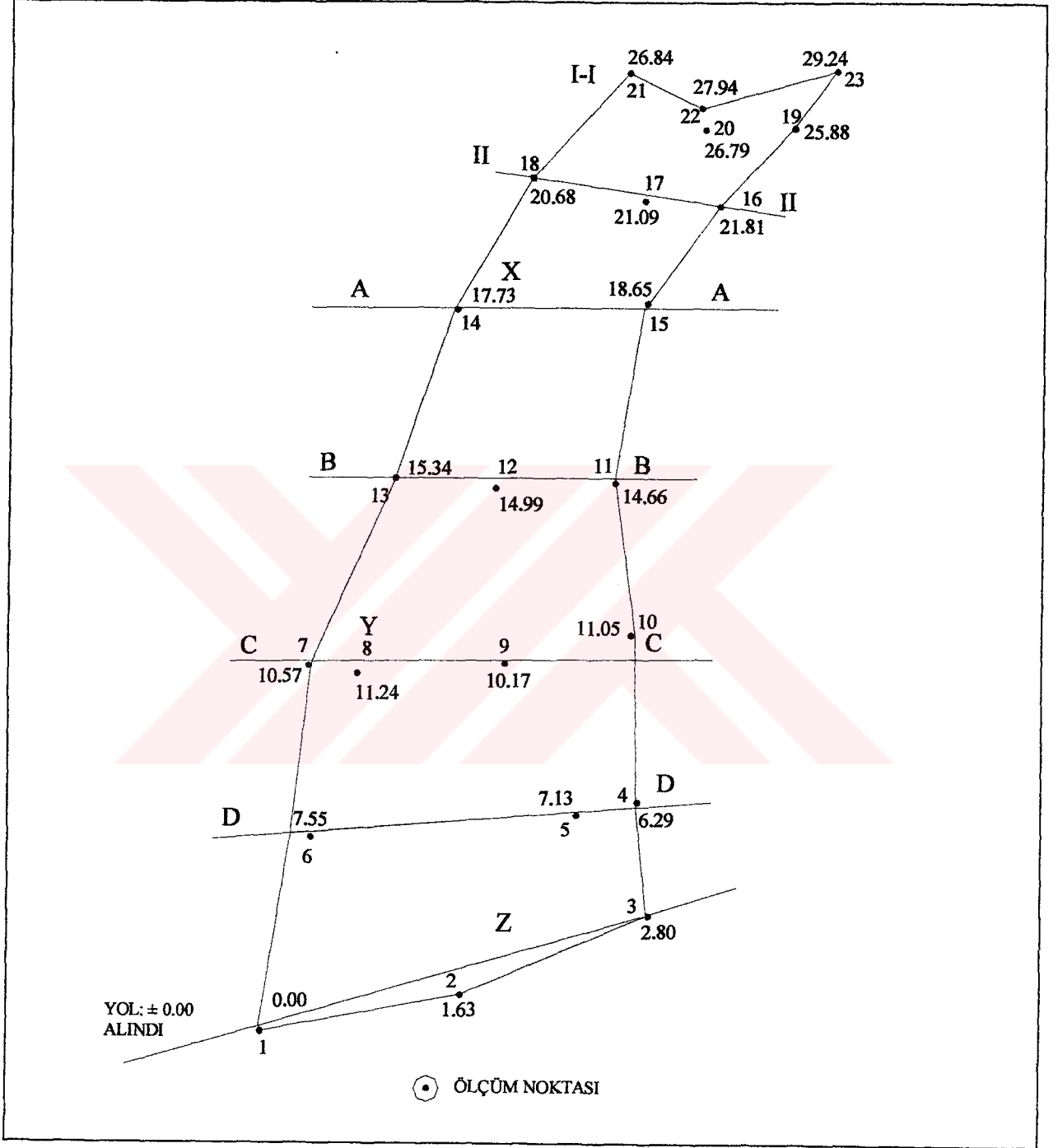


Şekil 39. İnceleme alanının jeoloji haritası

2.1.2. İnceleme Alanı Ölçümleri

İnceleme alanı üzerinde Şekil 40' ta görülen ölçüm noktasına kurulan alet ile noktaların aletten uzaklığı, aletin bulunduğu yere göre kotları ve yol seviyesi 0±00 alınmak suretiyle düzeltilmiş kotları Tablo 10' da verilmiştir. İnceleme alanında X, Y ve Z noktalarından daha önceden içerleri yağlanıp hazır hale getirilen çelik örnek alıcılarla örselenmemiş zemin numuneleri alınmış ve doğal konumlarını muhafaza edebilmek için

poşet içerisine konulmuşlardır. Yine aynı bölgelerden örselenmiş zeminler alınmış ve gerekli deneylerin yapılabilmesi için laboratuara getirilmiştir.



Şekil 40. İnceleme alanı

Tablo 10. Çalışma alanı ölçümleri

| No | Açı (Grad) | Mesafe (m) | Kot | Düzeltilmiş Kot |
|----|------------|------------|-------|-----------------|
| 1 | 0,00 | 22,11 | -3,67 | 0,00 |
| 2 | 100,25 | 12,16 | -2,04 | 1,63 |
| 3 | 135,79 | 34,37 | -0,87 | 2,80 |
| 4 | 119,45 | 43,00 | 2,82 | 6,29 |
| 5 | 111,93 | 98,45 | 3,46 | 7,13 |
| 6 | 47,77 | 35,85 | 3,88 | 7,55 |
| 7 | 62,17 | 54,07 | 6,90 | 10,57 |
| 8 | 68,31 | 51,46 | 7,57 | 11,24 |
| 9 | 90,59 | 53,26 | 6,50 | 10,17 |
| 10 | 106,50 | 60,49 | 7,38 | 11,05 |
| 11 | 97,94 | 77,03 | 10,99 | 14,66 |
| 12 | 86,71 | 73,85 | 11,32 | 14,99 |
| 13 | 75,93 | 74,96 | 11,67 | 15,34 |
| 14 | 81,49 | 95,43 | 14,06 | 17,73 |
| 15 | 94,45 | 99,35 | 14,94 | 18,65 |
| 16 | 99,54 | 113,77 | 18,14 | 21,81 |
| 17 | 94,16 | 112,79 | 17,42 | 21,09 |
| 18 | 86,76 | 111,54 | 17,01 | 20,68 |
| 19 | 102,69 | 125,31 | 22,21 | 25,88 |
| 20 | 97,20 | 121,86 | 23,12 | 26,79 |
| 21 | 91,59 | 125,88 | 23,17 | 26,84 |
| 22 | 96,55 | 124,02 | 24,27 | 27,94 |
| 23 | 103,43 | 133,18 | 25,57 | 29,24 |

İnceleme alanının stabilitesi Şekil 45'te verilen kesitlerin boy kesitleri, Şekil 48' de bir örneği gösterildiği gibi kartezyen koordinat sistemine yerleştirilerek güvenlik sayıları STABL5 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan güvenlik sayıları bulgular kısmında verilmiştir. Ek Şekil 1-8' de kesitlerin boy kesitleri ve noktaların kotlar ve yatay mesafeleri verilmiştir.

2.2. Yapılan Deneyler

İnceleme alanının Şekil 40' ta gösterilen X, Y, Z olarak adlandırılan bölgelerden alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numunelerinin fiziksel özelliklerinin, plastisite özelliklerinin, kayma direnci parametrelerinin ve dane dağılımı eğrilerinin, su içeriğinin belirlenmesi için İnşaat Mühendisliği Geoteknik ve Ulaştırma Laboratuvarında gerekli deneyler yapılmıştır.

2.2.1. Yoğunluk Deneyi

Toplam zemin kütlesinin toplam hacme olan oranı zeminin yoğunluğu olarak tanımlanabilir.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (13)$$

Bu çalışmada yoğunluğun belirlenmesinde su taşıma (parafinleme) yöntemi kullanılmıştır. Bağlantı 14' den yoğunluk değeri hesaplanabilir.

$$\rho = \frac{Mz}{(V_2 - V_1) - \left(\frac{M_{zp} - M_z}{\rho_p} \right)} \quad (14)$$

X, Y ve Z zeminlerine ait yoğunluk deney sonuçları sırasıyla Ek Tablo 1, Ek Tablo 2, Ek Tablo 3' te verilmektedir. Tablo 11' de ise X, Y ve Z zeminin hesaplanan yoğunluk değerleri görülmektedir.

Tablo 11. Yoğunluk değerleri

| Numune | X zemini | Y zemini | Z zemini |
|-------------------------------|----------|----------|----------|
| Yoğunluk (Mg/m ³) | 2,1 | 1,79 | 1,81 |

2.2.2. Plastisite Özelliklerinin Belirlenmesi

Bir malzemenin etkisi altında bulunduğu gerilmelerden dolayı kırılmadan ve hacminde herhangi bir değişiklik olmadan, ayrıca gerilmeden dolayı meydana gelen deformasyonların, gerilmenin kaldırılmasından sonra kaybolmaması plastisite olarak adlandırılmaktadır. Zeminin su muhtevasına bağlı olarak değişik davranışlar göstermesi Atterberg tarafından deneysel olarak tarif edilmiştir. Atterberg tarafından tanımlanan sınır su içerikleri Atterberg limitleri veya kıvam limitleri olarak adlandırılırlar. Zemine ait kıvam limitleri iyi değerlendirilirse, zeminin mühendislik özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilir.

2.2.2.1. Likit Limitin Belirlenmesi

Vizkozitesi yüksek bir sıvı gibi akıcı durumdaki zeminin plastik duruma dönüştüğü andaki su içeriğidir. Bir zemine ait likit limit değeri Casagrande ve düşen koni penetrasyon yöntemleriyle belirlenebilir. Bu çalışmada likit limit değeri Casagrande yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Zeminlerin likit limiti 25 düşüşe karşılık gelen özel bir su içeriğidir. Su içeriği aşağıdaki bağıntı ile belirlenir. Tablo 12' de X zeminine ait likit limit deney sonuçları verilmektedir.

$$w = \frac{(M_{T1} - M_d) - (M_{T2} - M_d)}{(M_{T2} - M_d)} \cdot 100 \quad (15)$$

Tablo 12. X zeminine likit limit deney sonuçları

| Vuruş Sayısı | Kap Darası | Kap+Yaş Numune | Kap+Kuru Numune | Su İçeriği w(%) |
|--------------|------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 39 | 26,89 | 36,72 | 34,05 | 37 |
| 25 | 27,83 | 48,01 | 42,28 | 40 |
| 10 | 30,47 | 51,2 | 44,73 | 45 |

Deney yapımı sırasında 25 vuruşa karşılık gelen kıvam elde edildiği için hesap yapılmadan bu kıvama karşılık gelen su içeriği X zemininin likit limiti olarak belirlenmiştir. Y ve Z zeminleri ile bu deneyin yapılması zemin cinsi uygun olmamasından mümkün olmamıştır.

2.2.2.2. Plastik Limitin Belirlenmesi

Bu deneyde 40 no'lu elekten geçen numune kullanılır. Alman ıslak zemin örneğinin el altında yuvarlanması sırasında 3 mm kalınlıkta üzerinde çatlakların belirdiği su içeriği, o zeminin plastik limiti olarak tanımlanır. Tablo 13' de X numunesine ait plastik limit deney sonuçları verilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda X numunesine ait plastisite özellikleri (likit limit, plastik limit, plastisite indisi) Tablo 14' de verilmektedir.

Tablo 13. X zeminine ait plastik limit sonuçları

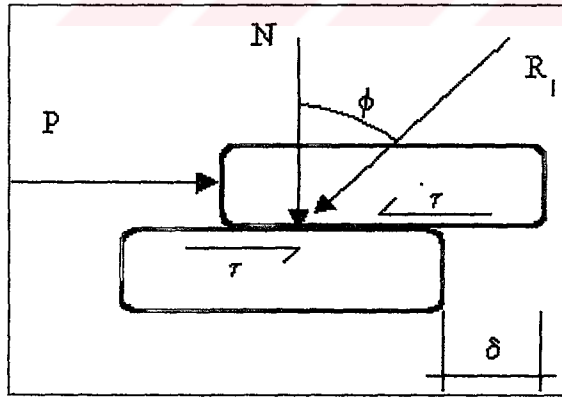
| Kap Darası | Kap+Yaş Numune | Kap+Kuru Numune | Su İçeriği w(%) |
|------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 30,29 | 40,83 | 38,45 | 29 |

Tablo 14. X zeminine ait plastisite özellikleri

| | |
|--------------------------|----|
| Likit Limit (LL) | 40 |
| Plastik Limit (PL) | 29 |
| Plastisite İndisi(LL-PL) | 11 |

2.2.3. Direkt Kesme (Kesme Kutusu) Deneyi

Zeminlerin kayma direnci, zemine uygulanan sürekli deplasmanlar altında zemin danelerinin birbirine göre rölatif hareketlerine karşı gösterdikleri dirençtir. Kayma direnci,şevlerin denge analizinde önemli bir parametredir. Kayma direnci zeminin kohezyonu ve sürtünmesine bağlı olarak (2) bağıntısından elde edilir. Direkt kesme deneyinin amacı zeminlerin kayma direnci parametrelerinin (c ve ϕ) belirlenmesidir.



Şekil 41. İki zemin danesi arasındaki kayma sürtünmesi hali

Şekil 41' den kayma gerilmesi, τ , bağıntı 16' dan elde edilir.

$$\tau = \frac{P}{A_c} \quad (16)$$

Aynı alandaki normal gerilme ise;

$$\sigma_n = \frac{N}{A_c} \quad (17)$$

olarak elde edilir. Buradaki alan ise;

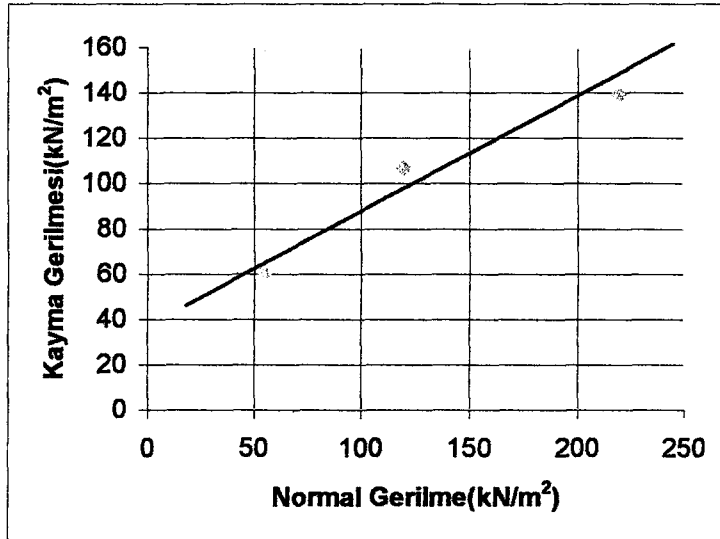
$$A_c = B_n \cdot (L_n - \delta) \quad (18)$$

bağıntısından hesaplanır. X, Y ve Z zeminlerine ait Kesme kutusu deney sonuçları Ek Tablo 4-12' de verilmektedir.

X zemini için Ek Tablo 4, 5, 6' dan alınan 18, 36 ve 72 kg lık düşey yüklere göre kesilme anındaki normal gerilme, kayma gerilmesi değerleri Tablo 15' te verilmektedir. Bu değerler Şekil 39'da görüldüğü gibi yatay ekseninde normal gerilme ve düşey ekseninde de kayma gerilmesi olmak üzere X zeminine ait kırılma zarfının çiziminde kullanılmaktadır.

Tablo 15. X zemini kırılma zarfı çiziminde kullanılacak değerler

| | | | |
|-------------------------------------|------|-------|-------|
| Düşey Yük(kN) | 0,18 | 0,36 | 0,72 |
| Normal Gerilme(kN/m ²) | 54,7 | 119,4 | 218,9 |
| Kayma Gerilmesi(kN/m ²) | 60,5 | 106,5 | 139,2 |



Şekil 42. X zemini kırılma zarfı

Kırılma zarfının düşey eksenini kestiği nokta aynı zamanda bize zeminin kohezyonunu ve doğrunun eğimi de içsel sürtünme açısını verecektir. X zemini kayma direnci parametreleri Tablo 16' da verilmektedir.

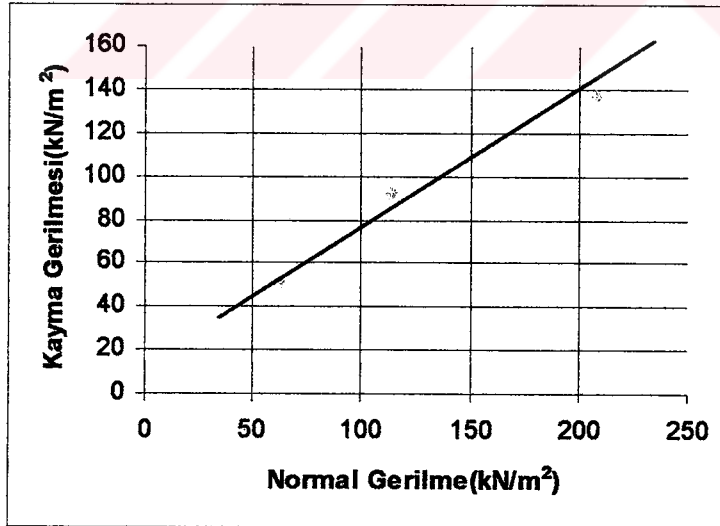
Tablo 16. X zemini kayma direnci parametreleri

| | |
|-----------------------------|--------------|
| c (kN/m²) | 34,3 |
| φ | 26,62 |

Y zemini için Ek Tablo 7, 8, 9' dan alınan 18, 36 ve 72 kg lık düşey yüklere göre kesilme anındaki normal gerilme, kayma gerilmesi değerleri Tablo 17' de verilmektedir. Bu değerler Şekil 43' te görülen Y zemini kırılma zarfı için kullanılmaktadır. Y zemini kayma direnci parametreleri Tablo 18' de verilmektedir.

Tablo 17. Y zemini kırılma zarfı çiziminde kullanılacak değerler

| | | | |
|-------------------------------------|------|-------|-------|
| Düşey Yük(kN) | 0,18 | 0,36 | 0,72 |
| Normal Gerilme(kN/m ²) | 61,9 | 113,2 | 207,9 |
| Kayma Gerilmesi(kN/m ²) | 51,3 | 92,5 | 137,6 |



Şekil 43. Y zemini kırılma zarfı

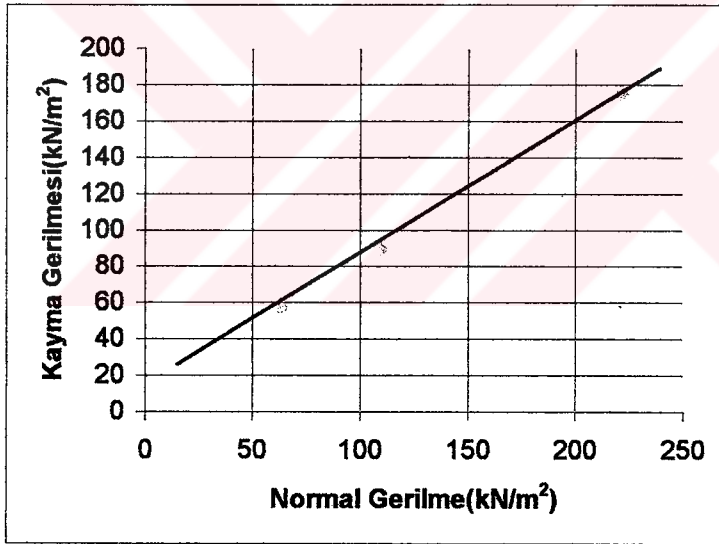
Tablo 18. Y zemini kayma direnci parametreleri

| | |
|-----------------------------|--------------|
| c (kN/m²) | 14,6 |
| ϕ | 30,69 |

Z zemini için Ek Tablo 10, 11, 12' den alınan 18, 36 ve 72 kg' lık düşey yüklere göre kesilme anındaki normal gerilme, kayma gerilmesi değerleri Tablo 19' da verilmektedir. Bu değerler Şekil 44' de görülen Z zemini kırılma zarfı için kullanılmaktadır. Z zemini kayma direnci parametreleri Tablo 20' de verilmektedir.

Tablo 19. Z zemini kırılma zarfı çiziminde kullanılacak değerler

| | | | |
|--------------------------------------|------|-------|-------|
| Düşey Yük (kN) | 0,18 | 0,36 | 0,72 |
| Normal Gerilme (kN/m ²) | 63,3 | 109,6 | 221,2 |
| Kayma Gerilmesi (kN/m ²) | 56,8 | 89,6 | 175,2 |



Şekil 44. Z zemini kırılma zarfı

Tablo 20. Z zemini kayma direnci parametreleri

| | |
|-----------------------------|--------------|
| c (kN/m²) | 9,3 |
| ϕ | 36,88 |

2.2.4. Elek Analizi ve Hidrometre Analizi

Elek analizinin amacı zeminlerin dane boyutu dağılımının belirlenmesidir. Zemin bir dizi elek takımından elenmek suretiyle granülometri eğrisi belirlenir. Zeminde ince ve iri daneli zeminler karışık olarak bulunabileceği için dane çapları 76.2 mm ile 0.0074 mm arasında olan kısım için elek analizi uygulanırken, 0.074 mm den küçük olan zeminlerde hidrometre analizi uygulanabilir. Bu çalışmada X, Y ve Z zeminleri için yıkamalı elek analizi yapılmıştır. X zemini için hidrometre analizi yapılmıştır. Eleme işlemi sonunda her elek üstünde kalan malzeme tartıldıktan sonra her bir elek için geçen yüzde (%P) değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Aşağıda elek analizi sonuçları verilmektedir.

$$\%P = \frac{\text{ElektenGeçenMiktar}}{\text{ElemeyeTabiTutulanMiktar}} \quad (19)$$

Tablo 21. X zemini elek analizi sonuçları

| Elek No | Elek Çapı | Dara (gr) | Dara + Zemin (gr) | Elekte Kalan Zemin (gr) | Elek Üstünde Kalan Yığışlımlı Kütle (gr) | Elekten Geçen Zemin Kütle (gr) | Geçen Yüzde (%P) |
|---------|-----------|-----------|-------------------|-------------------------|--|--------------------------------|------------------|
| 3/8" | 9,52 | 370,08 | 370,08 | 0 | 0 | 1680 | 100 |
| 4 | 4,76 | 361,37 | 798,08 | 436,71 | 436,71 | 1243,29 | 74 |
| 10 | 2,00 | 338,6 | 470,25 | 131,65 | 568,36 | 1111,64 | 66 |
| 25 | 0,71 | 350,51 | 531,22 | 180,71 | 749,07 | 930,93 | 55 |
| 40 | 0,425 | 340,15 | 382,76 | 42,31 | 791,38 | 888,62 | 53 |
| 60 | 0,25 | 304,99 | 385,76 | 80,77 | 872,15 | 807,85 | 48 |
| 100 | 0,149 | 333,61 | 382,47 | 48,86 | 921,01 | 758,99 | 45 |
| 200 | 0,074 | 347,18 | 427,24 | 80,06 | 1001,07 | 678,93 | 40 |
| Tava | ---- | | | 678,93 | 1680 | | |

Hidrometre analiz yöntemiyle zemindeki 0.074 mm den küçük ince daneli zeminlerin sınıflandırılması amaçlanmıştır. Dane çapları ve %P' geçen değerleri (20, 21) ifadelerinden hesaplanır.

$$D = \sqrt{\frac{30N}{980(G_w - G_s)} \cdot \frac{L}{t}} \quad (20)$$

$$\%P' = \frac{aR}{M_s} \cdot 100 \quad (21)$$

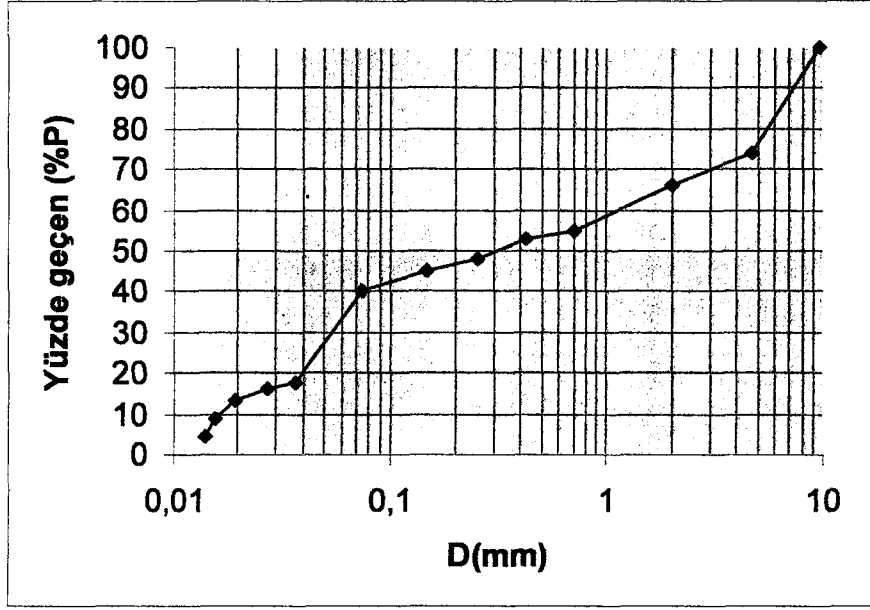
Tablo 22. X zemini hidrometre analiz sonuçları

| Zaman (dk) | Hidrometre Okuması | Su Sıcaklığı (°C) | T°C de Suyun Özgül Kütle | T°C de Suyun Viskozitesi | Efektif Derinlik (cm) | Dane Çapı (mm) | %P' | %P |
|------------|--------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|------|------|
| 1 | 38 | 15 | 0,999099 | 11,45 | 6,2 | 0,0366 | 43,6 | 17,6 |
| 2 | 35 | 15 | 0,999099 | 11,45 | 7 | 0,0275 | 40,2 | 16,2 |
| 5 | 28 | 15 | 0,999099 | 11,45 | 8,9 | 0,0196 | 32,2 | 13,0 |
| 10 | 19 | 15 | 0,999099 | 11,45 | 11,3 | 0,0156 | 21,8 | 8,8 |
| 15 | 10 | 15 | 0,999099 | 11,45 | 13,7 | 0,0141 | 11,5 | 4,6 |
| 30 | 2 | 15 | 0,999099 | 11,45 | 15,8 | 0,000114 | 2,29 | 0,9 |
| 60 | 1 | 15 | 0,999099 | 11,45 | 16,0 | 0,000057 | 1,15 | 0,5 |

Elek analizi ve hidrometre analiz sonuçları birleştirilerek X zeminine ait granülometri eğrisi Tablo 23' deki değerlere göre Şekil 45' te görüldüğü gibi çizilmiştir.

Tablo 23. X zemini granülometri eğrisi çiziminde kullanılacak değerler

| Elek Çapı, D (mm) | % P |
|-------------------|------|
| 9,52 | 100 |
| 4,76 | 74 |
| 2,00 | 66 |
| 0,71 | 55 |
| 0,425 | 53 |
| 0,25 | 48 |
| 0,149 | 45 |
| 0,074 | 40 |
| 0,0366 | 17,6 |
| 0,0275 | 16,2 |
| 0,0196 | 13,0 |
| 0,0156 | 8,8 |
| 0,0141 | 4,6 |
| 0,000114 | 0,9 |
| 0,000057 | 0,5 |



Şekil 45. X zemini granülometri eğrisi

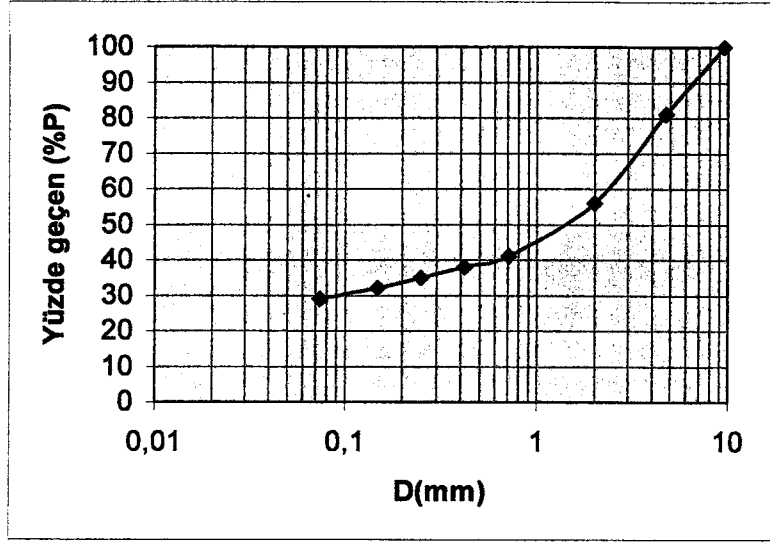
Y, Z zeminleri benzer özelliklerde olduklarından elek analizi sonuçları aynı olup Tablo 24' te verilmektedir. Tablo 25' de ise granülometri eğrisi çiziminde kullanılacak değerler ve Şekil 46'da granülometri eğrisi verilmektedir.

Tablo 24. Y, Z zeminleri elek analizi sonuçları

| Elek No | Elek Çapı | Dara (gr) | Dara + Zemin (gr) | Elekte Kalan Zemin (gr) | Elek Üstünde Kalan Yığılımlı Kütle (gr) | Elekten Geçen Zemin Kütle (gr) | Geçen Yüzde (%P) |
|---------|-----------|-----------|-------------------|-------------------------|---|--------------------------------|------------------|
| 3/8" | 9,52 | 370,08 | 370,08 | 0 | 0 | 970 | 100 |
| 4 | 4,76 | 361,37 | 540,31 | 178,94 | 178,94 | 791,06 | 81 |
| 10 | 2,00 | 338,6 | 588,62 | 250,02 | 428,96 | 541,04 | 56 |
| 25 | 0,71 | 350,51 | 490,39 | 139,88 | 568,35 | 401,16 | 41 |
| 40 | 0,425 | 340,15 | 369,66 | 29,51 | 598,35 | 371,65 | 38 |
| 60 | 0,25 | 304,99 | 334,34 | 29,35 | 627,7 | 342,3 | 35 |
| 100 | 0,15 | 333,61 | 356,79 | 23,18 | 650,88 | 319,12 | 32 |
| 200 | 0,074 | 347,18 | 377,25 | 30,07 | 680,95 | 289,05 | 29 |
| Tava | ---- | | | 289,05 | 970 | | |

Tablo 25. Y, Z zeminleri granülometri eğrisi çiziminde kullanılacak değerler

| D(mm) | 9,52 | 4,76 | 2,00 | 0,71 | 0,425 | 0,25 | 0,149 | 0,074 |
|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
| % P | 100 | 81 | 56 | 41 | 38 | 35 | 32 | 29 |



Şekil 46. Y, Z zeminleri granülometri eğrisi

X zemini olarak adlandırılan zemin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)' ye göre Siltli Kum ve Çakıl olarak sınıflandırılmıştır. Y ve Z olarak adlandırılan zeminler ise Amerikan Karayolları Zemin Sınıflandırma Sistemi (AASHTO)' ya göre Siltli veya Killi Çakıl ve Kum olarak sınıflandırılmıştır.

2.2.5. Su İçeriği Deneyi

Suyun kütlesinin danelerin kütlesine olan oranı su içeriği olarak adlandırılabilir. Bağntı 22' den su içeriği hesaplanabilir. X, Y ve Z zeminlerine ait su muhtevası deney sonuçları Tablo 26' da verilmektedir.

$$w = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100 \quad (22)$$

Tablo 26. X, Y ve Z zeminlerine ait su muhtevası deney sonuçları

| Zemin | | A | B | C |
|--|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Kabın darası (gr.) | M_d | 27,09 | 26,87 | 26,89 |
| Kabın darası + doğal zemin kütlesi (gr.) | (M_{T1}) | 50,84 | 55,23 | 63,14 |
| Kabın darası + kuru zemin kütlesi | (M_{T2}) | 45,38 | 49,63 | 57,72 |
| Suyun kütlesi | $(M_w) = (M_{T1}) - (M_{T2})$ | 5,46 | 5,6 | 5,42 |
| Kuru zemin kütlesi | $(M_s) = (M_{T2}) - (M_d)$ | 18,29 | 22,76 | 30,83 |
| Su içeriği (%) | w | 29,85 | 24,60 | 17,58 |

2.3. STABL5 Programı

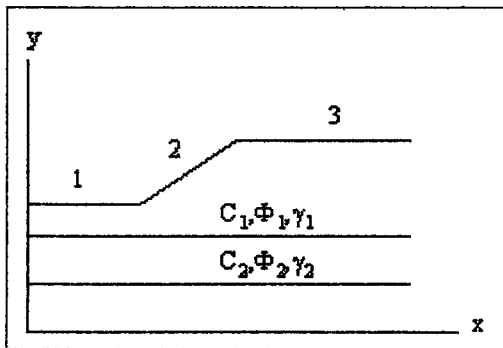
İki boyutlu şev stabilite problemlerini limit denge metodu ile çözen, Fortran bilgisayar dili ile yazılmış bir programdır. Bu programda değiştirilmiş Bishop metodu kullanılarak dilimler yöntemi ile güvenlik sayıları hesaplanmaktadır.

STABL5 , Haziran 1975' te Ronald A. Siegel tarafından Purdue Üniversitesinde yazılmıştır. Daha sonra Mayıs 1986' da James R. Carpenter tarafından üzerine bir takım değişiklikler yapılarak, STABL5 olarak düzenlenmiştir.

STABL5, en kritik yüzeylerin genel potansiyel kayma yüzeyleri ve bunlara karşılık gelen güvenlik sayıları için rasgele teknikler kullanır. Bu tekniklerden ilki, dairesel yüzeyler üretir, ikincisi kayma bloğu karakter yüzeyleri üretir. Sonuncusu da rastgele şekilli düzensiz yüzeyler üretir. Program, maksimum 100 adet kayma yüzeyi teşkil etmekte ve oluşturulan bu kayma yüzeylerinin en kritik 10 tanesinin güvenlik sayısını ekrana yansıtmaktadır. STABL5 ile özel deneme kayma yüzeylerinin tanımlanması ve analizi de mümkün olmaktadır.

STABL5'de bazı özel durumlar için de veri grupları bulunmaktadır. Bu durumlar; heterojen zemin sistemleri, kaynamaya bağlı boşluk suyu basıncı , statik zemin suyu ve yüzey suyu ,suni statik deprem yükü ve ek sınır yüküdür.

Verilen şev stabilite problemleri STABL5 ile çözülmeye önce, şev geometrisi Şekil 47' de görüldüğü gibi kartezyen koordinat düzlemine çizilir.



Şekil 47. Problem geometrisi

Koordinat ekseni, şekil pozitif bölgede kalacak şekilde seçilmez. Deneme kayma yüzeyleri de, yatay eksenin altına geçmeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Aksi takdirde program hata verecektir. STABL5 uygulamasının grafiksel görünümü 12.7x20 cm²'lik bir

ölçek içinde kalmalı, problem geometrisinin çizildiği koordinat sisteminin orjini, çizimin orjini olarak düşünülmesi ve ölçek maksimize edilmelidir. Böylece uç geometrik noktaların, bu 12.7x20 cm² lik alan içinde kalması sağlanır. Sonuçta da çizilmiş profil bu alan içerisinde çok küçük kalmamalıdır. Şev geometrisi çizildikten sonra, farklı özellik gösteren zeminlerin oluşturduğu yüzeyler ve alt yüzeyler birbirinden doğrularla ayrılır. Her bir yüzey ve alt yüzey sınırı, kendisine özgü zemin parametreleri olan farklı alanları göstermektedir. Her bir sınırın uç noktalarından geçen düşey çizgiler, alanı yanal uzatmayla sınırlandırır. Sınırın altındaki alan, farklı zemin parametreleri gösteren başka bir doğruyla sınırlandırılmış olabilir. Zemin yüzeyi düşey sınırlar kullanılırsa, hangi zemin cinsinin kullanıldığına bir önemi yoktur.

Bu programda, sınır verileri belli bir sıra ve seviyede hazırlanmalıdır. Bunun için önce zemin yüzeyi sınırları, soldan sağa, birden başlamak üzere numaralandırılmalıdır. Eğer düşey bir çizgi zemin yüzeyinde meydana gelmiş ise bu da katılmalıdır. Daha sonra, tüm alt yüzey sınırları keyfi bir şekilde numaralandırılabilir.

Koordinat noktalarının verileri soldan sağa doğru düzenlenir. Su düzeyini belirleyen bütün noktalar, X ve Y koordinatları ile sırayla belirtilmelidir. Su yüzeyini belirleyen doğru parçalarının birleşimi, zemin yüzeyinin üstünde yer alabilir. Ayrıca, zemin yüzeyinde veya herhangi profil sınırında yer alabilir.

Veri girişleri:

Veriler belli başlı komutların altında veri grubu olarak girilir. Bu komutlar veri ve analiz komutları olmak üzere iki çeşittir. Veri komutları;

PROFİL: Zemin yüzeyini ve zemin altındaki maddelerin arayüzlerini tanımlayan sınır verilerini okur ve saklar.

SOIL: İzotropik zemin parametrelerini okur, kontrol eder ve saklar.

CIRCLE: Dairesel yüzeyler üretir ve kritik yüzeyler belirler. Janbu yöntemi çözümünde kullanılır.

CIRCL2: Dairesel yüzeyler üretir ve kritik yüzeyler belirler. Bishop yöntemi çözümünde kullanılır.

Her iki çözüm için de profil ve zemin çeşidi verileri girilmelidir. Bishop yöntemi ile çözüm yaparken CIRCL2 veri komutu girilmeli, Janbu yöntemi ile çözüm yapılırken ise CIRCLE komutu verileri girilmelidir. Aşağıdaki veriler, her bir veri grubu bir satır olacak şekilde yazılmalıdır.

Profil verileri:

- PROFİL
- Herhangi bir açıklama yapılabilir.
- Sınırların toplam sayısı (tamsayı)
 - Yüzey sınırlarının sayısı (tamsayı)
- Sınırın sol ucunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
 - Sınırın sol ucunun Y koordinatı (feet, gerçel sayı)
 - Sınırın sağ ucunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
 - Sınırın sağ ucunun Y koordinatı (feet, gerçel sayı)
 - Sınır altındaki zemin ucunun numarası (tamsayı)

Bu veri girişi her bir sınır için devam eder.

Zemin çeşitleri veri grubu (SOIL):

- SOIL
- Zemin çeşitlerinin sayısı (tamsayı)
- Zemin doğal birim hacim ağırlığı (pcf,gerçel sayı)
 - Zemin doygun birim hacim ağırlığı (pcf,gerçel sayı)
 - Zeminin kohezyonu (pcf,gerçel sayı)
 - Zeminin içsel sürtünme açısı (deg,gerçel sayı)
 - Zeminin boşluk basıncı parametresi (gerçel sayı)
 - Zeminin boşluk basıncı sabiti (psf,gerçel sayı)
 - Piyezometrik yüzey sayısı (şayet piyezometrik yüzey belli değil ise, herhangi bir tamsayı yazılır)

Bu veri girişi her bir zemin cinsi için devam eder.

Araştırılan dairesel yüzey girdisi:

Janbu metodu ile çözüm verileri:

- CIRCLE
- Başlangıç noktasının sayısı (tamsayı)
 - Her bir başlangıç noktasından üretilmiş yüzey sayısı (tamsayı)
 - Başlangıç noktasının en solunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
 - Başlangıç noktasının en sağının X koordinatı (feet, gerçel sayı)

- Sol bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
- Sağ bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
- Geliştirilen yüzeyin minimum yüksekliği (feet, gerçel sayı)
- Belirlenmiş yüzeyin dilimlerinin boyu (feet, gerçel sayı)
- Başlangıç yüzeyi için, saat ibresinin ters doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)
- Başlangıç yüzeyi için, saat ibresi doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)

Bishop metodu ile çözüm verileri:

- CIRCL2
- Başlangıç noktasının sayısı (tamsayı)
Her bir başlangıç noktasından üretilmiş yüzey sayısı (tamsayı)
- Başlangıç noktasının en solunun X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Başlangıç noktasının en sağının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sol bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
Sağ bitiş sınırının X koordinatı (feet, gerçel sayı)
- Geliştirilen yüzeyin minimum yüksekliği (feet, gerçel sayı)
Belirlenmiş yüzeyin dilimlerinin boyu (feet, gerçel sayı)
Başlangıç yüzeyi için, saat ibresinin ters doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)
Başlangıç yüzeyi için, saat ibresi doğrultu sınırı (deg, gerçel sayı)

3. BULGULAR VE İRDELEME

Araziden alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri ile İnşaat Mühendisliği Geoteknik ve Ulaştırma Laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda heyelan analizinin STABL5 programı ile yapılabilmesi için gerekli olan, doğal yoğunluk, kayma direnci ve içsel sürtünme açısı değerleri belirlenmiştir.

3.1. STABL5 ile Heyelan Analizi ve Sonuçları

STABL5 ile çözüm yapılabilmesi için Ek Şekil 1 - 8' de görülen kesitler kartezyen koordinat düzlemine yerleştirilmiştir. Programa veri girişleri yapılmadan önce programın çalışabilmesi için gerekli birim dönüşümleri yapılmalıdır. Programda birimler, uzunluk (feet), birim ağırlık (pcf) pounds/ft³, gerilme (psf)pounds/ft², açı (deg) olarak kullanılmaktadır. Bishop ve Janbu yöntemlerine göre güvenlik sayılarını elde etmek için oluşturulan veri girişleri Tablo 27' de verilmiştir.

Şekil 48' de kartezyen koordinat sisteminde gösterilen I-I Kesitinin Bishop yöntemine göre güvenlik sayısının elde edilmesi istendiği takdirde veri girişi;

PROFIL

1-1 Kesiti Bishop

5 5

0. 16.4 16.4 16.4 1

16.4 16.4 22.96 104.44 1

22.96 104.44 55.76 108.04 1

55.76 108.04 109.88 112.31 1

109.88 112.31 120. 112.31 1

SOIL

1

131.08 145. 702.26 25.62 0. 0. 0

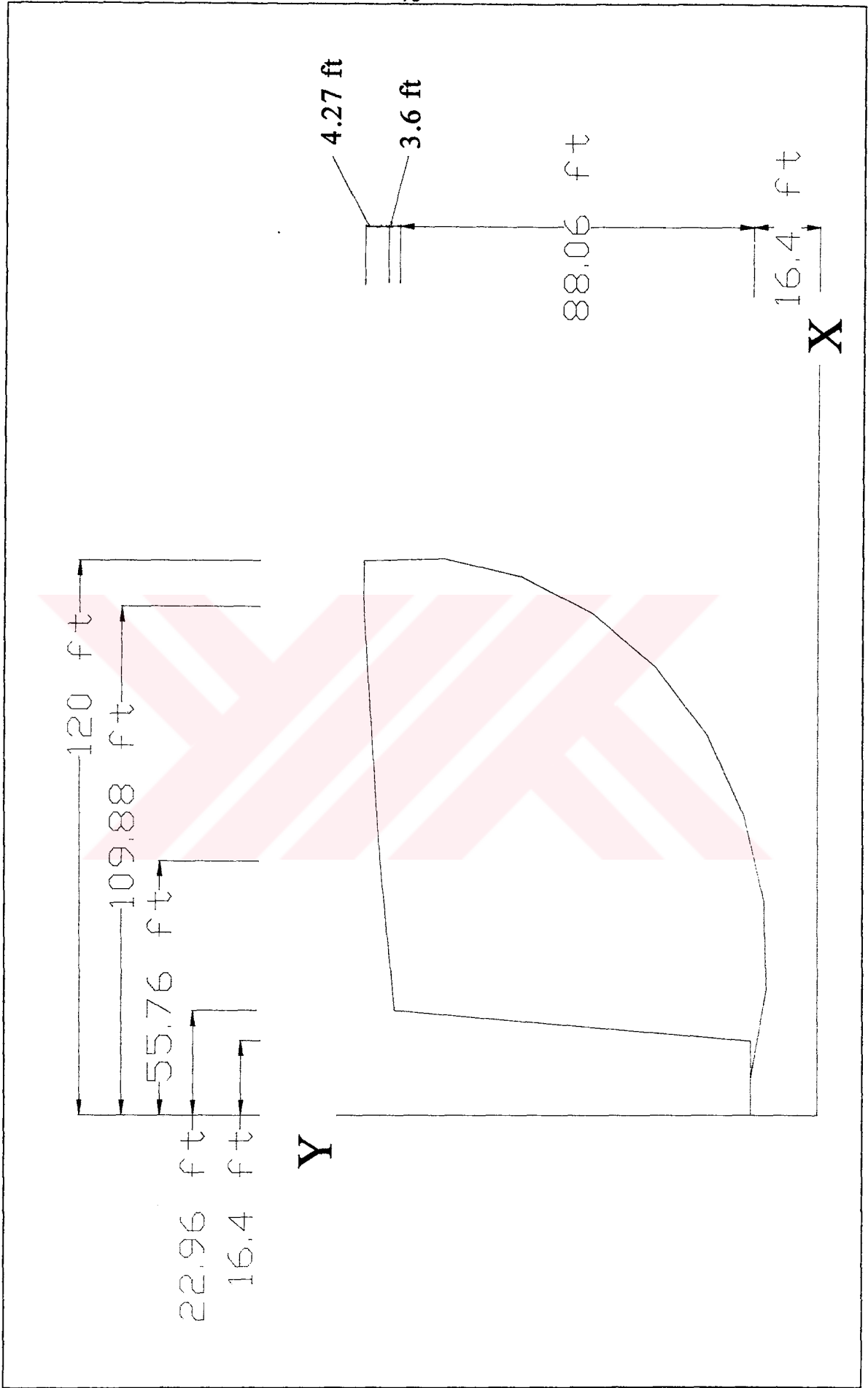
CIRCL2

5 25

8.2 16.4 109.88 120.

0. 3.28 0. -25

olarak yazılıp, program çalıştırılırsa sonuçlar Ek 3' deki gibi olur.



Şekil 48. I-I Kesiti Kartezyen koordinat sisteminde gösterimi

Tablo 27. STABL5 ile güvenlik sayısı için inceleme alanı veri girişleri

| Rize / Pazar | Veri Girişleri | |
|--------------|--|--|
| Kesit No | Bishop Yöntemi | Janbu Yöntemi |
| A-A | PROFIL A-A Kesiti Bishop 3 3 0. 32.8 32.8 32.8 1 32.8 32.8 39.36 91.02 1 39.36 91.02 113.98 93.97 1 SOIL 1 111.74 125. 298.92 30. 0. 0. 0 CIRCL2 3 25 16.4 32.8 39.36 113.98 0. 3.28 0. -25. | PROFIL A-A Kesiti Janbu 3 3 0. 32.8 32.8 32.8 1 32.8 32.8 39.36 91.02 1 39.36 91.02 113.98 93.97 1 SOIL 1 111.74 125. 298.92 30. 0. 0. 0 CIRCLE 3 25 16.4 32.8 39.36 113.98 0. 3.28 0. -25. |
| B-B | PROFIL B-B Kesiti Bishop 5 5 0. 32.8 32.8 32. 8 1 32.8 32.8 39.36 83.11 1 39.36 83.11 78.81 81.97 1 78.81 81.97 126.28 80.88 1 126.28 80.88 142.68 80.88 1 SOIL 1 111.74 120. 298.92 30. 0. 0. 0 CIRCL2 3 25 16.4 32.8 126.28 142.68 0. 3.28 0. -25. | PROFIL B-B Kesiti Janbu 5 5 0. 32.8 32.8 32. 8 1 32.8 32.8 39.36 83.11 1 39.36 83.11 78.81 81.97 1 78.81 81.97 126.28 80.88 1 126.28 80.88 142.68 80.88 1 SOIL 1 111.74 120. 298.92 30. 0. 0. 0 CIRCLE 3 25 16.4 32.8 126.28 142.68 0. 3.28 0. -25. |
| C-C | PROFIL C-C Kesiti Bishop 6 6 0. 32.8 32.8 32.8 1 32.8 32.8 39.36 67.47 1 39.36 67.47 59.04 69.67 1 59.04 69.67 118.9 66.16 1 118.9 66.16 171.38 69.04 1 171.38 69.04 180. 69.04 1 SOIL 1 112.98 120. 192.46 36. 0. 0. 0 CIRCL2 6 25 16.4 32.8 171.38 180. 0. 3.28 0. -25. | PROFIL C-C Kesiti Janbu 6 6 0. 32.8 32.8 32.8 1 32.8 32.8 39.36 67.47 1 39.36 67.47 59.04 69.67 1 59.04 69.67 118.9 66.16 1 118.9 66.16 171.38 69.04 1 171.38 69.04 180. 69.04 1 SOIL 1 112.98 120. 192.46 36. 0. 0. 0 CIRCLE 6 25 16.4 32.8 171.38 180. 0. 3.28 0. -25 |

Tablo 27. devamı

| | | |
|-------|--|--|
| D-D | PROFİL D-D Kesiti Bishop 0. 32.8 32.8 32.8 1 32.8 32.8 39.36 57.56 1 39.36 57.56 154.16 56.18 1 154.16 56.18 178.76 53.43 1 178.76 53.43 185. 53.43 1 SOIL 1 112.98 120. 192.46 36. 0. 0. 0. CIRCL2 5 25 16.4 32.8 178.76 185. 0. 3.28 0. -25. | PROFİL D-D Kesiti Janbu 5 5 0. 32.8 32.8 32.8 1 32.8 32.8 39.36 57.56 1 39.36 57.56 154.16 56.18 1 154.16 56.18 178.76 53.43 1 178.76 53.43 185. 53.43 1 SOIL 1 112.98 120. 192.46 36. 0. 0. 0 CIRCLE 5 25 16.4 32.8 178.76 185. 0. 3.28 0. -25. |
| I-I | PROFİL 1-1 Kesiti Bishop 5 5 0. 16.4 16.4 16.4 1 16.4 16.4 22.96 104.44 1 22.96 104.44 55.76 108.04 1 55.76 108.04 109.88 112.311 109.88 112.31 120. 112.31 1 SOIL 1 131.08 145. 702.26 25.62 0. 0. 0 CIRCL2 5 25 8.2 16.4 109.88 120. 0. 3.28 0. -25. | PROFİL 1-1 Kesiti Janbu 5 5 0. 16.4 16.4 16.4 1 16.4 16.4 26.4 104.44 1 26.4 104.44 55.76 108.04 1 55.76 108.04 109.88 112.311 109.88 112.31 120. 112.31 1 SOIL 1 131.08 145. 702.26 25.62 0. 0. 0 CIRCLE 5 25 8.2 16.4 109.88 120. 0. 3.28 0. -25. |
| II-II | PROFİL 2-2 Kesiti Bishop 5 5 0. 16.4 16.4 16.4 1 16.4 16.4 26.24 84.23 1 26.24 84.23 72.16 85.58 1 72.16 85.58 102.83 85.54 1 102.83 85.54 115. 85.54 1 SOIL 1 131.08 145. 702.76 25.62 0. 0. 0 CIRCL2 5 25 8.2 16.4 102.83 115. 0. 3.28 0. -25. | PROFİL 2-2 Kesiti Janbu 5 5 0. 16.4 16.4 16.4 1 16.4 16.4 26.24 84.23 1 26.24 84.23 72.1685.58 1 72.16 85.58 102.83 85.54 1 102.83 85.54 115. 85.54 1 SOIL 1 131.08 145. 702.26 25.62 0. 0. 0 CIRCLE 5 25 8.2 16.4 102.83 115. 0. 3.28 0. -25. |

Tablo 27. devamı

| | | |
|------|--|--|
| 1-21 | PROFIL 1-21 Kesiti Bishop 8 8 0. 65.6 16.4 65.6 1 16.4 65.6 96.76 90.36 1 96.76 90.36 164. 100.27 1 164. 100.27 244.36 115.92 1 244.36 115.92 314.88 123.75 1 314.88 123.75 374.74 133.43 1 374.74 133.43 432.14 153.64 1 432.14 153.64 480. 153.64 1 SOIL 1 118.6 130. 397.88 30. 0. 0. 0 CIRCL2 8 25 0. 16.4 432.14 480. 0. 6.56 0. -25. | PROFIL 1-21 Kesiti Janbu 8 8 0. 65.6 16.4 65.6 1 16.4 65.6 96.76 90.36 1 96.76 90.36 164. 100.27 1 164. 100.27 244.24 115.92 1 244.36 115.92 314.88 123.75 1 314.88 123.75 374.74 133.43 1 374. 74 133.43 432.14 153.64 1 432.14 153.64 480. 153.64 1 SOIL 1 118.6 130. 397.88 30. 0. 0. 0 CIRCLE 8 25 0. 16.4 432.14 480. 0. 6.56 0. -25 |
| 3-23 | PROFIL 3-23 Kesiti Bishop 10 10 0. 65.6 16.4 65.6 1 16.4 65.6 21.3 74.8 1 2 21.3 74.8 63.9 86.1 63.9 86.2 129.6 101.8 1 129.6 101.8 190.2 113.7 1 190.2 113.7 263.2 126.8 1 263.2 126.8 316.2 137.1 1 316.2 137.1 357.2 150.5 1 357.2 150.2 384.3 161.5 1 384.3 161.5 410. 161.5 1 SOIL 118.6 130. 397.88 30. 0. 0. 0 CIRCL2 10 25 0. 16.4 384.3 410. 0. 6.56 0. -25. | PROFIL 3-23 Kesiti Janbu 10 10 0. 65.6 16.4 65.6 1 16.4 65.6 21.3 74.8 1 2 21.3 74.8 63.9 86.1 63.9 86.2 129.6 101.8 1 129.6 101.8 190.2 113.7 1 190.2 113.7 263.2 126.8 1 263.2 126.8 316.2 137.1 1 316.2 137.1 357.2 150.5 1 357.2 150.2 384.3 161.5 1 384.3 161.5 410. 161.5 1 SOIL 118.6 130. 397.88 30. 0. 0. 0 CIRCLE 10 25 0. 16.4 384.3 410. 0. 6.56 0. -25. |

Tablo 27' deki veri girişleri tek tek girilip programın çalıştırılması ile her bir girdi için 10 adet güvenlik sayısı elde edilecektir. Bu güvenlik sayılarının her iki yöntem için minimum olanları Tablo 28' de verilmektedir.

Tablo 28. Kesitler ve minimum güvenlik sayıları

| Rize/PAZAR | Güvenlik Sayıları (GS) | |
|------------|------------------------|---------------|
| | Bishop Yöntemi | Janbu Yöntemi |
| A-A | 1.338 | 1.219 |
| B-B | 2.007 | 1.893 |
| C-C | 4.247 | 4.189 |
| D-D | 7.606 | 7.568 |
| 1-1 | 1.233 | 1.147 |
| 2-2 | 1.404 | 1.318 |
| 1-21 | 3.906 | 3.740 |
| 3-23 | 3.296 | 3.147 |



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Rize ili Pazar ilçesi Ocak köyü yamaçlarının stabilite durumları araştırılmıştır. Bu amaca yönelik yerinde yapılan incelemeler, araziden alınan örselenmemiş ve örselenmiş zemin numuneleri ile laboratuarda yapılan deneyler, alınan topoğrafik kesitler üzerindeki değerlendirmeler sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler şöyle sıralanabilir.

- Araziyi oluşturan tuf ve aglomeralar yer yer yüksek derecede ayrılmış ve yer yer de killeşmiş olup, yer altı suyu içermemektedir.
- İnceleme alanı dördüncü dereceden deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır.
- Eğimi 90 dereceye yakın yamaçlarda düşmeler olmaktadır. Değişik kesitlerde yapılan heyelan analizlerinde kaymaya karşı güvenlik sayısı en düşük I-I kesitinde Bishop yöntemiyle 1.233, Janbu yöntemiyle 1.147 olarak bulunmuştur.
- Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre Siltli Killi Kum ve Az Çakıl olarak sınıflandırılmıştır.
- Zeminlerin doğal yoğunluk, su içeriği ve kayma direnci parametreleri Tablo 29' da verildiği gibi bulunmuştur.

Tablo 29. Doğal yoğunluk, su içeriği, kayma direnci parametreleri

| Numune | X | Y | Z |
|---|-------|-------|-------|
| c (kN/m ²) | 34.3 | 14.6 | 9.4 |
| ϕ (derece) | 25.62 | 60.69 | 36.85 |
| W (su içeriği) | 29.85 | 24.6 | 17.58 |
| γ_n (doğal yoğ.)(Mg/m ³) | 2.1 | 17.9 | 18.1 |

- İnceleme alanı üzerinde herhangi bir ek yük bulunmadığından minimum güvenlik sayısı 1.0 alınmıştır. Heyelan analizi sonucunda bulunan güvenlik sayıları 1.0'dan büyük olduğundan yamaçların güvenli olduğunu söyleyebiliriz. Ancak yapılaşma olması halinde minimum güvenlik sayısı 1.5 alınacak ve heyelan analizi tekrar yapıldığında inceleme alanı güvensiz tarafta kalacak ve heyelan riski doğacaktır.
- Tuf ve aglomeralar kaymaya neden olabilecek süreksizlik yüzeyleri içermediğinden, arazide yer altı suyu bulunmadığından ve STABL5 ile yapılan kayma analizleri de kaymaya karşı güvenli sonuçlar verdiği için, yüzeysel suların

uzaklaştırılabilmesi amacıyla uygun bir drenaj sisteminin yapılması, yüksek eğimli kısımlarda kademelendirme ve istinat duvarı inşa edilmesi koşulu ile yapılaşmaya gidilebilir.

- h. Yapılaşma için arazideki yapıların konumları ve yeni oluşacak topoğrafik durum plan üzerinde belirlendikten sonra kayma analizleri tekrarlanmalıdır.



5. KAYNAKLAR

1. Skempton, A.W. ve Hutchinson, S.N., Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng. , vol.3, Mexico city, 1969, 291-340
2. Varnes, D.J. Slope Movement Types and Procuses , Transporatation Research Board , Special Report 176, NAS-NRC Publ. , 1978, 11-33
3. Walker, B.F., Soil Slope Instability and Stabilization , Bruce, F, Robin, F., Sydney, 1987
4. Erguvanlı, K. , Mühendislik Jeolojisi , 5. Baskı , Seç Yayın , İstanbul, 1994
5. TS 8853, Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1991
6. Atalay, F.İ. ve Bekaroğlu, V., Heyelanlar ve Mühendislik Uygulaması , Karayolları Genel Müdürlüğü Yayın No:200, Ankara, 1973
7. Sowers, G.B. ve Sowers , G.F. , Introductory Soil Mechanics and Foundations, 3rd Edition, Mc Millan, New York, 1970
8. Aytekin, M., Deneysel Zemin Mekaniği, 2. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara, 2004
9. Terzaghi, K., Stability of Slopes of Natural Clay, Proc.1st Int. Conf. On Soil Mech. and Foundation Engineering, 1936, Harward, Vol-1.161-165
10. Önalp, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi , Cilt 2 , 1. Baskı, K.T.Ü Yayın No.3 , Trabzon, 1983
11. Terzaghi, K., Mechanism of Londslides, Berkey Volume, Geol.Soc. America, NewYork, 1950, 83-123
12. Varnes, D.J., Landslides Types and Prousses, Landslides and Engineering Practise, Higway Research Board, Special Report 29, NAS-NRC Push, 1958
13. Sharpe, C.F.S., Landslides and Related Phenomena, Colombia Un. Press, New York, 1938
14. Skempton, A.W., Soil Mechanic in Relation to Geology, Proc. Yorhshire Geological Society, 29,1(1953), 33-62
15. Blong, R.J., A Numerical Classification of Selected Landslides of the Debris Slide, Engineering Geology, 7(1973), 99-114

16. Blyth, F.G.H. ve De Freitas, M.H., A Geology for Engineers, 6 th Editon, Edwin Arnold, London, 1974
17. Hutchinson, J.N., A Geotechnical Classification of Landslides, Croom Helm, 1978
18. Whitlow,R., Basic Soil Mechanics, First Edition, Langman Inc., New York, 1983
19. Önalp, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi , Cilt 1 , 1. Baskı, K.T.Ü Yayın No.3 , Trabzon, 1983
20. Fellenius, W., Erdstatische Berechnungen Mit Reibung und Kohasion, Ernst, W., Berlin, 1927
21. Önalp, A., Yamaç Dengesinde Etkenlerin İncelenmesi, Doçentlik Tezi, K.T.Ü, Trabzon, 1975
22. Anderson, M.G. ve Richards, K.S., Slope Stability, John Wiley and Sons Ltd., New York, 1982
23. Morgenstern, N.R. ve Sangrey , D.A. , Methods of Stability Analysis, Transportation Research Board, Special .Report 176, NSA-NCR Publ., 1978
24. Chugh, A.K., Variable Factors of Safety in Slape Stability Analysis, Geotechnique, 36,1 (1986), 57-64
25. Baikie, L.D., Total and Partial Factors of Safety in Geotechnical Engineering, Can.Geot.J., 22 (1985), 477-482
26. De Mello, V.B.F., Reflection on Desing Decisions of Practical Significance to Embankment Dams, Geotechnique, 27, 3(1977), 279-355
27. Haliloğlu, B.S. ,Heyelan Analizinde Kullanılan Yöntemler ve Sayısal Çözümleri, Y.Lisans Tezi, K.T.Ü., Trabzon, 1996
28. Rogers, D.J., Recent Developments in Landslide Mitigation Technigues, Geolith Consultants, Pleasant Hill, California, 1997
29. Ladd, G.E., Methods of Controlling Landslides, Eng. and Contracting, 1928, 599-608
30. Hannes, R.G., Analysis of Landslides, Washington Univ. Eng. Experiment Sta. Bull., 1936, 57-91
31. Baker,R.F., Determining Corrective Actions for Highway Landslide Problems, Higway Board Bul. 49., 1953

32. Peck, R.B., ve Ireland , H.O., Investigation of Stability Problems, Am.Railroad Engineer Assoc., 1953, 1128
33. Utku, T., Teori ve Tatbikatta Heyelanlar, T.C. Karayolları.G.M., Ankara, 1975
34. Huntington,W.C., Earth Pressures and Retaining Walls, 1.Wiley NewYork, 1957
35. Lee, D.H. , Deep Foundations and Sheet Piling Concrete Pub., London,1961
36. TS 3168, Delme kazıklar , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978
37. TS 3169, Çakma Kazıklar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,1978
38. Uzuner, B.A. , Temel Mühendisliğine Giriş, 2. Baskı, Trabzon, 2000
39. Laurance, R.A., Stabilization of Some Rockslides in Grainger Country, Tensnesse, Econ.Geol., 1951, 329-336
40. Ingles, O.G., ve Metcalf, J.B. , Soil Stabilization, Butterworths, Sydney, 1972
41. Menard,L. ve Broise,Y., Theoretical and Practical Aspects of Dynamics Consolidation, Geotechnique, 1975, 1-17
42. Leonards, G., Cutter,W.A., ve Holtz,R.D. ,Dynamic Compaction of Granular Soils, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.106, 1980, 35-44
43. Lee, I.K. ,White, W., ve Ingles, O.G., Geotechnical Engineering, Pitman Publishing Ltd., Melbourne, 1983
44. Bowen, R., Grouting in Engineering Practice, NewYork, 1975
45. Bjerrum, L., Moum, J., ve Eide,D., Application of Electro-Osmosis to Foundation Problem in Norwegian Quick Clay, 1967, 214-235
46. Braithwaite, T.R., Freezing Techiques for Shaft Support, Proceedings of Tunnel and Shaft Conference, Minneapolis, 1968
47. Koerner ve Welsh, Construction in Geotechnical Engineering Using Synthetic Fabrics, NewYork, 1980

6. EKLER

6.1. Ek 1

X, Y ve Z zeminleri yoğunluk, kesme kutusu deney sonuçları tabloları.

Ek Tablo 1. X zemini yoğunluk deney sonuçları

| | | |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------|
| Zemin örneğinin kütlesi | (Mz) | 32,44gr |
| Parafin kaplanmış zemin kütlesi | $M_{zp}=(M_z+W_p)$ | 35,99gr |
| Parafin kütlesi | $(M_p= M_{zp}-W_z)$ | 3,55gr |
| Parafin hacmi | $(V_p=M_p/\rho_p)$ | 3,94cm ³ |
| Ölçekli silindirik kabın ilk okuması | (V1) | 800cm ³ |
| Ölçekli silindirik kapta ikinci okuma | (V2) | 822cm ³ |
| Zemin + parafin | $(V_{zp}=V_2 - V_1)$ | 22cm ³ |
| Zemin hacmi | $(V_z=V_{zp} - V_p)$ | 18,05cm ³ |
| Yoğunluk | $(\rho_n) = M_z/V_z$ | 1,79 |
| | ρ_n | 17,9 kN/m ³ |

Ek Tablo 2. Y zemini yoğunluk deney sonuçları

| | | |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------|
| Zemin örneğinin kütlesi | (Mz) | 56,48gr |
| Parafin kaplanmış zemin kütlesi | $M_{zp}=(M_z+W_p)$ | 68,29gr |
| Parafin kütlesi | $(M_p= M_{zp}-W_z)$ | 11,81gr |
| Parafin hacmi | $(V_p=M_p/\rho_p)$ | 13,12cm ³ |
| Ölçekli silindirik kabın ilk okuması | (V1) | 800cm ³ |
| Ölçekli silindirik kapta ikinci okuma | (V2) | 840cm ³ |
| Zemin + parafin | $(V_{zp}=V_2 - V_1)$ | 40cm ³ |
| Zemin hacmi | $(V_z=V_{zp} - V_p)$ | 26,88cm ³ |
| Yoğunluk | $(\rho_n) = M_z/V_z$ | 2,10 |
| | ρ_n | 21,0 kN/m ³ |

Ek Tablo 3. Z zemini yoğunluk deney sonuçları

| | | |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Zemin örneğinin kütlesi | (Mz) | 64,71gr |
| Parafin kaplanmış zemin kütlesi | $M_{zp}=(M_z+W_p)$ | 73gr |
| Parafin kütlesi | $(M_p= M_{zp}-W_z)$ | 8,29gr |
| Parafin hacmi | $(V_p=M_p/\rho_p)$ | 9,21cm ³ |
| Ölçekli silindirik kabın ilk okuması | (V1) | 800cm ³ |
| Ölçekli silindirik kapta ikinci okuma | (V2) | 845cm ³ |
| Zemin + parafin | $(V_{zp}=V_2 - V_1)$ | 45cm ³ |
| Zemin hacmi | $(V_z=V_{zp} - V_p)$ | 35,79cm ³ |
| Yoğunluk | $(\rho_n) = M_z/V_z$ | 1,81 |
| | ρ_n | 18,1kN/m ³ |

Ek Tablo 4. X zemini kesme kutusu deney sonuçları,düşey yük 18kg

| Süre (dk.) | Düşey Yük (kgf) | Kuvvet Halkası Oku. | İlk Yatay Defor. Okuması | Son Yatay Defor. Okuması | Yatay Deformasyon (mm) | Kuvvet (kgf) | Numune Alanı (cm ²) | Kayma Gerilme (kN/m ²) | Normal Gerilme (kN/m ²) |
|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 18 | 0 | 600 | 600 | 0 | 0 | 36 | 0 | 50 |
| 3 | 18 | 50 | 600 | 700 | 0,1 | 10,36 | 35,4 | 29,27 | 50,84 |
| 6 | 18 | 78 | 600 | 830 | 0,23 | 16,16 | 34,62 | 46,68 | 51,99 |
| 9 | 18 | 95 | 600 | 980 | 0,38 | 19,68 | 33,72 | 58,38 | 53,38 |
| 12 | 18 | 96 | 600 | 1125 | 0,525 | 19,89 | 32,85 | 60,55 | 54,79 |
| 15 | 18 | 94 | 600 | 1280 | 0,68 | 19,47 | 31,92 | 61,02 | 56,39 |
| 18 | 18 | 87 | 600 | 1435 | 0,835 | 18,03 | 30,99 | 58,17 | 58,08 |

Ek Tablo 5. X zemini kesme kutusu deney sonuçları,düşey yük 36kg

| Süre (dk.) | Düşey Yük (kgf) | Kuvvet Halkası Oku. | İlk Yatay Defor. Okuması | Son Yatay Defor. Okuması | Yatay Deformasyon (mm) | Kuvvet (kgf) | Numune Alanı (cm ²) | Kayma Gerilme (kN/m ²) | Normal Gerilme (kN/m ²) |
|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 36 | 0 | 600 | 600 | 0 | 0 | 36 | 0 | 100 |
| 3 | 36 | 80 | 600 | 700 | 0,1 | 16,57 | 35,4 | 46,83 | 101,69 |
| 6 | 36 | 115 | 600 | 835 | 0,235 | 23,83 | 34,59 | 68,89 | 104,07 |
| 9 | 36 | 137 | 600 | 975 | 0,375 | 28,38 | 33,75 | 84,11 | 106,66 |
| 12 | 36 | 144 | 600 | 1125 | 0,525 | 29,84 | 32,85 | 90,83 | 109,59 |
| 15 | 36 | 149 | 600 | 1275 | 0,675 | 30,87 | 31,95 | 96,63 | 112,67 |
| 18 | 36 | 155 | 600 | 1425 | 0,825 | 32,12 | 31,05 | 103,44 | 115,94 |
| 21 | 36 | 155 | 600 | 1575 | 0,975 | 32,12 | 30,15 | 106,53 | 119,40 |
| 24 | 36 | 154 | 600 | 1725 | 1,125 | 31,91 | 29,25 | 109,09 | 123,07 |

Ek Tablo 6. X zemini kesme kutusu deney sonuçları,düşey yük 72kg

| Süre (dk.) | Düşey Yük (kgf) | Kuvvet Halkası Oku. | İlk Yatay Defor. Okuması | Son Yatay Defor. Okuması | Yatay Deformasyon (mm) | Kuvvet (kgf) | Numune Alanı (cm ²) | Kayma Gerilme (kN/m ²) | Normal Gerilme (kN/m ²) |
|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 72 | 0 | 500 | 500 | 0 | 0 | 36 | 0 | 200 |
| 3 | 72 | 135 | 500 | 605 | 0,105 | 27,97 | 35,37 | 79,09 | 203,56 |
| 6 | 72 | 182 | 500 | 745 | 0,245 | 37,71 | 34,53 | 109,21 | 208,51 |
| 9 | 72 | 218 | 500 | 875 | 0,375 | 45,17 | 33,75 | 133,84 | 213,97 |
| 12 | 72 | 221 | 500 | 1020 | 0,52 | 45,79 | 32,88 | 139,27 | 218,97 |
| 15 | 72 | 218 | 500 | 1170 | 0,67 | 45,17 | 31,98 | 141,25 | 225,14 |
| 18 | 72 | 215 | 500 | 1325 | 0,825 | 44,55 | 31,05 | 143,47 | 231,88 |
| 21 | 72 | 216 | 500 | 1480 | 0,98 | 44,75 | 30,12 | 148,59 | 239,04 |

Ek Tablo 7. Y zemini kesme kutusu deney sonuçları,düşey yük 18kg

| Süre (dk.) | Düşey Yük (kgf) | Kuvvet Halkası Oku. | İlk Yatay Defor. Okuması | Son Yatay Defor. Okuması | Yatay Deformasyon (mm) | Kuvvet (kgf) | Numune Alanı (cm ²) | Kayma Gerilme (kN/m ²) | Normal Gerilme (kN/m ²) |
|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36 | 0 | 50 |
| 3 | 18 | 25 | 0 | 135 | 0,135 | 5,18 | 35,19 | 14,72 | 51,15 |
| 6 | 18 | 43 | 0 | 275 | 0,275 | 8,91 | 34,35 | 25,94 | 52,40 |
| 9 | 18 | 54 | 0 | 425 | 0,425 | 11,19 | 33,45 | 33,45 | 53,81 |
| 12 | 18 | 62 | 0 | 570 | 0,570 | 12,85 | 32,58 | 39,43 | 55,25 |
| 15 | 18 | 66 | 0 | 720 | 0,720 | 13,67 | 31,68 | 43,16 | 56,82 |
| 18 | 18 | 70 | 0 | 860 | 0,860 | 14,5 | 30,84 | 47,03 | 58,36 |
| 21 | 18 | 72 | 0 | 1010 | 1,01 | 14,92 | 29,94 | 49,83 | 60,12 |
| 24 | 18 | 72 | 0 | 1155 | 1,155 | 14,92 | 29,07 | 51,32 | 61,92 |

Ek Tablo 8. Y zemini kesme kutusu deney sonuçları,düşey yük 36kg

| Süre (dk.) | Düşey Yük (kgf) | Kuvvet Halkası Oku. | İlk Yatay Defor. Okuması | Son Yatay Defor. Okuması | Yatay Deformasyon (mm) | Kuvvet (kgf) | Numune Alanı (cm ²) | Kayma Gerilme (kN/m ²) | Normal Gerilme (kN/m ²) |
|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 36 | 0 | 700 | 700 | 0 | 0 | 36 | 0 | 100 |
| 3 | 36 | 76 | 700 | 830 | 0,13 | 15,74 | 35,22 | 44,71 | 102,21 |
| 6 | 36 | 110 | 700 | 965 | 0,265 | 22,79 | 34,41 | 66,24 | 104,62 |
| 9 | 36 | 127 | 700 | 1110 | 0,41 | 26,31 | 33,54 | 78,46 | 107,33 |
| 12 | 36 | 139 | 700 | 1250 | 0,55 | 28,80 | 32,7 | 88,08 | 110,09 |
| 15 | 36 | 142 | 700 | 1400 | 0,7 | 29,42 | 31,8 | 92,53 | 113,20 |
| 18 | 36 | 140 | 700 | 1541 | 0,841 | 29 | 30,95 | 93,72 | 116,3 |
| 21 | 36 | 134 | 700 | 1700 | 1 | 27,76 | 30 | 92,55 | 120 |

Ek Tablo 9. Y zemini kesme kutusu deney sonuçları,düşey yük 72kg

| Süre (dk.) | Düşey Yük (kgf) | Kuvvet Halkası Oku. | İlk Yatay Defor. Okuması | Son Yatay Defor. Okuması | Yatay Deformasyon (mm) | Kuvvet (kgf) | Numune Alanı (cm ²) | Kayma Gerilme (kN/m ²) | Normal Gerilme (kN/m ²) |
|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 72 | 0 | 700 | 700 | 0 | 0 | 36 | 0 | 200 |
| 3 | 72 | 170 | 700 | 795 | 0,095 | 35,22 | 35,43 | 99,42 | 203,22 |
| 6 | 72 | 230 | 700 | 930 | 0,23 | 47,66 | 34,62 | 137,66 | 207,97 |
| 9 | 72 | 225 | 700 | 1080 | 0,38 | 46,62 | 33,72 | 138,26 | 213,52 |
| 12 | 72 | 215 | 700 | 1230 | 0,53 | 44,55 | 62,82 | 135,74 | 219,37 |

Ek Tablo 10. Z zemini kesme kutusu deney sonuçları,düşey yük 18kg

| Süre (dk.) | Düşey Yük (kgf) | Kuvvet Halkası Oku. | İlk Yatay Defor. Okuması | Son Yatay Defor. Okuması | Yatay Deformasyon (mm) | Kuvvet (kgf) | Numune Alanı (cm ²) | Kayma Gerilme (kN/m ²) | Normal Gerilme (kN/m ²) |
|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 18 | 0 | 700 | 700 | 0 | 0 | 36 | 0 | 50 |
| 3 | 18 | 38 | 700 | 835 | 0,135 | 7,87 | 35,19 | 22,37 | 51,15 |
| 6 | 18 | 48 | 700 | 980 | 0,28 | 9,95 | 34,32 | 28,98 | 52,45 |
| 9 | 18 | 55 | 700 | 1125 | 0,425 | 11,39 | 33,45 | 34,07 | 53,81 |
| 12 | 18 | 61 | 700 | 1270 | 0,57 | 12,64 | 32,58 | 38,79 | 55,24 |
| 15 | 18 | 63 | 700 | 1415 | 0,715 | 13,05 | 31,71 | 41,16 | 56,76 |

Ek Tablo 10. devamı

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 18 | 18 | 67 | 700 | 1565 | 0,865 | 13,88 | 30,81 | 45,06 | 58,42 |
| 21 | 18 | 76 | 700 | 1710 | 1,01 | 15,75 | 29,94 | 52,59 | 60,12 |
| 24 | 18 | 78 | 700 | 1960 | 1,26 | 16,16 | 28,44 | 56,83 | 63,29 |

Ek Tablo 11. Z zemini kesme kutusu deney sonuçları,düşey yük 36kg

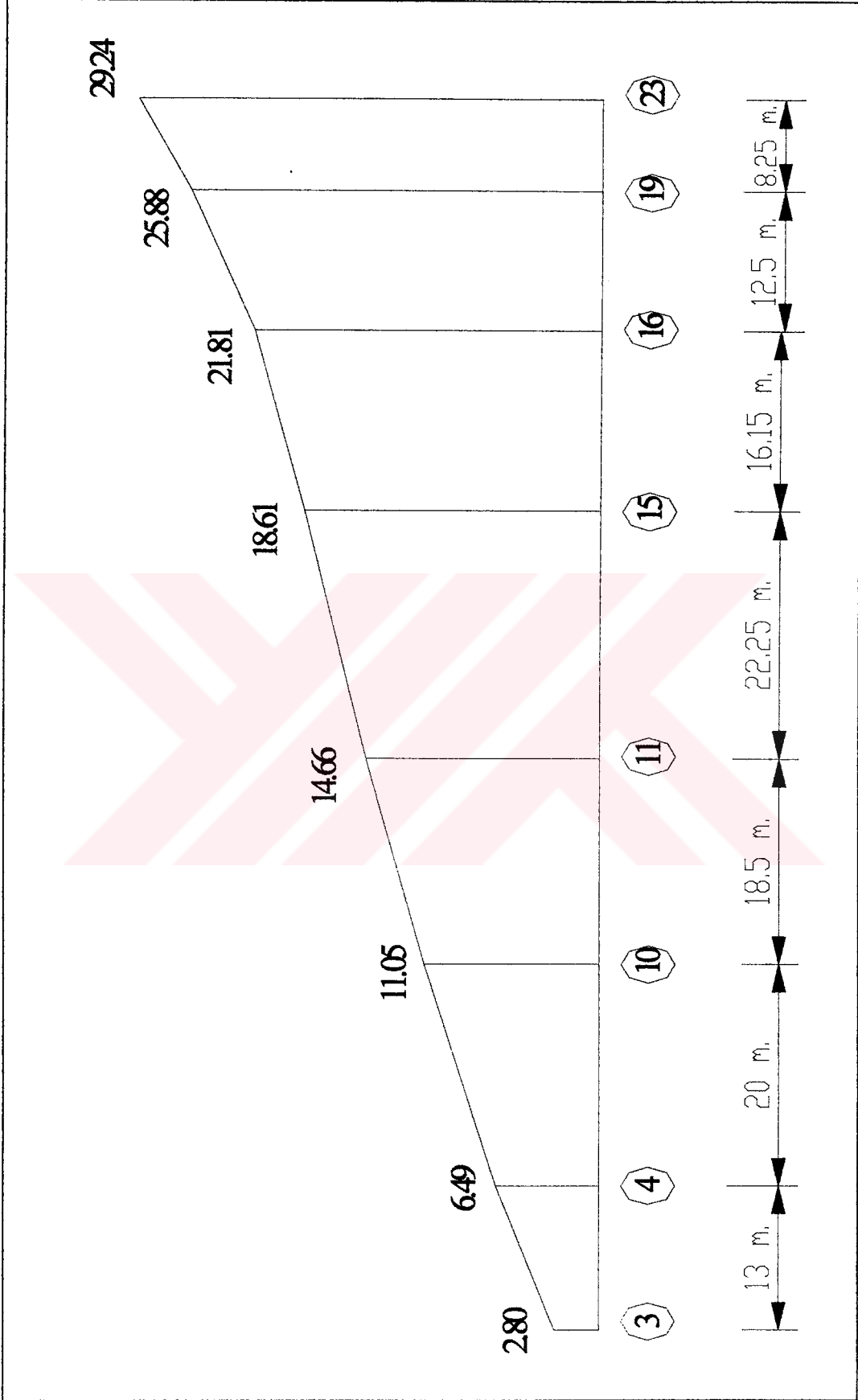
| Süre (dk.) | Düşey Yük (kgf) | Kuvvet Halkası Oku. | İlk Yatay Defor. Okuması | Son Yatay Defor. Okuması | Yatay Deformasyon (mm) | Kuvvet (kgf) | Numune Alanı (cm ²) | Kayma Gerilme (kN/m ²) | Normal Gerilme (kN/m ²) |
|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 36 | 0 | 700 | 700 | 0 | 0 | 36 | 0 | 100 |
| 3 | 36 | 85 | 700 | 800 | 0,1 | 17,61 | 35,4 | 49,75 | 101,69 |
| 6 | 36 | 120 | 700 | 940 | 0,24 | 24,86 | 34,56 | 71,94 | 104,17 |
| 9 | 36 | 125 | 700 | 1090 | 0,39 | 25,9 | 33,66 | 76,94 | 106,95 |
| 12 | 36 | 142 | 700 | 1230 | 0,53 | 29,42 | 32,82 | 89,65 | 109,69 |
| 15 | 36 | 139 | 700 | 1280 | 0,58 | 28,8 | 32,52 | 88,56 | 110,70 |
| 18 | 36 | 128 | 700 | 1530 | 0,83 | 26,52 | 31,02 | 85,50 | 116,05 |

Ek Tablo 12. Z zemini kesme kutusu deney sonuçları,düşey yük 72kg

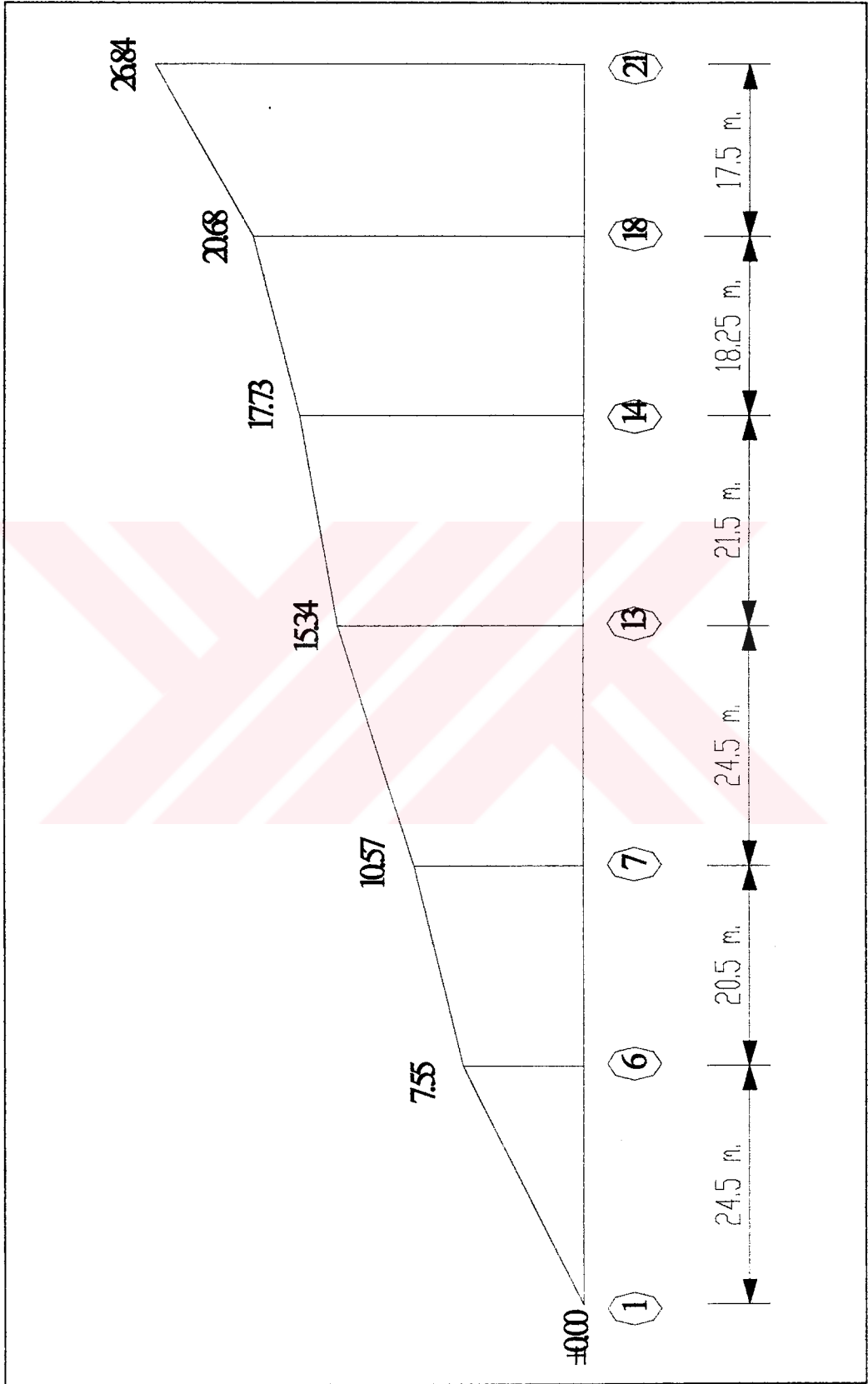
| Süre (dk.) | Düşey Yük (kgf) | Kuvvet Halkası Oku. | İlk Yatay Defor. Okuması | Son Yatay Defor. Okuması | Yatay Deformasyon (mm) | Kuvvet (kgf) | Numune Alanı (cm ²) | Kayma Gerilme (kN/m ²) | Normal Gerilme (kN/m ²) |
|------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 72 | 0 | 700 | 700 | 0 | 0 | 36 | 0 | 200 |
| 3 | 72 | 165 | 700 | 785 | 0,085 | 34,19 | 35,49 | 96,34 | 202,87 |
| 6 | 72 | 248 | 700 | 900 | 0,2 | 51,39 | 34,8 | 147,67 | 206,89 |
| 9 | 72 | 265 | 700 | 1020 | 0,32 | 54,91 | 34,08 | 161,12 | 211,26 |
| 12 | 72 | 270 | 700 | 1145 | 0,445 | 55,94 | 33,33 | 167,86 | 216,02 |
| 15 | 72 | 275 | 700 | 1275 | 0,575 | 56,98 | 32,55 | 175,06 | 221,19 |
| 18 | 72 | 250 | 700 | 1425 | 0,725 | 51,8 | 31,65 | 163,67 | 227,48 |

6.2 Ek 2

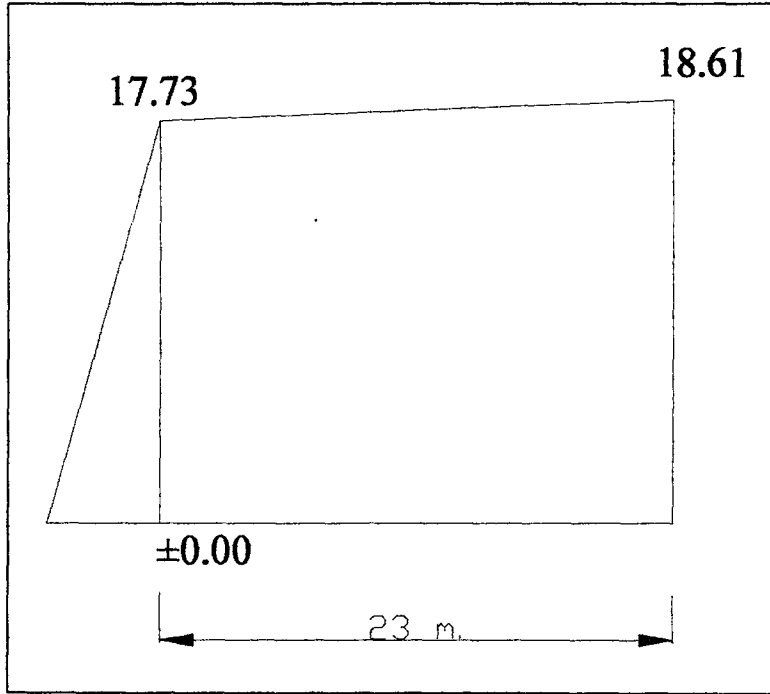
İnceleme alanı boy kesitlerinin şekilleri.



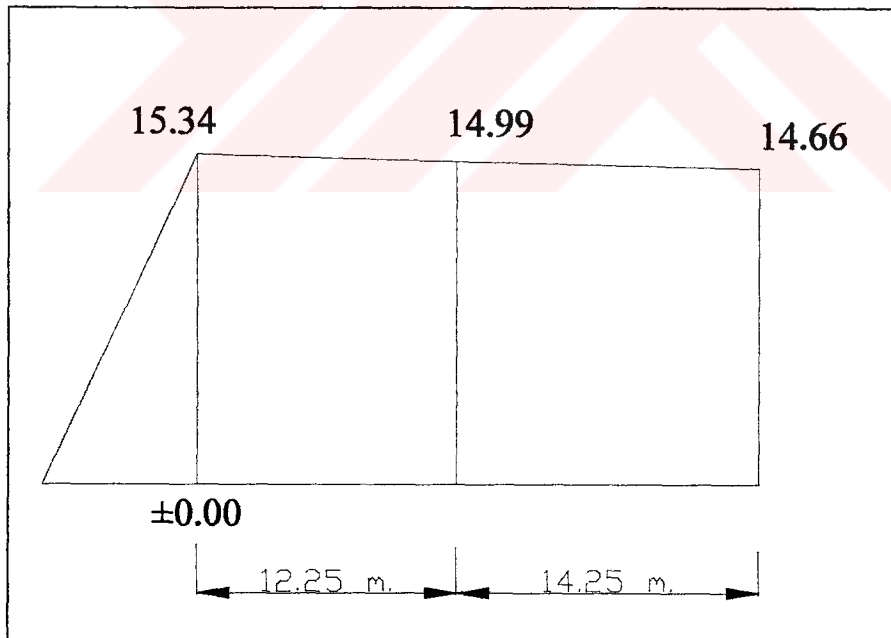
Ek Şekil 1. 3-23 Boy kesiti



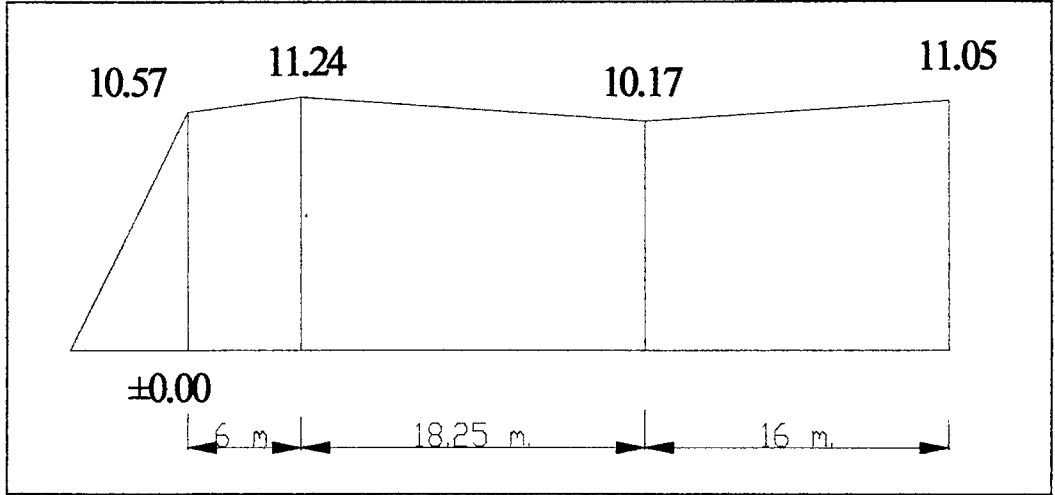
Ek Şekil 2. 1-21 Boy kesiti



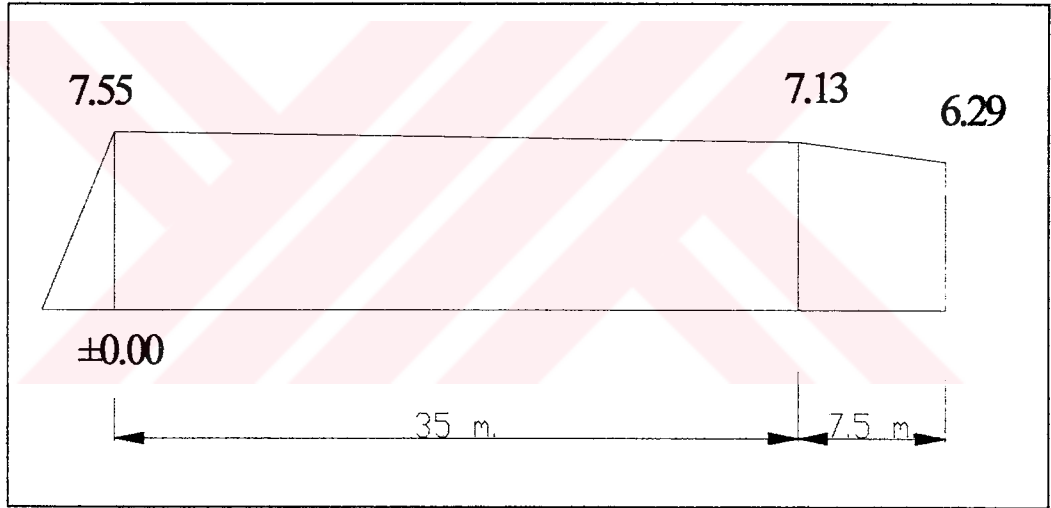
Ek Şekil 3. A-A Boy kesiti



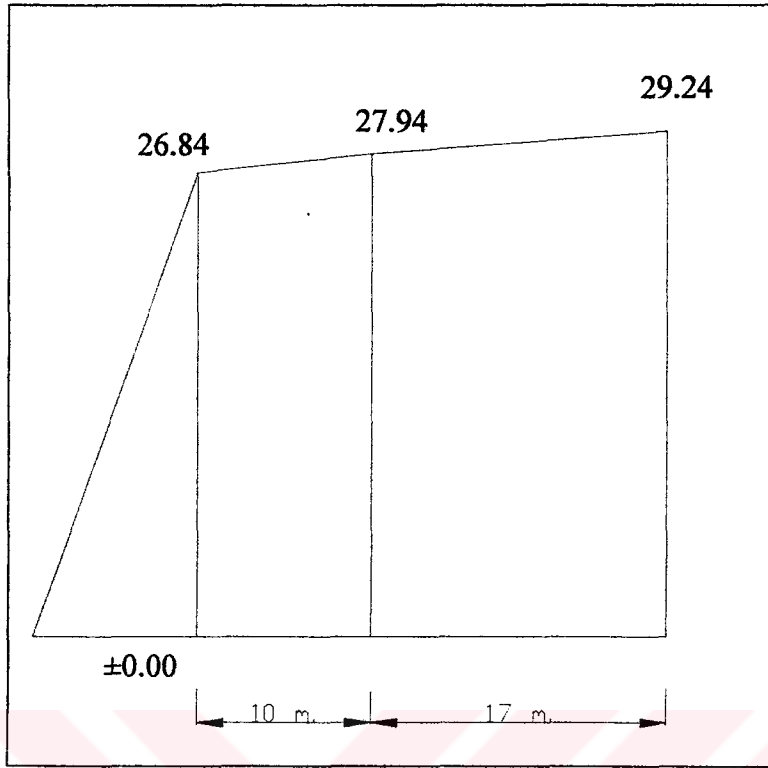
Ek Şekil 4. B-B Boy kesiti



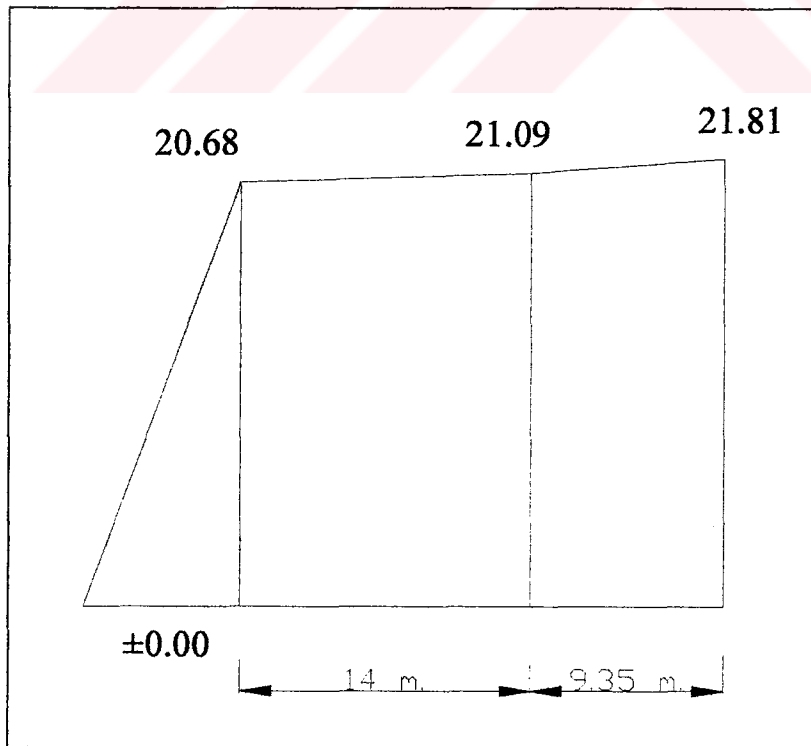
Ek Şekil 5. C-C Boy kesiti



Ek Şekil 6. D-D Boy kesiti



Ek Şekil 7. I-I Boy kesiti



Ek Şekil 8. II-II Boy kesiti

6.3. Ek 3

I-I kesitinin STABL 5 Bilgisayar Programı ile Bishop Metoduna göre Güvenlik Sayısı Hesabı.

**** PCSTABL5 ****

by
Purdue University
1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: 10.05.04
Time of Run: 11.48
Run By: G.DEMİR
Input Data Filename: Gökhan.DAT
Output Filename: Gökhan.OUT
Plotted Output Filename: Gökhan

PROBLEM DESCRIPTION 1-1 Kesiti Bishop

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
5 Total Boundaries

| Boundary No. | X-Left (ft) | Y-Left (ft) | X-Right (ft) | Y-Right (ft) | Soil Type Below Bnd |
|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------------|
| 1 | .00 | 16.40 | 16.40 | 16.40 | 1 |
| 2 | 16.40 | 16.40 | 22.96 | 104.44 | 1 |
| 3 | 22.96 | 104.44 | 55.76 | 108.04 | 1 |
| 4 | 55.76 | 108.04 | 109.88 | 112.31 | 1 |

5 109.88 112.31 120.00 112.31 1

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

1 Type(s) of Soil

| Soil No. | Total Unit Wt. (pcf) | Saturated Unit Wt. (pcf) | Cohesion (psf) | Friction Intercept (deg) | Pore Pressure Param. (psf) | Piez. Pressure Constant (psf) | Surface No. |
|----------|----------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|
|----------|----------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|

| | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|------|-----|----|---|
| 1 | 131.1 | 145.0 | 702.3 | 25.6 | .00 | .0 | 0 |
|---|-------|-------|-------|------|-----|----|---|

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

125 Trial Surfaces Have Been Generated.

25 Surfaces Initiate From Each Of 5 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between $X = 8.20$ ft. and $X = 16.40$ ft.

Each Surface Terminates Between $X = 109.88$ ft. and $X = 120.00$ ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is $Y = .00$ ft.

3.28 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Restrictions Have Been Imposed Upon The Angle Of Initiation. The Angle Has Been Restricted Between The Angles Of -25.0 And $.0$ deg.

1

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical

First.

**** Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method ****

Failure Surface Specified By 49 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|--------------|----------------|----------------|
| 1 | 8.20 | 16.40 |
| 2 | 11.48 | 16.27 |
| 3 | 14.76 | 16.25 |
| 4 | 18.04 | 16.35 |
| 5 | 21.31 | 16.55 |
| 6 | 24.58 | 16.86 |
| 7 | 27.83 | 17.28 |
| 8 | 31.07 | 17.81 |
| 9 | 34.28 | 18.44 |
| 10 | 37.48 | 19.19 |
| 11 | 40.65 | 20.04 |
| 12 | 43.78 | 21.00 |
| 13 | 46.89 | 22.06 |
| 14 | 49.95 | 23.22 |
| 15 | 52.98 | 24.49 |
| 16 | 55.96 | 25.85 |
| 17 | 58.90 | 27.32 |
| 18 | 61.78 | 28.88 |
| 19 | 64.61 | 30.54 |
| 20 | 67.38 | 32.29 |
| 21 | 70.09 | 34.14 |
| 22 | 72.74 | 36.07 |
| 23 | 75.33 | 38.09 |
| 24 | 77.84 | 40.20 |
| 25 | 80.28 | 42.39 |
| 26 | 82.65 | 44.66 |
| 27 | 84.94 | 47.01 |
| 28 | 87.15 | 49.43 |
| 29 | 89.27 | 51.93 |
| 30 | 91.32 | 54.50 |
| 31 | 93.27 | 57.13 |
| 32 | 95.14 | 59.83 |
| 33 | 96.91 | 62.58 |
| 34 | 98.60 | 65.40 |
| 35 | 100.18 | 68.27 |
| 36 | 101.67 | 71.19 |
| 37 | 103.06 | 74.16 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 38 | 104.35 | 77.18 |
| 39 | 105.54 | 80.24 |
| 40 | 106.63 | 83.33 |
| 41 | 107.61 | 86.46 |
| 42 | 108.49 | 89.62 |
| 43 | 109.26 | 92.81 |
| 44 | 109.92 | 96.02 |
| 45 | 110.48 | 99.25 |
| 46 | 110.92 | 102.50 |
| 47 | 111.26 | 105.77 |
| 48 | 111.49 | 109.04 |
| 49 | 111.61 | 112.31 |

Circle Center At X = 13.7 ; Y = 114.2 and Radius, 98.0

*** 1.233 ***

Failure Surface Specified By 50 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 8.20 | 16.40 |
| 2 | 11.48 | 16.25 |
| 3 | 14.76 | 16.21 |
| 4 | 18.04 | 16.28 |
| 5 | 21.31 | 16.46 |
| 6 | 24.58 | 16.75 |
| 7 | 27.83 | 17.14 |
| 8 | 31.08 | 17.65 |
| 9 | 34.30 | 18.26 |
| 10 | 37.50 | 18.98 |
| 11 | 40.67 | 19.81 |
| 12 | 43.82 | 20.75 |
| 13 | 46.93 | 21.78 |
| 14 | 50.00 | 22.92 |
| 15 | 53.04 | 24.17 |
| 16 | 56.03 | 25.51 |
| 17 | 58.97 | 26.96 |
| 18 | 61.87 | 28.50 |
| 19 | 64.71 | 30.13 |
| 20 | 67.50 | 31.86 |
| 21 | 70.23 | 33.69 |
| 22 | 72.89 | 35.60 |
| 23 | 75.49 | 37.60 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 24 | 78.02 | 39.69 |
| 25 | 80.48 | 41.86 |
| 26 | 82.86 | 44.11 |
| 27 | 85.17 | 46.44 |
| 28 | 87.40 | 48.84 |
| 29 | 89.55 | 51.32 |
| 30 | 91.62 | 53.87 |
| 31 | 93.59 | 56.49 |
| 32 | 95.48 | 59.17 |
| 33 | 97.28 | 61.91 |
| 34 | 98.99 | 64.71 |
| 35 | 100.60 | 67.57 |
| 36 | 102.12 | 70.48 |
| 37 | 103.53 | 73.44 |
| 38 | 104.85 | 76.44 |
| 39 | 106.07 | 79.49 |
| 40 | 107.18 | 82.57 |
| 41 | 108.19 | 85.69 |
| 42 | 109.10 | 88.84 |
| 43 | 109.90 | 92.02 |
| 44 | 110.59 | 95.23 |
| 45 | 111.18 | 98.46 |
| 46 | 111.65 | 101.70 |
| 47 | 112.02 | 104.96 |
| 48 | 112.28 | 108.23 |
| 49 | 112.43 | 111.51 |
| 50 | 112.44 | 112.31 |

Circle Center At X = 14.3 ; Y = 114.4 and Radius, 98.2

*** 1.244 ***

1

Failure Surface Specified By 49 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 12.30 | 16.40 |
| 2 | 15.58 | 16.36 |
| 3 | 18.86 | 16.43 |
| 4 | 22.13 | 16.61 |
| 5 | 25.40 | 16.89 |
| 6 | 28.66 | 17.29 |
| 7 | 31.90 | 17.80 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 8 | 35.12 | 18.41 |
| 9 | 38.32 | 19.13 |
| 10 | 41.50 | 19.95 |
| 11 | 44.64 | 20.88 |
| 12 | 47.75 | 21.92 |
| 13 | 50.83 | 23.06 |
| 14 | 53.86 | 24.30 |
| 15 | 56.86 | 25.64 |
| 16 | 59.80 | 27.08 |
| 17 | 62.70 | 28.62 |
| 18 | 65.55 | 30.25 |
| 19 | 68.33 | 31.98 |
| 20 | 71.06 | 33.80 |
| 21 | 73.73 | 35.71 |
| 22 | 76.33 | 37.71 |
| 23 | 78.86 | 39.79 |
| 24 | 81.33 | 41.96 |
| 25 | 83.72 | 44.21 |
| 26 | 86.03 | 46.53 |
| 27 | 88.26 | 48.93 |
| 28 | 90.41 | 51.41 |
| 29 | 92.48 | 53.96 |
| 30 | 94.47 | 56.57 |
| 31 | 96.36 | 59.25 |
| 32 | 98.16 | 61.99 |
| 33 | 99.88 | 64.78 |
| 34 | 101.49 | 67.64 |
| 35 | 103.01 | 70.54 |
| 36 | 104.44 | 73.50 |
| 37 | 105.76 | 76.50 |
| 38 | 106.99 | 79.54 |
| 39 | 108.11 | 82.62 |
| 40 | 109.12 | 85.74 |
| 41 | 110.04 | 88.89 |
| 42 | 110.84 | 92.07 |
| 43 | 111.55 | 95.28 |
| 44 | 112.14 | 98.50 |
| 45 | 112.63 | 101.75 |
| 46 | 113.00 | 105.00 |
| 47 | 113.27 | 108.27 |
| 48 | 113.43 | 111.55 |
| 49 | 113.44 | 112.31 |

Circle Center At X = 15.2 ; Y = 114.7 and Radius, 98.3

*** 1.250 ***

Failure Surface Specified By 50 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 8.20 | 16.40 |
| 2 | 11.48 | 16.24 |
| 3 | 14.76 | 16.19 |
| 4 | 18.04 | 16.25 |
| 5 | 21.31 | 16.41 |
| 6 | 24.58 | 16.69 |
| 7 | 27.84 | 17.07 |
| 8 | 31.08 | 17.56 |
| 9 | 34.31 | 18.16 |
| 10 | 37.51 | 18.86 |
| 11 | 40.69 | 19.67 |
| 12 | 43.84 | 20.59 |
| 13 | 46.96 | 21.60 |
| 14 | 50.04 | 22.72 |
| 15 | 53.08 | 23.95 |
| 16 | 56.08 | 25.27 |
| 17 | 59.04 | 26.69 |
| 18 | 61.95 | 28.21 |
| 19 | 64.80 | 29.83 |
| 20 | 67.60 | 31.53 |
| 21 | 70.34 | 33.33 |
| 22 | 73.02 | 35.22 |
| 23 | 75.64 | 37.20 |
| 24 | 78.19 | 39.26 |
| 25 | 80.67 | 41.41 |
| 26 | 83.08 | 43.64 |
| 27 | 85.41 | 45.94 |
| 28 | 87.67 | 48.33 |
| 29 | 89.84 | 50.78 |
| 30 | 91.93 | 53.31 |
| 31 | 93.94 | 55.90 |
| 32 | 95.86 | 58.56 |
| 33 | 97.69 | 61.28 |
| 34 | 99.43 | 64.06 |
| 35 | 101.08 | 66.90 |
| 36 | 102.63 | 69.79 |
| 37 | 104.08 | 72.73 |
| 38 | 105.44 | 75.71 |
| 39 | 106.70 | 78.74 |
| 40 | 107.86 | 81.81 |
| 41 | 108.91 | 84.92 |
| 42 | 109.86 | 88.06 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 43 | 110.71 | 91.23 |
| 44 | 111.45 | 94.42 |
| 45 | 112.08 | 97.64 |
| 46 | 112.61 | 100.88 |
| 47 | 113.03 | 104.13 |
| 48 | 113.34 | 107.40 |
| 49 | 113.54 | 110.67 |
| 50 | 113.59 | 112.31 |

Circle Center At X = 14.7 ; Y = 115.2 and Radius, 99.0

*** 1.253 ***

1

Failure Surface Specified By 50 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 10.25 | 16.40 |
| 2 | 13.53 | 16.31 |
| 3 | 16.81 | 16.32 |
| 4 | 20.09 | 16.44 |
| 5 | 23.36 | 16.66 |
| 6 | 26.62 | 17.00 |
| 7 | 29.87 | 17.43 |
| 8 | 33.11 | 17.98 |
| 9 | 36.32 | 18.63 |
| 10 | 39.52 | 19.38 |
| 11 | 42.68 | 20.24 |
| 12 | 45.82 | 21.19 |
| 13 | 48.92 | 22.25 |
| 14 | 51.99 | 23.42 |
| 15 | 55.02 | 24.68 |
| 16 | 58.00 | 26.03 |
| 17 | 60.94 | 27.49 |
| 18 | 63.83 | 29.04 |
| 19 | 66.67 | 30.68 |
| 20 | 69.46 | 32.41 |
| 21 | 72.18 | 34.24 |
| 22 | 74.85 | 36.15 |
| 23 | 77.45 | 38.14 |
| 24 | 79.99 | 40.23 |
| 25 | 82.45 | 42.39 |
| 26 | 84.85 | 44.63 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 27 | 87.17 | 46.95 |
| 28 | 89.41 | 49.34 |
| 29 | 91.58 | 51.80 |
| 30 | 93.66 | 54.34 |
| 31 | 95.66 | 56.93 |
| 32 | 97.58 | 59.60 |
| 33 | 99.41 | 62.32 |
| 34 | 101.14 | 65.10 |
| 35 | 102.79 | 67.94 |
| 36 | 104.34 | 70.83 |
| 37 | 105.80 | 73.77 |
| 38 | 107.16 | 76.75 |
| 39 | 108.43 | 79.78 |
| 40 | 109.59 | 82.84 |
| 41 | 110.65 | 85.95 |
| 42 | 111.62 | 89.08 |
| 43 | 112.48 | 92.25 |
| 44 | 113.24 | 95.44 |
| 45 | 113.89 | 98.65 |
| 46 | 114.44 | 101.89 |
| 47 | 114.88 | 105.14 |
| 48 | 115.21 | 108.40 |
| 49 | 115.44 | 111.67 |
| 50 | 115.47 | 112.31 |

Circle Center At X = 14.8 ; Y = 117.1 and Radius, 100.8

*** 1.257 ***

Failure Surface Specified By 50 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|--------------|----------------|----------------|
| 1 | 10.25 | 16.40 |
| 2 | 13.53 | 16.29 |
| 3 | 16.81 | 16.30 |
| 4 | 20.09 | 16.41 |
| 5 | 23.36 | 16.62 |
| 6 | 26.62 | 16.94 |
| 7 | 29.88 | 17.37 |
| 8 | 33.11 | 17.91 |
| 9 | 36.33 | 18.54 |
| 10 | 39.52 | 19.29 |
| 11 | 42.69 | 20.14 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 12 | 45.83 | 21.09 |
| 13 | 48.94 | 22.14 |
| 14 | 52.01 | 23.29 |
| 15 | 55.04 | 24.54 |
| 16 | 58.03 | 25.89 |
| 17 | 60.97 | 27.34 |
| 18 | 63.87 | 28.88 |
| 19 | 66.71 | 30.52 |
| 20 | 69.50 | 32.24 |
| 21 | 72.23 | 34.06 |
| 22 | 74.90 | 35.97 |
| 23 | 77.51 | 37.96 |
| 24 | 80.05 | 40.03 |
| 25 | 82.52 | 42.19 |
| 26 | 84.92 | 44.43 |
| 27 | 87.24 | 46.74 |
| 28 | 89.49 | 49.13 |
| 29 | 91.66 | 51.59 |
| 30 | 93.75 | 54.12 |
| 31 | 95.76 | 56.71 |
| 32 | 97.67 | 59.37 |
| 33 | 99.51 | 62.09 |
| 34 | 101.25 | 64.87 |
| 35 | 102.90 | 67.71 |
| 36 | 104.46 | 70.59 |
| 37 | 105.92 | 73.53 |
| 38 | 107.28 | 76.51 |
| 39 | 108.55 | 79.54 |
| 40 | 109.72 | 82.60 |
| 41 | 110.79 | 85.70 |
| 42 | 111.76 | 88.84 |
| 43 | 112.62 | 92.00 |
| 44 | 113.38 | 95.19 |
| 45 | 114.04 | 98.40 |
| 46 | 114.59 | 101.64 |
| 47 | 115.03 | 104.89 |
| 48 | 115.37 | 108.15 |
| 49 | 115.60 | 111.42 |
| 50 | 115.64 | 112.31 |

Circle Center At X = 15.1 ; Y = 116.9 and Radius, 100.6

*** 1.262 ***

1

Failure Surface Specified By 50 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 10.25 | 16.40 |
| 2 | 13.53 | 16.28 |
| 3 | 16.81 | 16.27 |
| 4 | 20.09 | 16.37 |
| 5 | 23.36 | 16.57 |
| 6 | 26.63 | 16.89 |
| 7 | 29.88 | 17.31 |
| 8 | 33.11 | 17.84 |
| 9 | 36.33 | 18.48 |
| 10 | 39.53 | 19.22 |
| 11 | 42.69 | 20.07 |
| 12 | 45.83 | 21.03 |
| 13 | 48.94 | 22.09 |
| 14 | 52.01 | 23.25 |
| 15 | 55.03 | 24.51 |
| 16 | 58.02 | 25.87 |
| 17 | 60.95 | 27.33 |
| 18 | 63.84 | 28.88 |
| 19 | 66.68 | 30.54 |
| 20 | 69.45 | 32.28 |
| 21 | 72.17 | 34.12 |
| 22 | 74.83 | 36.04 |
| 23 | 77.42 | 38.05 |
| 24 | 79.94 | 40.15 |
| 25 | 82.39 | 42.33 |
| 26 | 84.77 | 44.59 |
| 27 | 87.07 | 46.92 |
| 28 | 89.29 | 49.34 |
| 29 | 91.44 | 51.82 |
| 30 | 93.49 | 54.37 |
| 31 | 95.47 | 57.00 |
| 32 | 97.35 | 59.68 |
| 33 | 99.14 | 62.43 |
| 34 | 100.85 | 65.23 |
| 35 | 102.45 | 68.09 |
| 36 | 103.97 | 71.00 |
| 37 | 105.38 | 73.96 |
| 38 | 106.70 | 76.96 |
| 39 | 107.91 | 80.01 |
| 40 | 109.03 | 83.10 |
| 41 | 110.04 | 86.22 |
| 42 | 110.94 | 89.37 |
| 43 | 111.74 | 92.55 |
| 44 | 112.44 | 95.75 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 45 | 113.03 | 98.98 |
| 46 | 113.51 | 102.23 |
| 47 | 113.88 | 105.48 |
| 48 | 114.15 | 108.75 |
| 49 | 114.30 | 112.03 |
| 50 | 114.31 | 112.31 |

Circle Center At X = 15.5 ; Y = 115.1 and Radius, 98.8

*** 1.262 ***

Failure Surface Specified By 50 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 8.20 | 16.40 |
| 2 | 11.48 | 16.23 |
| 3 | 14.76 | 16.17 |
| 4 | 18.04 | 16.21 |
| 5 | 21.31 | 16.36 |
| 6 | 24.58 | 16.62 |
| 7 | 27.84 | 16.98 |
| 8 | 31.09 | 17.45 |
| 9 | 34.32 | 18.03 |
| 10 | 37.53 | 18.71 |
| 11 | 40.71 | 19.50 |
| 12 | 43.87 | 20.38 |
| 13 | 46.99 | 21.38 |
| 14 | 50.09 | 22.47 |
| 15 | 53.14 | 23.66 |
| 16 | 56.16 | 24.95 |
| 17 | 59.13 | 26.34 |
| 18 | 62.05 | 27.83 |
| 19 | 64.93 | 29.41 |
| 20 | 67.75 | 31.08 |
| 21 | 70.51 | 32.85 |
| 22 | 73.22 | 34.70 |
| 23 | 75.86 | 36.64 |
| 24 | 78.44 | 38.67 |
| 25 | 80.95 | 40.77 |
| 26 | 83.40 | 42.96 |
| 27 | 85.77 | 45.23 |
| 28 | 88.06 | 47.58 |
| 29 | 90.28 | 49.99 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 30 | 92.41 | 52.48 |
| 31 | 94.47 | 55.04 |
| 32 | 96.44 | 57.66 |
| 33 | 98.32 | 60.35 |
| 34 | 100.11 | 63.10 |
| 35 | 101.82 | 65.90 |
| 36 | 103.43 | 68.75 |
| 37 | 104.95 | 71.66 |
| 38 | 106.37 | 74.62 |
| 39 | 107.69 | 77.62 |
| 40 | 108.92 | 80.66 |
| 41 | 110.04 | 83.74 |
| 42 | 111.07 | 86.86 |
| 43 | 111.99 | 90.01 |
| 44 | 112.81 | 93.18 |
| 45 | 113.53 | 96.38 |
| 46 | 114.14 | 99.60 |
| 47 | 114.64 | 102.85 |
| 48 | 115.04 | 106.10 |
| 49 | 115.34 | 109.37 |
| 50 | 115.51 | 112.31 |

Circle Center At X = 15.0 ; Y = 116.7 and Radius, 100.6

*** 1.265 ***

1

Failure Surface Specified By 49 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 10.25 | 16.40 |
| 2 | 13.53 | 16.25 |
| 3 | 16.81 | 16.20 |
| 4 | 20.09 | 16.27 |
| 5 | 23.36 | 16.46 |
| 6 | 26.63 | 16.75 |
| 7 | 29.88 | 17.16 |
| 8 | 33.12 | 17.68 |
| 9 | 36.34 | 18.31 |
| 10 | 39.53 | 19.05 |
| 11 | 42.70 | 19.91 |
| 12 | 45.84 | 20.86 |
| 13 | 48.94 | 21.93 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 14 | 52.00 | 23.10 |
| 15 | 55.03 | 24.38 |
| 16 | 58.00 | 25.76 |
| 17 | 60.93 | 27.24 |
| 18 | 63.80 | 28.82 |
| 19 | 66.62 | 30.50 |
| 20 | 69.38 | 32.28 |
| 21 | 72.07 | 34.14 |
| 22 | 74.70 | 36.10 |
| 23 | 77.26 | 38.15 |
| 24 | 79.75 | 40.29 |
| 25 | 82.17 | 42.51 |
| 26 | 84.50 | 44.81 |
| 27 | 86.76 | 47.19 |
| 28 | 88.93 | 49.65 |
| 29 | 91.02 | 52.18 |
| 30 | 93.02 | 54.78 |
| 31 | 94.93 | 57.45 |
| 32 | 96.74 | 60.18 |
| 33 | 98.46 | 62.97 |
| 34 | 100.08 | 65.82 |
| 35 | 101.61 | 68.73 |
| 36 | 103.03 | 71.68 |
| 37 | 104.35 | 74.69 |
| 38 | 105.57 | 77.73 |
| 39 | 106.68 | 80.82 |
| 40 | 107.69 | 83.94 |
| 41 | 108.58 | 87.10 |
| 42 | 109.37 | 90.28 |
| 43 | 110.05 | 93.49 |
| 44 | 110.62 | 96.72 |
| 45 | 111.07 | 99.97 |
| 46 | 111.42 | 103.23 |
| 47 | 111.65 | 106.50 |
| 48 | 111.77 | 109.78 |
| 49 | 111.77 | 112.31 |

Circle Center At X = 16.4 ; Y = 111.6 and Radius, 95.4

*** 1.266 ***

Failure Surface Specified By 49 Coordinate Points

| Point No. | X-Surf (ft) | Y-Surf (ft) |
|--------------|----------------|----------------|
|--------------|----------------|----------------|

| | | |
|----|--------|--------|
| 1 | 12.30 | 16.40 |
| 2 | 15.58 | 16.32 |
| 3 | 18.86 | 16.36 |
| 4 | 22.14 | 16.50 |
| 5 | 25.41 | 16.75 |
| 6 | 28.67 | 17.11 |
| 7 | 31.91 | 17.58 |
| 8 | 35.14 | 18.15 |
| 9 | 38.35 | 18.83 |
| 10 | 41.53 | 19.62 |
| 11 | 44.69 | 20.52 |
| 12 | 47.81 | 21.52 |
| 13 | 50.90 | 22.62 |
| 14 | 53.95 | 23.82 |
| 15 | 56.96 | 25.13 |
| 16 | 59.93 | 26.53 |
| 17 | 62.84 | 28.03 |
| 18 | 65.71 | 29.63 |
| 19 | 68.52 | 31.32 |
| 20 | 71.27 | 33.11 |
| 21 | 73.96 | 34.99 |
| 22 | 76.59 | 36.95 |
| 23 | 79.15 | 39.00 |
| 24 | 81.64 | 41.13 |
| 25 | 84.06 | 43.35 |
| 26 | 86.40 | 45.64 |
| 27 | 88.67 | 48.02 |
| 28 | 90.85 | 50.46 |
| 29 | 92.95 | 52.98 |
| 30 | 94.97 | 55.56 |
| 31 | 96.90 | 58.22 |
| 32 | 98.75 | 60.93 |
| 33 | 100.50 | 63.70 |
| 34 | 102.15 | 66.53 |
| 35 | 103.72 | 69.42 |
| 36 | 105.18 | 72.35 |
| 37 | 106.55 | 75.33 |
| 38 | 107.82 | 78.36 |
| 39 | 108.98 | 81.42 |
| 40 | 110.05 | 84.53 |
| 41 | 111.01 | 87.66 |
| 42 | 111.86 | 90.83 |
| 43 | 112.61 | 94.02 |
| 44 | 113.25 | 97.24 |
| 45 | 113.79 | 100.48 |
| 46 | 114.21 | 103.73 |
| 47 | 114.53 | 106.99 |
| 48 | 114.74 | 110.27 |

49 114.81 112.31

Circle Center At X = 16.2 ; Y = 114.9 and Radius, 98.6

*** 1.270 ***



1

| | Y | A | X | I | S | F | T |
|----------|----------|--------------------|-------|-------|-------|---|---|
| 123.54 | .00 | 24.71 | 49.42 | 74.13 | 98.83 | | |
| X | .00 + | 1 | | | | | |
| | - | .1 | | | | | |
| | - | .* | | | | | |
| | - | .1 | | | | | |
| 24.71 + | + | .1 | | | | * | |
| | - | .1 | | | | | |
| | - | .1 | | | | | |
| | - | .31 | | | | | |
| | - | .1 | | | | | |
| | - | .11 | | | | | |
| A | 49.42 + | .1 | | | | | |
| | - | .51 | | | | | |
| | - | .11 | | | | | * |
| | - | ..31 | | | | | |
| | - | ..11 | | | | | |
| | - | ..31 | | | | | |
| X | 74.13 + | ..21 | | | | | |
| | - | ..311 | | | | | |
| | - | ...21 | | | | | |
| | - | ...511 | | | | | |
| | - | ..0511 | | | | | |
| | - | ...0511 | | | | | |
| I | 98.83 + |51121 | | | | | |
| | - |534111 | | | | | |
| | - |05312111 | | | | | |
| | - |655321111211* | | | | | |
| | - |6556433 | | | | | |
| | - |* | | | | | |
| S | 123.54 + | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| 148.25 + | + | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| F | 172.96 + | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| | - | | | | | | |
| T | 197.67 + | | | | | | |

1

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan DEMİR 1979 Yılında Trabzon ilinde doğdu. İlkokulu Ankara Hamdullah Suphi İlkokulunda, ortaokulu Almanya'nın Nürnberg ilinde ve liseyi Erzincan Lisesinde bitirdi. 1996 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Bu bölümde öğrenimini 2000 yılı bahar yarıyılında tamamladı. 2000 yılı Aralık ayında Cumhuriyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2001 yılı Ocak ayında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans öğrenimi için gönderildi. Halen Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yabancı dil olarak İngilizce ve Almanca bilmektedir.

