

ÖZ

Bu çalışmada Tarsus ayırımı- Mersin otoyolunun km 15+900-16+100 arasında kuzey şevinde meydana gelen heyelanının, oluş sebeplerini araştırmak için statik ve dinamik parametrelerin etkisi incelenmiştir.

Bu parametrelerin etkisi, kayma öncesi, sıyırma kazısı ve iyileştirme çalışması yapıldıktan sonraki durumlar için basitleştirilmiş Janbu yöntemiyle şev stabilitesi analizleri yapılarak araştırılmıştır.

Analiz için gerekli olan kayma mukavemeti parametreleri, geriye dönük analizler yapılarak belirlenmiş ve deneysel olarak bulunan parametrelerle karşılaştırılması yapılmıştır.

Değerlendirmede referans olarak seçilen bir kesitte şev stabilitesi, su parametresi ve sismik yüklerle birlikte değerlendirilerek şevin kaymadan önceki durumu, sıyırma kazısı sonrası durum ve iyileştirme yapıldıktan sonraki durumları için ayrı ayrı statik ve dinamik parametrelerin etkisi incelenmiştir. Kaymadan önceki durum için sadece statik kuru durumda şevin duraylı kalabildiği, iyileştirme sonrası analizlerde ise deprem olması durumunda şevin duraylılığını kaybedeceğini belirlenmiştir.

Bu çalışmalar sonucunda, şevlerin stabilitesinin araştırılması ve tasarımında, jeolojik ve hidrojeolojik koşullar ve malzemenin mekanik özelliklerinin en önemli unsurlar olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev stabilite analizi, Heyelan, Mersin-Tarsus otoyolu, Geri analiz

ABSTRACT

In this study, by using the static and dynamic parameters affects on the landslide which is between km 15+900-16+100 of Mersin-Tarsus motorway, has been investigated to find the reasons of sliding.

The effects of these parameters has been researched before sliding, after excavation and improving conditions by using the Janbu's modified slope stability analysis method.

The back analysis method has been used to find the shear strength parameters for slope stability analysis and these parameters compared with the experiment results.

In the evaluation, the effect of the static and dynamic parameters for state of the slope before sliding, after excavation and improving states has been investigated for a selected reference cross-section by determining the slope stability with water parameter and seismic loading, separately. It has been determined that for the situation before sliding, slope has stayed stable only for a static dry state whereas in the analysis after the improving it has lost its stability in the case of earthquake.

As a result of this study has been determined that geological and hydrological conditions and mechanics properties of material are the most important components at investigation and project of slope stability;

Anahtar Kelimeler: Slope stability analysis, Landslide, Mersin-Tarsus motorway, Back analysis

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER	v
ŞEKİLLER	vii
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	4
2.1. İNCELEME ALANI JEOLJİK VE JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR....	4
2.2. KÜTLE HAREKETLERİ	5
2.2.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması	5
2.2.2. Kayma Türü Kütle Hareketleri	7
2.2.3. Kütle Hareketlerinin Dengesine Etki Eden Faktörler	9
2.3. ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZ YÖNTEMLERİ	10
3. MATERYAL VE METOD	12
3.1. MATERYAL	12
3.2. METOD	13
3.2.1. Arazi Öncesi Çalışmalar	13
3.2.2. Arazi Çalışmaları	13
3.2.3. Laboratuar Çalışmaları	14
3.2.4. Büro Çalışmaları	14
3.2.5. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri	15
3.2.6. Analiz Yönteminin Seçimi	18
3.2.7. Basitleştirilmiş Janbu Metodu	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	23
4.2. ÇALIŞMA ALANININ İKLİM ÖZELLİKLERİ	25
4.3. ÇALIŞMA ALANININ HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ	27

4.4. ÇALIŞMA ALANININ JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ	28
4.5. LABORATUAR ÇALIŞMALARI	30
4.5.1. Konsolidasyonlu –Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi	35
4.6. GERİYE DÖNÜK ŞEV ANALİZİ	36
4.7. İNCELEME ALANINDA ETKİLİ OLACAK DEPREM YÜKLERİ	40
4.8. STABİLİTE ANALİZLERİ	46
4.8.1. Stabilitate Analizlerinde Göz Önüne Alınan Koşullar	46
5. SONUÇLAR	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	55
EKLER	56

ÇİZELGELER

ÇİZELGE	SAYFA
Çizelge 2.1. Hareketin tipi ve derinliğine göre yapılan sınıflama	6
Çizelge 2.2. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine kaymaların sınıflandırılmasının şematik özeti.....	8
Çizelge 4.1. 10 yıllık (1990-2000) aylık toplam yağış miktarları.....	26
Çizelge 4.2. 1998 Aralık ve 1999 Ocak ayı yağışlı günlere ait günlük toplam yağış miktarları	26
Çizelge 4.3. Çalışma alanındaki şev zeminlerinin fiziksel özelliklerine ait deney sonuçlar.....	31
Çizelge 4.4. Farklı zemin gruplarının özgül ağırlık değer aralıkları.....	31
Çizelge 4.5. Farklı zemin gruplarının kuru birim hacim ağırlık ve doymun birim hacim ağırlık değer aralıkları.....	32
Çizelge 4.6. Çalışma alanındaki şev malzemesinin tane boyu çözümlemelerine ait değerlendirme sonuçları.....	32
Çizelge 4.7. Çalışma alanındaki duraysız şev malzemelerinin LL,PL,PI değerlerine ait değerlendirme sonuçları.....	33
Çizelge 4.8. Bazı zemin türlerinin LL ve kıvam değerleri.....	34
Çizelge 4.9. Killerin aktivite değerleri.....	35
Çizelge 4.10. Deprem bölgelerine göre olası maksimum yer ivmesi değerleri.	40
Çizelge 4.11. Fay kırılma uzunluğu ve moment manyitüdü (Mw) arasındaki ilişkiler.....	41
Çizelge 4.12. Fay uzunluğuna göre moment manyitüdünün hesaplanması.....	42
Çizelge 4.13. Oluşacak kırıklara göre moment manyitüdünün hesaplanması...	43
Çizelge 4.14. Farklı araştırmacılar tarafından önerilen azalım ilişkileri.....	44
Çizelge 4.15. İnceleme alanı için hesaplanan ivme – azalım ilişkileri (Fukushima veTanaka).....	45
Çizelge 4.16. İnceleme alanı için hesaplanan ivme – azalım ilişkileri (İnan ve diğ.).....	45

Çizelge 4.17. Güvenlik katsayısını etkileyecek farklı koşullar.....	46
Çizelge 4.18. Mevcut durum için bulunan güvenlik katsayıları.....	47
Çizelge 4.19. Sıyırma kazısı sonrası durum için bulunan güvenlik katsayıları.	48
Çizelge 4.20. Önlem alındıktan sonraki durum için bulunan güvenlik katsayıları.....	49

ŞEKİLLER

ŞEKİL	SAYFA
Şekil 1.1. Yer bulduru haritası	3
Şekil 2.1. Heyelanın bölümlerini gösteren blok diyagram	7
Şekil 2.2. Dönel çökme genel görünümü	9
Şekil 3.1. Kritik kayma dairesinin bulunması	16
Şekil 3.2. Dilimler yöntemi	17
Şekil 3.3. Dairesel ve dairesel olmayan kayma şekilleri	18
Şekil 3.4. Basitleştirilmiş Janbu metodu	20
Şekil 3.5. Basitleştirilmiş Janbu'nun metodu düzeltme faktörü fo	20
Şekil 4.1. Mersin-Tarsus otoyolu km 16+060 kesiti zemin profili	25
Şekil 4.2. 10 yıllık (1990-2000) Ocak ayı toplam yağış miktarları	26
Şekil 4.3. Casagrande plastisite kartı	34
Şekil 4.4. Geri dönük analiz yaklaşımları (a,b,c)	38
Şekil 4.5. Şeve ait kayma için geriye dönük analizlerle belirlenmiş ve limit denge koşulunu sağlayan içsel sürtünme açısı (θ)-kohezyon (c) eğrilerinin gösterilmesi	39
Şekil 4.6. İnceleme alanını etkileyecek aktif faylar	41

1. GİRİŞ

Tez çalışması kapsamında, Tarsus ayrımı-Mersin otoyolunun km 15+900-16+100 arasında 1999 yılı Ocak ayındaki yağışlar sonrasında oluşan heyelan incelenerek, kaymaya neden olan etkenler belirlenmeye çalışılmıştır.

Toplam 57 km uzunluğundaki Mersin-Tarsus otoyolu, Mersin ve Serbest Bölgesindeki karayolu ulaşımını, Transit Avrupa Otoyolu'na (TEM) bağlamaktadır. Otoyol genişliği, 3 gidiş ve geliş olmak üzere 6 şeritli ve 40 m platform şeklindedir.

Yükseklikleri 65 m ile birkaç metre arasında değişen 43 adet yarma ve maksimum yükseklikleri 40 metreye kadar varan 10 büyük otoyol dolgusu yer almaktadır. Ayrıca uzunlukları 400 m ile 1000 m arasında değişen Berdan-Deliçay-İçme-Müftü ve Mezitli viyadükleri olmak üzere toplam 5 adet viyadük bulunmaktadır.

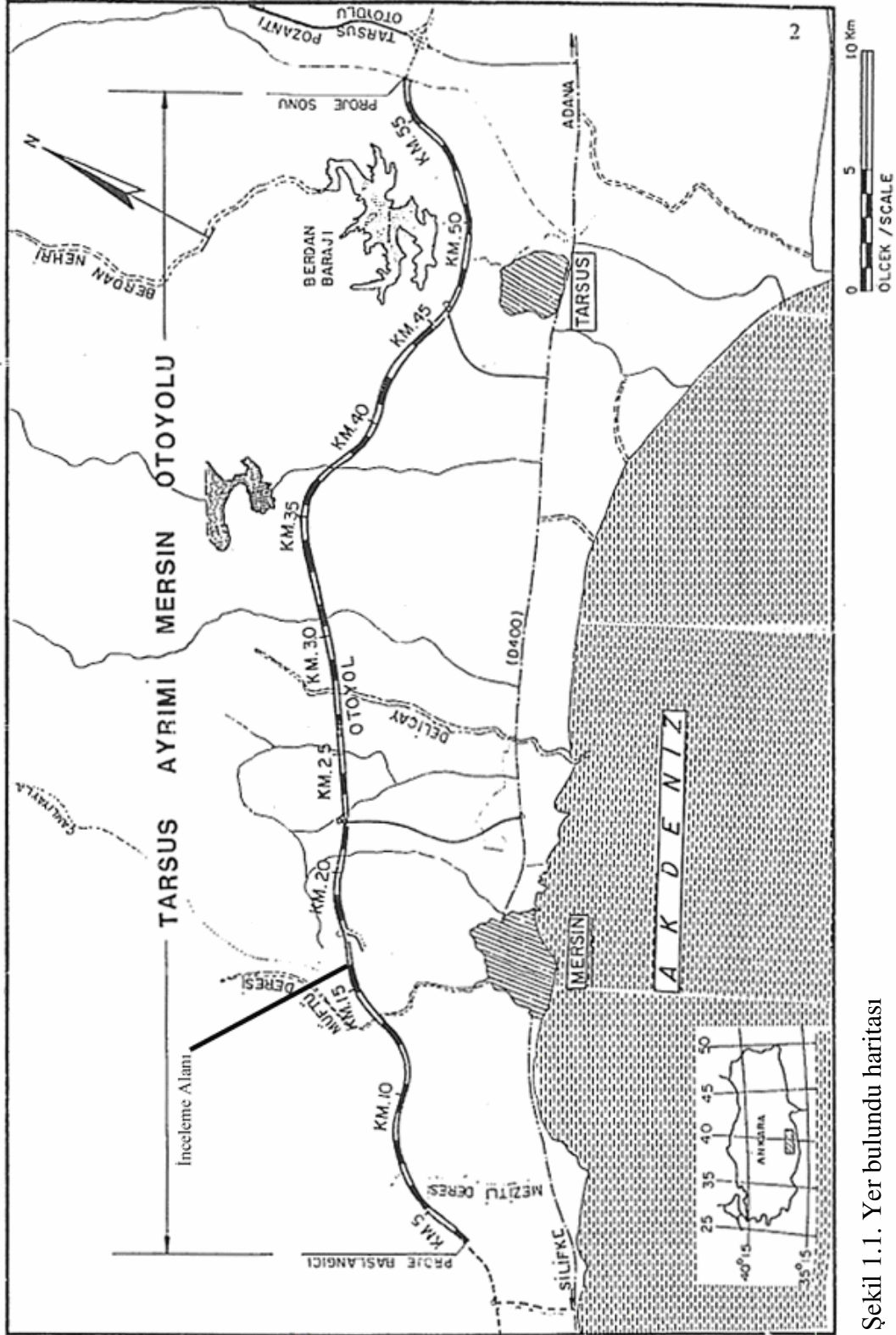
Otoyol güzergahında, kuzey-güney yönünde, Berdan, İçme, Deliçay, Gökkuşuğu, Mezitli ve Müftü dereleri bulunmaktadır (Şekil 1.1). Berdan deresinden sonraki güzergah bir dizi yüksek olmayan yarma ve dolgu ile km 56+875 istasyonundaki Ankara yoluna ve km 57+000 istasyonunda Tarsus-Adana-Gaziantep otoyoluna bağlanmaktadır [1,2].

Çalışma alanındaki heyelan arazide topografik harita üzerinde işaretlenmiş, jeolojik durumu incelenmiş ve laboratuvar çalışmaları için gerekli örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Daha sonra heyelanların oluşumuna sebep olan etkenlerin belirlenmesi amacı ile heyelanların içinde geliştiği birimlerin indeks ve diğer özelliklerinin tayinine yönelik zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır.

Dairesel ve dairesel olmayan kaymaların analizi için uygun olan Basitleştirilmiş Janbu yöntemiyle farklı 6 kesitte geri analiz yapılarak, kayma (duraysızlık) mekanizması belirlenmeye çalışılmış ve bulunan kayma mukavemeti parametreleri, laboratuvar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Daha sonra seçilen bir kesitte bu kayma mukavemeti parametreleri kullanılarak mevcut, sıyırma kazısı sonrası durum için yeraltı suyu ve deprem gibi faktörlerden kaynaklanan statik ve dinamik yüklerin, şev duraylılığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Şevin tekrar tasarlanması ve iyileştirici (duraylılığı arttırıcı) önlemler belirlenmeye çalışılmıştır.

Şevlerin stabilitesinin araştırılması ve tasarımında; jeolojik ve hidrojeolojik koşullar ile malzemenin mekanik özellikleri en önemli unsurlardır.



Şekil 1.1. Yer bulunduru haritası

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. İNCELEME ALANI JELOJİK VE JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

Hoş [1], Tarsus ayırımı-Mersin otoyolu üzerinde yer alan formasyonları mühendislik jeolojisi özelliklerine göre ayırarak, yarma ve dolguların jeoteknik incelemesini yapmıştır. Güzergahtaki yarma şevleri için sayısal ve kinematik analizler yapmış, kuzey yarma şevlerindeki tabakalanma düzlemlerinin eğim yönüne bağlı olarak gelişen en kritik kayma mekanizmasını belirlemiştir. Yapılan deneylere göre, yarma malzemelerinin ortalama %80'inin dolguda kullanımı için uygun olduğunu, dolgu şevlerinin ise 2Y:1D eğimle düzenlenmesi durumunda ise herhangi bir duyarlılık sorununun beklenmeyeceğini belirtmiştir.

Yılmaz [2], Mersin-Tarsus-Pozantı otoyol güzergahlarında, geçilen formasyonların mühendislik jeolojisi özelliklerini belirleyerek, proje gereksinimleri çerçevesinde litolojik birimlerin sınıflandırılmasını yapmıştır.

Yetiş ve Demirkol [3], Adana baseninin jeolojisini inceleyerek, 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını yapmışlardır. Araştırmacılar bölgede 17 adet kaya stratigrafi birimi ayırtlamışlardır. Çalışma alanının tabanını oluşturan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler üzerine açısız uyumsuzluk ile gelen Tersiyer yaşlı birimlerin birbirleri ile yanal ve düşey geçişli olduklarını tespit etmişlerdir.

Hatipoğlu [4], Çiftlikköy ve çevresini kapsayan çalışma alanında temelde kırıntılı kayalardan oluşan Kuzgun formasyonu ve onu uyumsuz olarak üzerleyen kalışın bulunduğunu belirtmiştir. Gelişimi litoloji ve topoğrafyaya bağlı olan Kalışın kırmızı renkli toprak ve Kuzgun Formasyonu içerisinde, litolojisine bağlı olarak dört farklı profilde yer aldığını saptamıştır.

Türkmen [5], Tarsus-Mersin otoyolu'nda özellikle kumtaşı-kiltaşı ardalanmalı birimlerin hakim olduğu ve üzerinde kalın kalış biriminin yüzeylendiği alanlarda, yolun kuzey şevlerinde büyük boyutlu şev kaymaları meydana geldiğini belirtmiştir.

Özellikle otoyol güzergahının Ziyarettepe-Çeşmeli arasındaki kısmında yoğunlaşan kaymalar incelenmiş, kuzey şevlerinde oluşan kaymaların nedeni olarak birimlerin katmanlanma ile genel olarak süreksizliklerin ve topoğrafyanın eğim yönlerinin güneye doğru olması ve kalış oluşumunun hardpan tabakasının ağırlığının kaydırıcı etkisine dikkat çekmiştir.

Barkın [6], Tarsus-Mersin otoyolu'nun güney şevlerinde meydana gelen şev kaymalarını incelemiştir. Otoyolun kuzey şevlerine göre duraylı olan güney şevlerindeki kaymaların, aşırı yağışlardan sonra, kiltası-kumtaşı-marn ardalı birimlerin hakim olduğu ve üzerinde kalın kalış biriminin yüzeylendiği alanlarda meydana geldiğini belirtmiştir.

2.2 KÜTLE HAREKETLERİ

Kütle hareketleri, kaya, toprak veya molozun aşağıya ve dışa doğru hareketleri olarak tanımlanmaktadır. Hareket eden kütle “düşme”, “devrilme”, “kayma”, “akma”, “yayıma” gibi hareketlerden biri veya birkaçının bileşimleri şeklinde gelişir [6,7].

Kütle hareketlerinden heyelan, bazı araştırmacılar tarafından, zemin ve kaya kütlelerinde makaslama dayanımının bir veya birkaç yüzey boyunca azalmasından doğan tüm şev hareketleri olarak nitelendirilirken, bazıları ise, heyelanları kaymalarla sınırlayarak, şev hareketleri ile aynı anlamda kullanmışlardır [8].

2.2.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması

Son 50 yıldan bu yana, kütle hareketleri değişik ölçütler kullanılarak değişik şekillerde sınıflandırılmışlardır. Tüm çalışmalarda, hareket şekli ve hareket eden malzeme ele alınıp, diğer hareketi etkileyici parametreler göz önünde tutularak sınıflandırmalar yapılmıştır [8].

Bu araştırmacılar kütle hareketlerini sınıflandırırken kütleyle ait bazı özellikleri sınıflama parametresi olarak kullanmışlardır [9].

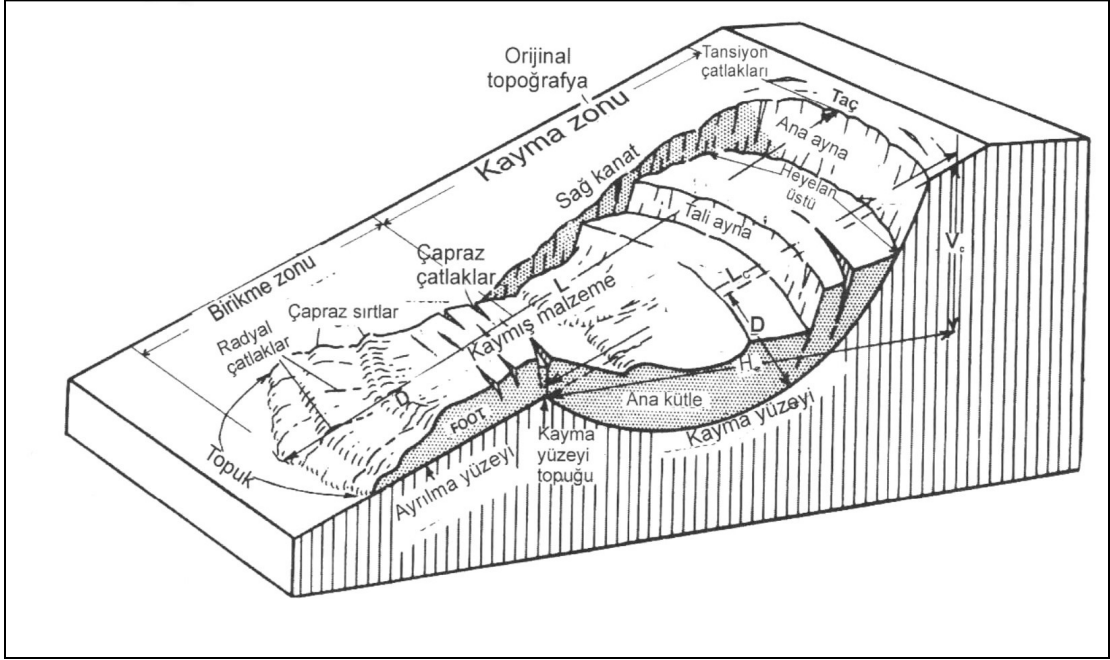
Bunlar;

- 1.Hareketin türü, boyu miktarı ve hızı,
 - 2.Hareket eden malzemenin türü, gelişme (oluşma) derecesi, dizilişi, yaşı, su içeriği,
 - 3.Yenilen malzemenin ve yenilen alanın geometrisi,
 - 4.Hareketin nedenleri,
 - 5.Yer değiştiren kütlelerin kopma derecesi, etkinlik durumu,
 - 6.Kohezyon ve içsel sürtünme açısı karakteristikleri,
- Hareketin tipi ve derinliğine bağlı olarak önerdikleri kapsamlı sınıflama Çizelge 2.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Hareketin tipi ve derinliğine göre yapılan sınıflama [8].

Hareketin Tipi	Hareketin Maksimum Derinliği (D)	Heyelanların Aktivite Durumları
Yüzeysel kaymalar	<1.5 m	Aktif heyelanlar
Sığ(derin olmayan) kaymalar	1.5-5 m	Gizli heyelanlar
Derin kaymalar	5-20 m	
Çok derin kaymalar	>20 m	

Tipik bir heyelanı oluşturan elemanların görüntüsü verilmiş ve detaylı açıklamaları yapılmıştır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Heyelanın bölümlerini gösteren blok diyagram [8].

2.2.2. Kayma Türü Kütle Hareketleri

Bir çok araştırmacının yanı sıra, Varnes 1958 yılında kütle hareketlerinin tanımlanmasına yönelik bir sınıflama önermiş, 1978 yılında bu sınıflamada hareketin tipi ve malzeme türünün önemini de dikkate alarak sınıflamanın kapsamını genişletmiştir. Kayma türü kütle hareketlerinin şematik özeti ve üç boyutlu şekli gösterilmiştir. (Çizelge 2.2 ,Şekil 2.2) [10] .

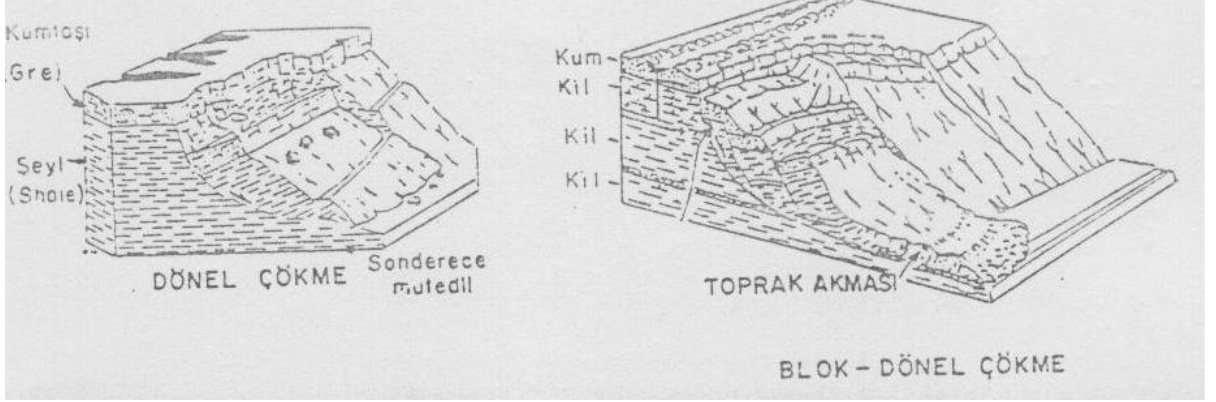
Çizelge 2.2. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine kaymaların sınıflandırılmasının şematik özeti [8].

HAREKETİN TİPİ			MALZEMENİN CİNSİ		
			Anakaya	Mühendislik Zeminleri	
KAYMA	DAİRESEL/ DÖNEL	Birkaç birim	Kaya Çökmesi	Moloz Çökmesi	Toprak Çökmesi
	DÜZLEMSEL	Çok birimli	Kaya Bloğu Kayması	Moloz Bloğu Kayması	Toprak Bloğu Kayması
			Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması

Dairesel kaymalar, genellikle yoğun eklemli ve/veya aşırı günlenmiş kayalarda, atık depolama alanlarında, yol dolgularında gözlenmektedir. Hareket eden kütlede büyük değişmelerin olmadığı, hareketin sadece iç kayma yüzeyleri boyunca geliştiği, genellikle yol çalışmalarında sıkça rastlanan dairesel kaymalar, "dönel çökme" olarak nitelendirilmektedirler [11].

Çökmeler ve diğer tip hareketlerle karışık çökmeler yol mühendisinin karşılaştığı heyelan sorunlarının büyük bir kısmını teşkil eder. "Dönel çökmeler" de hareket sadece iç kayma yüzeyleri boyunca olur. Meydana gelen çatlaklar hareket yönünde ortak merkezli içbükey yüzeylerdir. Kayma, hareket doğrultusu dik doğrultuda şev boyunca uzanırsa, kayma yüzeyi çok defa, eksenine şeve paralel bir silindirik dilimine benzer.

Her çökme az yada çok, eksenini şeve paralel bir dönme hareketidir. Kayan ünitenin üst yüzeyi şeve doğru eğilimlidir.



Şekil 2.2. Dönel çökme genel görünümü [11].

Düşey kesitte kayma yüzeyi içbükey bir eğri olmakla birlikte, bu eğrinin tam bir daire yayı olması seyrekdir. Bu eğrinin biçimini zemindeki kusurlar, derzler, tabakalar ya da zeminde mevcut başka süreksizlikler çok kez büyük çapta etkiler.

2.2.3. Kütle Hareketlerinin Dengesine Etki Eden Faktörler

Toprak ya da kaya malzemenin duraylılığının bozulması, ortamdaki mevcut direncin beliren gerilmeleri karşılamaması durumunda oluşur.

Duraylılık kaybı hazırlayıcı etkenler ve tetikleyici etkenlerin ardışık etkisi ile oluşur. Hazırlayıcı etkenler yamaç ve şevde duraylılık kaybı getiren, güvenliği kritik noktaya taşıyan olaylardır. Tetikleyici etkenler ise hareketi başlatır [10] .

Şev kaymalarında etkili olan birçok faktör iki ana başlıkta toplanabilir.

- Kayma gerilmesini artıran dış etkenler
- Kayma mukavemetini azaltan iç etkenler

Stabilite şartlarında dış değişiklikler:

1. Geometrik değişiklikler (erozyon, dinamik su etkisiyle oyulmalar, kazı nedeniyle eğim, yükseklik ve uzunluk değişiklikleri)
2. Yük kalkışı(erozyon, yarma teşkili)
3. Yük artışı (şev üstüne ağırlık ilavesi, yükseklikteki artış)
4. Geçici ve tekrarlı etkiler
 - Yer sarsıntıları
 - Patlayıcı madde ateşlemeleri
 - Makine ve trafik etkileri
 - Sıvılaşma
 - Daneli zemin akışı
5. Su seviyesindeki ani değişiklikler
6. Su rejimindeki değişmeler(yağış, ağırlık, boşluk suyu basıncı)

Stabilite şartlarındaki iç değişmeler:

1. İlerleyerek kayma (çatlakların ve erozyonun yatay yöndeki gelişimi)
2. İklim değişikliklerinden dolayı bozulma (donma, çözülme, kuruma, kohezyondaki zamana bağlı azalma, çimentolaşmanın ortadan kalkması)
3. Sızıntı erezyonu

2.3. ŞEV DURAYLILIğI ANALİZ YÖNTEMLERİ

Fellenius [12], kazı ve dolgu şevlerinde inşaat işleminin tamamlanmasından hemen sonraki duraylılıkların incelenmesinde kullanılan toplam gerilme analizi yöntemini ($\phi=0$) belirlemiştir. Bu aşamada zeminin drene olması için yeterli sürenin olmadığını kabul ederek analizlerinde zeminin drenajsız koşullardaki teğetsel dayanım parametrelerini kullanmıştır. Fellenius (1927,1936), İsveç dilimler metodunu dilimlerde kullanmak için basitleştirilmiş metod olarak belirlemiştir.

Şevdeki stabilite incelenirken dairenin merkezini göz önüne alarak moment almış ve güvenlik katsayısını belirlemiştir.

Bishop [13], Bishop metodu'nu dairesel kayma yüzeylerinin analizi için belirlemiştir. Kayan kütleyi dilimlere ayırmış, önce her dilimin tek tek daha sonra tüm kütlelerin duraylılığını araştırmıştır.

Janbu [14], kaymaların dairesel olmayan veya şev tepesine yakın kesimlerde dairesel olarak başlayan, derinde düzlemsel olarak devam eden yüzeyler (birleşik kayma yüzeyleri) boyunca gelişmekte olduğunu gözlemiştir. Duraysızlıkların bu tür kayma yüzeyleri boyunca geliştiği veya gelişebileceği şevlerin duraylılığının incelenmesi amacıyla bir analiz yöntemi önermiştir. Janbu yöntemi olarak anılan bu yöntemde, kayan kütleyi dilimlere bölmüştür ve aşamalı şekilde güvenlik katsayısı hesaplamıştır.

Morgenstern ve Price [15], dairesel ve dairesel olmayan kayma yüzeylerini kullanarak Morgenstern ve Price metodunu tanımlamışlardır. Bu yöntemde, gerilme ve kuvvetlerin kayma yüzeyleri boyunca sürekli değiştiği kabul etmişlerdir. Genel denklem eşitliğinde her dilim tabanı için paralel kuvvetler ve normal kuvvetler göz önüne almışlardır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. MATERYAL

Çalışma alanı, Mersin ilinin kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan ve yaklaşık 57 km uzunluğuna sahip olan Tarsus ayrımı-Mersin otoyolu'nda bulunmaktadır. Otoyolun km 15+900-16+100 arasında meydana gelen heyelan kuzey yarma şevinde meydana gelmiştir. Otoyolun kuzey yarma şevlerinde proje aşamasında, inşaat sırasında ve yol çalışmaları bitiminde devam etmiştir. Otoyolun güney yarma şevlerinde ise yol çalışmaları bitiminde aşırı yağışlar sonrasında kaymalar meydana gelmiştir [6].

Otoyolun km 15+900-16+100 arasında meydana gelen heyelan kilaşı-kumtaşı marn ardalanmalı litolojilerden oluşan birim içinde meydana gelmiştir. İnceleme alanın km 16+060 sonrasındaki kesimde bu birim üzerinde kimyasal yolla oluşmuş karasal kalış çökelleri yer almaktadır (Ek 1).

Anakayanın çokça ayrılmış olduğu şevde yenilmeler, dönel çökme türü dairesel kaymalar şeklinde gelişmiştir. Duraysızlığa neden olan parametreler, şev eğimi, şev yüksekliği, yeraltı suyu, tabakalanmanın ve süreksizliklerin yamaç dışarı olması olarak sıralanabilir. Bu amaçla inceleme alanındaki şevde geriye dönük analizler yapılarak duraylılık koşullarındaki makaslama dayanım parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler kullanılarak mevcut, sıyırma kazısı sonrası ve önlem sonrası durumlar için şev stabilitesi analizleri yapılmıştır.

Şev stabilitesi analizi yapılarak kayma (duraysızlık) mekanizması belirlenmeye çalışılmış, su, deprem gibi faktörlerden kaynaklı statik ve dinamik yüklerin, şev duraylılığı üzerindeki etkisi araştırılmış ve iyileştirici (duraylılığı artırıcı) önlemler belirlenmeye çalışılmıştır.

3.2. METOD

Bu çalışma arazi öncesi çalışmalar, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada çalışma sahasına ait topoğrafik harita temin edilmiş ve bu bölge ile ilgili önceki çalışmalar derlenmiştir. İkinci aşamada ise araziye gidilerek arazi çalışmaları yapılmış, heyelan haritalanmış ve laboratuvar çalışmaları için gerekli örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır.

Üçüncü aşamada ise araziden alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmış ve deneyler sonucunda elde edilen veriler ile arazi bulguları dördüncü aşama olan büro çalışmaları ile değerlendirilmiştir.

3.2.1. Arazi Öncesi Çalışmalar

Bu aşamada ilk olarak çalışma alanına ait topoğrafik harita temin edilmiş ve bu bölge ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalar derlenmiştir. Bununla birlikte otoyol şevinin kaymasında hızlandırıcı rolü bulunan yağışlar ile ilgili olarak bölgeye yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilerek arazi öncesi çalışmalar tamamlanmıştır.

3.2.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmalarında ilk olarak heyelan 1/1500 ölçeğindeki topografik harita üzerinde işaretlenmiştir. Sondaj olanağı bulunmadığı için kaymanın kesin şekli belirlenememiştir. Kaymanın yaklaşık şeklini bulabilmek için 4-4 kesitinde ana ayna, kabarma bölgesi ve enine çatlakların yoğunlaştığı kısımlarda ölçümler yapılmıştır (Ek 3) Ölçümler sırasında şerit metre kullanılmıştır. Ayrıca heyelan sahasının fotoğrafları çekilmiştir.

Heyelan sahasından Atterberg (kıvam) limitleri deneyi, özgül ağırlık deneyi için örselenmiş numune, yaş birim hacim ağırlığı deneyi için ise örselenmemiş numune alınmıştır. Numune alımı sırasında araç ve gereç olarak silindirik tüp, numune torbası, kürek, çapa, metre, parafin ve balmumu kullanılmıştır.

3.2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Zemin türü malzemelerin indeks özellikleri, zeminlerin mühendislik sınıflamalarında kullanılmasının yanı sıra, jeomekanik özelliklerinin ve davranışlarının da bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Bu gereksinim ile çalışma alanındaki şev sınıflama ve dayanım parametreleri, araziden alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde laboratuvar deney sonuçları ile saptanmıştır. Bu amaçla alınan örselenmiş örneklerin;

1. Doğal nem içeriği (W_n)
2. Özgül ağırlığı (G_s)
3. Atterberg limitleri (Likit Limit, Plastik Limit, Plastisite İndisi),

Örselenmemiş örneklerin ise;

1. Doğal birim hacim ağırlıkları (γ_n)

Tüm Deneyler Mersin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu zemin mekaniği laboratuvarında yapılmıştır.

3.2.4. Büro Çalışmaları

Çalışma alanında duraysızlığa uğramış şev için, şev geometrisine, yeraltı suyu koşullarına, süreksizliklerin konumuna bağlı olarak, şev malzemelerinin yenilme anındaki makaslama dayanım parametreleri olan kohezyon ve içsel sürtünme açısı (c, ϕ) değerlerinin laboratuvar sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için “geriye dönük şev analizleri” yapılmıştır.

Ayrıca bölgede oluşabilecek olası bir depremde zeminde meydana gelecek maksimum yer ivmesi değerleri büro ortamında tektonik ve aktif fay haritalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

Yeraltı su seviyesi değişimleri ve depremin şev stabilitesi üzerindeki etkisini bulmak için ve önerilen bir önleme yöntemi için stabilitesi analizleri yapılmıştır.

Duraysız şevi oluşturan malzemelerin ayrıışmış zayıf kaya olmasından ve sık sık değişim göstermesinden dolayı meydana gelen kayma dairesel veya dairesel olmayan bir yenilme türüne sahip olabileceğinden, bunun için hesaplamalarda, zemin ve kaya şevlerinin toplam-efektif gerilme analizleri için uygun olan, hem dairesel hem dairesel olmayan kayma yüzeyleri için geliştirilen basitleştirilmiş Janbu (1973), yöntemi kullanılmıştır. Geriye dönük analizler ise, GEOSLOPE/W Office adlı bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra tez yazım aşamasına geçilmiştir.

3.2.5. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri

Şev duraylılık analizlerinde en çok kullanılan yöntem, limit denge yöntemidir. Limit denge metodlarında şev yüzeyinde meydana gelen kritik kayma dairesinin dengesi araştırılır.

Denge analizlerinin sonuçları güvenlik katsayısı (G.K) ile açıklanır.

$$G.K = \text{Kaymaya karşı koyan kuvvetler} / \text{Kaymaya tetikleyen kuvvetler} \quad (1)$$

Bu yöntem kısaca; önceden belirlenmiş muhtemel kayma yüzeyindeki kaymaya neden olan kuvvetlerle, kaymaya karşı olan kuvvetlerin karşılaştırılmasını yapar. Dairesel yenilme yüzeyine sahip bir şevdeki kaydırıcı ve tutucu kuvvetler şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 3.2.). Şevin duraylı kalabilmesi için tutucu kuvvetlerin kaydırıcı kuvvetlerden büyük olması gerekmektedir. Şev duraylılık hesaplamaları uzun süreli ve kısa süreli duraylılık koşulları için farklı yöntemlerle hesaplanmaktadır [16].

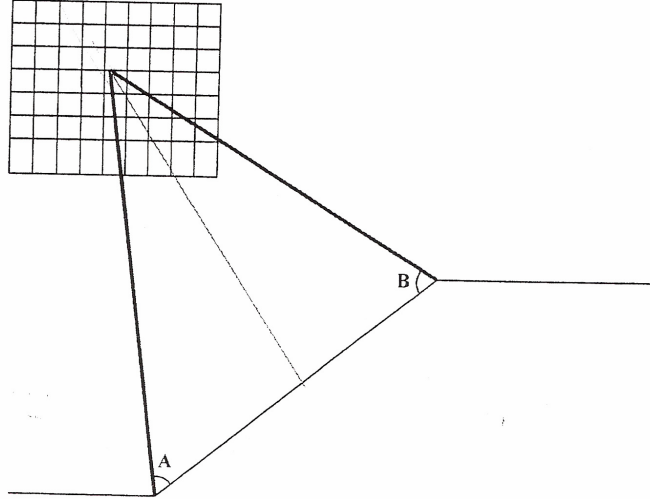
Şev stabilitesi problemlerinde, toplam ve efektif gerilme analizlerinin kullanılabilceği durumların bilinmesi önemlidir. Efektif gerilme analizi, genellikle herhangi bir stabilite probleminin çözümü için geçerlidir.

Bu analizde, stabilitenin toplam gerilme metodu ile görülemeyen eğilimi görülebildiğinden, özellikle değerlidir. Boşluk suyu basınçlarının bilindiği veya yeter doğrulukta tahmin edilebildiği durumlarda uygulanabilir. Bunlar sıkışmaz zeminlerin uzun süreli veya su yüzeyinin düşmesi ile beliren problemlerdir.

Toplam gerilme analizi, suya doymun killerde oluşan boşluk suyu basıncının sönümüne izin vermeyecek hızda yüklenip boşaltılması durumunda uygulanır. $\phi = 0$ analizi olarak bilinen bu metotta laboratuarda konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç deneyi ile saptanan, mukavemet değeri ile çalışılır.

Toplam gerilme analizi bir inşaat sonu metodu olup, stabilitenin zamanla arttığı problemlerin çoğunda güvenilir sonuçlar verir. Yarmalarda ise zamanla güvenlik sayısının azalması olağandır. Bu hallerde de uzun süreli stabilite efektif gerilme metotları ile incelenmelidir.

Şev stabilitesi analizlerinde, kayma düzlemlerinin ve çatlakların varlığına bağlı olarak pik, kritik veya kalıcı mukavemet değerleri kullanılır. Kayma düzleminin var olduğu durumlarda, kayma düzlemi için kalıcı mukavemet değerleri kullanılmalıdır. Bu, kaymanın en son ortaya çıkışından bu yana ne kadar zaman geçtiğine bakmaksızın uygulanır.

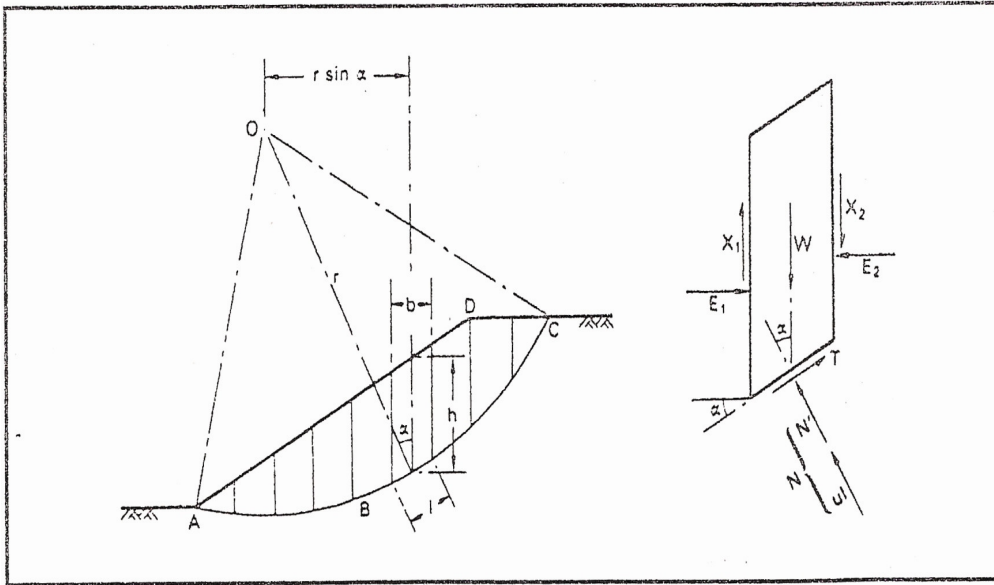


Şekil 3.1. Kritik kayma dairesinin bulunması.

Minimum güvenlik sayısını veren kayma dairesini belirlenmesi önemlidir. Bu değişik kayma yüzeyleri için bir deneme yanılma araştırması gerektirir. Kritik kayma yüzeyinin yerine etki eden faktörler şevin eğimi, sert tabakanın derinliği, efektif içsel sürtünme açısı (ϕ'), efektif kohezyon (c') gibi zemin özellikleri ve boşluk suyu basıncı olarak verilebilir.

Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, kritik olabileceği tahmin edilen bir çok kayma dairesel yüzeyi için güvenlik sayılarının hesaplanması uzun zaman almamaktadır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi elde edilen güvenlik sayıları, karelağı yapılmış bir düzlem üzerine işlenir. Aynı güvenlik sayılarını veren kayma dairelerinin merkezleri birleştirilir ve bir eş güvenlik sayısı eğrileri oluşturulmuş olur.

Tüm dairesel dilim metotlarında ortak özellik, belirlenen (O) merkezli ve (r) yarıçaplı bir kayma yüzeyini (b) genişlikli düşey dilimlere ayırarak incelemektir.. Geliştirilmiş dilim metotları arasındaki farklar, dilimlerin kuvvetler ve momentler bakımından dengesi hesaplanırken dilim kuvvetleri ile ilgili yapılan varsayımlardan kaynaklanmaktadır. Bir şevden alınan düşey bir dilime etkiyen kuvvetler ve bu kuvvetlerle çizilen kuvvetler çokgeni görülmektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Dilimler yöntemi.

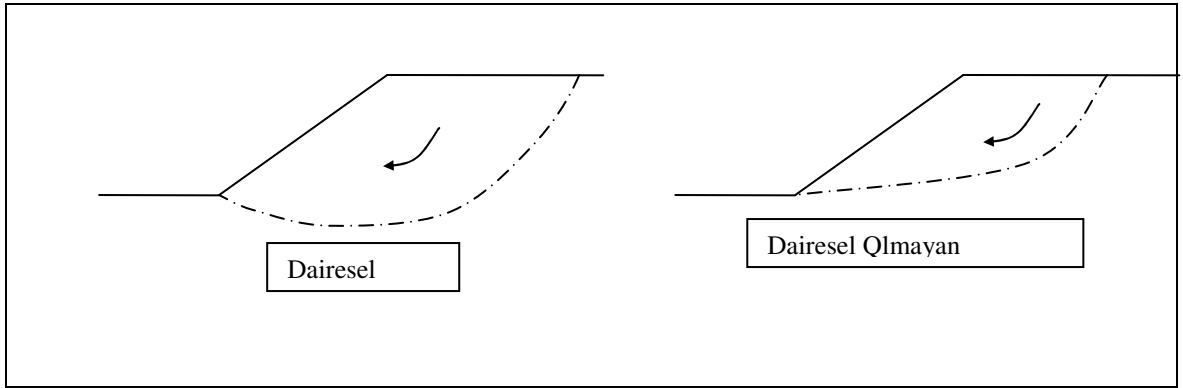
Bir dilim üzerinde etkili olan kuvvetler (birim uzunlukta kesite normal olan) aşağıda verilmiştir;

1. Tek bir dilimin alanı	$A=b.h$
2. Tek bir dilimin ağırlığı	$W=\gamma.A$
3. Tabanda etkili olan normal kuvvet	$N=\sigma.l$
4. Efektif normal kuvvet	$N'=\sigma'.l$
5. Su kuvveti	$U=u.l$
6. Tabandaki teğetsel kuvvet	$T= \tau . l$
7. Dilim kenarlarıdaki toplam normal kuvvetler	E_1 ve E_2
8. Dilim kenarlarıdaki teğetsel kuvvetler	X_1 ve X_2

3.2.6. Analiz Yönteminin Seçimi

Hangi tür analizin seçileceği şevin ve ortamın özelliklerine bağlıdır. Kayma yüzeyi, şev geometrisi, yeraltı su seviyesi gibi parametreler şev duraylılık analizini seçiminde temel unsurlardır.

Şevlere ait kaymalar, kayma şekilleri ve oluşum nedenlerine bağlı olarak farklı yapılara sahip olmaktadır. Bu amaçla geliştirilen pek çok analiz yöntemi mevcuttur. Genel olarak şevlerde düzlemsel, dairesel veya dairesel olmayan limit denge analizleri mevcuttur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Dairesel ve dairesel olmayan kayma şekilleri [10].

Toprak zemin, çok eklemlı, gnlenmiş kaya kütlelerinde ve dolgularda meydana gelen dairesel yenilme yüzeylerine sahip şev kaymaları için araştırmacılar tarafından geliştirilen Bishop, Morgenstern ve Price, Fellenius analiz yöntemleri kullanılmaktadır [17].

Bunun dışında şevi oluşturan toprak zemin veya ayrışmış zayıf kaya kütlelerinin malzemesinde sık sık değişimin yer aldığı dairesel olmayan yenilme yüzeylerine ait şev kaymalarında ise analiz için Janbu, Sarma, Morgenstern ve Price yöntemlerinin kullanılması sağlıklı sonuçlar vermektedir [17].

3.2.7. Basitleştirilmiş Janbu Metodu

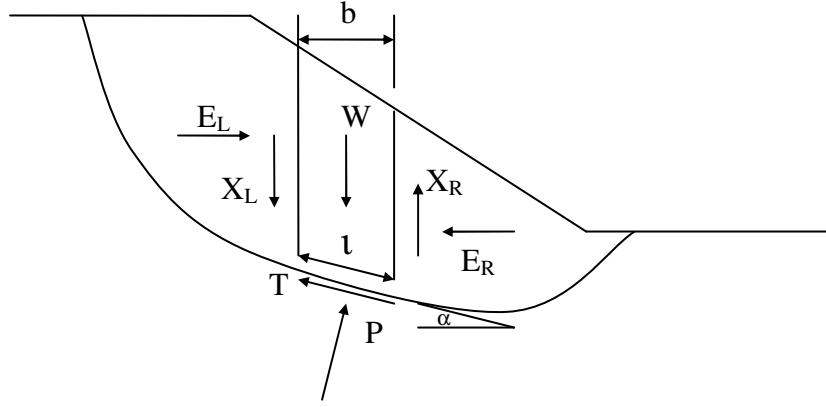
Herhangi bir şevi oluşturan toprak zeminin, çok zayıf kaya kütlesinin veya pasa malzemesinin özellikleri, şev boyunca çok sık aralıklarla değişkenlik göstermesi, halinde dairesel kayma analiz yöntemlerinin uygulanabilirliği ortadan kalkmaktadır.

Bu tür koşullarda kaymalar; dairesel olmayan veya şev tepesine yakın kesimlerde dairesel olarak başlayan, derinde düzlemsel olarak devam eden yüzeyler (birleşik kayma yüzeyleri) boyunca gelişmektedir.

Duraysızlıkların bu tür kayma yüzeyleri boyunca geliştiği veya gelişebileceği şevlerin duraylılığının incelenmesi amacıyla bir analiz yöntemi önerilmiştir. Janbu yöntemi olarak anılan bu yöntemde, kayan kütle, kayma yüzeyi ve diğer parametrelere bağlı olarak dilimlere bölünür ve her bir dilim üzerine etkileyen kuvvetler hesaplanır (şekil 3.4).

Dilimler arası kesme kuvvetleri Bishop'ta olduğu gibi sıfır olarak dşnlmekte ve sonuca dilim tabanı üzerinde etkili olan toplam normal kuvvetler ile gidilmektedir.

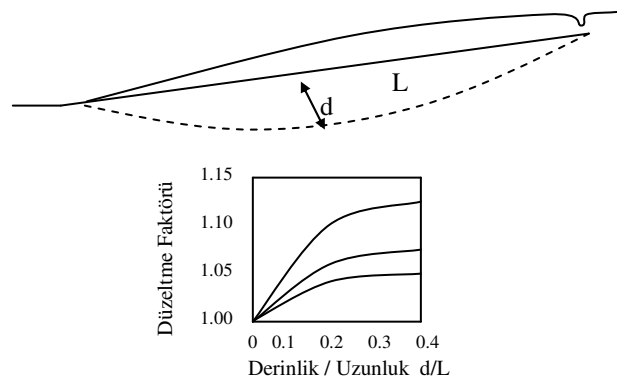
Bütün yatay kuvvet dengesi göz önüne alındığında güvenlik katsayısı F_0 elde edilmektedir. Dilimler arası kesme kuvvetlerinin etkisini göz önüne almak için düzeltme faktörü f_0 uygulaması yapılmaktadır.



Şekil 3.4. Basitleştirilmiş Janbu metodu.

Düzeltilme faktörü (f_0) problemin geometrisi ve zemin koşullarına bağlıdır. Bu faktörle ilgili olarak Janbu ve diğerleri (1956)'nın hazırladığı tasarım grafiği bulunmaktadır (Şekil 3.5).

Düzeltilme faktörü göz önüne alındıktan sonra kuvvet dengesi göz önüne alınarak güvenlik katsayısı F_f hesaplanır.



Şekil 3.5. Basitleştirilmiş Janbu'nun metodu düzeltme faktörü f_0 .

Mohr-Coulomb yenilme kriterine göre makaslanma mukavemeti aşağıdaki eşitlik ile açıklanır;

$$S = c' + (\sigma - u) \tan\phi' \quad (2)$$

Mobilize olmuş kesme dayanımı ;

$$\tau = \frac{S}{F} \text{ 'dir.} \quad (3)$$

$$P = \sigma \cdot l \text{ ve } T = \tau \cdot l \text{ olduğundan,} \quad (4)$$

$$T = \frac{1}{F} (c'l + (P - ul) \tan\phi') \sec\alpha \text{ 'dir.} \quad (5)$$

Eğer düşey yönde çözüm yapılırsa,

$$P \cos\alpha + T \sin\alpha = W - (X_R - X_L) \quad (6)$$

$X_R = X_L = 0$ olarak kabul edilir.

T'yi hesaplamak için;

$$P = [W - \frac{1}{F} (c'l \sin\alpha - ul \tan\phi' \sin\alpha) / m_\alpha] / F \text{ eşitliği kullanılır.} \quad (7)$$

Burada ; m_α her dilim taban eğimine göre değer alır.

$$m_\alpha = \cos\alpha (1 + \tan\alpha \frac{\tan\phi'}{F}) \quad (8)$$

Dilim tabanına paralel olarak çözüm yapılırsa,

$$T \cos\alpha + (E_R - E_L) \cos\alpha = W - (X_R - X_L) \sin\alpha \quad (9)$$

$$E_R - E_L = W \cdot \tan\alpha - \frac{1}{F} (c'l + (P - ul) \tan\phi') \sec\alpha \quad (10)$$

Bütün kuvvet dengesi,

Yüzey yüklenmesi olmadığı zaman $\Sigma(E_R - E_L) = 0$

$$\Sigma(E_R - E_L) = \Sigma W \cdot \tan\alpha - \frac{1}{F} \Sigma (c'l + (P - ul) \tan\phi') \sec\alpha = 0 \quad (11)$$

$$\text{Buradan, } F_0 = \frac{\sum (c't + (P - ul) \tan \varphi) \sec \alpha}{\sum W \cdot \tan \alpha} \quad (12)$$

Dilim içi kesme kuvvetleri göz önüne alındığında, f_0 düzeltme faktörü uygulanırsa;

$$F_f = f_0 * F_0 \text{ olduğundan, sonuç olarak,} \quad (13)$$

$$F_0 = (\sum (c'b + (W - ub) \tan \phi') / n_\alpha) / \sum W \cdot \tan \alpha \text{ elde edilir. } (n_\alpha = \cos \alpha \cdot m_\alpha) \quad (14)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme alanında, Miyosen yaşlı kıltaşı-kumtaşı-marn ar dalanması ve bunun üzerinde kimyasal yolla oluşmuş kısmi karasal kalış çökelleri yer almaktadır. Ek1'de Tarsus ayrımı-Mersin otoyolu Km 7+00-22+00'leri arası jeoloji haritasında görülmektedir [6].

Otoyol güzergahlarında anakaya, Miyosen yaşlı kıltaşı-kumtaşı-marn ar dalanmalı litolojilerden oluşur. Birim bölgede kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda bir şerit halinde uzanmaktadır. Orta-Üst Miyosen aralığını temsil eden değişik fasiyes özelliklerini gösteren birim, daha eski birimler üzerine diskordan olarak gelmektedir. Birimi meydana getiren sedimanlar karasal ve denizel ortamda çökelmişlerdir [1,5].

Sahanın kuzeydoğusunda karasal fasiyeste olan çökelleme güney-batıya doğru denizel fasiyese geçmektedir. Mezitli deresi ile Deliçay derecesi aralındaki kesimde birimin alt seviyelerini oluşturan gri-yeşilimsi renkli marnlı ve killi birimler egemendir. Doğuya doğru ise birim sarı-gri renkli üst seviyelerini oluşturan kumtaşı-marn ar dalanmalı birimlere doğru geçiş gösterir. Bu litolojiler üzerinde Kuvaterner yaşlı kalış birimi gelişmiştir. İncelemeye konu olan km 15+800-16+100 arası (Çopurlu mevki), gri yeşil renkli, marn ve kıltaşımdan oluşur. Kıltaşı-kumtaşı-marn biriminin bir kısmı üstteki kalış oluşumu tarafından korunmuş, bir kısmı ise günlenmenin etkisiyle çok fazla ayrılmıştır. Üst kısımlar çok zayıf dayanımlı, yer yer taze jips dolgululu, limonitli ve kötü çimentoludur. Alt kısımlar ise taze zayıf dayanımlı fosilli yer yer siltli, düşeye yakın çatlaklıdır. Sıkça gelişmiş olan eklem sistemleri ortalama 80° eğimli olup KD-GB/KB-GD doğrultuludur [1]. Eklem açıklıkları 1-5 mm aralığında, kil, jips ve kalsit dolguludur. Tabaka eğimleri 5-10 GD'ya doğrudur.

Süreksizliklerin hakim eğim yönleri de güneye doğrudur. Bu kesimde ayrışmanın fazla olması nedeniyle, mühendislik açısından zayıf-çok zayıf kaya özelliği gösteren birimin bir kısmı kalış tarafından korunmuştur.

Kuvaterner yaşlı tortul çökel olan kaliş (Qk), çalışma alanında çoğunlukla kiltaşıkumtaşı-marn ardalanmalı kırıntılı birimler üzerinde kimyasal yolla oluşmuştur. Genellikle, yüzeyde kütleli görünümüne ve orta dayanımlı sert kısım ve altında yüksek platisiteli yumuşak kısım olmak üzere iki ana bileşenden (hardpan ve softpan) oluşan bir profil göstermektedir. Topografyaya paralel 1- 6 m kalınlıkta beyaz, bej renkli ve yüzeyi sert taşlaşmıştır.

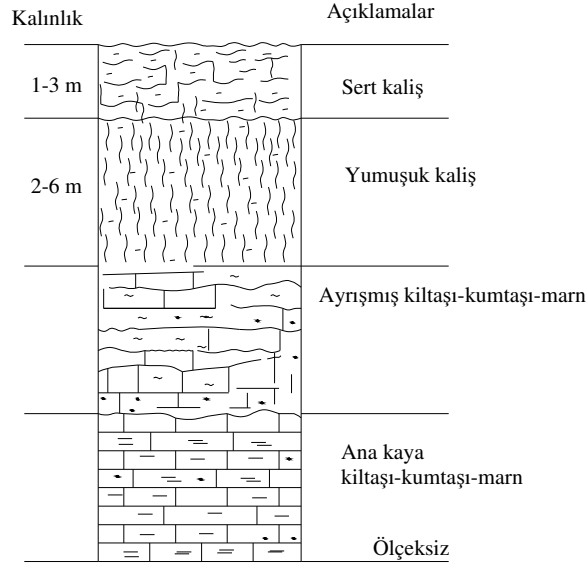
Otoyol şevlerinde meydana gelen çoğu duraysızlık sorunu da bu tortul çökel içerisinde gelişmektedir. Kaliş, incelenen şevde, zayıf, fisürlü ve CaCO_3 karışımı temel kaya üzerinde örtü şeklinde gelişmiştir (Şekil 4.1., Resim 4.1.).



Resim 4.1. Heyelan aynasında GB-KD yönünde kaliş biriminin görünümü.

Doğun olmayan bölgede toprak profili içinde gelişir. Doğun bölgede ise yeraltı suyunun çevrimine bağlı olarak çözelti içinde taşınan minerallerin çökmesi ile oluşur. Genel olarak kalişin ortamda oluşabilmesi için oluşumun komşu ya da temel kayanın karbonat ya da karbonatlı olması, yöre toprakları içerisinde de karbonat bulunması, iklimin

kurak-yarı kurak olması, kapilerite kılcal yoğunlaşma olaylarının yaygın olması ve karbondioksitin (CO₂) çevrede mevcut olması gibi koşullar gerekmektedir [4].



Şekil 4.1. Mersin-Tarsus otoyolu km 16+060 kesiti zemin profili.

4.2. ÇALIŞMA ALANININ İKLİM ÖZELLİKLERİ

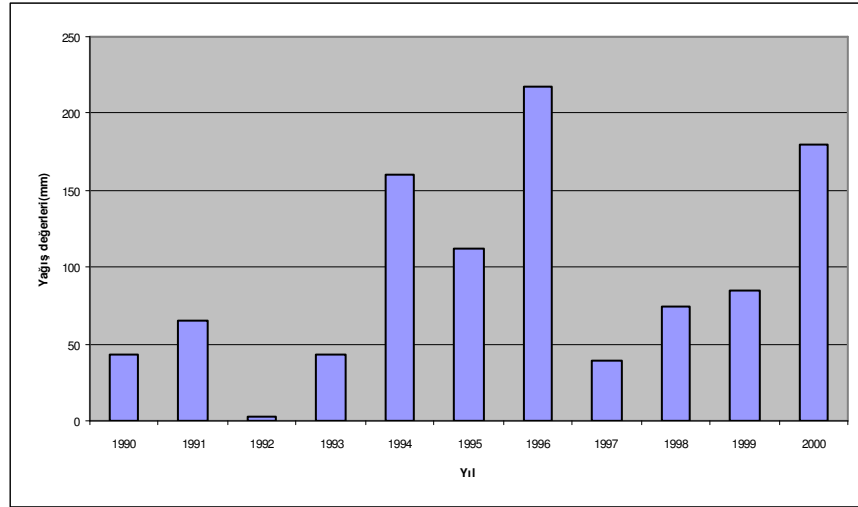
Bölge, Akdeniz iklimimin tipik özelliklerinin ve meteorolojik şartlarının tümüne sahiptir. Yazları kurak ve sıcak, kışları ılık ve yağışlıdır. Akdeniz ikliminin özelliklerine uygun olarak yağış en fazla kış aylarında, en az yaz aylarında alınmakta olup; en fazla yağış Aralık ve en az yağış ise Ağustos ayında meydana gelmektedir. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 62 gün civarındadır.

Mersin'de yıllık sıcaklık ortalaması 18.7°C dir. 50 yıllık gözlemlerde saptanan en yüksek sıcaklık 40°C (21.06.1942), en düşük sıcaklık ise -6.6°C (06.02.1950)' dir. Bölgede uzun yıllar verilerine göre yıllık yağış toplam miktarı 593.7 mm'dir.

Aşağıdaki tablolarda Mersin bölgesinde ocak ayına ait son 10 yılda düşen aylık ve heyelanın olduğu aylara denk gelen günlük yağış miktarları verilmiştir. Veriler Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır.

Çizelge 4.1. 10 yıllık (1990-2000) aylık toplam yağış miktarları.

AYLIK TOPLAM YAĞIŞ (mm)													
YIL	OCAK	ŞUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AGUSTOS	EYLUL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
1990	43,6	134,7	67,9	11,0	11,6	2,0	44,8	0,3	75,6	31,2	19,2	55,0	496,9
1991	64,8	82,7	24,3	60,4	4,9	0,0	1,6	3,4	0,4	43,7	60,4	312,5	659,1
1992	3,1	50,7	22,2	3,5	69,9	41,3	32,2		7,9	0,2	96,7	200,1	527,8
1993	42,4	58,0	64,6	19,7	68,4	13,6				0,1	34,9	66,8	369,5
1994	160	95,0	46,0	16,6	13,6	1,0	0,0		1,0	35,3	185,5	141,3	695,6
1995	112	134,9	43,3	36,0	19,4	1,1	24,0	0,1	40,8	55,9	203,4	73,1	743,7
1996	218	78,7	105,9	58,2	19,6	13,9		6,0	1,3	34,8	18,6	236,7	791,3
1997	38,5	54,7	19,3	62,8	15,1	6,2	22,6	9,8	14,0	165,2	157,4	106,1	671,7
1998	74,7	3,6	105,3	20,8	13,1		58,9		1,1	57,1	80,8	259,3	674,7
1999	84	81,2	21,1	38,9	0,0	34,2		0,5	0,4	19,2	0,7	70,7	351
2000	179	99,8	21,0	81,7	28,7	27,9		0,0	3,3	22,1	116,5	40,3	620,6



Şekil 4.2 . 10 yıllık (1990-2000) Ocak ayı toplam yağış miktarları.

Çizelge 4.2. 1998 Aralık ve 1999 Ocak ayı yağışlı günlere ait günlük toplam yağış miktarları.

YAĞIŞ		
GÜN	1998-ARALIK	1999-OCAK
6	7,1	0
7	12,7	0
8	3,9	0
9	36,1	0
10	0,2	0
16	12,6	0,2
17	21,1	12,7
18	10,4	3
19	0,7	11,6
20	26,7	5,6
23	0	0,8
24	12,2	0
25	109,5	0
26	1,2	0
28	0	3,2
29	2,3	10,7
30	2,6	25,5
31	0	10,7

4.3. ÇALIŞMA ALANININ HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanının büyük bir kısmını oluşturan Tersiyer yaşlı Kuzgun formasyonunun tabanında bulunan kumtaşı-konglomera ve kireçtaşı seviyeler, geçirimli daha üst kısımlardaki tüfit-marn ve şeyl seviyeleri ise geçirimsiz birimlerdir. Kalış oluşumları ise, alt kontakları boyunca tünük su birikintileri içermektedir.

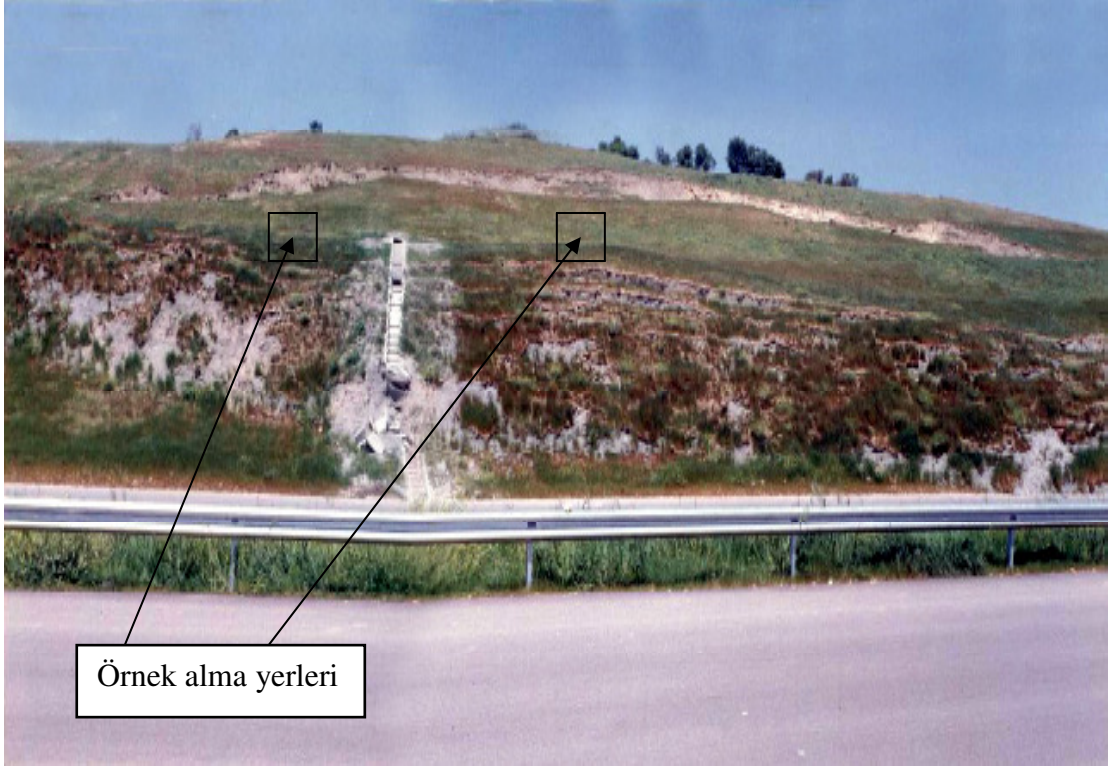
Güzergah boyunca çok miktarda mevsimlik dereler vardır. Sürekli akan Mezitli ve Müftü dereleri, yolu sırasıyla km 6+500 ve km 13+500'de kesmektedirler. Mezitli deresindeki alüvyon kalınlığı 9 m civarında iken bu rakam Müftü deresinde 12 m'ye ulaşır. Diğer derelerdeki alüvyon kalınlığı birkaç m'yi geçmemektedir. Çalışma alanındaki diğer akarsular; Berdan ve Deliçay dereleridir [4].

4.4 ÇALIŞMA ALANININ JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

1999 Ocak ayında görülen yağışlar sonrasında Mersin-Tarsus otoyolu km 15+900-16+100 arasında şevde kayma meydana gelmiştir. Kayma ayrılmış kiltası içinde dönel çökme şeklinde gelişmiştir. Kayma meydana gelmeden önce kuzey yarma yamacının eğimi, 3Y/1D (Yatay/Düşey) ve şev yüksekliği 37 m'dir.

Otoyolun tez kapsamında incelenen 15+900-16+100 km'leri arası, yeşilimsi gri renkli kiltası bir kısmında ise kalış yüzlek vermektedir. Kayma 2. ve 3.'üncü palyeler arasında meydana gelmiştir. 2.5-3.5 m. arasında değişen esas ayna kısmı ile başlayıp, şev kütlesi zayıflık düzlemleri boyunca kendi içinde birkaç parçaya ayrılarak, yüksekliği yaklaşık 20 cm'e kadar varan tali aynalar gelişmiştir (Resim 4.2,Resim 4.3.).

Kayma hareket doğrultusuna dik doğrultuda şev boyunca uzanmakta ve dönel çökme sonucunda açığa çıkan üst kısmı, hemen hemen düşey konumda yer almaktadır (Resim4.2).



Resim 4.2. Heyelan sahasına GB-KD yönünde genel bir bakış.

Arazi çalışmaları sırasında, birimlerin katmanlanma ile genel olarak süreksizlikler eğim yönleri ve topoğrafya eğiminin güneye doğru olduğu gözlenmiştir. Arazi çalışmaları sonrasında heyelan 1/1500'lük jeolojik harita üzerinde işaretlenmiştir. Heyelanın 80 m uzunluğunda ve 120 m genişliğinde bir alanı kapladığı görülmektedir (EK 2). Sondaj olanağı olmadığı için şev kaymasının kesin sınırları belirlenememiştir. Kayma dairesini yaklaşık olarak belirleyebilmek için arazide heyelan esas aynası, etek kısmı ve kayma yüzeyi topuğunu belirlemek için üzerindeki gerilme çatlaklarının yeri belirlenmiştir. Bu işlemler otoyolun km 15+945'inde yapılarak kesit üzerinde kayma dairesi gösterilmiştir (Ek 3).



Resim 4.3. Heyelan aynasının KB-GD yönünde görünümü.

4.5. LABORATUAR ÇALIŞMALARI

Öncelikle laboratuarda doğal nem içeriği, doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık deneyleri yapılmış ve Ek 5'te gösterilmiştir. Örnek alma yerleri ise (Resim 4.2)'de işaretlenmiştir.

İklim koşullarına bağlı olarak değişiklik gösteren doğal nem içeriği değerleri incelenen duraysız şevin, farklı noktalarından alınan örselenmemiş örnekler için %19-%21 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Tane boyu dağılımında yararlanmak üzere yapılan diğer bir indeks deneyi özgül ağırlık deneyidir. Özgül ağırlık deneyi, A.S.T.M (1994), tarafından önerilen test yöntemine uygun olarak yapılmış ve (Çizelge 4.3)'de değerlendirme sonuçları verilmiştir. Buna göre şev zeminin özgül ağırlık değeri 2.71 olarak tespit edilmiştir.

Farklı zemin gruplarına ait tanelerin özgül ağırlık değerleri dikkate alındığında, şev zemininin yoğun olarak kil malzeme içerdiği görülmektedir (Çizelge 4.4.).

Toprak zeminin birim hacim ağırlık değerleri, taşıma gücü kapasitesinde, konsolidasyon oturması gibi önemli jeoteknik özelliklerin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Zemin içinde bulunan su kadar, zemin taneciklerinin birbirleriyle ve zeminle olan ilişkisi de bir o kadar önemlidir. Bu amaçla, duraysız şev zeminlerinden alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde dayanım ve deformasyon davranışlarını ortaya koymak için birim hacim ağırlıklarının tayini, A.S.T.M (1994), tarafından önerilen yöntem uygun olarak yapılmıştır.

Şevlerin kaymasında yağışların önemli bir etkisi bulunduğundan, zemin içerisindeki yüzey suyunun varlığı oldukça önemlidir.

Dolayısıyla şevin doymuş zemin ağırlığını belirleyebilmek için, kuru birim hacim ağırlık ve doğal birim hacim ağırlıklarını hesaplanan şev zemininin, doymuş birim hacim ağırlıkları (γ_d), aşağıdaki [15], [16], [17] no'lu eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

$$\gamma_k = \gamma_n / (1+w) \quad (15)$$

$$\gamma_n = [G_s (1+w) \gamma_w] / (1+e) \quad (16)$$

Doğal ve kuru birim hacim ağırlık sonuçlarının ortalama değerlerine göre doymuş birim hacim ağırlık (γ_d) değerleri,

$$\gamma_d = [G_s \cdot \gamma_w + e \cdot \gamma_w] / (1+e) \quad (17)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır (Çizelge 4.3) [18].

Çizelge 4.3. Çalışma alanındaki şev zeminlerinin deney sonuçları.

Değerler	Doğal nem içeriği (Wn) (%)	Doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) (kN/m ³)	Doygun birim hacim ağırlığı (γ_d) (kN/m ³)	Kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) (kN/m ³)	Özgül ağırlık (Gs)
1	20	19,50	20,2	16,25	2,70
2	21	19,30	20	16	2,71
3	21	19,20	20	15,9	2,71
4	19	18,9	20	15,9	2,73
Örnek sayısı	4	4	4		4
Ortalama	20,25	19.20	20	16	2.71

Çizelge 4.4. Farklı zemin gruplarının özgül ağırlık değer aralıkları [19].

Zemin tipi	Özgül ağırlık değerleri (Gs)
Kum	2.65-2.67
Siltli kum	2.67-2.70
İnorganik kil	2.70-2.80
Organik zemin	1.0-2.60

(Çizelge 4.5)'de verilen sınıflama tablosu kullanılarak değerlendirme yapıldığında, zeminin kil ve silt zemin türüne denk geldiği görülmektedir.

Çizelge 4.5. Farklı zemin gruplarının kuru birim hacim ağırlık ve doymun birim hacim ağırlık değer aralıkları.

Zemin türü	Kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) (KN/m ³)	Doymun Birim Hacim ağırlığı (γ_d) (KN/m ³)
Çakıl ve kum	15-20	19-24
Silt ve kil	6-18	14-21
Organik silt ve kil	5-15	13-18

Zemini oluşturan taneler, boy ve şekilleri bakımından birbirinden farklıdır. Bunların büyüklüklerinin dağılış şeklini ve miktarını belirleyebilmek için elek analizi yapılır. Mersin üniversitesi MYO laboratuvarında yapılan elek analizi deney sonuçları çizelgede verilmiştir (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.6. Çalışma alanındaki şev malzemesinin tane boyu çözümlemelerine ait değerlendirme sonuçları.

Değerlendirme	Kil	Silt	Kum	Çakıl
1. Numune (% geçen)	77	12	5	0.2
2. Numune (% geçen)	85	14	6	0
Ortalama (% geçen)	81	13	6	0

Yapılan tane boyu dağılım deneyi sonuçlarına göre; şev zemininde kum boyutundaki taneler %5-%6 aralıkları arasında, silt boyutundaki taneler %12-%14 aralıkları arasında, kil boyutundaki taneler %77-%85 aralıkları arasındadır. Şev zemininin ince malzemedan oluştuğu görülmektedir. Alınan örneklerin likit limit ve plastik limit değerleri, A.S.T.M (1994) tarafından önerilen Atterberg limit deney yöntemine uygun olarak yapılmıştır.

Yapılan koni penetrasyon deneyleri sonucunda, likit limit (LL) değerlerinin %68,47 - %71,60 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan plastik limit deneyleri

sonucunda ise plastik limit (PL) değerlerinin %27,09 - %29,45 aralığında değiştiği tespit edildikten sonra plastisite indeksi (PI) değerleri bulunmuştur (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Çalışma alanındaki duraysız şev malzemelerinin LL, PL, PI değerlerine ait değerlendirme sonuçları.

Numune no.	Likit Limit (LL) (%)	Plastik Limit (PL) (%)	Plastisite İndisi (PI) (%)
1	68,47	29,45	39,02
2	70,63	28,18	42,45
3	71,60	27,59	44,01
4	68,73	27,09	41,64
Ortalama (%)	69,86	28,08	41,78

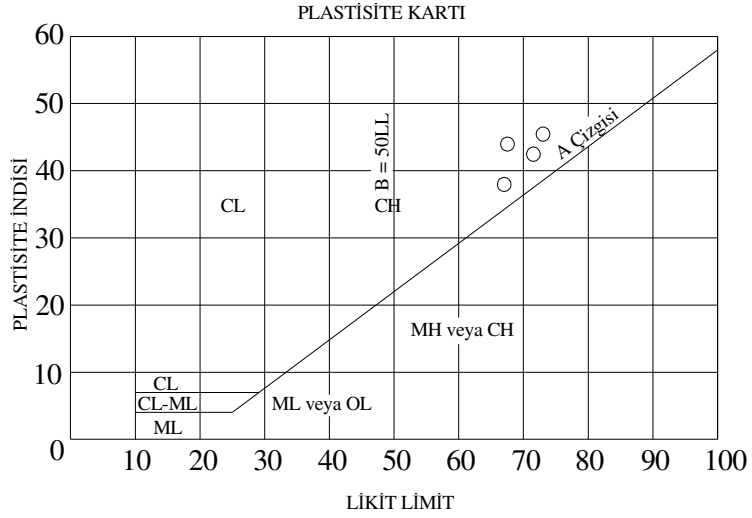
şev zemininin, Atterberg deney sonuçları ve tane boyu dağılım değerleri kullanılarak U.S.B.R (1974) tarafından geliştirilen ‘‘Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi’’ne göre sınıflandırıldığında, CH türü zemin sınıfına girdiği belirlenmiştir. Zeminin plastisite abağı üzerindeki dağılımı Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

şev zemini, Likit limit değeri % 50’den yüksek olan (%68,47-%71,60), yüksek plastisiteye sahip, şişebilen kil olduğu görülmektedir (Çizelge 4.8).

şev zemini içindeki kil minerallerinin cinsini belirlemek için aktivite değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Bazı zemin türlerinin LL ve kıvam değerleri [19].

Tanım	Lab Deneylelerinden	LL (%)
Siltli	Düşük plastisiteli	<35
Orta plasitiseli	Orta plastisiteli	35-50
Şişebilen	Yüksek Plastisiteli	50-70
Çok şişen	Çok yüksek plastisiteli	70-90
Çok aşırı şişen	Çok aşırı derecede plastisiteli	>90



Şekil 4.3. Casagrande plastisite kartı.

Aktivite katsayısı, ince taneli zeminlerin plastisite indisinin kil yüzdesine (0.002 mm'den küçük tanelerin miktarı) oranıdır. Buna göre;

$A = \frac{PI}{\text{Kil yüzdesi}}$ eşitliği kullanılarak, incelenen zemin şevinde “aktivite değeri” hesaplanmıştır. Farklı kil gruplarına ait aktivite değerler 0.49-0.55 arasında

değişmektedir. Elde edilen verilere göre, aktif olmayan killer grubuna düştüğü görülmektedir (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4.9. Killerin aktivite değerleri [10].

Aktivite	Sınıflama
< 0,75	Aktif olmayan killer (kaolinit)
0,75-1,25	Nomal killer (illit)
> 1,25	Aktif killer (montmorillonit)

4.5.1. Konsolidasyonlu-Drenajsız Üç Eksenli Basınç Deneyi

Zeminlerin kayma direnç parametrelerine belirlemek amacıyla kullanılan laboratuvar deney yöntemlerinden biri de üç eksenli basınç deneyidir. Bu deney ile, zemin numunesinin arazideki ortam değişikliklerinden dolayı değişen kayma mukavemet parametreleri drenaj ve konsolidasyon durumları olmak üzere 3 farklı türde yapılabilmektedir [19]. Bunlar;

1. Konsolidasyonlu – Drenajsız Deney (CU)
2. Konsolidasyonlu – Drenajlı Deney (CD)
3. Konsolidasyonsuz – Drenajsız Deney (UU) lerdir.

Uzun dönemde duraylılık korumaları beklenen otoyol şevlerinde, makaslama dayanım parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bunun için, şev zeminlerine ait kayma direnci parametrelerinin (c, ϕ) belirlenmesinde, konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli sıkışma deneyi (CU) yapılmıştır.

Mersin Üniversitesi MYO zemin mekaniği laboratuvarında yapılan deney sonuçlarına göre; efektif kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri $c' = 11$ kPa ve $\phi' = 15^\circ$ olarak belirlenmiştir.

Duraylılığını kaybetmiş şevin stabilite analiz hesaplarında, bu değerler kullanılmıştır.

4.6. GERİYE DÖNÜK ŞEV ANALİZİ

Geriye dönük şev analiz yöntemi; duraysızlığa uğramış bir şevin kaymadan önce ve sonraki geometrilerine, yeraltı suyu koşullarına, süreksizliklerin konumu ve ek yüklere bağlı olarak şev malzemesinin yenileme anındaki ($F=1$) makaslama dayanım parametreleri olan (c, ϕ)'nin belirlenmesi esasına dayanır [20].

Yenilen bir şevde ($F=1$) koşulunda;

*Şev ve kayma yüzeyinin geometrisi,

*Yeraltı suyu koşulları,

*Boşluk suyu basıncı belirlenebilir.

* c ve ϕ değerleri bilinmiyor ise, yenilme anındaki ($F=1$) (c, ϕ) çifti boşluk suyu basıncının (u) farklı değerleri için bulunmalıdır.

Bu amaçla geliştirilmiş farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar ;

1. Yenilmiş bir şev üzerinde içsel sürtünme açısı ve kohezyon için $F=1$ koşulunu sağlayan farklı değerler verilerek diğerinin hesaplanması.

2. Her kayma için litolojinin homojen olduğu durumda, yenilmiş şev üzerinde bir kesit ve buna benzer yakınında bulunan diğer ikinci bir kesit çıkartılıp, $F=1$ için ($c-\phi$) çiftlerinin oluşturulması ve elde edilen eğrilerin kesim noktasından (c, ϕ)'nin belirlenmesi.

3. Yenilmiş şevlere ait ikiden fazla kesit varsa, $F=1$ koşulunu sağlayan (c, ϕ) veri çiftleri hesaplanarak, her bir kesit için çizilen kohezyon değerine karşı içsel sürtünme açısı eğrilerinin kesişmesi ile malzemeyi temsil edecek (c, ϕ) aralığının belirlenmesi ve sonuçların laboratuvar sonuçlarıyla karşılaştırılması.

Eğer tek bir kayma profili var ise, (c) ve (ϕ) eğrisi çizilebilir. Eğer arazi veya laboratuvar deney sonuçları yok ise, geri analiz sonuçları ve laboratuardan elde edilen kesme gerilmesi parametreleri arasında karşılaştırma yapmak mümkün değildir. Bu durumda, kesme dayanım parametrelerinden (c, ϕ) sadece biri deneysel olarak belirlenip, arazide kullanılabilir (Şekil 4.4) [20].

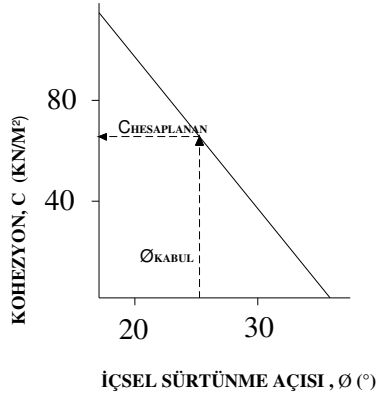
Geriye dönük analizlerde, dairesel ve dairesel olmayan yenilme yüzeylerine ait şev kaymalarının analizinde, güvenilir bir yöntem olan Janbu, (1973) yöntemi kullanılmış ve analizler GEOSLOPE/W, adlı bilgisayar programı ile yapılmıştır.

Program güvenlik sayısının Felleneius, basitleştirilmiş Bishop, karmaşık Bishop, basitleştirilmiş Janbu, karmaşık Janbu, Morgenstern ve Price ve Spencer yöntemleri ile hesaplanmasına olanak vermekte, basit veya çok karmaşık geometri, stratigrafi ve yükleme durumları dikkate alınabilmektedir.

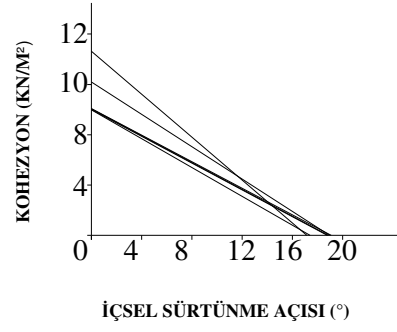
Duraysız şevin, yenilme yüzeyi boyunca, zeminin makaslama dayanım değerlerinin araştırılması ve sonuçların laboratuvar deneylerinin sonuçlarıyla karşılaştırılması amacıyla geriye dönük analizi yapılmıştır.

Duraysız şevin geriye dönük analizi için GEOSLOPE/W bilgisayar programında, şevin zemin özellikleri (γ_n, c, ϕ), şev geometrisi (şev yüksekliği, şev açısı, palye genişliği) ve çevre koşullarına (yeraltı suyu durumu, ek yük vb.) göre değerlendirilerek, mevcut veriler girilmiştir.

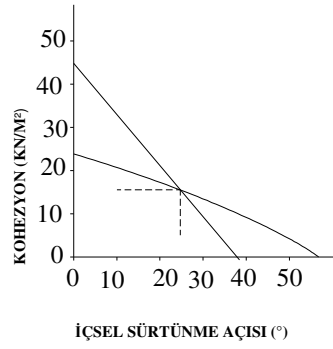
Şev zeminine ait farklı kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinden birini sabit tutarak diğerine ($F=1$) koşulunu sağlayan farklı değerler verilerek duraysız şev için (c, ϕ) çiftleri elde edilmiştir (Şekil 4.5).



(a)



(b)



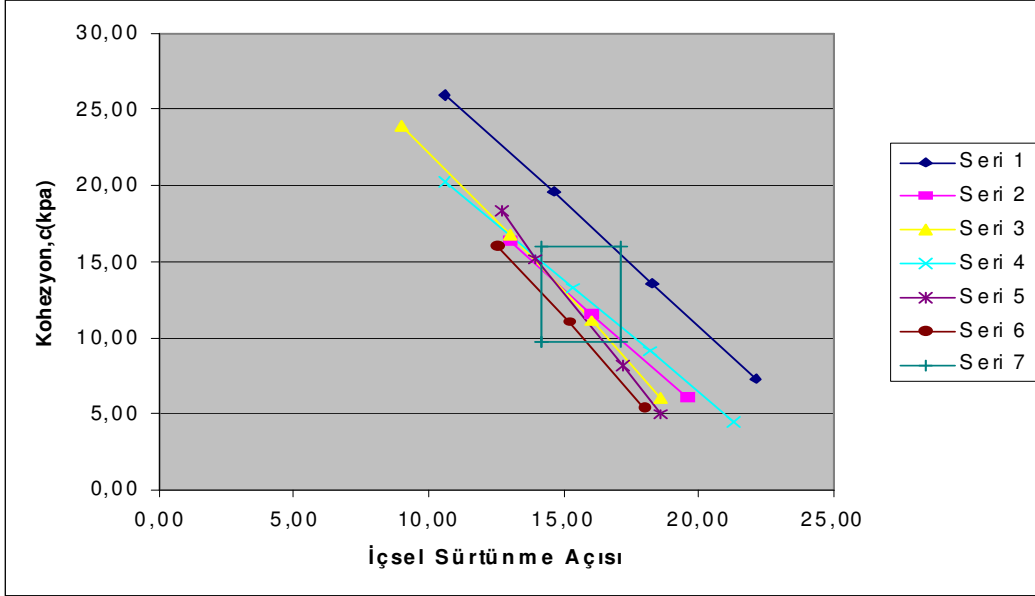
(c)

Şekil 4.4. Geri analiz yaklaşımları (a,b,c) [20].

Geriye dönük analiz sonuçlarından elde edilen (c, ϕ) değer aralıkları; kohezyon değeri için (9,78-16,06 kPa), içsel sürtünme açısı ise, (14,20°-17,12°) aralığında belirlenmiştir.

Buna göre; aynı zemin için laboratuvar deneyleriyle elde edilen kayma parametrelerinin ($c'=11$ kPa ve $\phi'=15^\circ$), geri analizle elde edilen (c, ϕ) eğrileri aralığında yer aldığı gözlenmiştir (Şekil 4.5).

Geriye analiz heyelan bölgesinde 6 farklı kesitte yapılmıştır. Kesitler Ek 4' te topografik harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Şeve ait kayma için geriye dönük analizlerle belirlenmiş ve limit denge koşulunu sağlayan içsel sürtünme açısı (ϕ)-kohezyon (c) eğrilerinin gösterilmesi.

4.7. İNCELEME ALANINDA ETKİLİ OLACAK DEPREM YÜKLERİ

1992 yılında T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi tarafından yeni hazırlanan ve yürürlüğe giren Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre çalışma alanı 3. derece deprem bölgesi olarak kabul edilmiştir.

Dolgu ve kazıların duraylılığında olası bir deprem yüklenmesinde oluşacak maksimum yatay zemin ivmesinin hesaplanması için aktif fayların inceleme alanına uzaklıklarını temel alan ivme azalım ilişkileri yöntemi ele alınmıştır. İnceleme alanı için risk oluşturabilecek üç temel doğrultu atımlı fay belirlenmiştir. Bunlar 96 km uzunluğunda Ecemiş fayı, 35 km uzunluğundaki Karaisalı fayı ve 20 km uzunluğundaki Öşün fayıdır. Fayların inceleme alanına uzaklıkları 26-32 km arasında değişmektedir (Şekil 4.6.).

Çizelge 4.10. Deprem bölgelerine göre olası maksimum yer ivmesi değerleri (DAM, 1996)

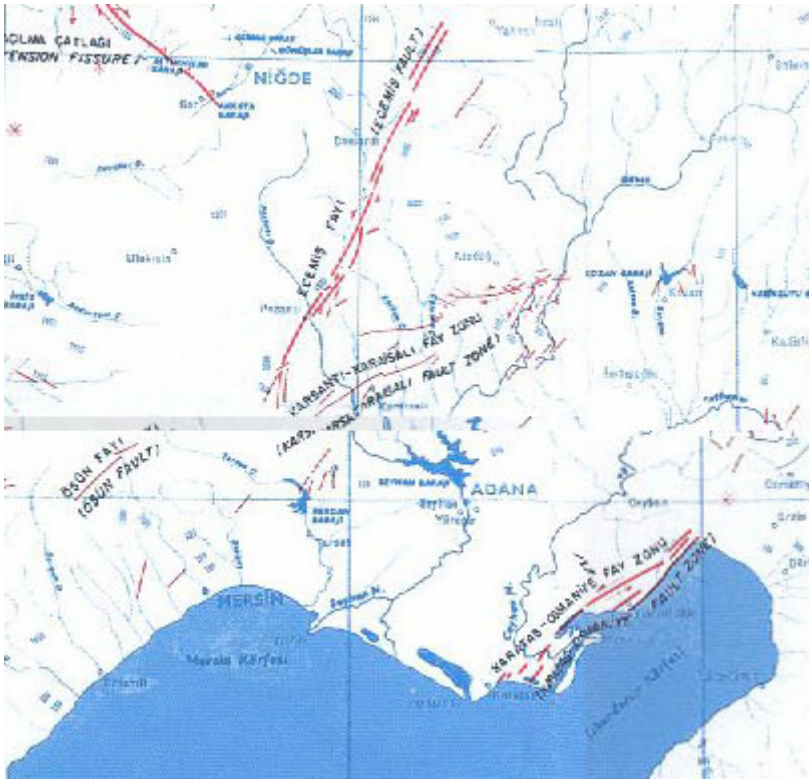
DEPREM BÖLGESİ DERECESİMAKSİMUM YER İVMESİ (a_{max})

1. Derece Deprem Bölgeleri	$a_{max} \geq 0.40g$
2. Derece Deprem Bölgeleri	$0.30 \leq a_{max} < 0.40g$
3. Derece Deprem Bölgeleri	$0.20 \leq a_{max} < 0.30g$
4. Derece Deprem Bölgeleri	$0.10 \leq a_{max} < 0.20g$
5. Derece Deprem Bölgeleri	$a_{max} < 0.10g$

Depremim oluşturacağı maksimum manyitüdün belirlenmesi gerekmektedir. Bunu belirlerken değişik araştırmacılar tarafından farklı parametreler kullanılmıştır. Fakat en yaygın olarak kullanılan yöntemlerde, yüzeyde gözlenen fay kırığı uzunluğundan yola çıkarak deprem manyitüdü hesaplamalarıdır. Örneğin, Wells ve Coppersmith (1994) tarafından yapılan çalışmada doğrultu atımlı fay, ters fay ve normal faylar için önerilen ampirik bağıntılar kullanılmıştır (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4.11. Fay kırılma uzunluğu ve moment manyitüdü (M_w) arasındaki ilişkiler (Wells ve Coppersmith, 1994)

Fay Tipi	Manyitüd (M_w) Eşitliği (L =Fay kırılma uzunluğu-km)	Eşitlik No
Doğrultu Atımlı Fay	$M_w = 5.16 + 1.12 \log L$	1
Ters Fay	$M_w = 5.00 + 1.22 \log L$	2
Normal Fay	$M_w = 4.86 + 1.32 \log L$	3



Şekil 4.6. İnceleme alanını etkileyecek aktif faylar.

İvme azalım ilişkileri kullanılırken hangi tip manyitüd kullanılacağına dikkat edilmesi gerekmektedir. Çizelge 4.11’de verilen (1) no’lu eşitlik kullanılarak moment manyitüdü hesaplanmıştır

Bölge aktif fay haritası göz önüne alındığında oluşabilecek depremin maksimum manyitüdü 6.62-7.38 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.12. Fay uzunluğuna göre moment manyitüdünün hesaplanması.

Fay no	Fay uzunluğu (km)	Fayın tipi	Moment büyüklük (Mw)
1	35	Doğrultu Atımlı (Karaisalı Fayı)	6.86
2	20	Doğrultu Atımlı (Öşün Fayı)	6.62
3	96	Doğrultu Atımlı (Ecemiş Fayı)	7.38

Mark (1977), aktif bir fayın kendi uzunluğunun 1/3'ü oranında yeni bir fay kırığı oluşturabileceğini ifade etmiştir. Mark (1977)'ye göre çizelge 4.12'deki fay kırıkları yeniden göz önüne alındığında inceleme alanını etkileyecek, maksimum deprem manyitüdülerinin 6.08-6.85 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.13).

İnceleme alanındaki aktif faylar, inceleme alanına uzaklık ve moment manyitüdü açısından değerlendirilip, en büyük yer ivmesini Ecemiş fayının oluşturacağı saptandığından dolayı bundan sonraki işlemlerde sadece bu fay göz önünde bulundurulacaktır.

Çizelge 4.13.Oluşacak kırıklara göre moment manyitüdünün hesaplanması

Fay No	1/3 oranında oluşacak kırık (km)	Fayın Tipi	Moment Büyüklük (Mw)
1	11.67	Doğrultu Atımlı (Karaisalı Fayı)	6.36
2	6.67	Doğrultu Atımlı (Öşün Fayı)	6,08
3	32	Doğrultu Atımlı (Ecemiş fayı)	6,85

Ne tip manyitüd kullanılacaksa bazı dönüşüm çizelgeleri kullanılarak elde edilebilir. Ancak Idriss (1985)'e göre yüzey dalgası manyitüdü (Ms) 6.5-8.0 arasında ise yaklaşık olarak moment manyitüdü (Mw) ile aynıdır.

İnceleme alanında oluşacak maksimum yer ivmesini hesaplayabilmek için literatürde yer alan ampirik ilişkilerden altı tanesi seçilmiş ve (Çizelge 4.14)'de detaylı gösterilmiştir.

Joyner ve Boore (1988) ve Campbell (1988) tarafından önerilen ampirik ilişkiler, ülkemizdeki Kuzey Anadolu Fayı ile benzerlik sunan Amerika'daki San Andreas Fay sisteminin oluşturduğu depremlere ait veriler kullanılarak ortaya konmuştur. Sabetta ve Pegliese (1987) ise İtalya'da meydana gelen depremlerin oluşturduğu en büyük yer ivmeleri temel alınarak hazırlanmıştır. Sismik açıdan bakıldığında İtalya ve Türkiye aynı sismik kuşak içerisinde yer almaktadır.

Bu durum bu ampirik bağıntının ülkemiz için kullanılabilceğini göstermektedir. Son olarak Fukushima ve Tanaka (1990) ise dünyanın tamamından elde edilen sismik verileri kullanarak önermişlerdir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Farklı araştırmacılar tarafından önerilen azalım ilişkileri.

NO	KAYNAK	FORMÜL
1	Sabetta ve Pegliese (1987)	$\text{LogA} = -1.562 + .0306M - \log(r^2 + 33.6)^{0.5}$
2	Joyner ve Boore (1988)	$\text{LogA} = 0.43 \div (0.23 \cdot (M - 6) - \log(r) - 0.0027r^2)$
3	Campbell (1988)	$\ln A = -3.303 + 0.85M - 1.25 \cdot \text{LN}(r + 0.872e^{0.678M}) + 0.059r$
4	Fukushima ve Tanaka(1990)	$\text{LogA} = 0.41M - \log(r + 0.032 \times 10^{0.41M}) - 0.0034r + 1.30$
5	İnan ve diğ. (1996)	$\text{LogA} = 0.65M - 0.9 \log(r) - 0.44$
6	Aydan ve diğ. (1996)	$A = 2.8 (e^{0.9M} e^{-0.025r} - 1)$

Önerilen azalım ilişkilerinden uygun olan iki tanesi seçilerek yer ivmesi bulunmuştur. Fukushima ve Tanaka'nın önerdiği ampirik ilişki kullanılarak hesaplanan 0.204g, inceleme alanı içinde oluşabilecek en uygun yer ivmesi olarak seçilmelidir.

Çizelge 4.15. İnceleme alanı için hesaplanan ivme – azalım ilişkileri (Fukushima ve Tanaka).

Oluşacak Kırık Uzunluğu (km)	Fayın Tipi	Moment Büyüklük (Mw)	Faya dik uzaklık (rup-km)	Fukushima ve Tanaka(1990) A (g)
33.33	Doğrultu Atımlı (Ecemiş fayı)	6.87	30	0.204

Çizelge 4.16. İnceleme alanı için hesaplanan ivme – azalım ilişkileri (İnan ve diğ.).

Oluşacak Kırık Uzunluğu (km)	Fayın Tipi	Moment Büyüklük (Mw)	Faya dik uzaklık (rup-km)	İnan ve diğ. (1996) A (g)
33.33	Doğrultu Atımlı (Ecemiş fayı)	6.87	30	0.501

4.8. STABİLİTE ANALİZLERİ

Çalışma alanındaki heyelandan bir kesit alınarak mevcut durum, sıyırılma kazısı sonrası ve önlem yöntemi uygulanması gibi farklı durumlarda şev stabilite analizleri yapılmıştır. Stabilite analizlerinde dairesel ve dairesel olmayan kayma için uygun olan basitleştirilmiş Janbu yöntemi kullanılmıştır.

4.8.1. Stabilite Analizlerinde Göz Önüne Alınan Koşullar

Stabilite analizlerinde güvenlik katsayısını etkileyecek farklı koşulların açıklaması (Çizelge 4.17)'de verilmiştir. Bu koşullar mevcut durum, sıyırılma kazısı sonrası ve önlem alınması durumunda tekrar edilmiştir.

Fukushima ve Tanaka (1990)'nın önerdiği ampirik ilişki kullanılarak hesaplanan 0.204g inceleme alanı için oluşabilecek en büyük yer ivmesi olarak seçilmiştir.

Her bir durum için şev topuğundan geçen en kritik kayma dairesi için analizler gerçekleştirilmiştir. Her bir durum için şev stabilitesi analiz grafikleri (Ek 7, Ek 8, Ek 9) 'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Güvenlik katsayısını etkileyecek farklı koşullar.

Koşul no	Tanımlama	Açıklamalar
001	Statik koşul-kuru	Mevcut yamaçta herhangi bir dinamik kuvvet ve boşluk suyu basıncı göz önüne alınmamıştır. Şevin tamamen kuru olduğu düşünülmüştür.
002	Statik koşul-maksimum yeraltı suyu	Mevcut yamaçta herhangi bir dinamik kuvvet göz önüne alınmamıştır. Yamacın tamamen suya doymuş olduğu kabul edilerek, stabiliteyi olumsuz olarak etkileyecek en yüksek boşluk suyu basıncı değerleri hesaplanmıştır. Bu nedenle maksimum yeraltı suyu seviyesinin yamaç yüzeyinde yer aldığı düşünülmüştür.
003	Dinamik koşul-kuru	Mevcut yamaçta olası bir depremin oluşturacağı yatay kuvvet için , maksimum yatay yer ivmesi 0.204g alınmıştır. Yamacın tamamen kuru olduğu ve böylece herhangi bir boşluk suyu basıncı göz önüne alınmamıştır.
004	Dinamik koşul-maksimum yeraltı suyu	Mevcut yamaçta olası bir depremin oluşturacağı dinamik kuvvet için maksimum yatay yer ivmesi 0.203g alınmıştır. Yamacın tamamen suya dolmuş olduğu kabul edilerek, stabiliteyi olumsuz olarak etkileyecek en yüksek boşluk suyu basıncı değerleri hesaplanmıştır. Bu nedenle maksimum yeraltı suyu seviyesinin yamaç yüzeyinde yer aldığı düşünülmüştür.

Şevde kayma meydana gelmeden önceki durum için, sevi yalnızca statik ve yeraltı suyu olmaması durumunda duraylı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.18. Mevcut durum için bulunan güvenlik katsayıları

Koşul no	Tanımlama	Açıklamalar
001	Statik koşul-kuru	1,257
002	Statik koşul- maksimum yeraltı suyu	0,423
003	Dinamik koşul-kuru	0,705
004	Dinamik koşul- maksimum yeraltı suyu	0,254

Sıyırma kazısı yapıldıktan sonraki durum için yapılan şev stabilitesi analiz sonuçlarına göre, şevin hiçbir koşulda duraylı kalamayacağı görülmektedir.

Çizelge 4.19. Sıyırma kazısı sonrası durum için bulunan güvenlik katsayıları.

Koşul no	Tanımlama	Açıklamalar
001	Statik koşul-kuru	0,911
002	Statik koşul- maksimum yeraltı suyu	0,146
003	Dinamik koşul- kuru	0,576
004	Dinamik koşul- maksimum yeraltı suyu	0,140

Sıyırma kazısı yapıldıktan sonra, iyileştirme için bir model sunulmuştur (EK 9). Sıyırma kazısı sonrasında $\emptyset=0$, $c=100$ kpa olan kil dolgu yapılmıştır. Önlem alındıktan sonraki durum için güvenlik sayıları Çizelge 4.17 'de görülmektedir. Analiz sonuçları

değerlendirildiğinde, statik kuru ve maksimum yeraltı suyu durumunda şevin duraylı kaldığı görülmektedir. Fakat olası bir deprem durumunda ise şevi duraylılığını yitireceği görülmektedir.

Çizelge 4.20. Önlem alındıktan sonraki durum için bulunan güvenlik katsayıları.

Koşul no	Tanımlama	Açıklamalar
001	Statik koşul-kuru	1,532
002	Statik koşul-maksimum yeraltı suyu	1,421
003	Dinamik koşul-kuru	0,877
004	Dinamik koşul-maksimum yeraltı suyu	0,811

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Tarsus ayrımı-Mersin otoyolunun km 15+900-16+100 arasında kuzey yarma şevinde meydana gelen heyelan incelenerek kaymaya neden olan etkenler belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. Tarsus ayrımı- Mersin otoyolu'nda şev kaymasının meydana geldiği alanda kumtaşı-kiltaşı-marn ardalanmalı Miyosen yaşlı kuzgun formasyonunun kiltasının egemen olduğu alt seviyeleri yüzlek vermektedir. Ayrıca yüzeyde Miyosen birimleri örten Kuvaterner yaşlı kalış oluşumu mevcuttur.

2. Otoyol inşaatı sırasında ve sonrasında duraysızlık gösteren kuzey şevlerinde, zeminin çok ayrılmış olması, tabakalanma ve süreksizliklerin eğim yönleri ile topografik eğimin güneye doğru olması ve Ocak 1999 'da meydana gelen aşırı yağışların etkisi ile heyelan meydana gelmiştir.

3. Şev zemininin tane boyu dağılım değerleri ve kıvam limitleri değerlerine göre; CH grubunda bulunduğu, simektit grubuna killerden oluşan yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Şevde yağış zamanı killerin çekim kuvvetinin azalması ve boşluk suyu basıncının artması kaymayı tetikleyen olumsuz etken teşkil etmektedir.

4. Arazi çalışmalarında şevin kayma geometrisi incelenmiş ve hareketin türü belirlenmeye çalışılmıştır. Şevde dönel çökme türü dairesel kaymanın geliştiği gözlenmiştir.

5. Duraysız şev malzemesinin, yenilme yüzeyi boyunca makaslama dayanım değerlerinin belirlenmesi ve sonuçların laboratuvar deney sonuçları ile karşılaştırılması amacıyla, geriye dönük analiz yapılmıştır. Geriye dönük analiz sonucunda elde edilen (c,ø) çiftleri, laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen makaslama dayanım değerleriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

6. Fukushima ve Tanaka (1990) 'nın önerdiği ampirik ilişki kullanılarak hesaplanan 0.204g, inceleme alanında olası bir depremde oluşabilecek en büyük yer ivmesi olarak belirlenmiştir.

7. Heyelan oluşturan şevden seçilen referans bir kesitte, şevin kaymadan önceki durumu, sıyırma kazısı sonrası durum ve iyileştirme yapıldıktan sonraki durumlar için statik ve dinamik parametrelerin etkisi incelenmiştir. Kaymadan önceki durum için sadece statik kuru durumda şevin duraylı kalabildiği görülmektedir. Bu da otoyol projeleri hazırlanırken daha detaylı çalışmalar yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Seçilen bir yöntemle iyileştirme sonrası analizler ise deprem olması durumunda şevin duraylılığını kaybedeceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

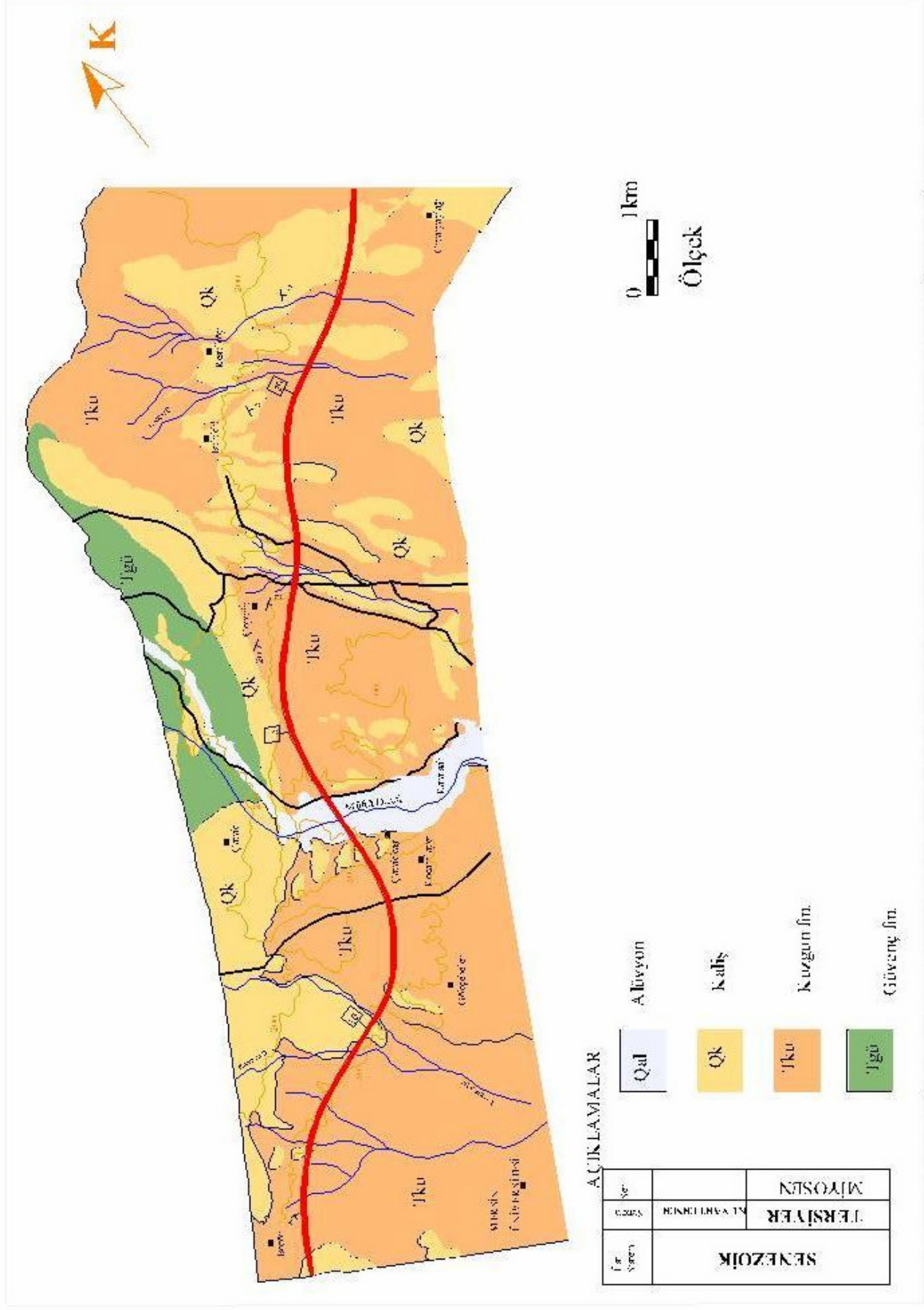
- [1] Hoş. T., “ Tarsus Ayrımı-Mersin Otoyolundaki Yarma ve Dolguların Jeoteknik İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 52 s. (1995).
- [2] Yılmazer,İ.,”Tarsus Ayrımı-Mersin Otoyolu, Kesin Proje Aşaması Jeoteknik Raporları (Km 3+00 – 21+00)”, 420, Dar Mühendislik A.Ş., Adana , (1991)
- [3] Yetiş, C. Ve Demirkol, C.,”Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeolojisi”, MTA Raporu, 8037:187 s. Ankara,(1986)
- [4] Hatipoğlu,Z.,”Çiftlikköy (Mersin) ve Çevresindeki Kalışın Oluşumu ve Özellikleri”, Yüksek lisans Tezi, ME.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 84 s. (1998)
- [5] Türkmen, S., Tağa, Özbek,A.,”Tarsus-Mersin Otoyol Güzergahında oluşan şev stabilite sorunları”,Türkiye 3. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Adana, 13 – 15 Mayıs, (1999).
- [6] Barkın,N.,”Tarsus-Mersin Otoyolu güney şevlerinde oluşan stabilite problemlerinin incelenmesi ”, Yüksek lisans Tezi, ME.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 68 s. (2003)
- [7] Terzaghi, K.,”Mechanizm of Landslides”, In Application of Geology to Engineering Practice. Berkey Volume, Geology Society of America, pp 88 – 123, (1950)
- [8] Varnes, D. J., “Slope Movements Types and Process”, Washington. Special Report 176, pp. 10 – 47, (1978)
- [9] Zaruba, Q., and Menel, V.,”Landlines and Their Control”, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford, New York, 321 s.,
- [10] Önalp, A.”Geoteknik Bilgisi 2-Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 414 s. (2004)
- [11] Atalay, F., ve Bekaroğlu, N.,”Heyelanlar ve Mühendislik Uygulaması”, Karayolları Genel Müdürlüğü Eğitim Şefliği yayını, Ankara, s. 349,(1973).

- [12] Chowdhury, R.N., “Slope Analysis” Elsevier Scientific Publishing Company, New York,(1978)
- [13] Bishop, A.W., “Progressive failure with special reference to the mechanism causing”,Proceedings of geotechnical Conference, Oslo, 2: pp.
- [14] Chapman and Hall, “The Stability of Slopes”, Survey University Press USA. pp. 144 – 147, New York, (1986)
- [15] Bonnard, C.,”Landslides”, Proceedings pf the fifth International Symposium on Landslides, Lausanna, AA. Balkema,Rotterdam, 3: pp. 1467 – 1485, (1990)
- [16] Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., Boyce, Glenn., “Slope Stability and Stabilization Methods”, John Wiley & Sons, Inc New York, pp. 339 – 395, (1995)
- [17] Walker, B.F., “Soil Slope Instability and Stabilization”, A.A. Balkema/Rothrdam. Proceeding of an extension course on soil slope instability, Sydney,(30 November, 1987).
- [18] Önalp, A.,”Geoteknik Bilgisi 1-Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 403 s. (2002)
- [19] Kumbasar, V.,Kip, F., “Zemin Mekaniği problemleri”, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 637 s. (1999)
- [20] Ulusay, R., “Şevlerin Duraylılığı ve Tasarımı” (Doktora ders notları-yayınlanmamış)
- [21] Kayabali, K.,Akın,M.,”Seismic hazard map of Turkey using deterministic approach” , Engineering Geology, **69** : 127-137 (1985)

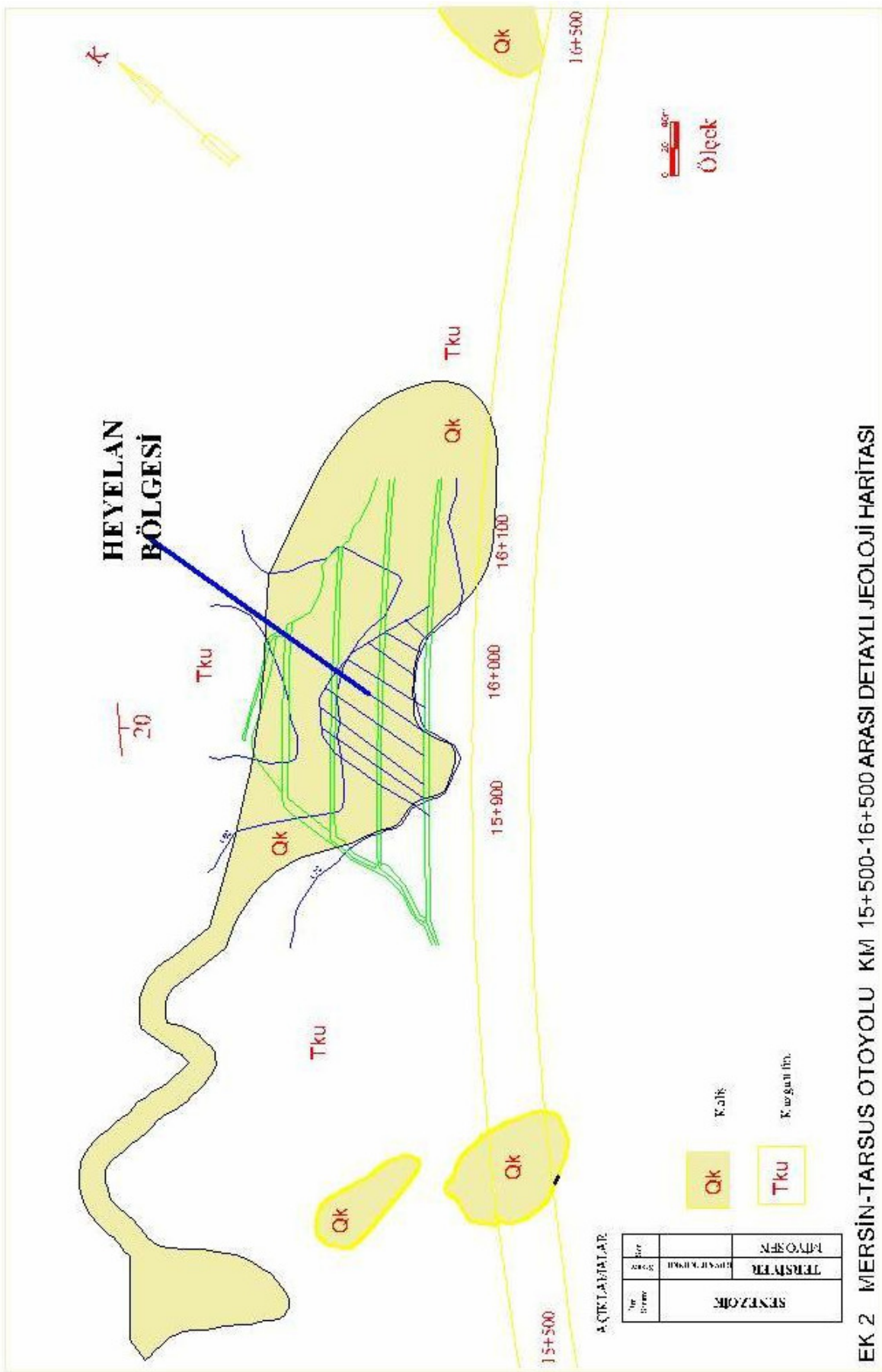
ÖZGEÇMİŞ

1965 yılında Elazığ'da doğdum. İlk, orta, ve lise öğrenimimi Elazığ'da tamamladım. 1983 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandım. 1988 yılında mezun oldum. 1989-1996 yılları arasında Halk Bankası İstanbul Bölge İnşaat Müdürlüğünde kesin hesap ve kontrollük hizmetlerinde bulundum. 1996-2000 yılları arasında Mersin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalıştım. 2002 yılından bu yana Yıldız Teknik Üniversitesi Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktayım.

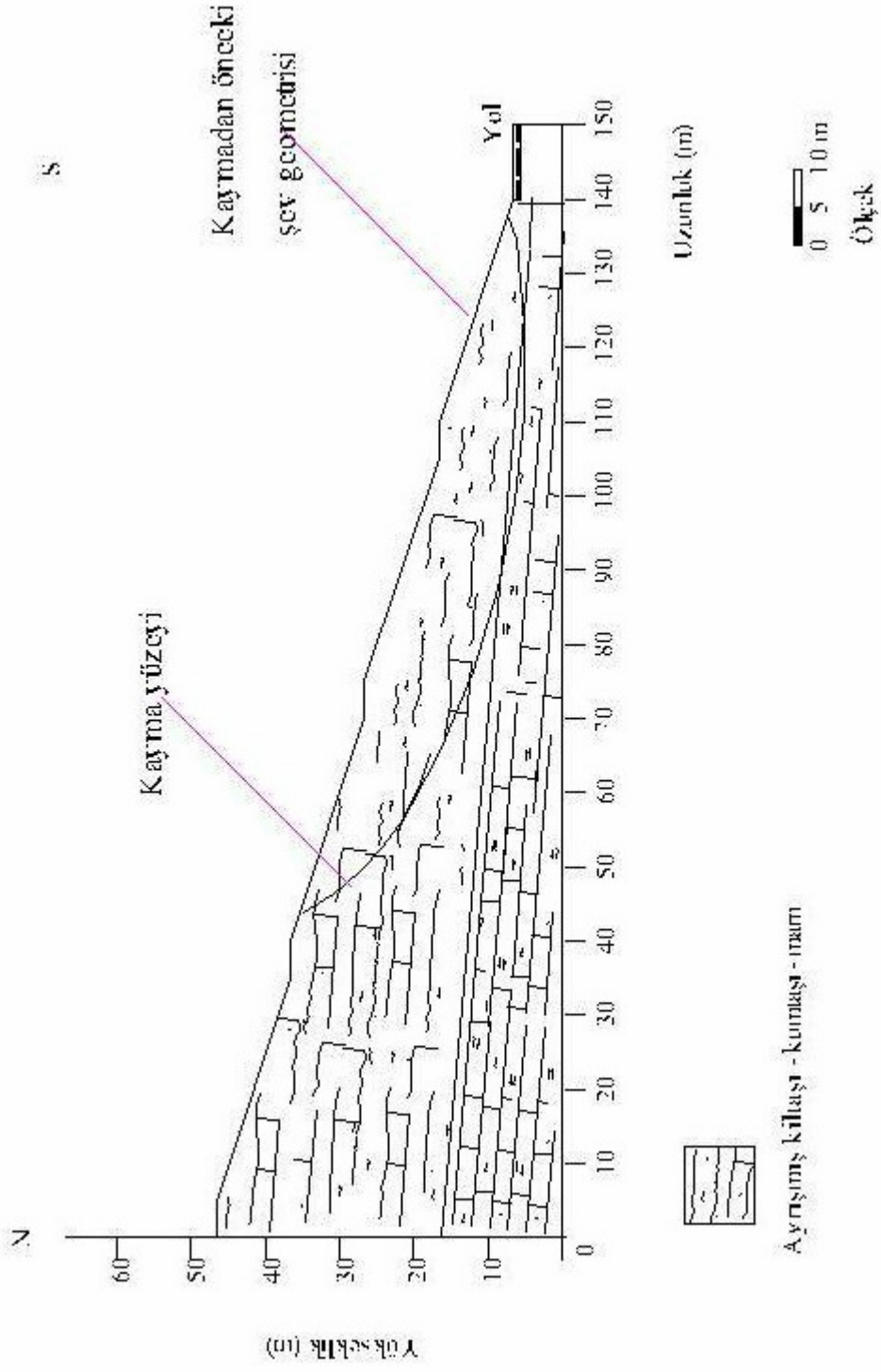
EKLER



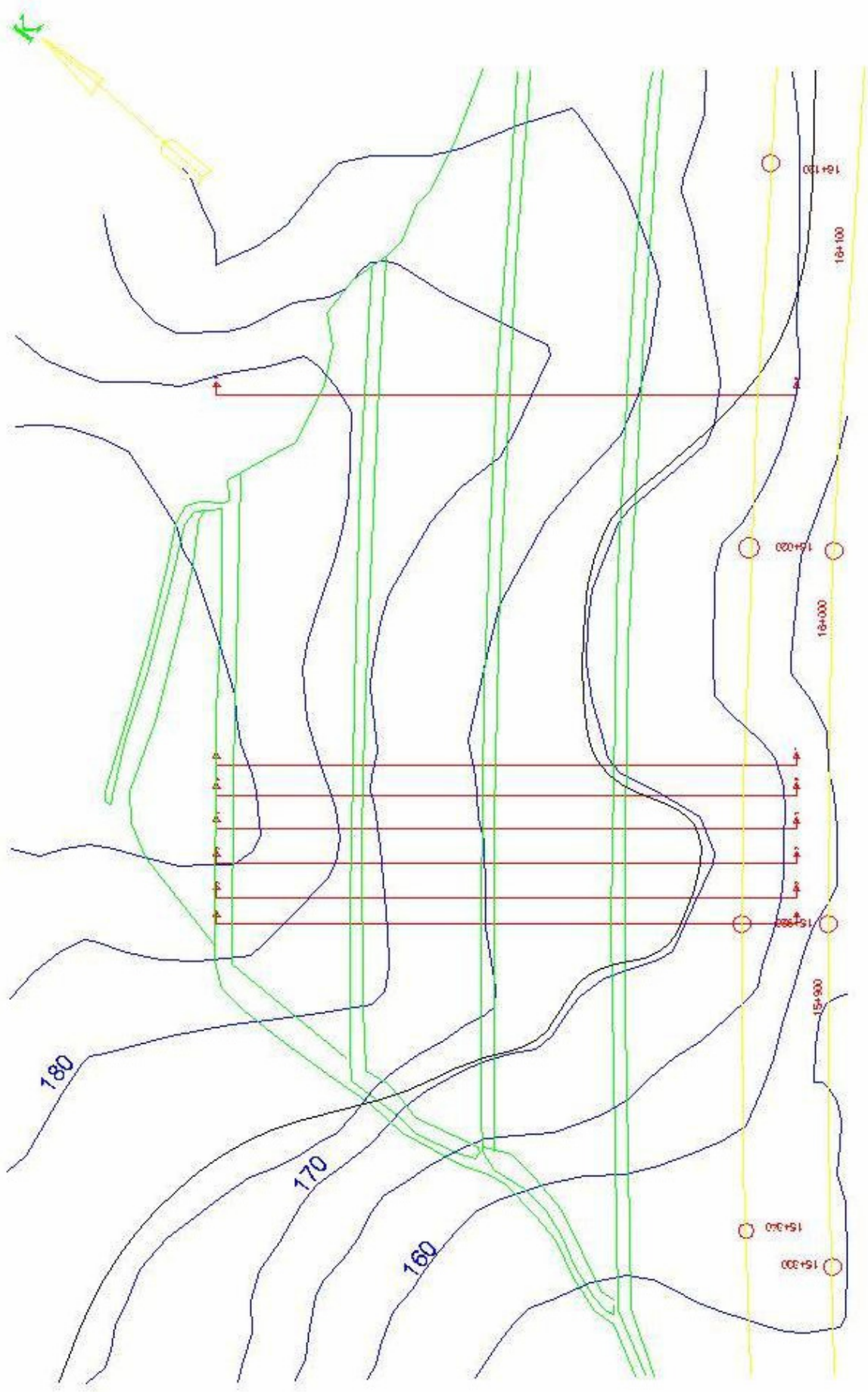
EK 1 MERSİN-TARSUS OTYOLU (7+00-22+00 KM ARASI) JEOLOJİ HARİTASI



EK 2 MERSİN-TARSUS OTYOLU KM 15+500-16+500 ARASI DETAYLI JEOLJİ HARİTASI



EK 3 MERSİN - TARSUS OTYOLU KM 15-945 KESİTİ VE KAYMA DAİRESİ GRAFİĞİ



EK 4 MERSİN-TARSUS OTOYOLU KM 15+830-16+120 ARASI TOPOĞRAFİK HARİTASI

Ölçek

EK 5 LABORATUAR DENEY SONUÇLARI

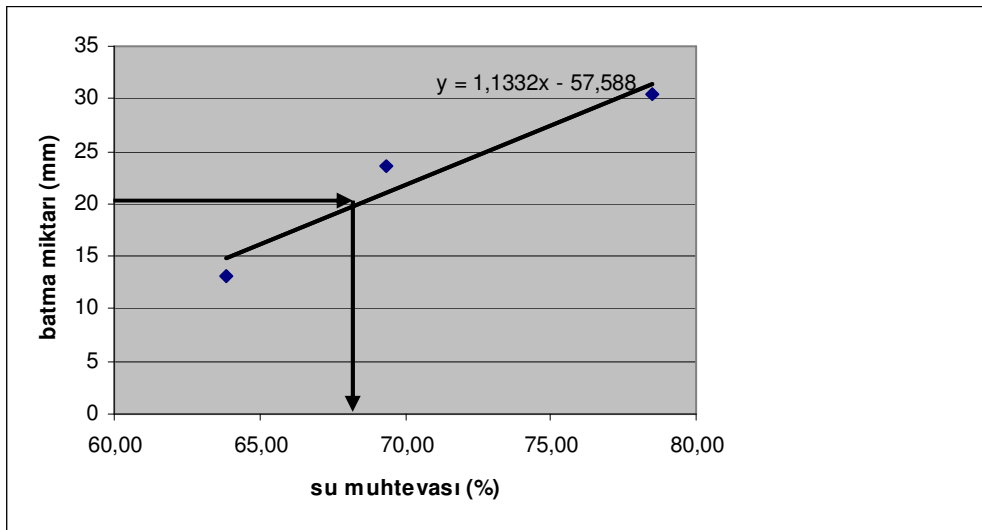


T.C.
MERSİN ÜNİVERSİTESİ
Mersin Meslek Yüksekokulu

Numunenin No:1 LİKİT LİMİT DENEYİ

Muayene çukuru no	1	1	1
Kap no	1	2	3
Batma mik (mm)	13,02	23,5	30,4
Yaş toprak+kap g	23,10	32,8	37,5
Kuru toprak+kap g	17,8	23,3	25,1
Su miktarı g	5,30	9,50	12,40
Kap g	9,50	9,60	9,30
Kuru toprak g	8,30	13,70	15,80
Rutubet %	68.86	69,34	78,48

20 mm batmaya karşılık gelen su muhtevası değeri--68.47



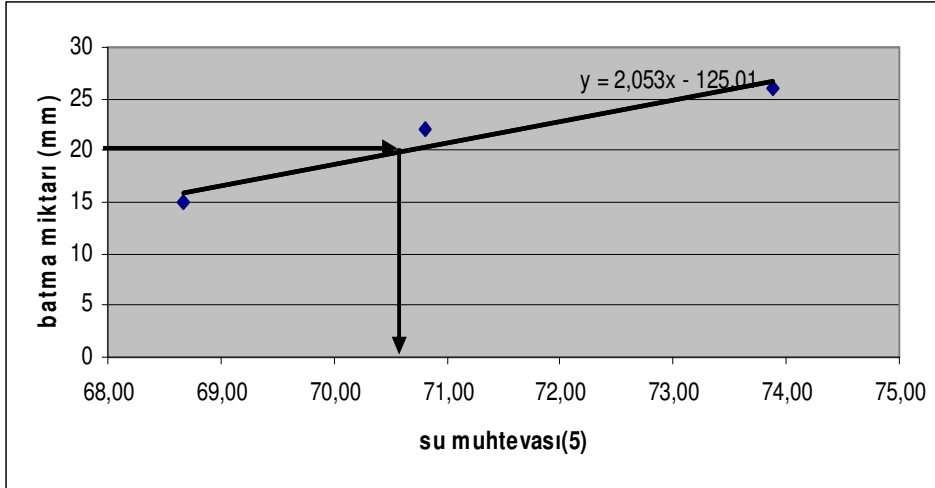


T.C.
MERSİN ÜNİVERSİTESİ
Mersin Meslek Yüksekokulu

Numunenin No:2 LİKİT LİMİT DENEYİ

Kap no	1	2	3
Batma mik (mm)	15	22	26
Yaş toprak+kap g	23,50	33	36,70
Kuru toprak+kap g	17,80	23,30	25,10
Su miktarı g	5,70	9,70	11,60
Kap g	9,50	9,60	9,40
Kuru toprak g	8,30	13,70	15,70
Rutubet %	68,67	70,80	73,89

20 mm batmaya karşılık gelen su muhtevası değeri—70,67



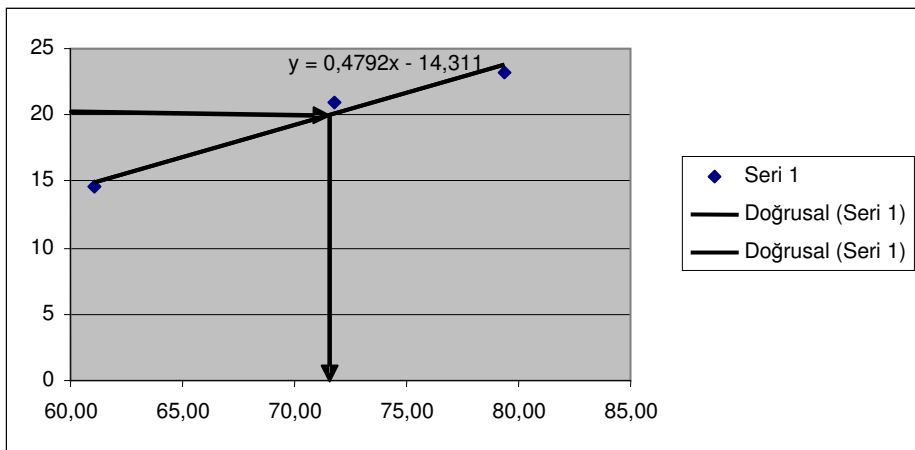


T.C.
MERSİN ÜNİVERSİTESİ
Mersin Meslek Yüksekokulu

Numunenin No:3 LİKİT LİMİT DENEYİ

Kap no	1	2	3
Batma mik (mm)	14,60	21	23,20
Yaş toprak+kap g	24	28,3	26,7
Kuru toprak+kap g	18,5	20,4	19
Su miktarı g	5,5	7,9	7,7
Kap g	9,50	9,40	9,30
Kuru toprak g	9	11	9,7
Rutubet %	61,11	71,82	79,38

20 mm batmaya karşılık gelen su muhtevası değeri—71,60



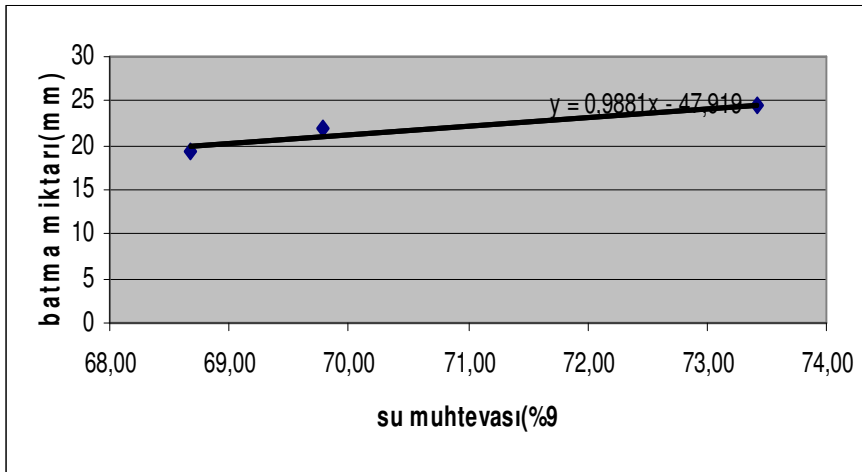


T.C.
MERSİN ÜNİVERSİTESİ
Mersin Meslek Yüksekokulu

Numunenin No:4 LİKİT LİMİT DENEYİ

Kap no	1	2	3
Batma mik (mm)	19,2	22	24,4
Yaş toprak+kap g	23,5	33	36,7
Kuru toprak+kap g	17,8	23,3	25,1
Su miktarı g	5,70	9,7	11,60
Kap g	9,50	9,4	9,3
Kuru toprak g	8,3	13,90	15,8
Rutubet %	68,67	69,78	73,42

20 mm batmaya karşılık gelen su muhtevası değeri—68,73





T.C.
MERSİN ÜNİVERSİTESİ
Mersin Meslek Yüksekokulu

PLASTİK LİMİT DENEYİ

Numunenin No	1	1	2	2
Kap no	1	2	3	4
Yaş toprak+kap g	10,70	10,93	10,40	10,50
Kuru toprak+kap g	9,79	10,00	9,60	9,69
Su miktarı g	0,91	0,93	0,80	0,81
Kap g	6,70	6,70	6,70	6,70
Kuru toprak g	3,09	3,30	2,90	2,99
Rutubet %	29,45	28,18	27,59	27,09



T.C.
MERSİN ÜNİVERSİTESİ

Mersin Meslek Yüksekokulu

İNCE ZEMİN DANELERİ İÇİN ÖZGÜL AĞIRLIK ÖLÇÜMÜ

Numune no.	1	1	2	2
Şişe no :	1	2	3	4
Şişe ağırlığı (W ₁) g	44,4	49,9	46,1	44,5
Şişe + numune ağırlığı (W ₂) g	68,7	74,3	72,3	67
Şişe + numune +su ağırlığı (W ₃) g	159,1	164,6	160,3	157,2
Sadece su ile dolu şişe ağırlığı (W ₄) g	143,7	149,2	143,8	143
Numune ağırlığı (W ₂ - W ₁) g	24,3	24,4	26,2	22,5
Şişeyi dolduran su ağırlığı (W ₄ - W ₁) g	99,3	99,3	97,7	98,5
Zemine eklenen su ağırlığı (W ₃ - W ₂) g	90,4	90,3	88	90,2
Numune hacmi (W ₄ -W ₁) (W ₃ -W ₂) g	8,9	9	9,7	8,3
Zemin danelerinin özgül ağırlığı Gs= $\frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$	2,73	2,71	2,70	2,71



T.C.
MERSİN ÜNİVERSİTESİ

Mersin Meslek Yüksekokulu

DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞIN BULUNMASI

Numunenin alıcının iç hacmi ($V_c = 34 \text{ cm}^3$), $3,8 \times 3 \text{ cm}$

Numune numarası	1	2	3	4
Numune alıcı + yaş numune kütlesi (M_s) g	75,80	75	74,90	73,80
Numune alıcının kütlesi (M_c) g	9,4	9,4	9,50	9,4
Yaş numune ağırlığı ($M_s - M_c$) g	66,40	65,60	65,40	64,40
Zeminin yaş yoğunluğu ($\rho_n = (M_s - M_c) / V_c$), t/ m ³	1,95	1,93	1,92	1,89
Zeminin yaş birim hacim ağırlığı ($\gamma_n = \rho_n \times g$), kpa	19,50	19,30	19,20	18,90



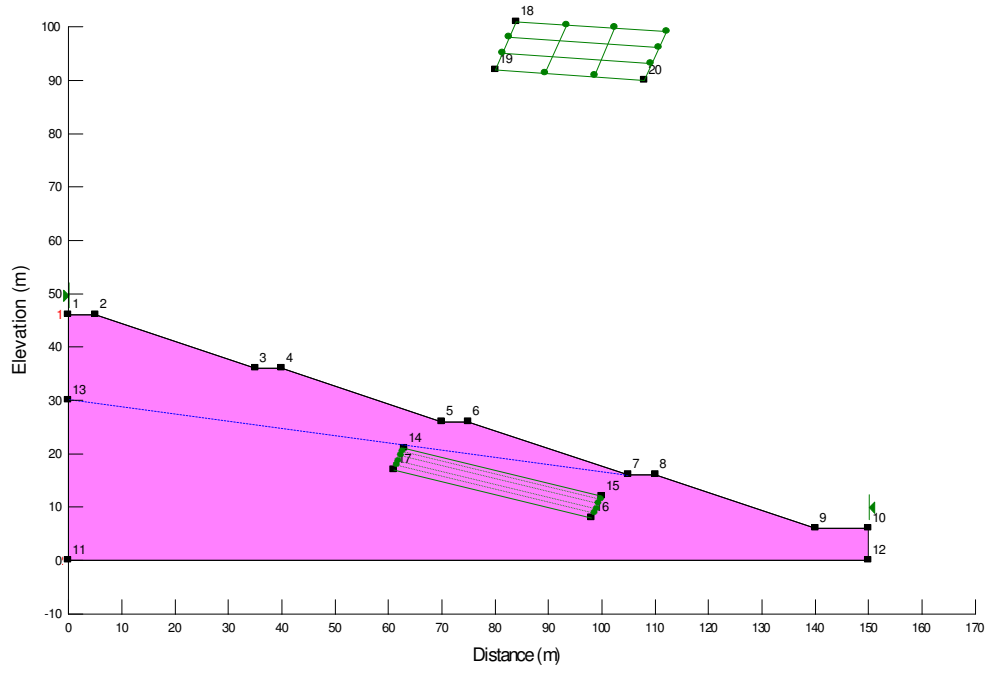
T.C.
MERSİN ÜNİVERSİTESİ

Mersin Meslek Yüksekokulu

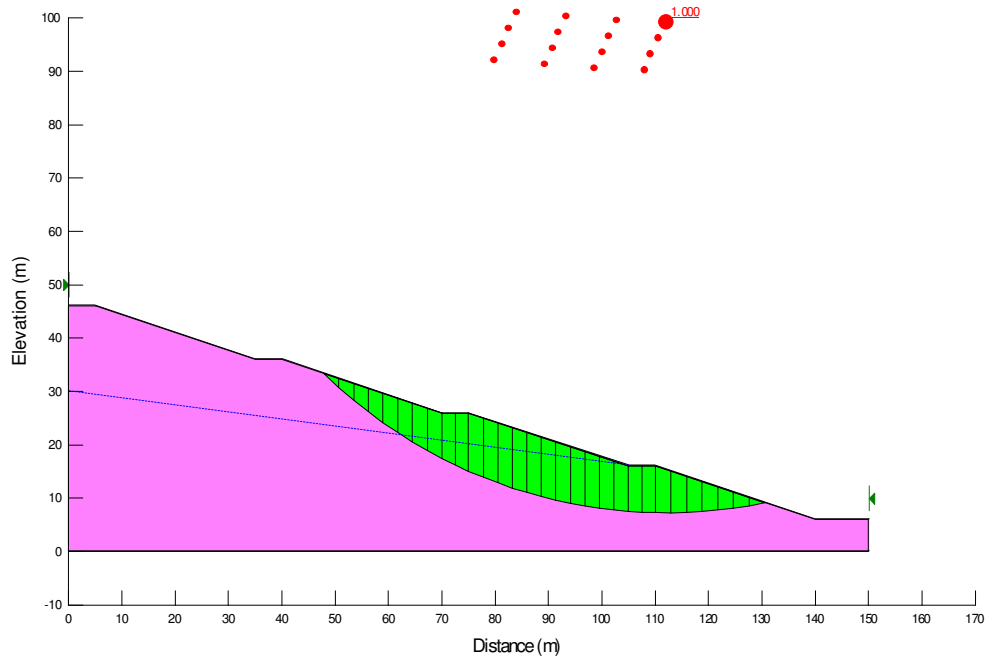
DOĞAL NEM İÇERİĞİ BULUNMASI

Muayene çukuru no.	1	1	2	2
Kap no.	1	2	3	4
Yaş zemin+kap kütlesi g	69,97	94,82	82,00	84,67
Kuru zemin +kap kütlesi g	60,30	79,99	69,90	71,6
Su kütlesi	9,67	14,83	12,10	12,10
Kap kütlesi	9,40	9,40	9,40	9,40
Kuru zemin kütlesi g	50,90	70,59	60,50	62,20
Rutubet %	19,00	21,01	20,00	21,01

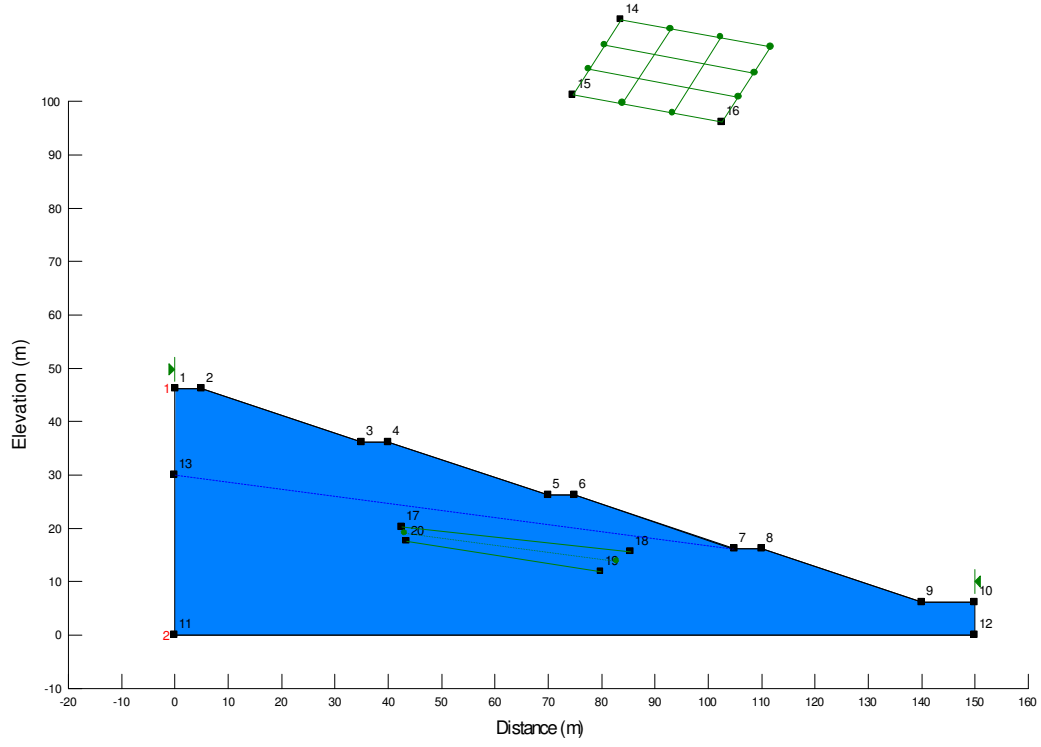
EK 6 GERİ ANALİZ GRAFİKLERİ



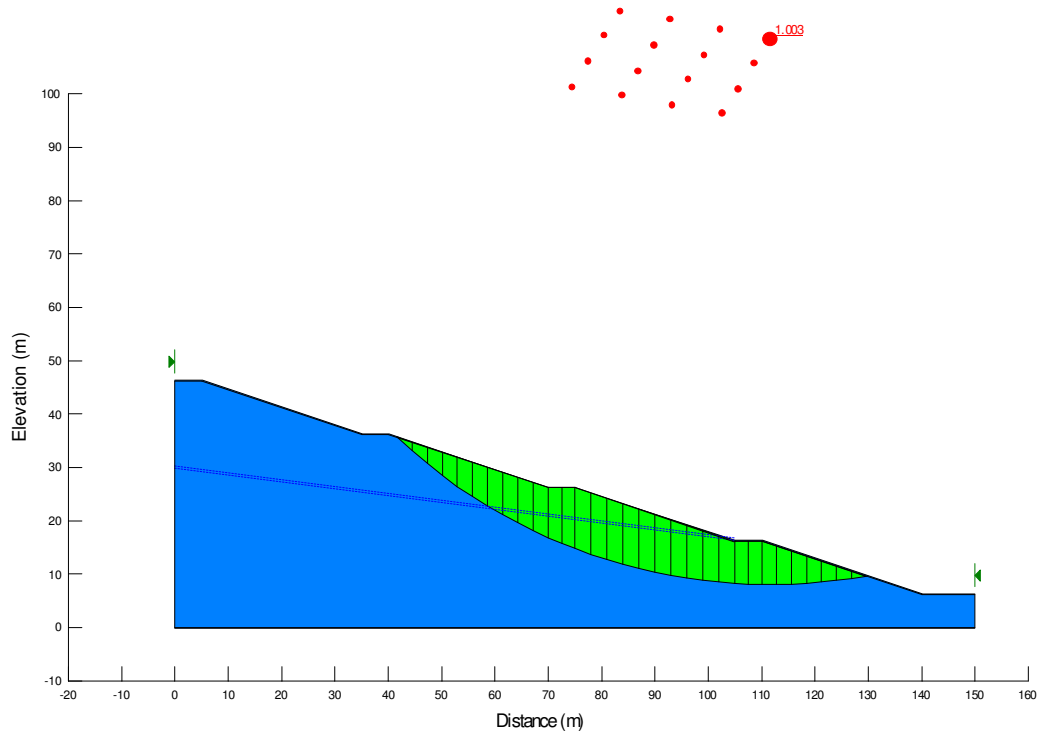
Otoyolun 1-1(km15+920) kesiti duraylılık analizi grafiği



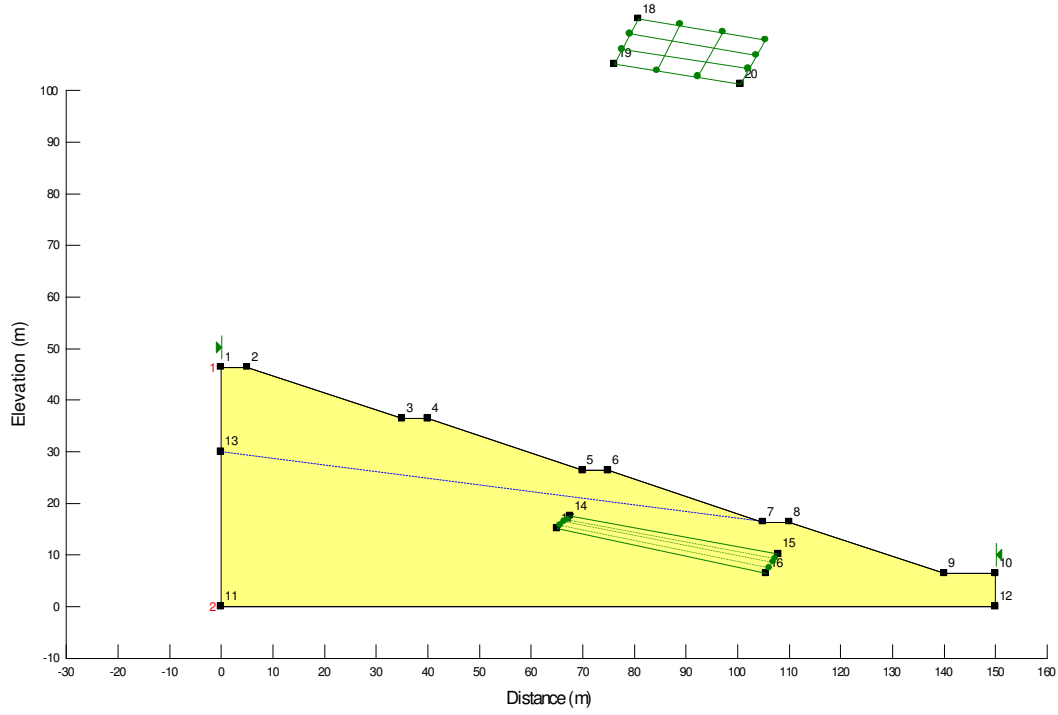
Otoyolun 1-1(km15+920) kesiti kayma dairesi diyagramı



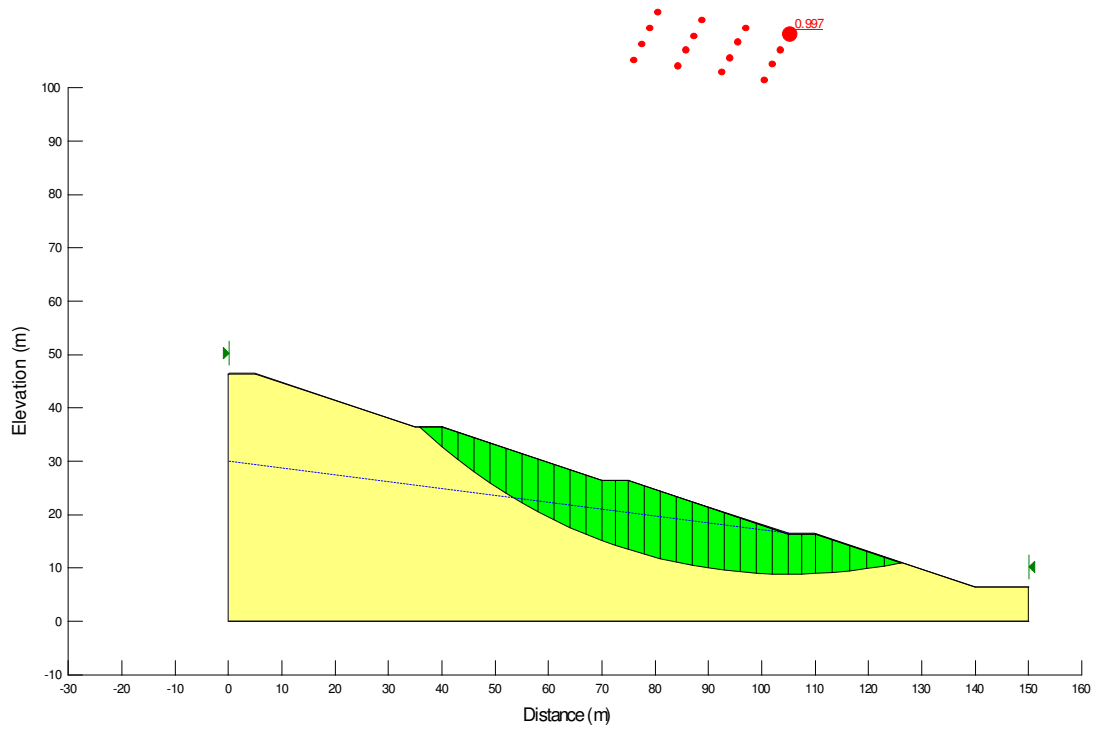
Otoyolun 2-2 (km15+927) kesiti duraylılık analizi grafiği



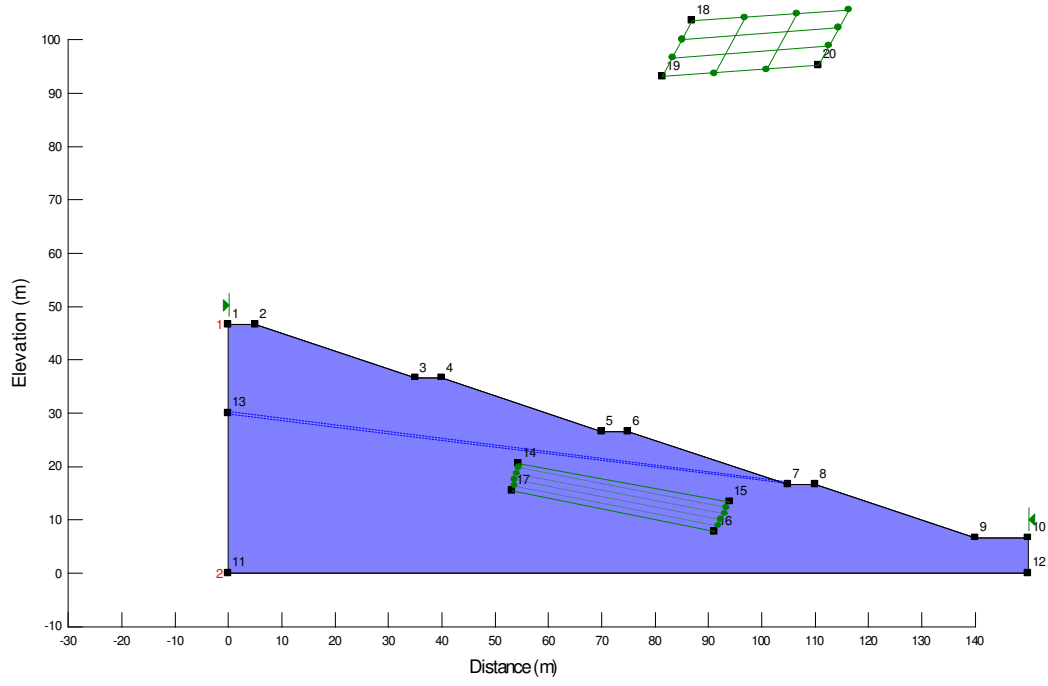
Otoyolun 2-2 (km15+927) kesiti kayma dairesi diyagramı



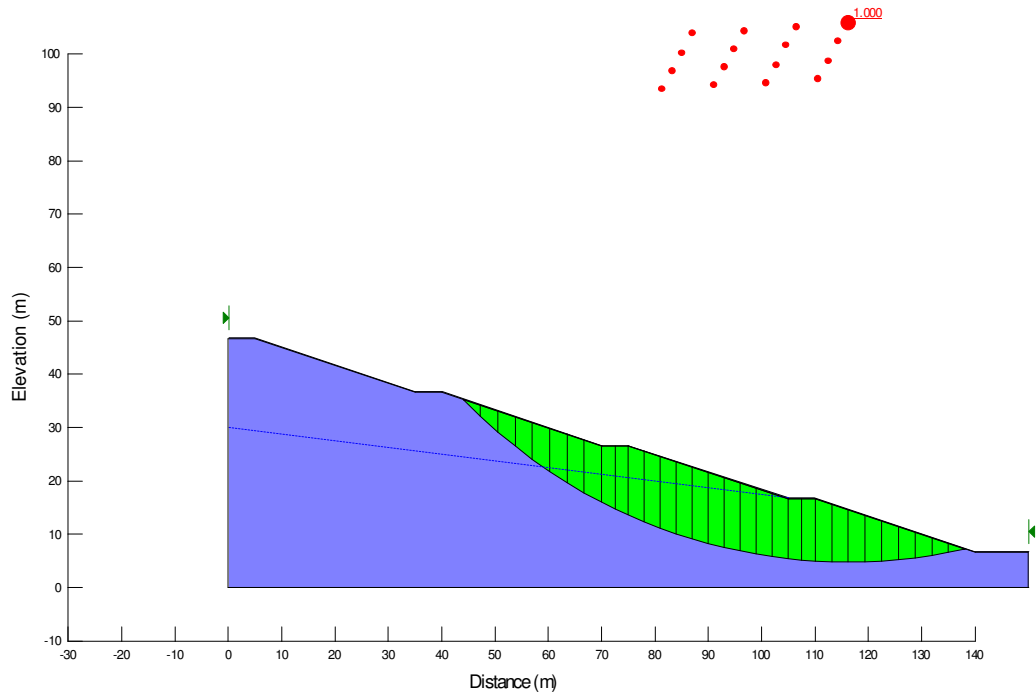
Otoyolun 3-3 (km15+936) kesiti duraylılık analizi grafiği



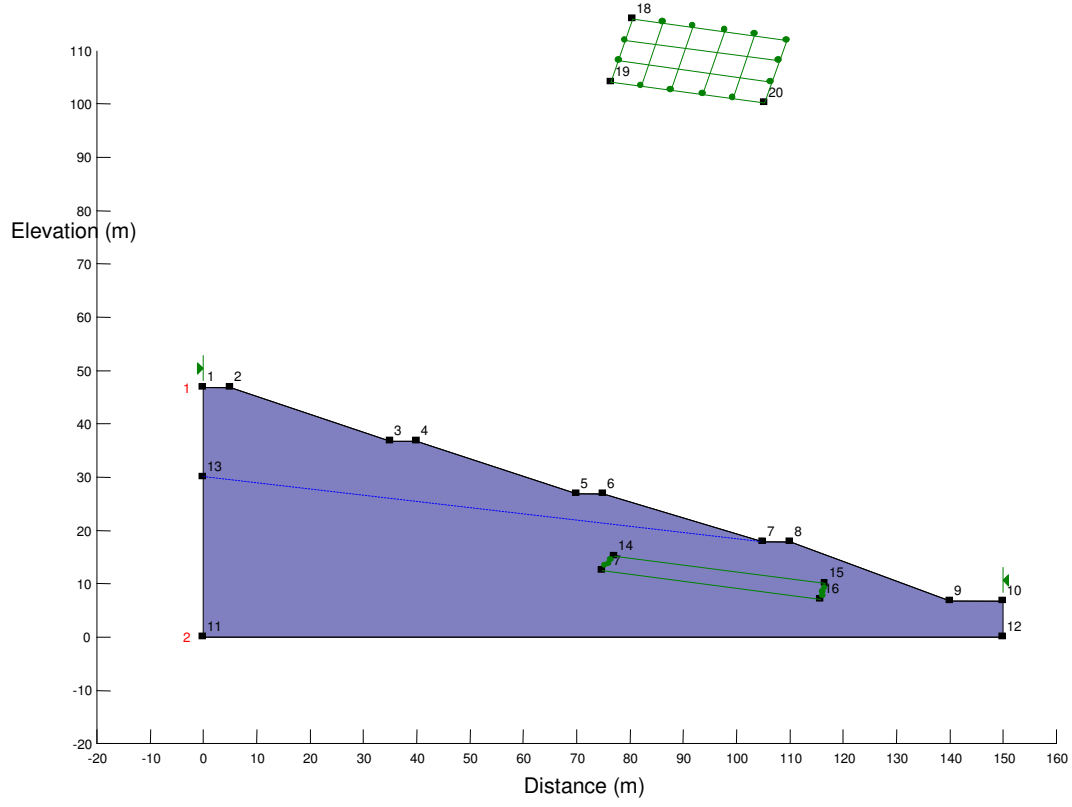
Otoyolun 3-3(km15+936) kesiti kayma dairesi diyagramı



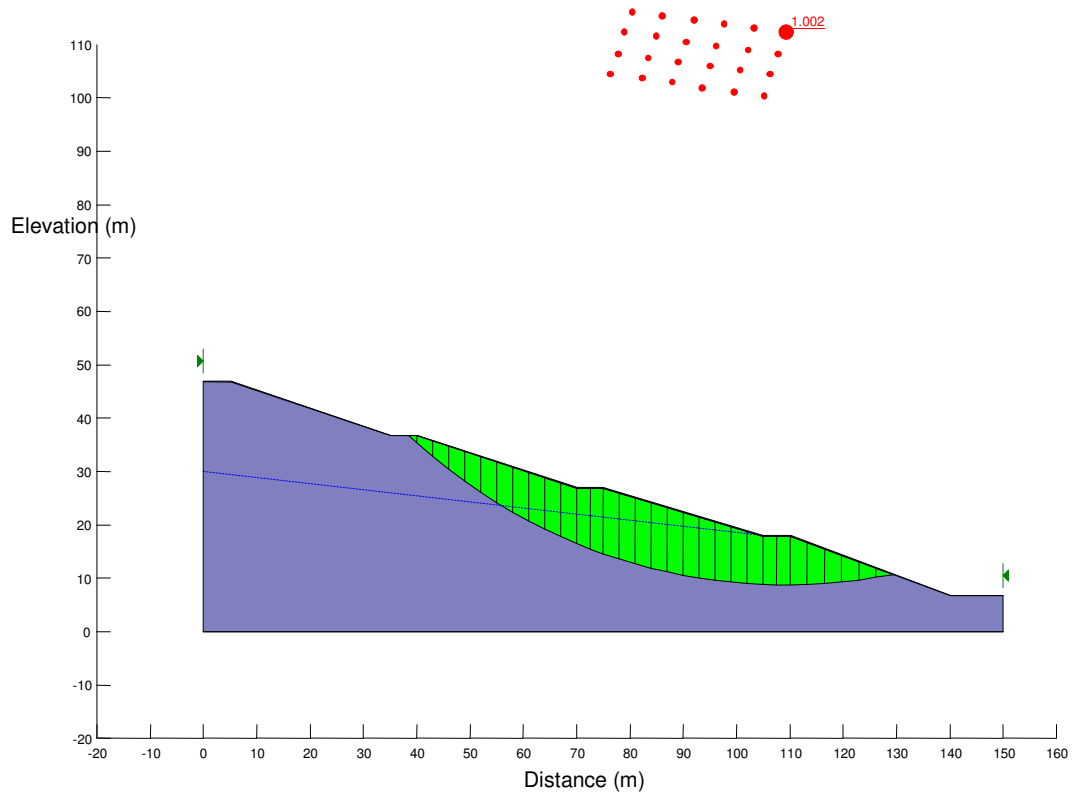
Otoyolun 4-4(km15+945) kesiti duraylılık analizi grafiği



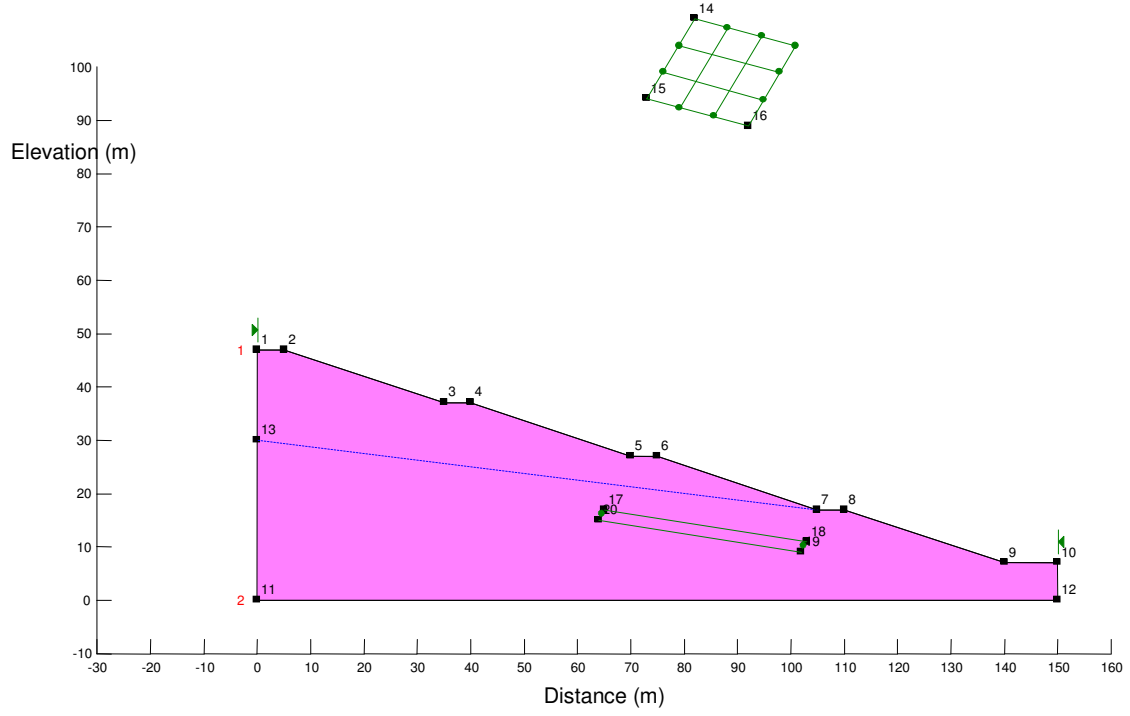
Otoyolun 4-4(km115+945) kesiti kayma dairesi diyagramı



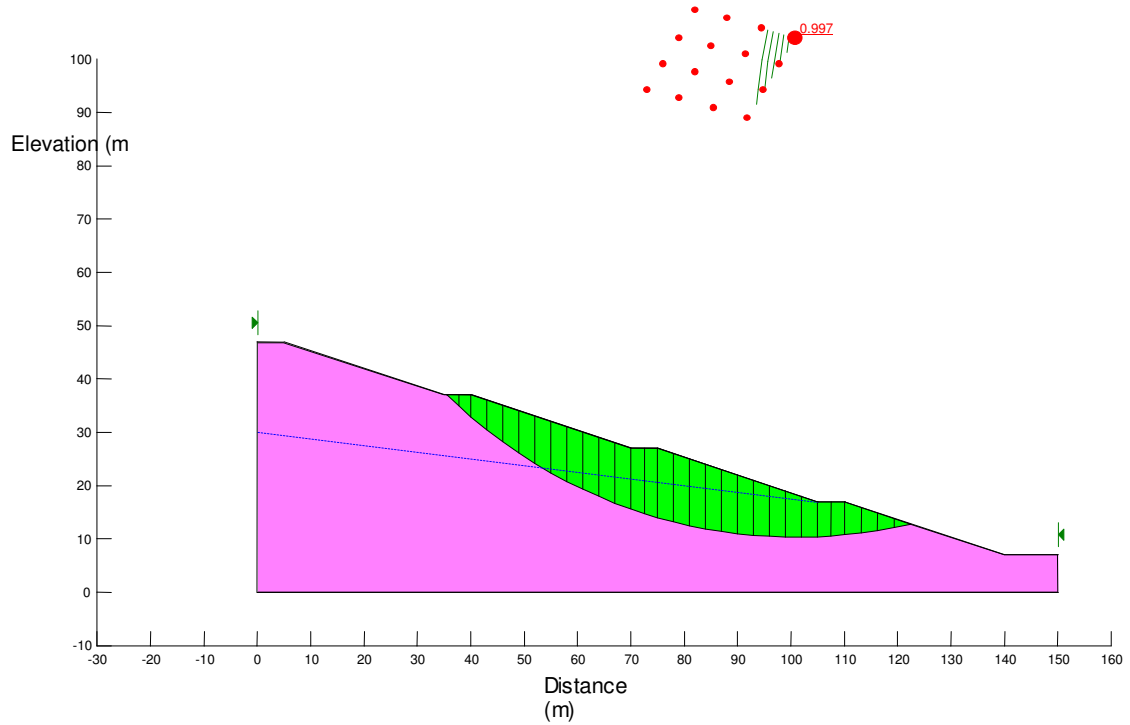
Otoyolun 5-5 (km15+954) kesiti duraylılık analizi grafiği



Otoyolun 5-5(km15+954) kesiti kayma dairesi diyagramı

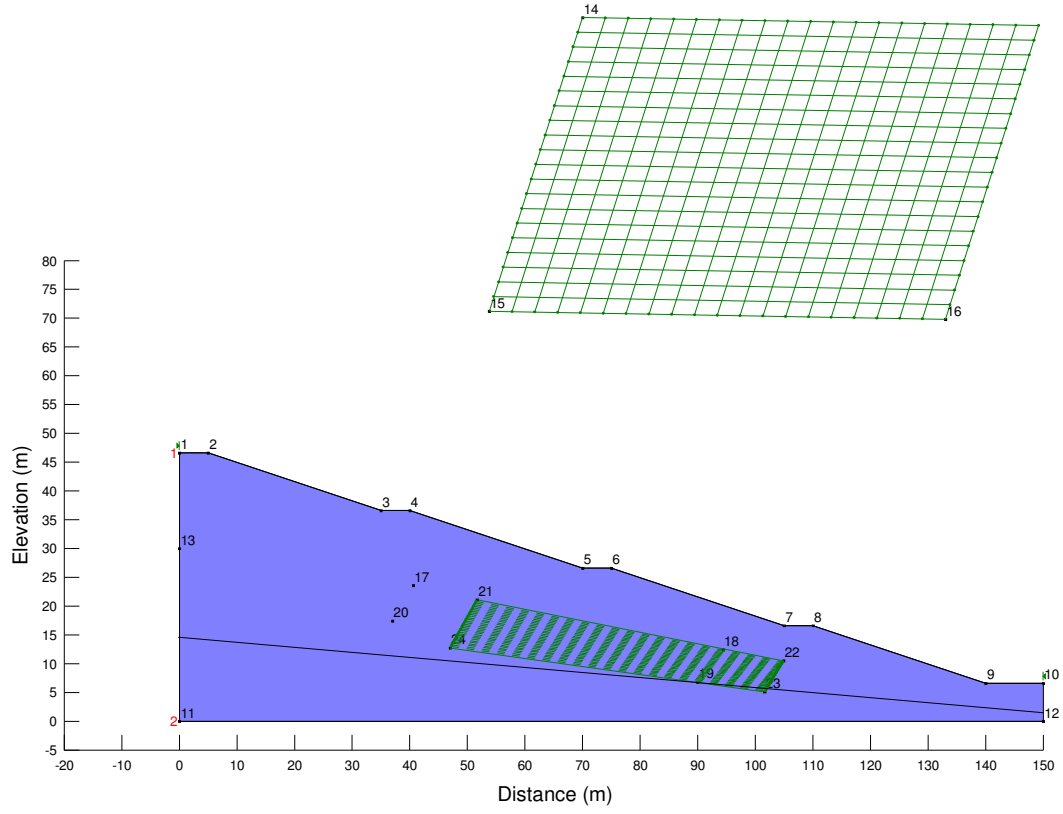


Otoyolun 6-6 (km15+962) kesiti duraylılık analizi grafiği

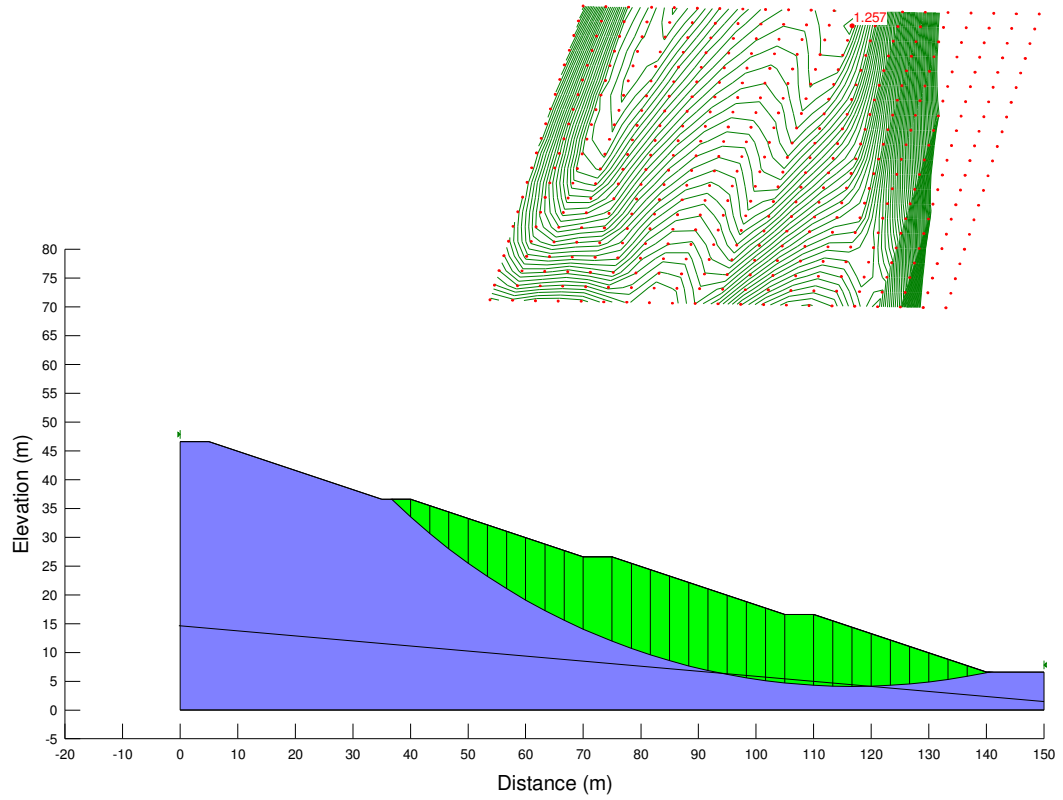


Otoyolun 6-6 (km15+962) kesiti kayma dairesi diyagramı

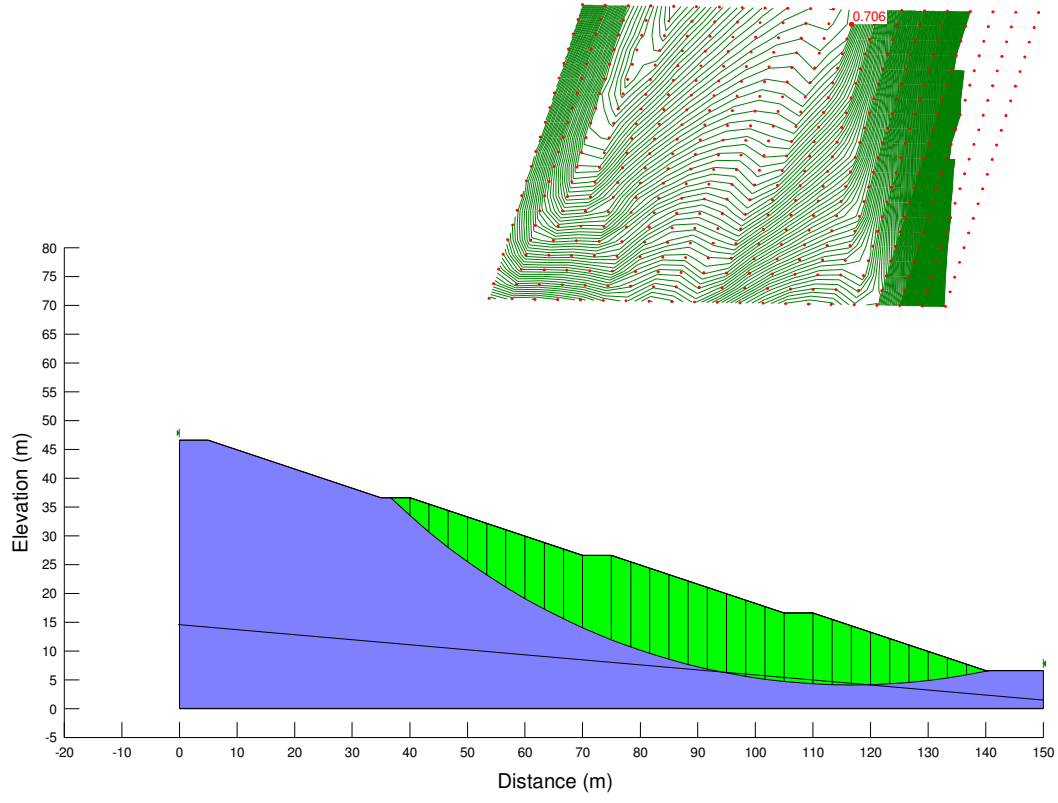
EK 7 HEYELANIN 4-4 (KM 15+945) KESİTİ
KAYMADAN ÖNCEKİ DURUM İÇİN
STABİLİTE ANALİZ GRAFİKLERİ



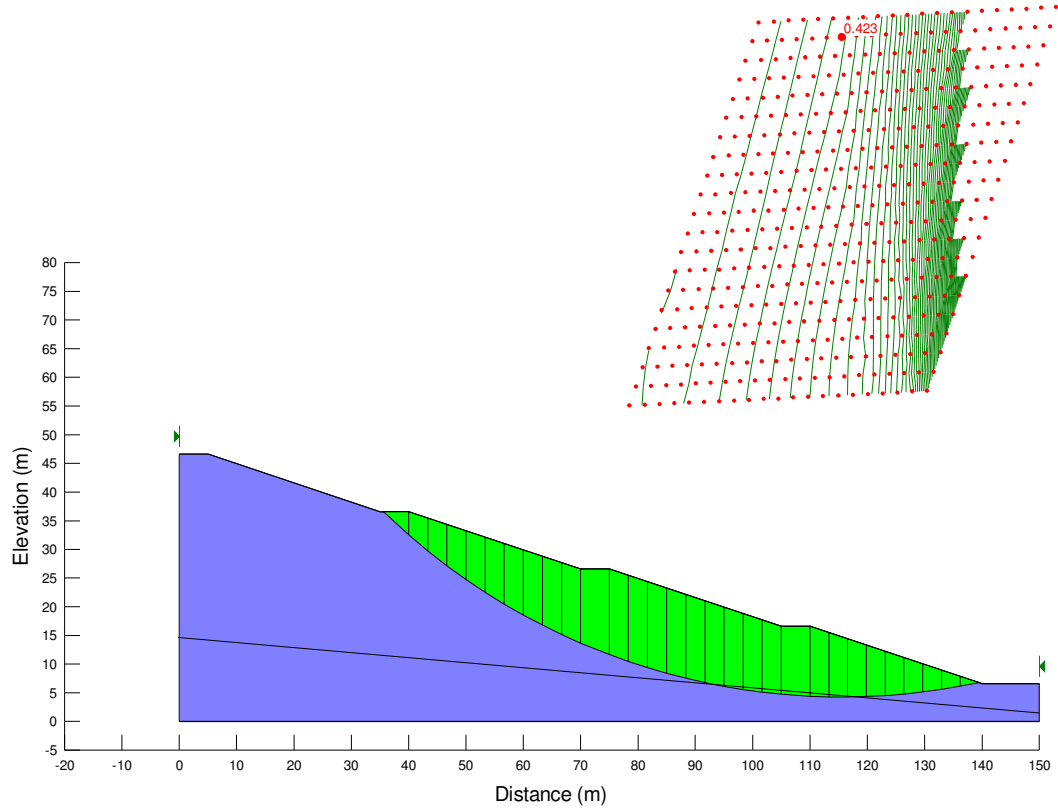
Şev stabilite (duraylılık) analizi grafiği



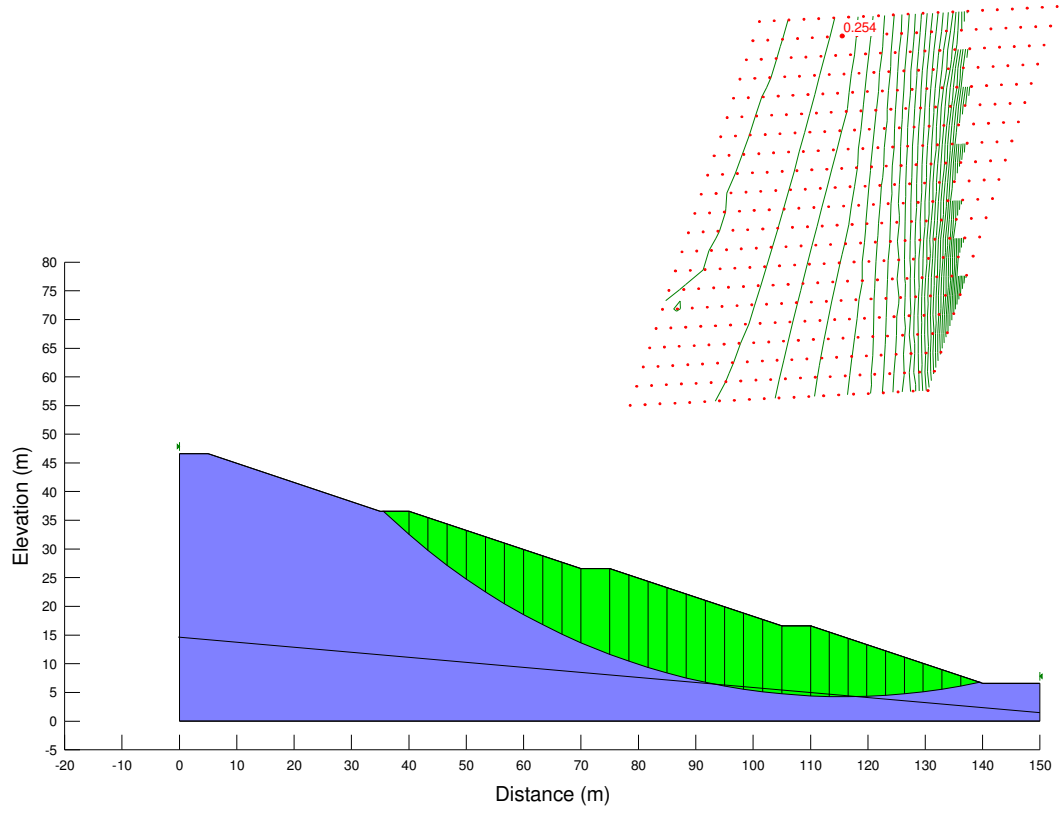
Koşul 1 için kayma dairesi diyagramı



Koşul 2 için kayma dairesi diyagramı

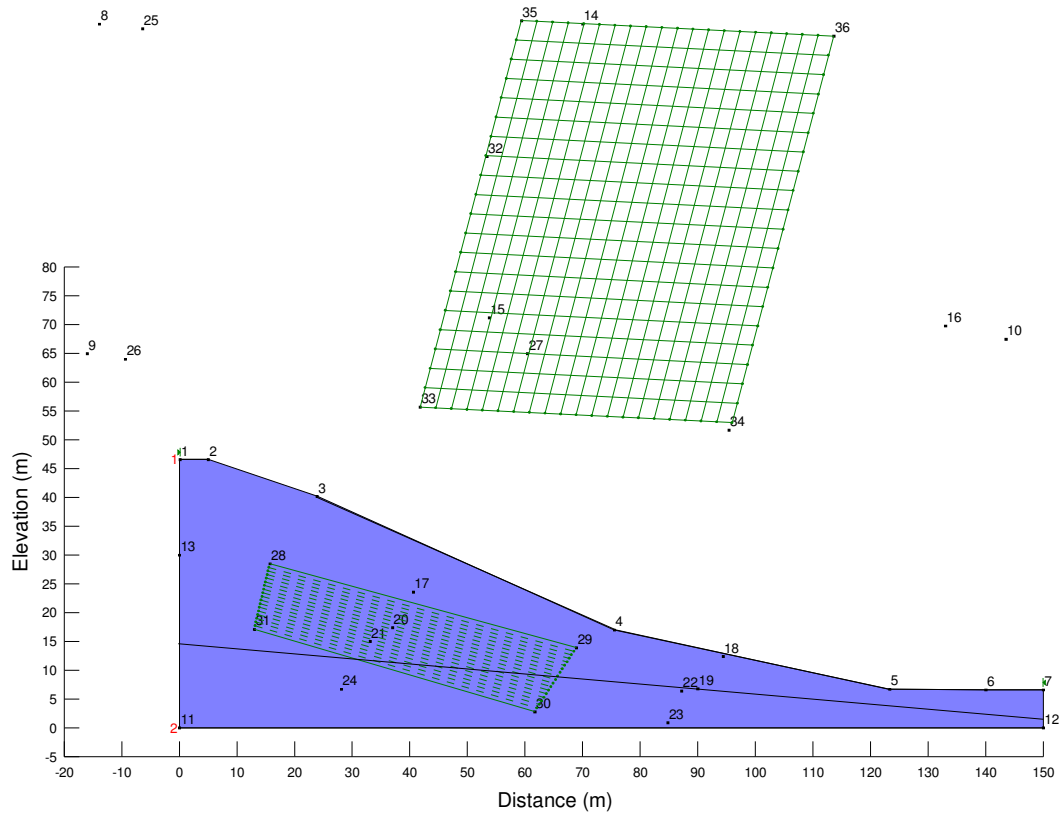


Koşul 3 için kayma dairesi diyagramı

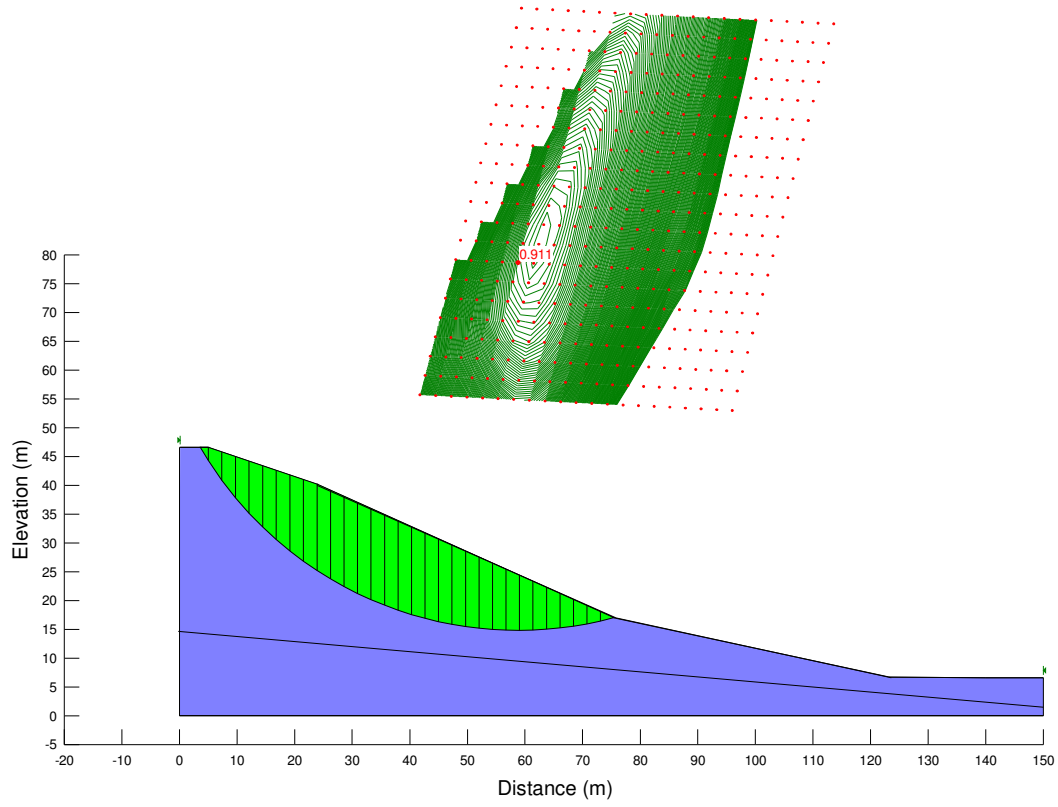


Koşul 4 için kayma dairesi diyagramı

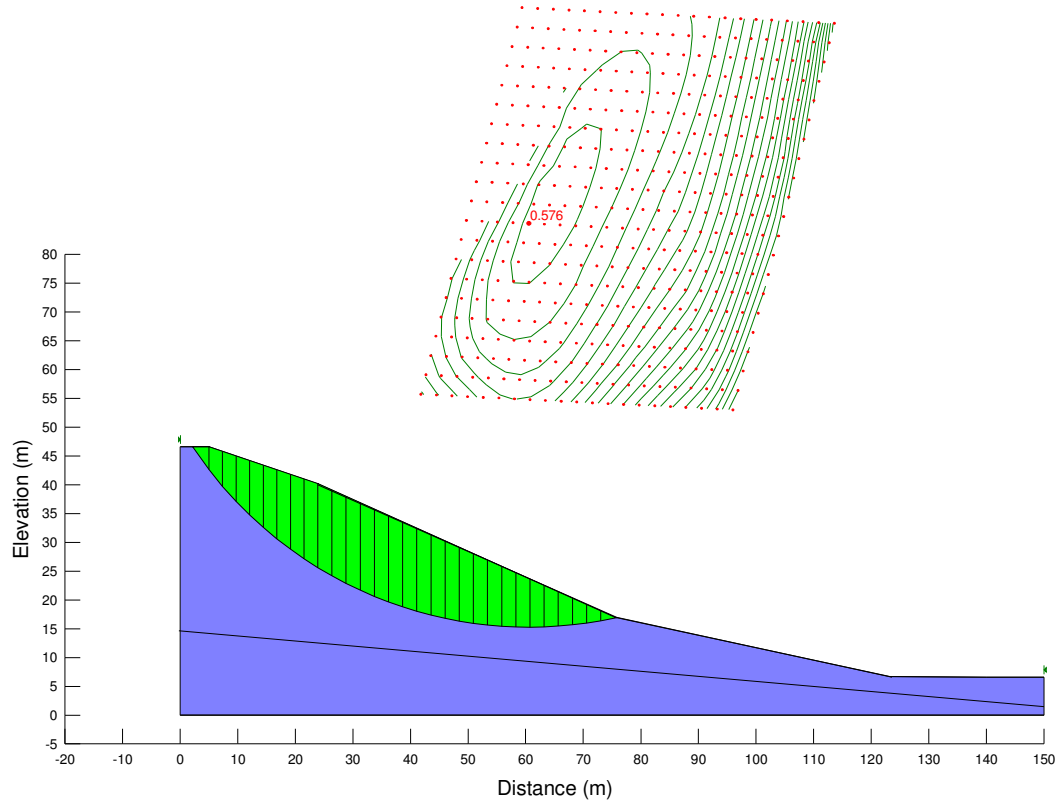
EK 8 HEYELANIN 4-4 (KM 15+945) KESİTİ
SIYIRMA KAZISI SONRASI DURUM İÇİN
STABİLİTE ANALİZ GRAFİKLERİ



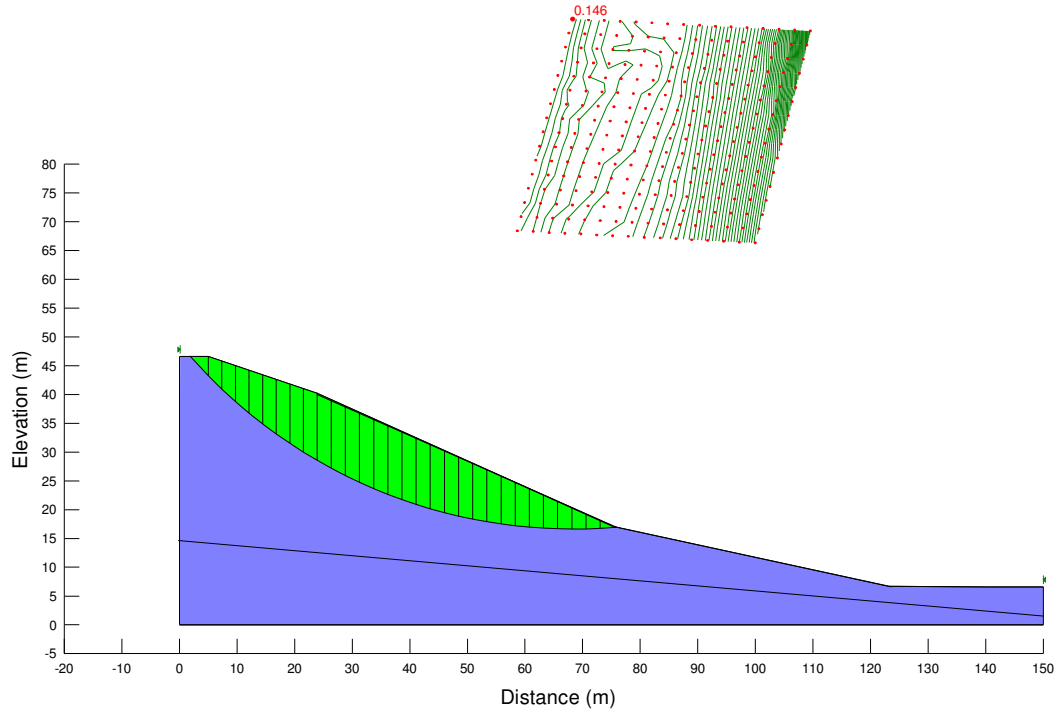
Şev stabilite (duraylılık) analizi grafiği



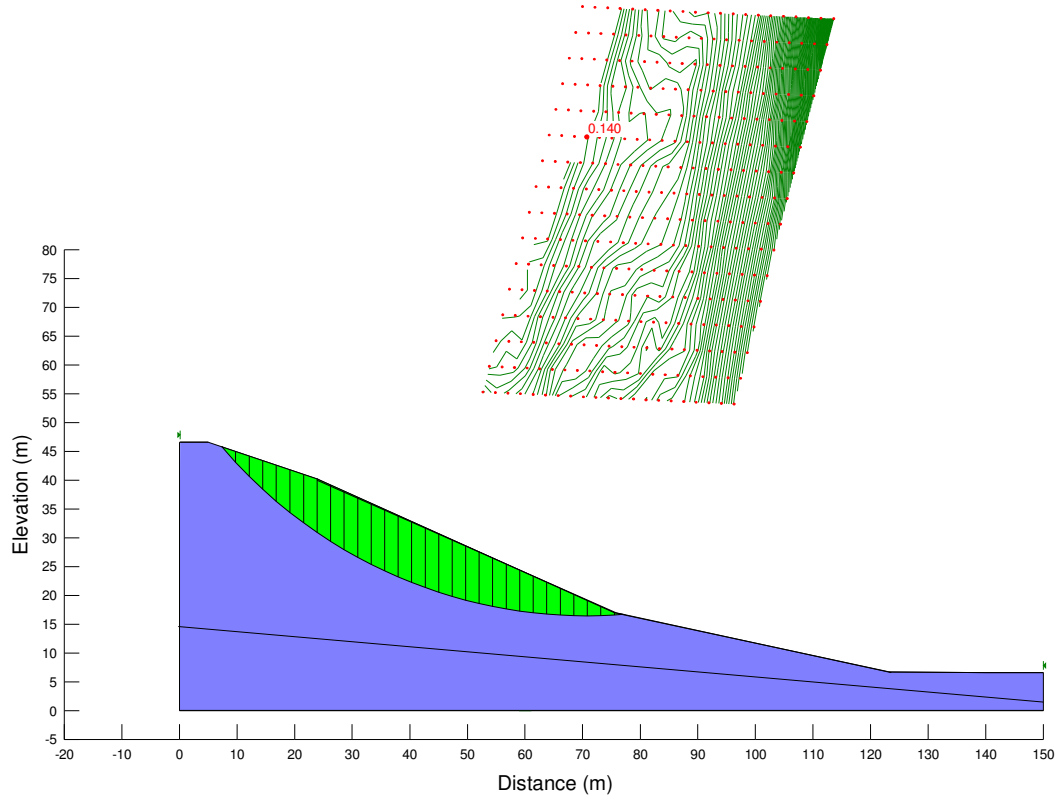
Koşul 1 için kayma daresi diyagramı



Koşul 2 için kayma dairesi diyagramı

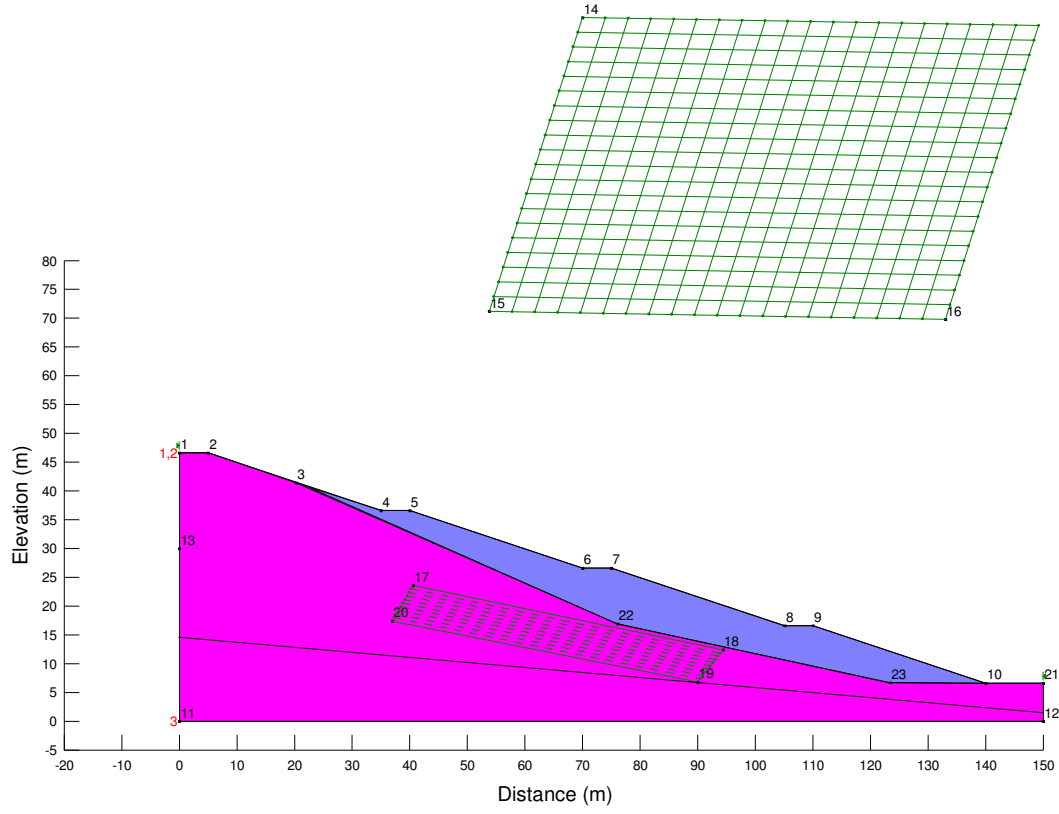


Koşul 3 için kayma dairesi diyagramı

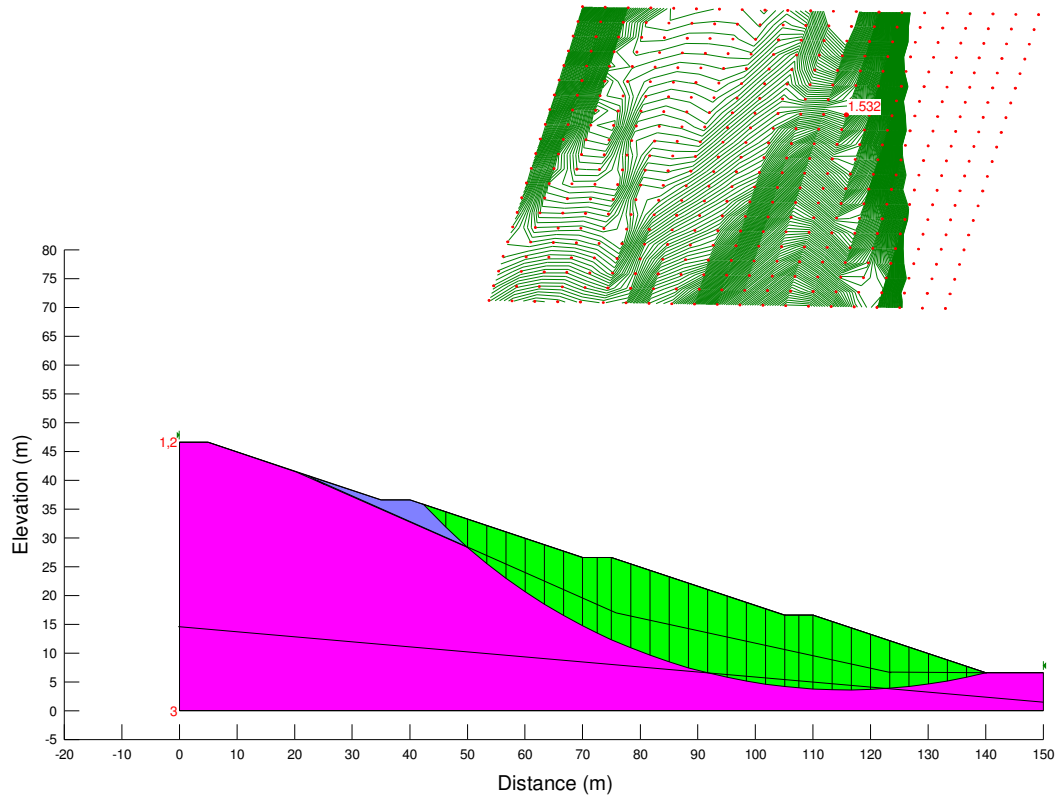


Koşul 4 için kayma dairesi diyagramı

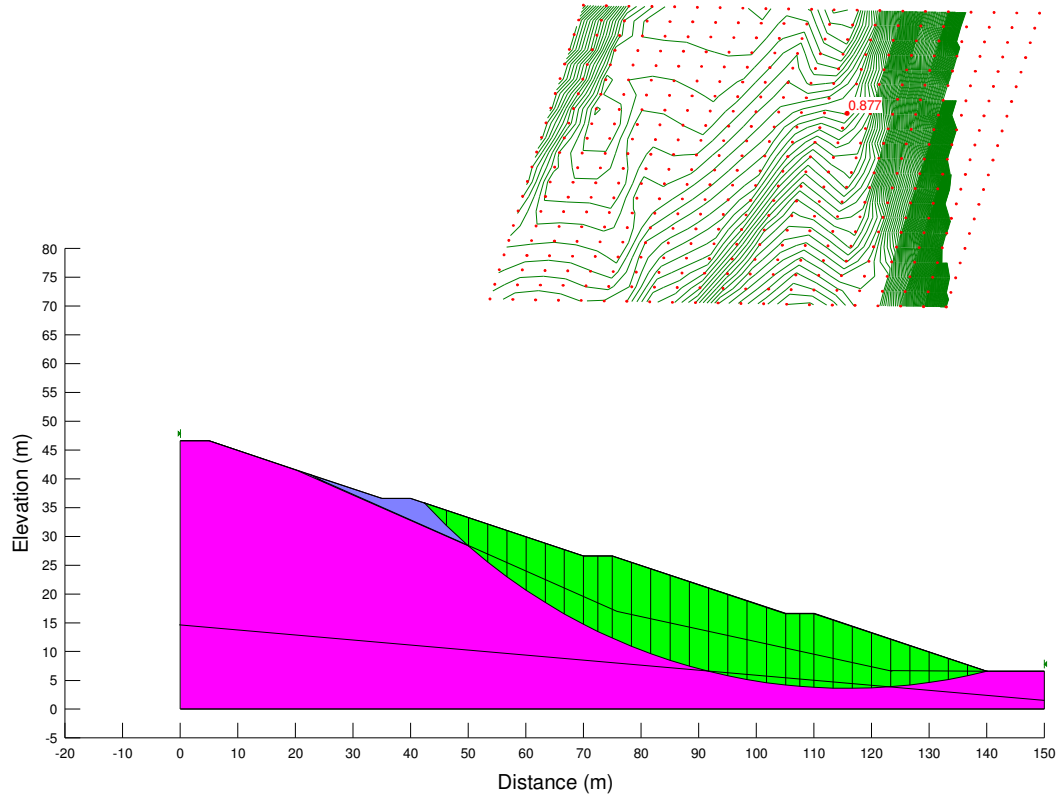
EK9 HEYELANIN 4-4 (KM 15+945) KESİTİ
İYİLEŞTİRME YAPILDIKTAN SONRAKİ DURUM İÇİN
STABİLİTE ANALİZ GRAFİKLERİ



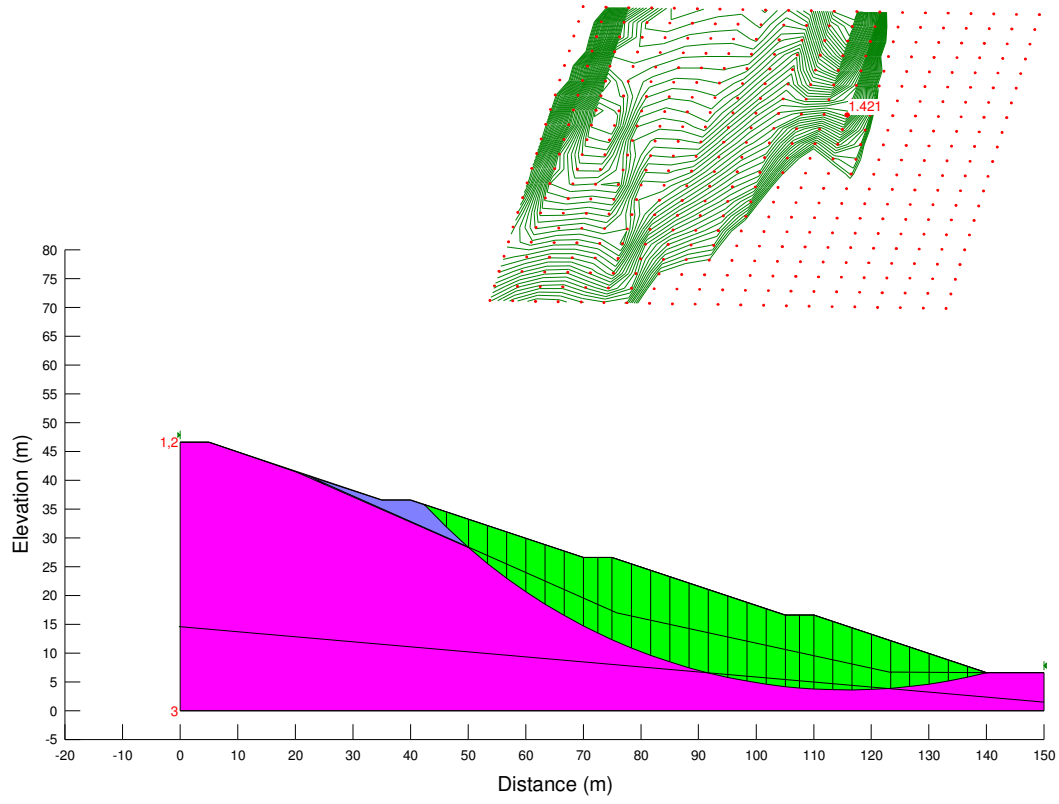
Şev stabilite (duraylılık) analizi grafiği



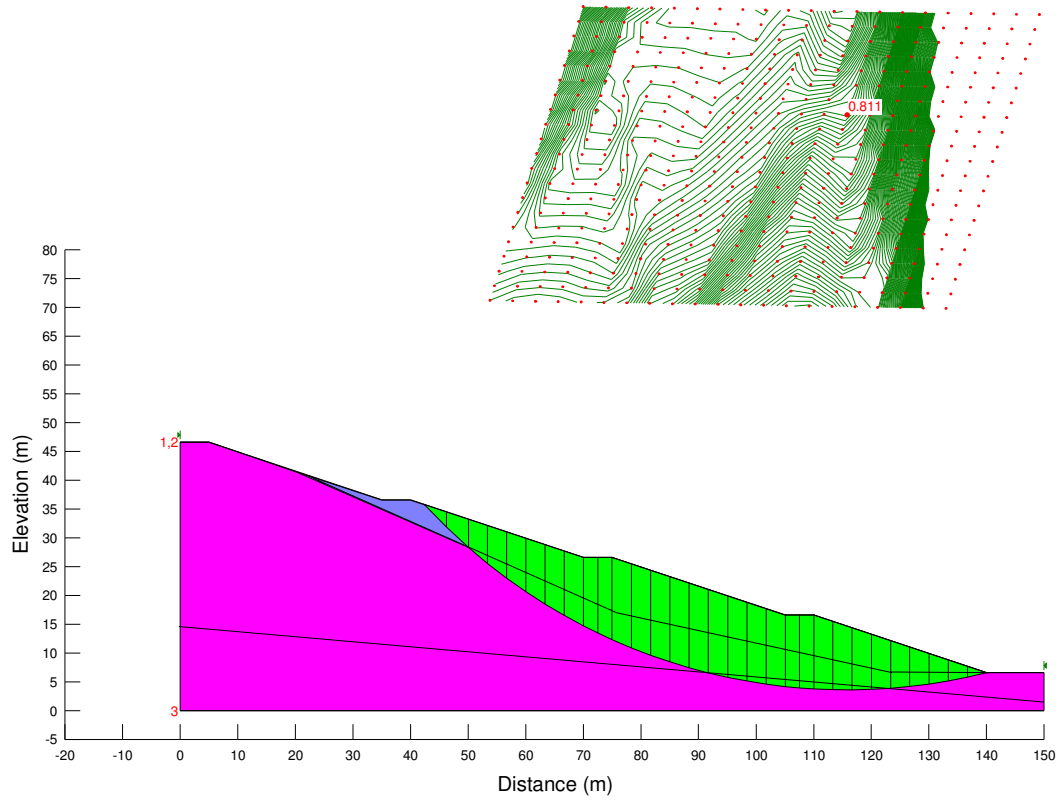
Koşul 1 için kayma dairesi diyagramı



Koşul 2 için kayma dairesi diyagramı



Koşul 3 için kayma dairesi diyagramı



Koşul 4 için kayma dairesi diyagramı