

**TKİ - HİMMETOĞLU LİNYİT AÇIK İŞLETMESİNDEKİ
ŞEVLERİN DURAYLILIĞININ DETERMİNİSTİK VE OLASILIĞA
DAYALI YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**ASSESSMENT OF STABILITY OF SLOPES AT TKİ -
HİMMETOĞLU OPEN-PIT MINE BY DETERMINISTIC AND
PROBABILISTIC METHODS**

Ergün TUNCAY

84245

**Hacettepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK MÜHENDİSLİK TEZİ
olarak hazırlanmıştır**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**


Ağustos, 1999

84245

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda**
YÜKSEK MÜHENDİSLİK TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan


Prof. Dr. Vedat DOYURAN

Üye


Prof. Dr. K. Erçin KASAPOĞLU

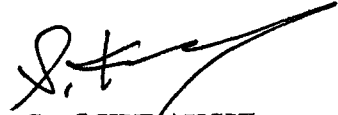
Üye (Danışman)


Doç. Dr. Reşat ULUSAY

ONAY

Bu tez/...../1999 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../1999


Prof. Dr. Seyfi KULAKSIZ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖZET

Bu çalışma, TKİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilmekte olan Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesinde karşılaşılan şev duraysızlıklarının mekanizmasının araştırılması, işletme açısından önem taşıyan güney şevinin deterministik ve olasılık esaslı yöntemlerle tasarımı ve her iki yöntemden elde edilen sonuçların karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla işletmede ve laboratuvarında ölçümler ve deneyler, ayrıca tasarıma yönelik çok sayıda duraylılık analizi yapılmıştır.

Arazi çalışmaları kapsamında; işletmenin mühendislik jeolojisi-dökümantasyon haritası hazırlanmış, hareket izleme çalışması yapılmış, duraysızlıklar incelenmiş, süreksizliklere ilişkin veri toplanmış ve laboratuvar deneyleri için örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Bu aşamadan sonra laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları saha gözlemlerinden elde edilen verilerle birlikte değerlendirilerek şev duraysızlıklarının mekanizmaları belirlenmiştir.

Gözlemlere ve hareket izleme verilerine göre, marnlardaki ve kömür horizonundaki tabakalanmanın güneyde ocak içine doğru eğimli olması ve D-B doğrultulu fayların varlığı, çok düzlemli bir kayma yüzeyinin (aktif-pasif kama) meydana gelmesine yol açmaktadır. Duraysızlıkların geriye dönük analiz sonuçları da bu mekanizmayı doğrulamış, ayrıca kayma sırasında tabakalanma ve fay yüzeylerinin makaslama dayanımlarının artık değerlere düştüğü belirlenmiştir. Deterministik ve olasılık esaslı kinematik analizler, faylar ve eklemlerin denetlediği kama türü kayma olasılığını göstermiş ve buna göre emniyetli basamak açıları saptanmıştır. Bunun yanısıra, tabakalanma yönelimlerindeki değişim aralıklarına göre düzlemsel kayma riskinin olabileceği şev yönelimleri için grafikler hazırlanmıştır.

Emniyetli şev tasarımı amacıyla yapılan deterministik ve olasılık esaslı limit denge analizlerinin sonuçları, şev topuğundan kazı yapılmasının sakıncalı, bunun yerine üstten kademeli bir kazı sistemiyle oluşturulacak şev geometrisinin ise emniyetli olacağını göstermiştir. Dekapaj kazısının miktarı ve maliyeti baz alınarak her iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmış ve bu yöntemlerle saptanan optimum şev geometrilerinin benzer oldukları sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate slope instabilities in the Himmetoğlu (Göynük-Bolu) lignite open pit mine operated by Turkish Coal Enterprises (TKİ), to design the south slope of the pit for safe and economical operation by employing deterministic and probabilistic methods of analysis, and to compare the results obtained from both methods. For this purpose, measurements and tests are performed both in the pit and in the laboratory as well as a series of analysis are carried out for slope design.

Site investigations involve preparation of engineering geology-documentation map of the studied pit, monitoring of slopes, observations on instabilities, discontinuity surveys and sampling for laboratory testing. Then laboratory tests are carried out and their results are evaluated with data from site investigations to assess the mechanisms of slope instabilities.

On the basis of observations and movement monitoring data, bedding planes of the marls and the lignite horizon dipping towards the excavation at the south and the presence of normal faults striking E-W cause multi-planar sliding (active-passive wedge failure). The results of the back-analysis of the existing instabilities and directions of movement vectors also confirm this failure mechanism. These results also indicate that the residual shear strength along bedding and fault planes are mobilized along the sliding surface at the time of failure. Kinematic analyses based on conventional and probabilistic approaches reveal that wedge failures controlled by the intersection of faults and joints are possible and safe bench angles are determined. Besides, graphical plots are prepared according to variations in dip and strike of bedding planes and faults to estimate orientations along which planar failures are probable.

The results of the deterministic and probabilistic 2-D limit equilibrium analyses indicate that excavation from toe towards south through the south slope will cause stability problems, while an excavation sequence starting from upper benches and advancing to the toe of the slope will provide safe conditions. The results from both methods are compared in terms of amount of overburden to be removed and its cost, and it is concluded that the safe and economical slope geometries determined from both methods are very similar.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başından sonuna kadar yön gösterici olan ve ihtiyacım olan her türlü desteği sağlayan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Reşat ULUSAY'a sonsuz teşekkür ederim. Araştırmanın çeşitli aşamalarında yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU'na, Sayın Araş. Gör. Harun SÖNMEZ'e, saha çalışmalarında yardımcı olan Sayın Araş. Gör. Murat ERCANOĞLU ve Sayın Araş. Gör. Selim ERDOĞAN'a, saha çalışmaları sırasında sağladıkları lojistik destekten dolayı TKİ-OAL yetkilileri ve çalışanlarına, laboratuvar deneyleri sırasında yardımcı olan Sayın Ahmet BAY ve Sayın Özgür EROL'a, tezin yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Selma SÜLÜKÇÜ'ye, harita çizimlerini yapan Sayın Ayhan DEDEOĞLU'na ve yardımlarını gördüğüm Sayın Araş. Gör. Özgül ŞEN'e, Sayın Araş. Gör. Z. Abidin ERGÜLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu tezin oluşturulması süresince özveriyle destek olan ablama ve hiç bir fedakarlıktan çekinmeyerek her an desteğini hissettiren Elif'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Önceki Çalışmalar.....	2
2. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI	6
2.1. Coğrafi Konum.....	6
2.2. İklim ve Bitki Örtüsü.....	6
2.3. Morfoloji.....	9
2.4. Ulaşım ve Sosyo-Ekonomik Durum.....	9
3. İŞLETME YÖNTEMİ VE İŞLETMECİLİK SORUNLARI	11
4. JEOLOJİ	15
4.1. Stratigrafi.....	15
4.1.1. Temel Kayaçlar.....	17
4.1.1.1 Seben Formasyonu.....	17
4.1.1.2. Taraklı Formasyonu.....	17
4.1.1.3. Selvıpınar Kireçtaşı.....	17
4.1.1.4. Kızılçay Formasyonu.....	19
4.1.2. Neojen Çökelleri (Himmetoğlu Formasyonu).....	19
4.1.3. Kuvaterner Yaşlı Birimler.....	22
4.1.3.1. Kocabelen Tepe Çakılları.....	22

4.1.3.2. Alüvyon.....	26
4.2. Yapısal Jeoloji.....	28
4.2.1. Tabakalanma ve Kıvrımlanma.....	29
4.2.2. Eklemler.....	29
4.2.3. Faylar.....	31
5. JEOTEKNİK AMAÇLI SAHA ÇALIŞMALARI.....	34
5.1. Hat Etütleri.....	34
5.1.1. Süreksizliklerin Yönelimi.....	36
5.1.2. Süreksizlik Aralığı ve Devamlılığı.....	36
5.1.3. Süreksizlik Açıklığı ve Dolgu Özellikleri.....	42
5.1.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgalılığı.....	44
5.1.5. Süreksizlik Yüzeylerindeki Bozunma ve Su Durumu.....	44
5.2. İşletme ve Yakın Civarında Yeraltısuyu Koşulları.....	45
5.3. Şev Duraysızlıklarına İlişkin Gözlemler.....	47
5.4. Hareket İzleme Çalışmaları.....	53
5.5. Örnekleme.....	55
6. JEOMEKANİK PARAMETRELERİN TAYİNİ.....	58
6.1. Kayaç Mekaniği Deneyleri.....	58
6.1.1. Birim Hacim Ağırlık Tayinleri.....	59
6.1.2. Tabaka Yüzeylerinin Makaslama Dayanımı Parametreleri.....	59
6.2. Zemin Mekaniği Deneyleri.....	64
6.2.1. Birim Hacim Ağırlık ve Nem İçeriği Tayinleri.....	65
6.2.2. Zemin Sınıflama Deneyleri.....	65
6.2.2.1. Tane Boyu Dağılımı Analizleri.....	65
6.2.2.2. Atterberg Limitleri Tayinleri ve Zemin Sınıflaması.....	66
6.2.3. Zeminlerin Makaslama Dayanımı Parametreleri.....	70
7. KİNEMATİK ANALİZLER.....	76
7.1. Hakim Süreksizlik Setlerine Göre Kinematik Analizler.....	76

7.2. Olasılığı Esas Alan Kinematik Analizler.....	81
8. ŞEV DURAYSIZLIKLARININ MEKANİZMASININ ARAŞTIRILMASI...	99
8.1. Hareket İzleme Verilerinin Değerlendirilmesi.....	99
8.2. Duraysızlıkların Geriye Dönük Analizi.....	106
8.3. Güney Şevindeki Duraysızlıklara İlişkin Değerlendirme.....	116
9. ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ.....	120
9.1. Deterministik Yöntemle Şev Duraylılığın Değerlendirilmesi.....	120
9.1.1. 1-1' Kesitinde Duraylılık Analizi.....	123
9.1.2. 2-2' Kesitinde Duraylılık Analizi.....	125
9.1.3. 3-3' Kesitinde Duraylılık Analizi.....	127
9.1.4. Zemin Türü Birimlerde Açılacak Basamakların Duraylılığı.....	127
9.1.5. Genel Değerlendirme.....	131
9.2. Olasılığa Dayalı Yaklaşımla Duraylılığın Değerlendirilmesi.....	134
9.3. Maliyet Açısından Değerlendirme.....	146
10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	155
KAYNAKLAR.....	159
ÖZGEÇMİŞ.....	165
EKLER	

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa No.
5.1 Her süreksizlik için süreksizlik aralığı (\bar{x}) ve sıklığı değerleri (λ) ile süreksizlik aralığı (χ).....	42
5.2 Güney şevinde kurulmuş olan hareket izleme istasyonları.....	
6.1 Marnlardaki parlak-kaygan ve düz-mat tabaka yüzeylerinin genelleştirilmiş yenilme zarflarına ait eşitsizlikler.....	64
6.2 Zemin birimlerin indeks özelliklerinin istatistiksel değerlendirmesi.....	66
6.3 Zemin türü birimlerin makaslama deneylerinden elde edilen genelleştirilmiş yenilme zarflarına ait eşitlikler.....	72
7.1 5 ve 6 no' lu sektörlere ait süreksizlik kontur diyagramlarındaki asal dağılım eksenleri üzerinden okunan değerler.....	86
7.2 Süreksizlik yönelimlerinin kontur diyagramındaki dağılımlarının büyük ve küçük eksenlerine (asal dağılım eksenleri) ait χ^2 testlerinin sonuçları.....	88
9.1 Güney şevinin taban kili ve alüvyon malzemesinde kalan bölümleri için hesaplanan güvenlik katsayıları.....	131
9.2 Makaslama dayanımı parametrelerinin normal dağılıma uygunluklarının belirlenmesi için yapılan χ^2 testlerinin sonuçları..	139
9.3 Makaslama dayanımı parametrelerinin kümülatif olasılık eğrilerinden belirli olasılıklar için elde edilen değerleri.....	139
9.4 Tüm şev geometrileri için belirlenen F değerlerinin dağılımının normal dağılıma uygunluğunun araştırılması amacıyla yapılan χ^2 testlerinin sonuçları.....	145
9.5 1-1' kesitinde analizi yapılan tüm şev geometrileri için saptanan duraysızlık riskleri.....	145
9.6 3-3' kesitinde analizi yapılan güvenli şev geometrisi için gerçekleştirilen olasılığa dayalı analizden elde edilen güvenlik katsayısı değerlerinin histogramları ve standart normal dağılım eğrisi.....	146
9.7 Tasarlanan şev geometrilerinin oluşturulması için gerekli kazı hacmi, kazı maliyeti ve alınabilecek kömür hacmi.....	148

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
2.1 Çalışma alanı ve yer bulduru haritası.....	7
2.2 Himmetoğlu İşletmesi ve yakın civarına ait ortalama yağış ve sıcaklık histogramları.....	8
3.1 Himmetoğlu Açık İşletmesi A Panosunun doğu şevinden görünümü.....	12
3.2 Himmetoğlu Açık İşletmesinde uygulanan işletmecilik yönteminin şematik gösterimi.....	13
4.1 Çalışma alanı ve yakın civarının jeoloji haritası (Ulusay, 1998 a ve b' den düzenlenmiştir).....	16
4.2 Himmetoğlu linyit sahasının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Şener, 1992' den düzenlenmiştir).....	18
4.3 Himmetoğlu formasyonuna ait horizonun tabanında gözlenen taban kili.....	21
4.4 İşletmede üretimi yapılmakta olan linyit horizonundan bir görünüm	23
4.5 Güncel işletmenin doğu kesimine ait jeoloji kesitleri.....	24
4.6 Himmetoğlu İşletmesinde gözlenen bitüm laminalı marn zonu.....	25
4.7 İşletmenin güney şevinin üst basamaklarında yer alan alüvyondan sızan sular.....	27
4.8 İşletmenin doğu şevinde gözlenen kıvrımlanmanın görünümü.....	30
4.9 1. numaralı faydan ve kuzeydeki duraysızlıktan bir görünüm.....	33
5.1 Güncel işletmede süreksizliklerin ve şevlerin yönelimine göre ayırtlanmış sektörler.....	35
5.2 Himmetoğlu işletmesinde yapısal sektörlerle göre tabakalanma düzlemlerine ait kontur diyagramları.....	37
5.3 Sektörlere göre eklemeler için kontur diyagramları.....	40
5.4 Eklemeler için tüm sektörler birleştirilerek elde edilen kontur diyagramı ve başlıca eklem setleri.....	41
5.5 İşletmede yapılmış hat etütlerinden bir kaçına ait tipik süreksizlik (eklem) aralığı frekans dağılımı.....	43
5.6 Himmetoğlu işletmesinin güney kesiminde kazı sonrası yeraltısuyu seviyesi eşpotansiyel haritası (Ulusay vd., 1998a'dan)	46

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
5.7 İşletmenin kuzey şevinde meydana gelmiş HEYELAN 1 olarak kodlanmış duraysızlıktan bir görünüm.....	49
5.8 Kuzey şevinin topuğuna yakın kısımdaki yolda gözlenen kabarmalar.....	49
5.9 Güney şevinin üst kotlarında alüvyonda gelişmiş oturmalar.....	51
5.10 Şubat 1998'de kömür horizonunun yaklaşık 8-10m üzerinde gözlenen ve HEYELAN 2 kodlu duraysızlığa ait kayma yüzeyi.....	52
5.11 Güney şevinin yaklaşık ortasında yer alan ve HEYELAN 3 olarak kodlanmış duraysızlıktan bir görünüm.....	53
5.12 Hareket izleme istasyonlarının konumları (ölçeksiz).....	56
6.1 Marnların birim ağırlık değerlerinin dağılımını gösteren histogram..	60
6.2 Marnlardaki parlak-kaygan (a) ve düz-mat (b) tabaka yüzeylerine ait makaslama gerilimi - yerdeğiştirme eğrilerine tipik birer örnek (Deney örneği No: (a) DİS-6; (b) DİS-12).....	62
6.3 Marnlardaki parlak-kaygan (a) ve düz-mat (b) tabaka yüzeylerine ait genelleştirilmiş doğrusal ve doğrusal olmayan yenilme zarfları.....	63
6.4 Taban kili örneklerinin tane boyu dağılımları ve değişim aralığı.....	67
6.5 Fay malzemelerinin tane boyu dağılımları ve değişim aralığı.....	68
6.6 Alüvyonun içerdiği ince taneli (a) ve iri taneli zeminlerin (b) tane boyu dağılımları ve değişim aralıkları.....	69
6.7 Zemin örneklerinin plastisite abağındaki dağılımı.....	70
6.8 (a) Fay kili; (b) taban kili; (c) ince taneli alüvyon; (d) iri taneli alüvyon örneklerine ait makaslama dayanımı yerdeğiştirme eğrilerine tipik birer örnek (Deney örneği (a) FK-2; (b) TBN-2; (c) HEY-2; (d) Gal-2).....	73
6.9 (a) Fay kili; (b) taban kili; (c) ince taneli alüvyon; (d) iri taneli alüvyon örneklerine ait doğrusal ve geometrik yenilme zarfları.....	74
7.1 Doğu şevindeki basamaklar ve genel şev için 1 no' lu (a) ve 2 no' lu (b) sektörlere ait kinematik analizler.....	78
7.2 Doğu şevindeki basamaklar ve genel şev için 3 no' lu (a) ve 4 no' lu (b) sektörlere ait kinematik analizler.....	79
<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
7.3 Güney şevindeki münferit basamaklar ve en çok basamaktan	

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa No</u>
7.3	Güney şevindeki münferit basamaklar ve en çok basamaktan oluşan şevler için 5 no' lu (a) ve 6 no' lu (b) sektörlerine ait kinematik analizler.....	80
7.4	4 no' lu heyelanın lokasyonu, planı ve bu duraysızlıktan alınmış kesitler.....	82
7.5	1 ve 2 no' lu eklem setlerinin yönelimlerine ait kontur diyagramı dağılımları ve asal dağılım eksenleri.....	84
7.6	5 no' lu (a) ve 6 no' lu (b) sektörlerindeki tabakalanma yönelimlerine ait kontur diyagramları ve asal dağılım eksenleri.....	85
7.7	5 no' lu (a) ve 6 no' lu (b) sektörlerdeki tabaka yönelimleri ile 1 no' lu (c) ve 2 no' lu (d) eklem setlerine ait asal dağılım eksenlerinden elde edilen verilerin histogramları ve teorik normal dağılım eğrileri.	87
7.8	Normal dağılım eğrisi altında kalan alanlara göre belirlenen güven aralıkları.....	88
7.9	1 ve 2 no' lu eklem seti (a), 5 no' lu (b) ve 6 no' lu sektördeki tabakalanma yönelimine ait normalleştirilmiş kontur diyagramı dağılımları.....	89
7.10	% 50 olasılıktaki konturlar üzerinde belirli aralıklarda eğim yönlerine karşılık gelen eğim açılarının belirlenmesinde izlenen yöntem.....	90
7.11	5 no' lu (a) ve 6 no' lu (b) sektörlerde %25 güven aralığında gözlenen süreksizlik yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler.....	92
7.12	5 no' lu (a) ve 6 no' lu (b) sektörlerde %50 güven aralığında gözlenen süreksizlik yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler.....	93
7.13	5 no' lu (a) ve 6 no' lu (b) sektörlerde %75 güven aralığında gözlenen süreksizlik yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler.....	94

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
7.14 5 no' lu sektörde %25 (a), %50 (b) ve %75 (c) güven aralıkları içindeki tabaka yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler sonucunda oluşturulacak basamak aynası yönelimleri için riskli alanlar.....	96
7.15 6 no' lu sektörde %25 (a), %50 (b) ve %75 (c) güven aralıkları içindeki tabaka yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler sonucunda oluşturulacak basamak aynası yönelimleri için riskli alanlar.....	97
8.1 16 Temmuz 1997' de güney şevinde ölçüm alınmaya başlanmış bazı istasyonlar (a) ile 24 Eylül 1997-8 Temmuz 1998 tarihleri arasında kesiksiz olarak ölçüm alınmış istasyonlara (b) ait zamana karşın toplam hareket miktarını gösteren grafikler.....	100
8.2 Ovaçay kesimindeki güney şevinde önceki duruma göre şevin dikleştirilmesiyle gelişen hareketin açıklanmasında kullanılan kesit	102
8.3 Güney şevinde 1-1' (a) ve 3-3' (b) şev profilleri boyunca hareket izleme istasyonlarında belirlenmiş hareket bileşke vektörlerinin konumları ve dalım açıları.....	103
8.4 20 Şubat-17 Mart 1998 tarihleri arasında güney şevindeki izleme istasyonlarına ait verilerden tayin edilmiş hız değerlerine göre hazırlanmış hareket hızı kontur ağı.....	105
8.5 Geriye dönük analizlerde makaslama dayanımı parametrelerinin belirlenmesi için Fookes vd. (1977) (a) ve Sancio (1981) (b) tarafından önerilen değerlendirme yöntemleri.....	107
8.6 Sarma yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetler (Sarma, 1973 ve 1979' dan düzenlenmiştir).....	109
8.7 Düzlemsel kayma modeli: (a) gerilim çatlağının ve şev tepesinin gerisinde; (b) gerilim çatlağının şev aynasında gelişmesi koşullarında şev geometrisi ve kayan kütleyle etkiyen kuvvetler (Hoek ve Bray 1981' den düzenlenmiştir).....	110
8.8 4 numaralı duraysızlığa ait kesitler ve geriye dönük analiz sonuçları.....	111

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
8.9 Güney şevinde 6 no' lu fayla denetlenen Heyelan3 kodlu aktif-pasif kama duraysızlığının kesiti (a) ve fay malzemesi (b) ile kaygan tabakalanma yüzeyinin (c) makaslama dayanımı parametrelerinin tasarım açısından irdelenmesine yönelik geriye dönük analiz sonuçları.....	113
8.10 Güney şevinde 2 no' lu heyelanı temsil eden 1-1' (a) ve 3-3' (b) şev kesitleri ve bunların geriye dönük analiz sonuçları (c).....	115
8.11 Çok yüzeyli ötelenmeli ve düzlemsel kaymaların geriye dönük analizler sonuçlarına göre tabakalanma yüzeyleri için genelleştirilmiş c-φ zarfları.....	117
8.12 Himmetoğlu açık işletmesinin güney şevinde gelişen aktif-pasif kama türü duraysızlığın mekanizmasını ve alüvyonda açılmış basamaklardaki hareketlerin gelişimini gösteren temsili şematik kesit (ölçeksiz).....	119
9.1 Kazılarda serbest drenaj ile su seviyesinin konumunun değişimi....	122
9.2 Marnlarda yapılan bir kazı sırasında kesilen su tablasının aynadan iç kesime doğru kazıdan 7 gün sonra alacağı konum (Ulusay vd. (1998a).....	122
9.3 1-1' kesitindeki şev profili üzerinde 20 m (a) ve 30 m (b) genişliğinde basamaklarla oluşturulan şev geometrilerinin analizi..	124
9.4 Kademeli kazı yapılarak güvenli şev geometrisine ulaşılabilmesi amacıyla gerçekleştirilen analizler.....	126
9.5 1-1' kesitinde 5. kadememin kazısı yapıldıktan sonra, topuktan 15 m genişliğinde basamaklarla oluşturulan şev geometrisinin duraylılık analizi.....	126
9.6 2-2' kesitinde 5. kadememin kazısı yapıldıktan sonra, topuktan 15 m genişliğinde basamaklarla oluşturulan şev geometrisinin duraylılık analizi.....	128
9.7 3-3' kesitinde 5. kadememin kazısı yapıldıktan sonra, topuktan 15 m genişliğinde basamaklarla oluşturulan şev geometrisinin duraylılık analizi.....	128

Şekil		Sayfa No
9.8	Dairesel kayma modeli için Bishop (1955) tarafından önerilen basitleştirilmiş analiz yöntemi.....	129
9.9	1-1' (a), 2-2' (b) ve 3-3' (c) kesitleri için taban kili ve alüvyonda açılacak basamakların oluşturduğu şev profilinin analizi.....	130
9.10	1. aşama olarak tanımlanan kazı sisteminin uygulama şekli: 1. aşama kazısı (a,b,c); 2. aşama kazısı (d); 3. aşama kazısı (e).....	133
9.11	Güvenlik katsayısı değerlerinin dağılımından duraysızlık riskinin veya güvenilirlik derecesinin belirlenmesi.....	136
9.12	Duraysızlık riski için hipotetik kümülatif olasılık eğrisi.....	137
9.13	Kohezyon (a) ve içsel sürtünme açısı (b) değerlerine ait dağılım histogramları ve standart normal dağılım eğrileri.....	140
9.14	Kohezyon (a) ve içsel sürtünme açısı (b) değerlerine ait kümülatif olasılık eğrileri ve sistematik olarak belirli yüzdelerdeki değerlerinin belirlenmesi.....	141
9.15	Olasılığa dayalı analizlerde esas alınan 5 ayrı şev geometrisi için planlanan kazı aşamaları.....	143
9.16	Güncel şev (a) 1. şev geometrisi (b) 2. şev geometrisi (c) 3. şev geometrisi (d) 4. şev geometrisi (e) ve 5. şev geometrisi (f) için gerçekleştirilen olasılığa dayalı analizlerden elde edilen güvenlik katsayısı değerlerinin histogramları ve standart normal dağılım eğrileri.....	144
9.17	3-3' kesitinde güvenli şev geometrisi için gerçekleştirilen olasılığa dayalı analizden elde edilen güvenlik katsayısı değerlerinin histogramları ve standart normal dağılım eğrisi.....	146
9.18	Güneş şevi için dekapaj kazısı maliyeti - maliyeti maliyeti gerektiren kazının yapılmasından sonraki şev geometrisinin duraysızlık riski.....	149
9.19	Herbir geometri için elde edilen güvenlik katsayısı değerlerinin normal dağılım eğrilerinden belirlenmiş güvenilirlik derecelerinde kazı miktarı ve maliyetine karşılık güvenlik katsayısı (F) değerleri..	151
9.20	% 27 duraysızlık risk seviyesi için dekapaj kazısı ve dekapaj maliyetine karşılık güvenlik katsayısı grafiği.....	152

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	American Society of Testing and Materials
c_p	Doruk Kohezyon
c_r	Artık Kohezyon
F	Güvenlik Katsayısı
ISRM	International Society for Rock Mechanics
TKİ	Türkiye Kömür İşletmeleri
σ	Normal Gerilim
τ	Makaslama Gerilimi
ϕ_p	Doruk İçsel Sürtünme Açısı
ϕ_r	Artık İçsel Sürtünme Açısı
γ	Birim Hacim Ağırlık
x	Ortalama Süreksizlik Aralığı
λ	Ekleme Sıklığı

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

TKİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilmekte olan Himmetoğlu (Göynük-Bolu) linyit açık işletmesinde, işletmenin derinleşmesine ve şev kazılarının yakın civardaki derelere çok yaklaşmış olmasına bağlı olarak, son yıllarda yaygın şekilde şev duraysızlıkları ile karşılaşmaktadır. İşletmeyi kuzeyden ve güneyden tehdit eden bu duraysızlıklar, kömür üretiminde duraksamalara neden olmakta ve dolayısıyla maddi kayıpların yanısıra, personeli ve iş makinalarını da riske sokmaktadır.

Yüksek Mühendislik tezi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada; işletme açısından taşıdığı risk, daha çok veri elde edilebilmesi ve duraysızlık mekanizmasının önemi dikkate alınarak güney şevi seçilmiş ve bu şev ile yakın çevresinde gelişmiş duraysızlıklar incelenmiştir. Bu çerçevede ilk aşamada; duraysızlıkların ve egemen süreksizlik setleri ile şev yönelimleri esas alınarak yapılan deterministik ve olasılık esaslı kinematik analizlerle süreksizlik denetimli duraysızlıkların araştırılması amaçlanmıştır. Araştırmanın ikinci aşamasında hareket izleme çalışmaları yapılarak, bu çalışmadan sağlanan verilerin de değerlendirilmesiyle, hareketin tamamlandığı ve devam ettiği duraysızlıkların geriye dönük analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları, laboratuvar deneylerinin sonuçları ile karşılaştırılarak tasarım amacıyla kullanılacak jeomekanik parametreler seçilmiştir. Son aşamada, kömürün duraksamalara neden olmadan üretimine olanak sağlayacak emniyetli şev geometrileri araştırılmıştır. Bu amaçla, değişik kazı geometrileri için deterministik yöntemler ve dayanım parametrelerinin değişim aralıkları esas alınarak olasılığa dayalı (probabilistic) yaklaşımlar kullanılarak duraylılık analizleri yapılmıştır. Her iki analiz yönteminden elde edilen sonuçlar emniyet ve maliyet faktörleri açısından karşılaştırılarak, optimum şev geometrisi ve kazı sisteminin belirlenmesi için değerlendirmeler yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

1.2. Önceki Çalışmalar

Orta Sakarya Havzasında yer alan çalışma alanı ve yakın civarında 1940'lardan bu yana değişik amaçlı bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar daha çok jeolojik etüt ve kömür arama konularını kapsamaktadır.

Bölgede ilk çalışma Stchepinsky (1940) tarafından yapılmış ve Göynük-Mudurnu-Nallıhan bölgeleri arasındaki stratigrafik farklılık denizel Miyosen'in varlığı ile açıklanmıştır.

Randot (1955), Kuyupınar-Himmetoğlu-Bölücekova linyitleri üzerinde çalışma yaparak, bölgedeki orojenik olayların Oligosen'den sonra en üst düzeye ulaştığını, sonrasında gelişen durgun evrede göllerin ve linyitin oluştuğunu öne sürmüştür.

Abdülselamoğlu (1959; Şener, 1992), Göynük-Mudurnu ve Beydili bölgesinin jeolojisini 1/100000 ölçeğinde inceledikten sonra, bölgede yer alan Paleosen-Eosen yaşlı serilerin bitümlü şeyl ile linyit seviyelerini içerdiğini ve diğer serilerin üzerine uyumsuz olarak geldiğini belirlemiştir. Ayrıca Üst Kretase'de mikrogabro ve andezit lavlarının varlığından sözeden araştırmacı, Paleosen-Eosen serilerini de kesen bazik lavların varlığına da değinmiştir.

Beseme (1967), Kabalar senklinealinin yer aldığı bölgenin genel ve uygulamalı jeolojik etüdünü yapmıştır. Çalışma sahasının yakınında bulunan bu saha için Senomaniyen zaman aralığında içerisinde filiş çökelmiş bir jeosenklinealin varlığından söz edilmekte olup, araştırmacı Eosen'de denizin regresyonu ile bölgenin karasal ortam karakteri kazandığını belirtmiştir. Sahadaki bitümlü kayaçları da inceleyen araştırmacı, oluşan gölün orta kesimlerinde bitüm kalitesinin arttığını vurgulamıştır.

Kuzey Anadolu'da yer alan Oligosen yaşlı gölsel çökeller üzerinde mineralojik ve jeokimyasal araştırma yapan Ataman ve Beseme (1972), değişik

litolojilerde çok geniş yayılıma sahip "analsit" oluşumlarının varlığını saptamışlar ve Bahçecik, Göynük ve Gölpaazarı gölssel sedimanlarındaki zeolit minerallerinin oluşum koşulları hakkında değişik yorumlar yapmışlardır.

Altınlı (1973 ve 1975), Orta Sakarya bölgesindeki birimleri ve özellikle Kızılçay formasyonunu ayrıntılı olarak incelemiş, birimlerin litolojilerini, fasiyes değişimlerini ve çökeltme ortamlarını açıklamıştır.

Saner (1977; Şener 1992), Sakarya-Bilecik illeri arasında kalan bölgenin stratigrafisini; temel karmaşığı, Permien kayaları, Tersiyer çanağı çökelleri, Neojen çökelleri örtüsü ve Kuvaterner çökelleri başlıkları altında değerlendirmiştir.

Saner (1980), Mudurnu-Göynük havzasında Mesozoyik-Tersiyer yaşlı, kalınlığı 5 km'yi aşan bir istifin varlığından söz ederek, çalışma alanının Üst Eosen-Oligosen'de gelişen regresyon nedeniyle günümüze kadar karasal karakterini koruduğunu belirtmektedir.

Turgut ve Dümenci (1980), Himmetoğlu formasyonunu ilk kez ayırtlayan araştırmacılar olup, formasyonun kalınlığını 250 m olarak vermişlerdir.

Sarı (1985), Himmetoğlu yöresini ekonomik jeolojisi yönünden incelemiş ve Himmetoğlu formasyonu içinde yer alan 1-13 m kalınlığındaki linyit horizonunun varlığını yinelemiş ve ayrıca bu linyitlerin ortalama kimyasal değerlerini belirlemiştir.

Tuncalı vd. (1986), Himmetoğlu sahasındaki linyit potansiyelinin değerlendirilmesi için yaptıkları sondajlı çalışmada, alanın jeolojik özelliklerini incelemişler ve linyitin kalorifik değerlerini saptayarak, 24.893.694 ton görünür, 26.070.605 ton muhtemel olmak üzere toplam 50.964.299 ton rezerv belirlemişlerdir.

Sonel vd. (1987; Şener 1992),” Himmetoğlu Göynük-Bolu yöresinin jeolojisi ve linyit oluşukları” adını verdikleri çalışmaları, Üst Kretase sonunda başlayarak Paleosen’de de devam eden bir regresyonun denetiminde Kızılçay formasyonunun çökeldiğini belirtmişlerdir. Kızılçay formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla Üst Miyosen yaşı Himmetoğlu formasyonunun çökeldiği belirtilen çalışmada, formasyonun orta kesimlerinde kömür oluşumunun geliştiiği vurgulanmıştır.

Demirbugan (1987), Göynük (Himmetoğlu) linyitlerinin değerlendirilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Taka (1988), “Himmetoğlu (Göynük-Bolu) sahasının bitümlü şeyl olanakları ve sondajları” adını verdiği raporda; Himmetoğlu sahasında linyitin hemen üzerinde yeralan ve kalınlığı 1-19 m arasında değişen bir bitümlü şeyl zonuna değinerek, 65 milyon ton bitümlü şeyl rezervi hesaplamıştır.

YUVAM (H.Ü. Yerbilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi; 1988 ve 1989) tarafından, güncel Himmetoğlu ocağının hemen batısında kalan ve bugün pasa malzemesi ile doldurulmuş olan kısımdaki eski işletmede karşılaşılan şev duraysızlığı ve hidrojeoloji sorunları ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiş ve şevlerin duraylılığı ile çevredeki derelerden işletmeye gelebilecek suların uzaklaştırılması konularında önerilerde bulunulmuştur.

Besbelli (1991), Adapazarı H 25 b1, b4, c1 paftalarını içeren geniş bir alanın jeolojisi ve petrol olanaklarını incelediği çalışmasında, havzanın paleocoğrafik evrimini ortaya koymuş ve sonuçta petrol olanaklarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. Araştırmacı bu kapsamda, Himmetoğlu işletmesinin de yeraldığı kesimde gözlenen Kızılçay ve Himmetoğlu formasyonları ile Selvipınar kireçtaşlarını da incelemiştir.

Şener (1992), Neojen yaşı Himmetoğlu (Bolu-Göynük) volkanosedimanter baseninin litostratigrafi birimlerini tanımlamış ve basenin paleocoğrafik

gelişiminden yola çıkarak neotektonik dönemde oluşan Himmetoğlu Neojen Basenindeki bitümlü şeyl çökelimini bu döneme ait volkanizmanın denetlediğini ve organik olgunlaşmanın gerçekleşmeyip, organik maddenin ilksel konumunda korunduğunu vurgulamıştır.

Ulusay vd. (1998a ve b), TKİ Genel Müdürlüğüne bağlı Himmetoğlu Başmühendisliği (Göynük-Bolu) tarafından linyit üretimi yapılan sahadaki A panosu olarak adlandırılan ocakta karşılaşılan şev duraysızlıklarını ve drenaj sorunlarını araştırmışlar ve üretimin güvenli olarak yapılmasını sağlayacak önerileri ve alınması gereken önlemleri sunmuşlardır. Aynı araştırmacılar ayrıca, sahanın henüz kazı yapılmamış doğu kesiminde bugünkü ilerleme şekli ile şev duraylılığının sağlanması mümkün olmadığını, ancak kuzeyden başlayacak yeni bir kazıyla ilerleme yapıp doğudaki kömürün alınabileceğini belirtmişlerdir.

2. ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI

2.1. Coğrafi Konum

Çalışma alanı olan Himmetoğlu açık işletmesi A Panosu, 1/25000 ölçekli Adapazarı H 25, b4 ve c1 paftaları içinde Bolu ili Göynük İlçesine bağlı olup, ilçenin 30 km güneyinde yer almaktadır (Şekil 2.1).

Bölgedeki yerleşim birimleri, işletmeye çok yakın bir konumda bulunan Himmetoğlu köyü başta olmak üzere, Çayköy, Bölücekova, Ahmetbeyler ve Kuyupınar köyleridir.

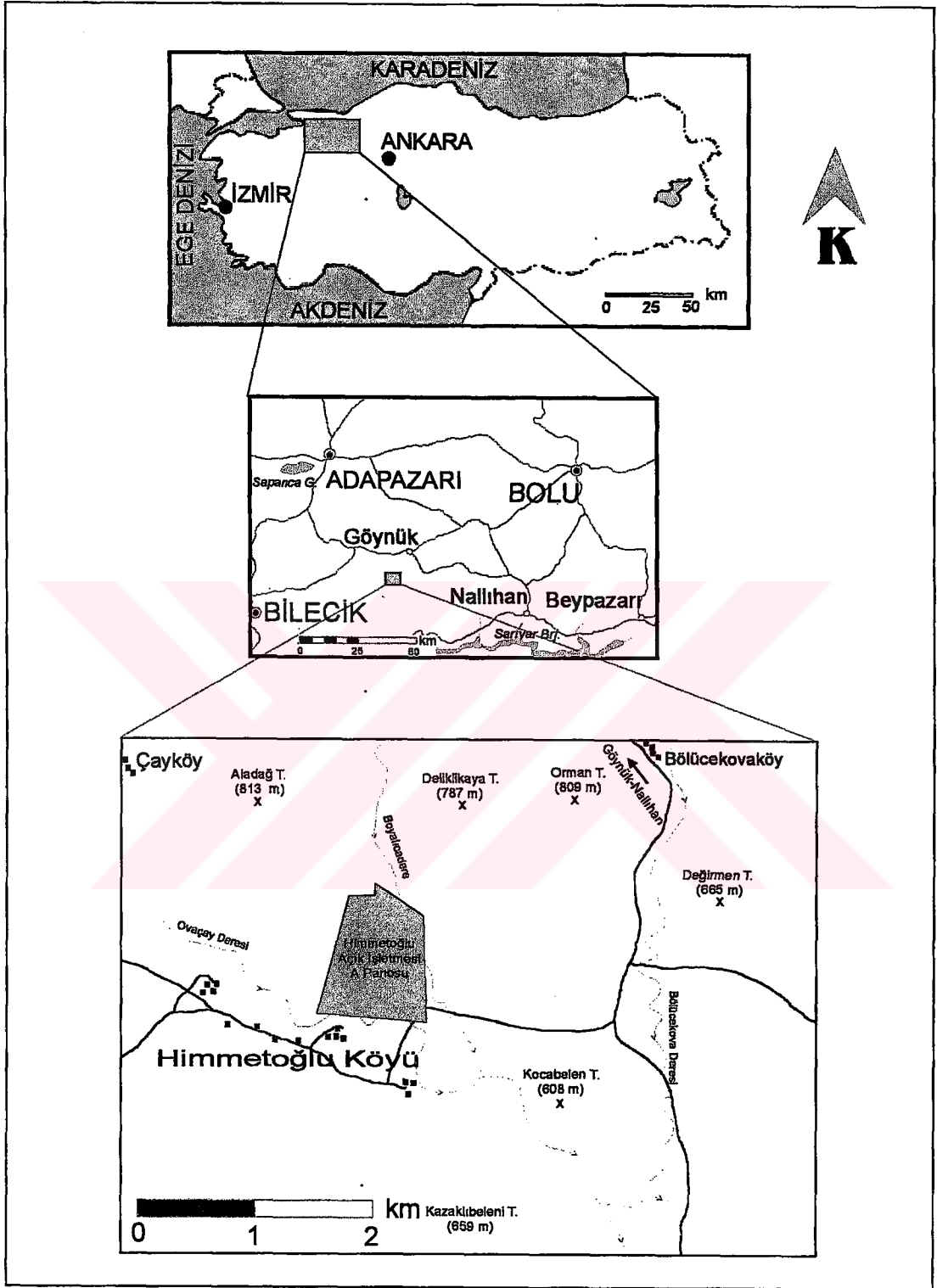
Çalışma alanının belli başlı yükseltileri; kuzeyde Aladağ Tepe (813 m), Delikli Kaya Tepe (787 m) ve Orman Tepe (809 m), güneyde Kozaklıbeleni Tepe (659 m), Kocabelen Tepe (608 m) ve doğuda Değirmen Tepe (665 m)'dir (bkz. Şekil 2.1).

Çalışma alanında yılın her mevsimi akan ve güncel işletmeye doğudan ve güneyden sınır olan Boyalıcadere ve Ovaçay dereleri bulunmaktadır (bkz. Şekil 2.1).

2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

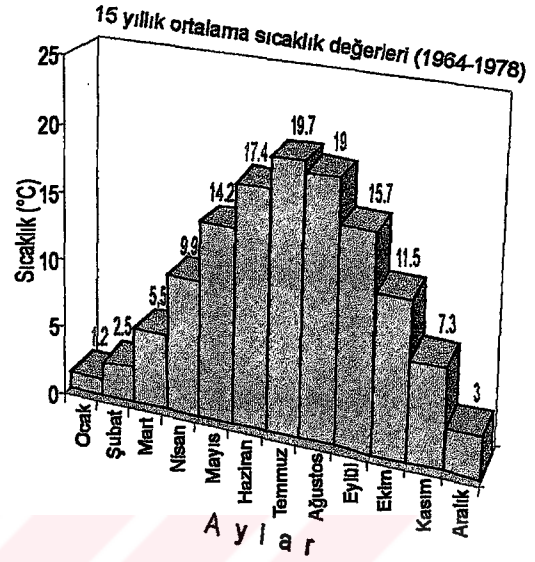
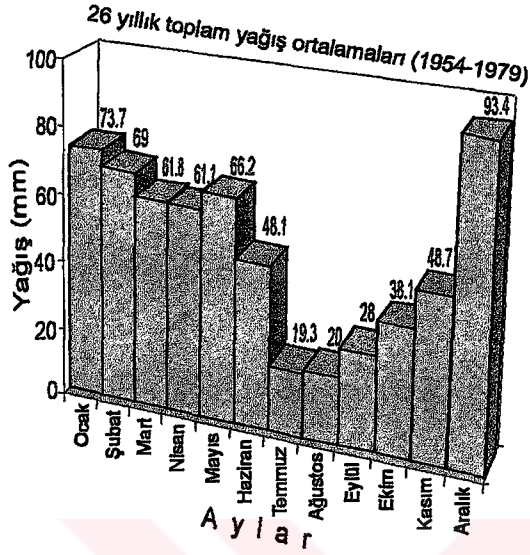
Bölgede yazları serin ve zaman zaman yağışlı, kışları soğuk ve yağışlı bir iklim hakimdir. Kış aylarında yağışlar kar şeklindedir. 1954 ve 1979 yılları arasında faaliyet gösteren Göynük meteoroloji istasyonu kayıtlarından 26 yıllık ortalama toplam yağış ve 15 yıllık ortalama sıcaklık değerleri ile çalışma alanına yaklaşık 70 km uzaklıktaki Nallıhan ilçesine ait kayıtlardan 43 yıllık aylık ortalama toplam yağış değerleri histogramlar şeklinde değerlendirilmiştir (Şekil 2.2).

Her iki istasyonun verilerine göre en yağışlı ay Aralık'tır (Göynük 93.4 mm , Nallıhan 48.9 mm). En soğuk ay yine Aralık iken (her iki bölge için de 3⁰C-6.6⁰C), en sıcak ayın her iki bölge için de ortalama 20⁰C-29⁰C ile Temmuz

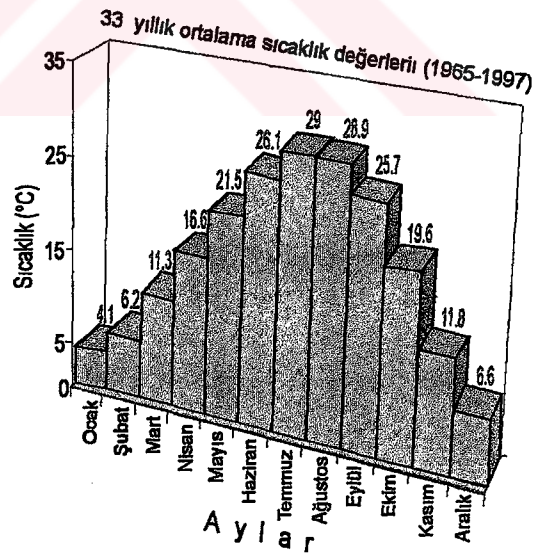
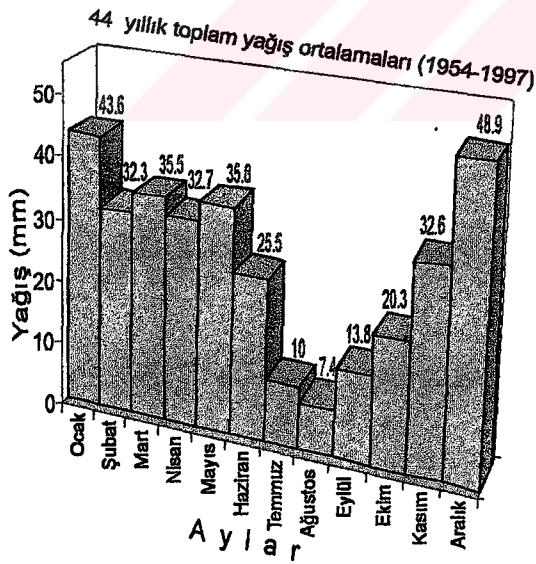


Şekil 2.1: Çalışma alanı yer bulduru haritası

(a) Göynük Meteoroloji İstasyonu



(b) Nallıhan Meteoroloji İstasyonu



Şekil 2.2: Himmetoğlu işletmesi ve yakın civarına ait ortalama yağış ve sıcaklık histogramları

ayı olduğu belirlenmiştir. İşletmede meydana gelen özellikle büyük çaplı duraysızlıklar yağışlı dönemlerde gerçekleşmiştir.

Çalışma alanı ve yakın civarı bitki örtüsü bakımından oldukça zengin olup, etrafındaki yükseltiler çam ağaçlarıyla kaplıdır. İşletmenin de yereldiği ve yükseltiler arasındaki ova oldukça verimli tarım alanlarını oluşturmaktadır.

2.3. Morfoloji

İnceleme alanında işletme faaliyetlerinin sürdürüldüğü kesimlerin topoğrafyası işletmeciliğin gereği olarak yapılan kazılar ve işletmenin hemen batısında ve güneydeki Kozaklıbeleni Tepede gerçekleştirilen dış döküm işlemleri nedeniyle, yerel de olsa değişmekle birlikte, bölgenin genel topoğrafyası ana çizgileriyle belirlenebilmektedir.

Çalışma alanının yereldiği ova, ortalama 650 m yüksekliğinde ve çok az engebeli olup, kuzeyindeki ve güneyindeki sırt görünümündeki tepelerle sınırlanmış, doğu-batı doğrultulu bir çöküntü havzası niteliğindedir. Bölgede yer alan dereler, havzayı sınırlayan yüksek tepelerden ovaya doğru akış yönüne sahip V şeklinde bir drenaj ağı oluşturmaktadır. Özellikle işletmenin doğusunda yer alan Ovaçay Deresi ile doğu kenarında yer alan Boyalıcadere işletmede su problemi yaratmaları açısından önem kazanmaktadır.

2.4. Ulaşım ve Sosyo-Ekonomik Durum

Ulaşım, işletmeyi çevre köylere ve Göynük, Ankara gibi merkezlere bağlayan asfalt yollar sayesinde tüm mevsimlerde kolaylıkla sağlanmaktadır. Bölgede yaşayan halkın bu merkezlere ulaşımı yöre için yeterli denebilecek sayıda otobüs seferleriyle gerçekleştirilmektedir.

Himmetoğlu Kömür İşletmesi, yöre halkının büyük bir bölümünün geçimini sağladığı iş sahası olarak göze çarparken, kullanılan aletlerin teknik özelliklerinin yetersiz olmasına rağmen tarım da diğer bir önemli geçim

kaynağını oluşturmaktadır. Bunun yanısıra, daha çok Mudurnu ve yakın çevresinde iş alanı olarak seçilmiş olan tavukçuluk da kimi yöre halkı tarafından tercih edilmiştir.

Tarım ürünleri olarak tahıl ve bahçe bitkilerinin yetiştirildiği bölgede işletmenin güneyinde kalan bahçe ve tarlaların bir bölümü, bu kısımda gerçekleşmiş olan heyelandan olumsuz yönde etkilenmiştir.



3. İŞLETME YÖNTEMİ VE İŞLETMECİLİK SORUNLARI

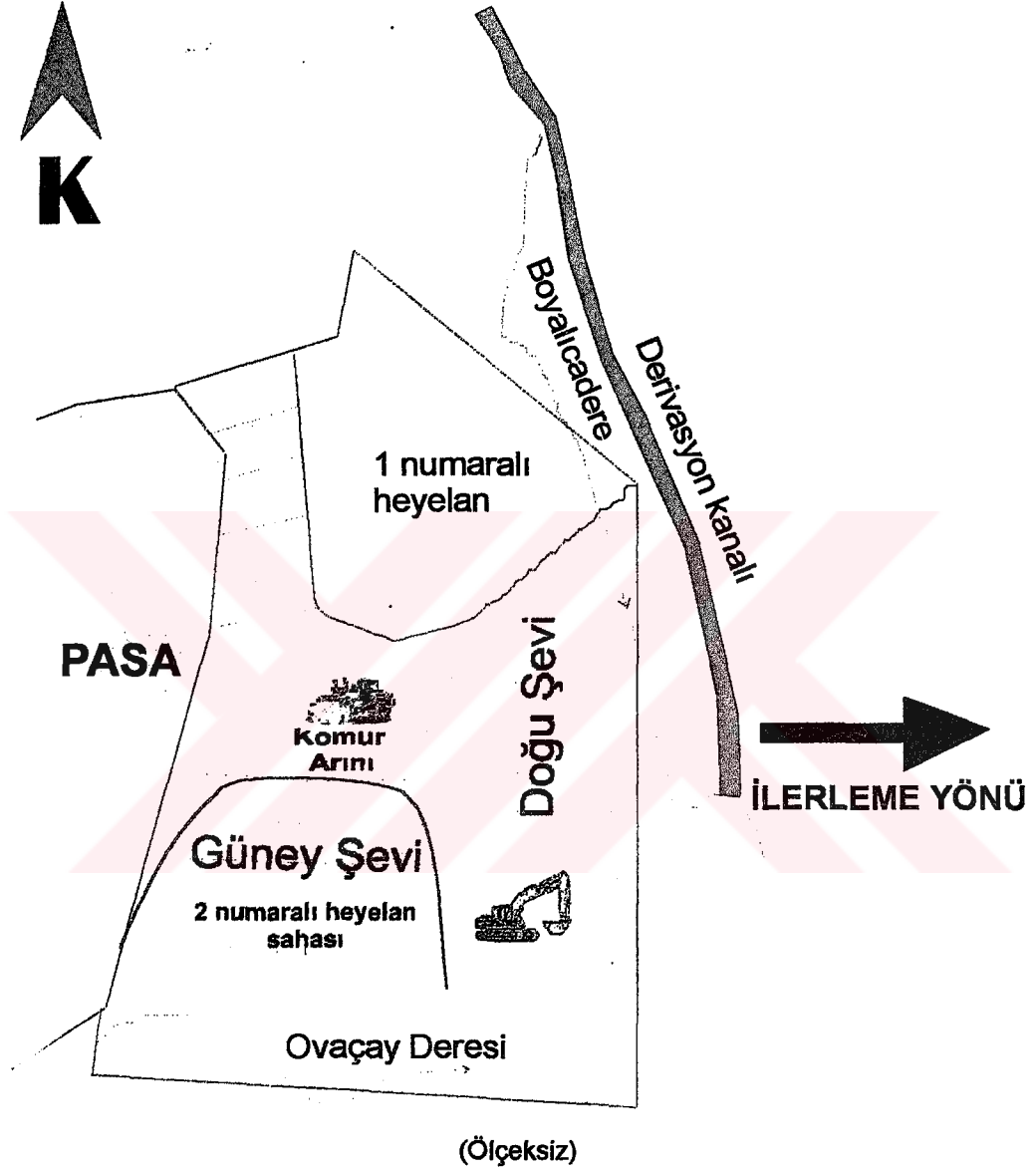
Daha önce A ve B Panoları olarak adlandırılan iki açık işletmede üretim yapılırken, yakın geçmişte B Panosunda yapılan üretim durdurulmuştur. A Panosu olarak adlandırılan ocakta, Çayköy'ün güneydoğusundan işletmeye başlanmış ve doğuya doğru ilerlenmiştir. İlerleme sonrası işletmenin batısında kalan ve kazılarak kömürü alınmış kısım, pasa malzemesi ile doldurularak döküm sahası haline getirilmiştir. Pasa malzemesi ayrıca Himmetoğlu Köyü'nün güneyindeki döküm sahasına da taşınmaktadır. İşletmeden bu çalışmanın gerçekleştirildiği sırada alınmış bir görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.

Turgut ve Dümenci (1980)'ye göre 30 milyon ton, Tuncalı vd. (1986)'ne göre yaklaşık 51 milyon ton, Taka (1988)'ya göre ise 65 milyon ton linyit kömürü potansiyeline sahip bu bölgede ekskavatör-kamyon sistemiyle çalışılmaktadır. İşletmenin kuzey ve güneyinde kazının ilerleme yönüne paralel olarak açılmış D-B doğrultulu ve doğusunda açılmış K-G doğrultulu şevler bulunmaktadır (Şekil 3.2). Alüvyonda ve Himmetoğlu formasyonundaki marn biriminde yüksekliği 5 ile 8 m, genişliği 10 - 20 m ve eğimleri 60-65° arasında değişen basamaklar oluşturulmuştur. Dekapaj kazısında 1.32 ve 3.2 m³ kapasiteli düz ve ters kepçeli 5 ekskavatör, kömür horizonunun alınmasında ise 2.5 m³ kapasiteli bir ekskavatör kullanılmakta olup, dekapaj malzemesi 18 m³ kapasiteli kamyonlarla döküm sahasına taşınmaktadır. Kazı işlemleri, alüvyonda ve kolayca kazılabilen marn biriminde yapıldığından, dekapaj patlatma işlemine ihtiyaç duyulmadan sürdürülmektedir. Üretilen linyit kömürü Çayırhan Termik Santraline ve piyasaya verilmek üzere 6 tonluk kamyonlar aracılığıyla taşınmaktadır.

Bu bölgede linyit üretimine başlandığından bu yana, işletmenin güneyinde yeralan Ovaçay Deresi alüvyonlarının içerdiği su hem drenaj, hem de şev duraylılığı açısından olumsuz etkiler yaparak üretimin aksamasına yol açmıştır. Doğuya doğru ilerlendikçe, Boyalıcadere'ye yaklaşılması sonucu benzer sorunlar yaşanmış ve bu dönemde işletmenin kuzeyinde büyük bir heyelan meydana gelmiştir. TKİ tarafından geçici bir çözüm olarak



Şekil 3.1: Himmetoğlu Açık İşletmesi A Panosunun doğu şevinden görünümü



Şekil 3.2: Himmetoğlu Açık İşletmesinde uygulanan işletmecilik yönteminin şematik gösterimi

Boyalıcadere'nin yatağının doğusunda derivasyon kanalı yapılmış ve suyun buradan akması sağlanmıştır (bkz. Şekil 3.2). Ancak işletmenin doğuya doğru ilerleyecek olması yeni çözüm arayışlarını zorunlu kılmıştır.



4. JEOLJİ

İşletmede gözlenen birimler, bu çalışmanın amacı gereği, önemli bir yer tutmaktadır. Bununla birlikte bunların diğer birimlerle olan ilişkisi de stratigrafik konum açısından önemlidir. Bu nedenle, Himmetoğlu Açık İşletmesinin yakın civarının genel jeolojik özelliklerinin de ana hatlarıyla belirlenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla Ulusay vd. (1998a ve b)'nin yapmış oldukları çalışmalarda hazırlanan 1/10000'lik jeoloji haritaları daha küçük ölçekte düzenlenerek çalışma alanının ve yakın civarının jeolojik haritası olarak tez kapsamında sunulmuştur (Şekil 4.1).

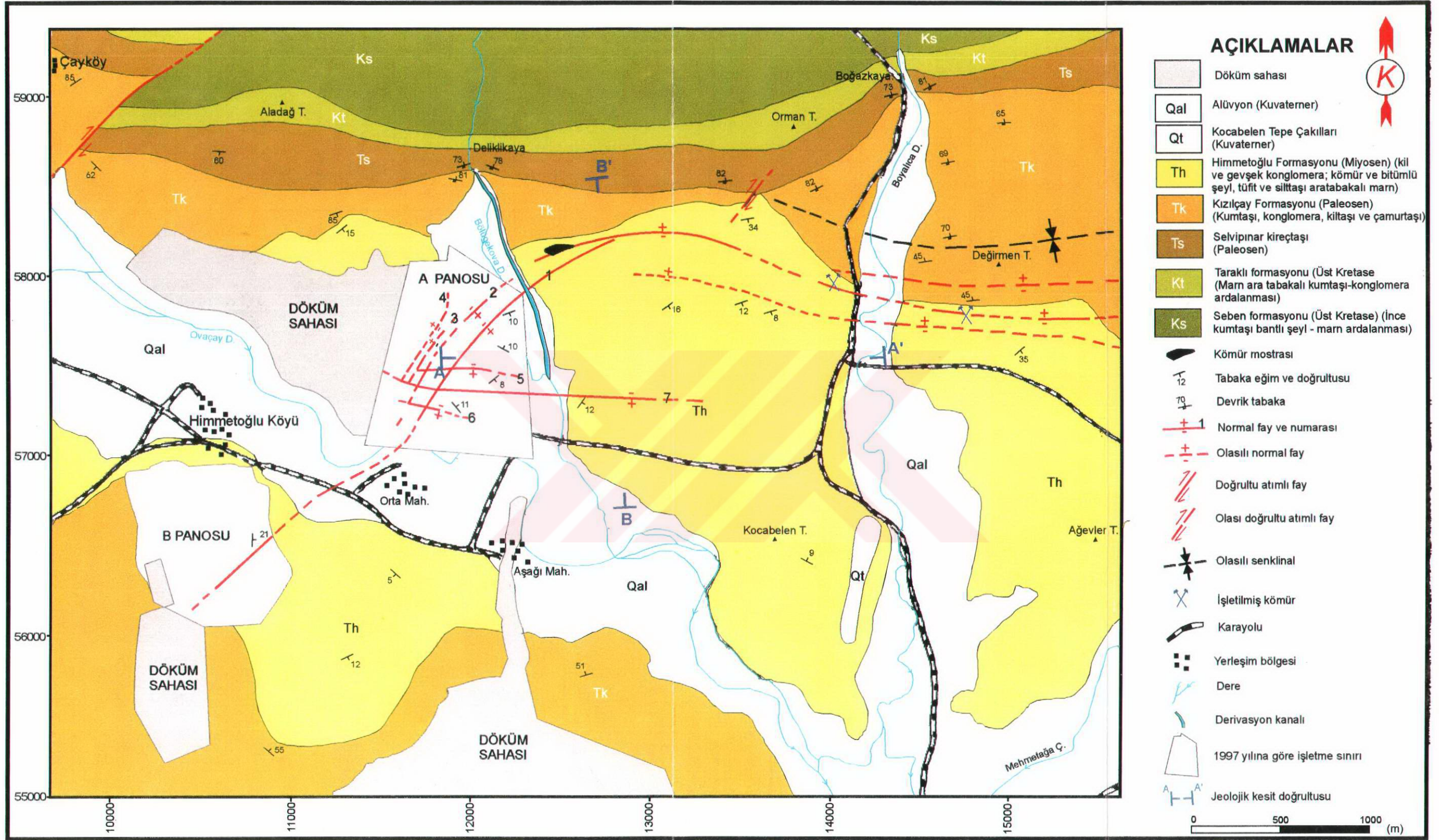
Bunun yanısıra, ocak içindeki litolojik sınırların, fayların ve tabaka konumlarının daha hassas değerlendirilmesi, şev geometrilerinin ve saha çalışmaları sırasında yapılan hat etütlerinin ve örnekleme çalışmalarının lokasyonlarının gösterilmesi amacıyla Himmetoğlu ocağına ait 1/1000 ölçekli dökümantasyon haritası da hazırlanmıştır (EK-1). Bu harita hazırlanırken işletmenin Temmuz 1997 tarihli imalat haritası esas alınmıştır.

4.1. Stratigrafi

Himmetoğlu Açık İşletmesinde Miyosen yaşlı Himmetoğlu formasyonu gözlemlendiğinden, Miyosen öncesi formasyonlar temel formasyonlar olarak değerlendirilmiş ve Şener (1992) tarafından önerilen formasyon adlandırmaları esas alınmıştır. Buna göre jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru aşağıdaki şekilde dizilmektedir.

- A) Temel kayalar (Mesozoyik ve Paleojen yaşlı birimler)
- B) Neojen yaşlı birimler
- C) Kuvaterner yaşlı birimler

Himmetoğlu açık işletmesi sınırları içinde temel kayaları adı altında değerlendirilen Mesozoyik ve Paleojen yaşlı birimler gözlenmediğinden, bu



Şekil 4.1: Çalışma alanı ve yakın civarının jeoloji haritası (Ulusay,1998a ve b'den düzenlenmiştir).

birimlere özetle değinilmiştir. Çalışma alanı ve yakın civarını temsil eden stratigrafik dikme kesit Şekil 4.2'de verilmiştir.

4.1.1. Temel kayaçlar

Bu birimler çalışma alanında gözlenen en yaşlı birimler olup, Mesozoyik zaman aralığında çökelmiş olanlar Seben formasyonu ve Taraklı formasyonu, Paleojen zaman aralığında çökelmiş olanlar ise Selvipınar Kireçtaşı ile Kızılçay formasyonudur.

4.1.1.1. Seben Formasyonu

İlk kez Saner (1980) tarafından adlandırılmış olan ve Çayköy'ün kuzeyi ile Kozaklıbeleni Tepe'nin güneydoğusunda gözlenen Seben formasyonu, ince kumtaşları içeren mavi-yeşil, şeyl-marn aralanmasından oluşmaktadır. Şener (1992) tarafından, formasyonun ortalama kalınlığının 300 m'ye ulaştığı ve Orta-Üst Maestrihtiyen yaşında olduğu belirtilmektedir.

4.1.1.2. Taraklı Formasyonu

Seben formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen ve orta-kalın tabakalı kumtaşları içeren Taraklı formasyonu, sahanın kuzeyinde gözlenmektedir. İlk kez Saner (1980) tarafından adlandırılmış olan bu formasyonun kalınlığı Şener (1992) tarafından 160 m, yaşı ise Kretase olarak belirtilmiştir. Şener (1992), Taraklı formasyonunun, kuzeye doğru yavaş yavaş gerileyen regresif bir denizin çökelleri olduğunu belirtmiştir.

4.1.1.3. Selvipınar Kireçtaşı

İlk kez Eroskay (1965; Şener 1992) tarafından Selvipınar kireçtaşı olarak adlandırılan bu birimin yaşı, Besbelli (1991)'ye göre Monsiyen, Saner (1977; Şener 1992)'e göre ise Alt Paleosen'dir.

SİSTEM		SERİ		FORMASYON		KALINLIK (m)	SİMGE	LİTOLOJİK SEMBOL	LİTOLOJİK TANIMLAMA
KUVATERN									
KRETASE	ÜST KRETASE	TARAKLI	SEBEN	300	160	Kt	Ks	<p>Şeyl-Marn (ince kumtaşı bantlı)</p>	
TERTİYER	PALEOJEN	PALEOJEN	MİYOSEN	HİMMEYOĞLU	120-250	Th	<p>Qal</p> <p>Qt</p>	<p>Alüvyon</p> <p>Çakıltaşı (Kocabelen T. çakılları)</p> <p>Marn - bitümlü marn - ince tuf - silttaşı ar dalanması</p> <p>Bitümlü şeyl</p> <p>Linyit, killi linyit, linyitli kil</p> <p>Konglomera, yeşil kil (taban kili) ve kırmızı kil</p>	
	PALEOJEN	PALEOJEN	MİYOSEN	KIZILÇAY	500	Tk	<p>Çamurtaşı - kiltası - kumtaşı ar dalanması</p> <p>Kireçtaşı - marn</p>		
		SELVİ-PINAR		60-100		Ts		<p>Çamurtaşı - kumtaşı - konglomera ar dalanması</p> <p>Biyomikrit - biyosparit, resifal kireçtaşı</p>	

(ölçeksiz)

Şekil 4.2: Himmetoğlu linyit sahasının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Şener, 1992'den düzenlenmiştir).

Bu birim de sahanın kuzeyinde mostra vermekte olup, genel olarak beyaz, bej, sarı renkli ve kırıklı bir görünüme sahiptir. Havzada hakim olan sıkıştırıcı kuvvetlerin etkisiyle tabakalar genelde ters dönmüş olup, birbirini verev yönde kesen eklemlerle kaya kütleleri kırıklı bir görünüm kazanmıştır. Tuncalı vd. (1986)'ne göre birimin kalınlığı 60 ile 100 m arasında değişmektedir.

4.1.1.4. Kızılçay Formasyonu

İnceleme alanında , kuzeyde bir şerit halinde, doğuda ve güneyde daha geniş bir yayılımla çıkma veren Kızılçay formasyonu, genelde kırmızı renkli olmak üzere, yer yer sarı, yeşil renkleri de içeren alacalı bir görünüme sahiptir. Litolojik olarak kumtaşı, konglomera, kiltası ve çamurtaşı ile temsil edilen bu formasyonda, çökme sırasında ortamda muhtemelen çalkantılı ve ani yersel hareketlerin olması nedeniyle yanal ve düşey geçişler şeklinde yer yer kireçtaşları ve yeşilimsi gri marnlar da bulunmaktadır (Tuncalı vd., 1986; Ulusay vd., 1998a). Bu formasyonda tabakalanma belirgin değildir.

Selvipınar Kireçtaşları üzerine uyumlu olarak gelen bu çökeller ilk olarak Eroskay (1965; Şener, 1992)) tarafından adlandırılmış olup, birimin yaşı Saner (1977; Şener, 1992)'e göre Orta-Üst Paleosen'den başlayıp Alt Eosen'e kadar çıkmaktadır. Yaklaşık 500 m kalınlığa sahip bu çökeller (Şener, 1992), Saner (1977; Besbelli, 1991)'e göre karasal geçiş ortamı ürünüdür.

4.1.2. Neojen Yaşlı Birimler (Himmetoğlu Formasyonu)

Formasyon, ilk kez Turgut ve Dümenci (1980) tarafından Himmetoğlu Köyü civarında gözlenmesi nedeniyle Himmetoğlu formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kızılçay formasyonunun üzerine açısız uyumsuzlukla gelmekte olan formasyonun kalınlığı havza genelinde 120-250 m arasındadır (Şener, 1992). İnceleme alanının oldukça geniş bir bölümünü kapsayan Himmetoğlu Formasyonunun en iyi çıkma verdiği alanlar, genellikle işletme kazısının yapıldığı bölge ve yakın civarıdır.

Sonel vd. (1987; Şener, 1992) tarafından, kömürü de içeren bu formasyona Üst-Miyosen yaşı verilirken, kömür örnekleri üzerinde yapılan palinolojik tayinler gözönünde bulundurulmuştur. Aynı yaş, daha önceki araştırmacılar tarafından formasyonun stratigrafik konumuna göre verilmiştir.

Şener (1992), formasyonu düşey yönde dört ayrı zona ayırarak incelemiş olup, aynı zonlama bu çalışma sırasında yapılan gözlemlerle de saptanmıştır. Aşağıda tabandan tavana doğru formasyonun içinde ayırtılan zonlar özetle sunulmuştur.

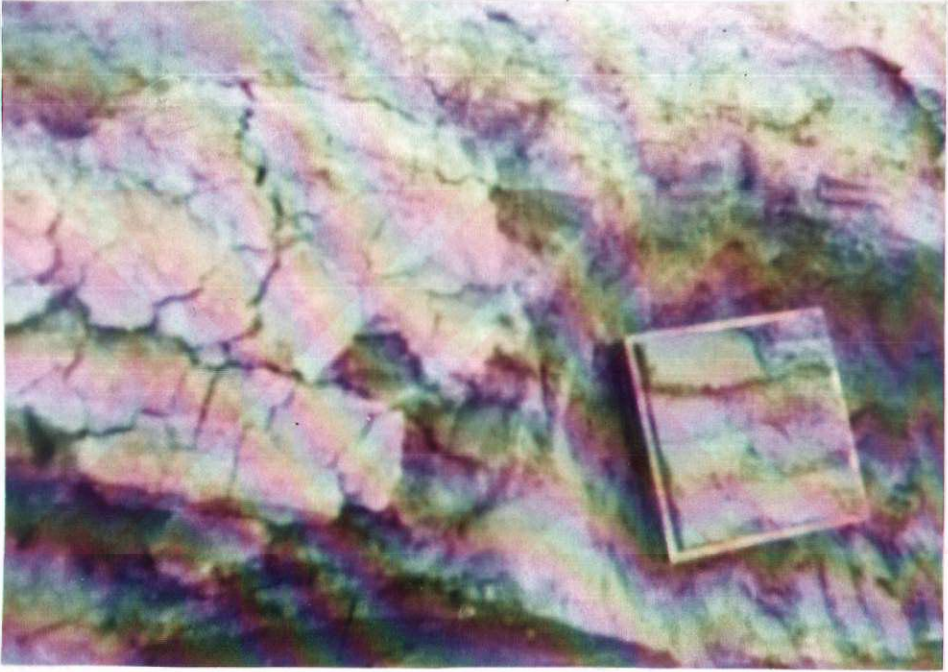
Taban kili ve konglomera zonu

Sondajlardan yararlanılarak tanımlanmış olan bu zonun önemli bir bölümü, Kızılcay formasyonu ve Selvipınar kireçtaşına ait, çok küçük tane boyundan çakıl boyutuna varan tanelerden oluşmaktadır. Bu parçalar yarı yuvarlak ve yarı şekilli, kırmızı, yeşil, sarı renkli kilttaşı, silttaşı ve çamurtaşı parçalarıdır (Şener, 1992).

Konglomeraların üzerine gelen kırmızı ve yeşil renkli plastik karakterdeki killer, işletmenin kuzeyindeki heyelan bölgesinde ve kömürün tabanında gözlenmektedir (Şekil 4.3). Bugüne değin sahada yapılmış olan sondajlar kömür etüdüne yönelik olduğu için, konglomeralar ve kil tam olarak kesilmemiş, dolayısıyla bu zonun kalınlığı hakkında kesin bir bilgi edinilememiştir.

Linyitli Zon

Bu zon, yer yer silisifiye linyitik, silt ve kilttaşı arakatkıları içeren linyit ve linyitli kil ardalanmasından oluşmakta olup, üst kısımlarında bol gastropod kavkılı marn seviyelerini de içermektedir. Linyit horizonunun kalınlığı Sarı (1985)'ya göre 1 ile 13 m ve Tuncalı vd. (1986)'ne göre 0.1 ile 10.8 m, Ulusay vd. (1998a)'nin hazırlamış olduğu kömür eş kalınlık haritasından belirlenen ise



Şekil 4.3: Himmetoğlu formasyonuna ait kömür horizonunun tabanında gözlenen taban kili

0.1 ile 10 m arasında değişmektedir. Şekil 4.4'de kömür horizonu görülmektedir.

Bölgede yapılmış olan sondajlar ve kömür eş kalınlık haritası incelendiğinde (Ulusay vd., 1998a), kömür damarı güncel işletmenin doğusuna doğru daha derinleşmekte olup, işletmenin kuzeyinde yaklaşık güneye eğimli iken, güneyinde güneydoğuya eğimlidir. Kömür zonunun konumunu da gösteren ve işletmenin doğu kısmına ait K-G ve D-B doğrultulu jeoloji kesitleri Şekil 4.5'de verilmiştir.

Bitüm bantlı marn zonu

Linyitli zonun hemen üzerinde, siyahımsı kahverengi, bitümlü şeyl bantlı marn gözlenmektedir. Bitümlü şeyl bantlarının kalınlıkları 0.1 ile 1 m arasında değişirken, zonun toplam kalınlığı saha genelinde 13 ile 29 m arasındadır (Şener, 1992).

Bitüm laminalı marn zonu

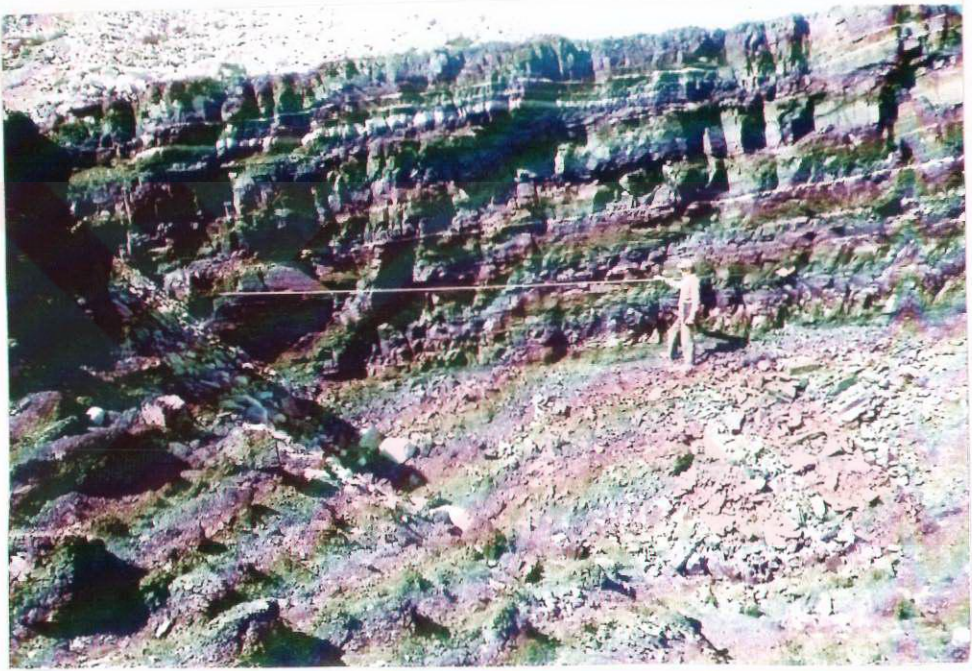
Açık yeşil, gri marnlardan oluşmaktadır. Zonun alt seviyelerinde, az da olsa, kahverenkli bitüm laminalı marn görmek mümkündür. Marnlar arasında açık kahverenkli birkaç seviyede tüfit ve kilaşları da gözlenmektedir. Sondaj verilerine göre zonun kalınlığı 79-165 m arasında değişmektedir.

Bu zondaki birimler havayla temas ettiklerinde ince levhalar şeklinde ayrıldıklarından, sahada kolayca ayırtılmaktadır (Şekil 4.6). Şener (1992)'in de belirttiği gibi, açık işletme basamaklarında Himmetoğlu formasyonu içinde çökme ile eş zamanlı kıvrım ve faylar, kaymalar ve yük çökme yapıları gözlenmektedir.

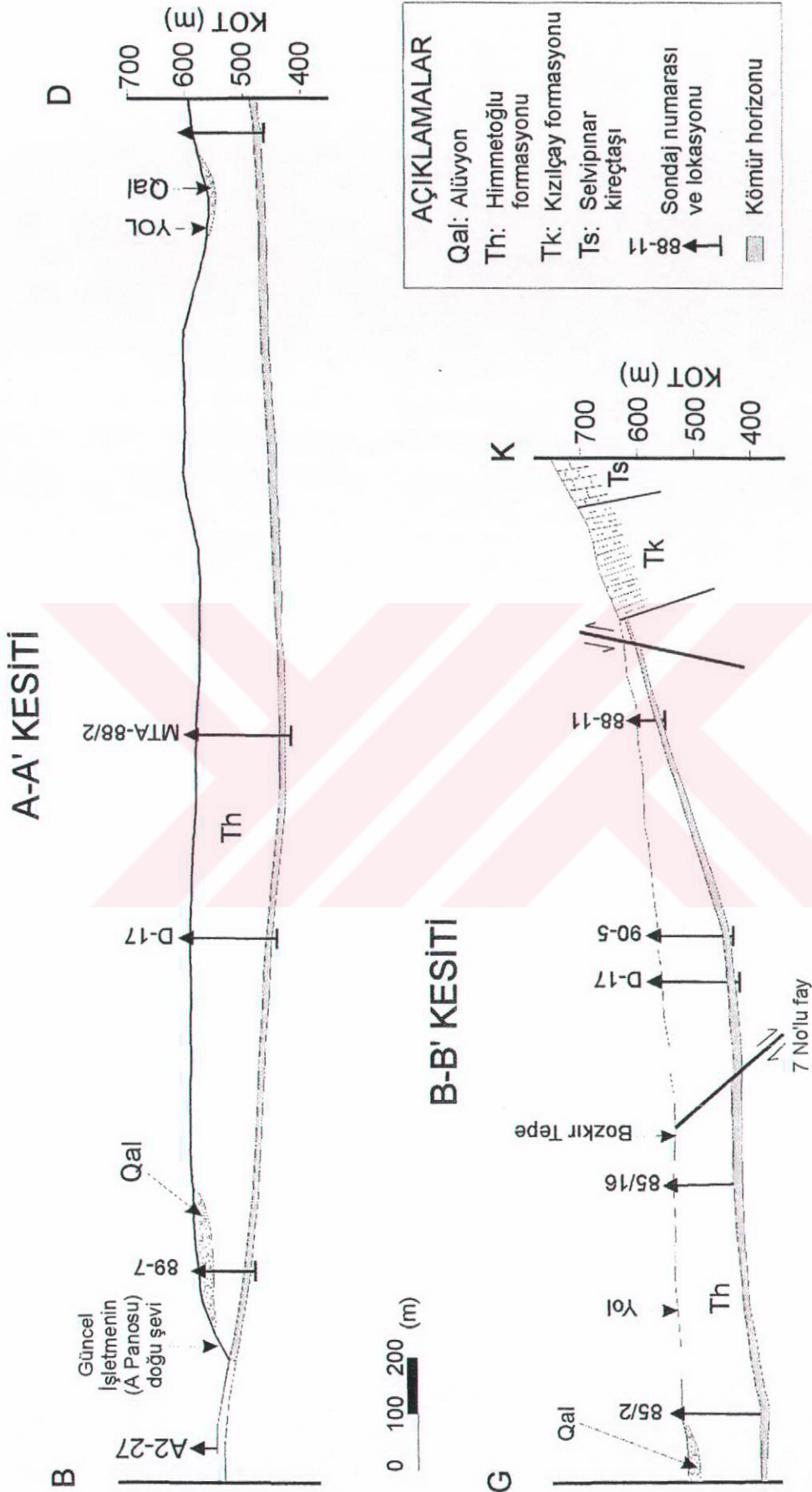
4.1.3. Kuvaterner Yaşlı Birimler

4.1.3.1. Kocabelen Tepe Çakılları

İlk kez Şener (1992) tarafından haritalanan bu birimin yaşının, yine aynı araştırmacı tarafından ve stratigrafik konumu gereğince, Pleyistosen



Şekil 4.4: İşletmede üretimi yapılmakta olan linyit horizonundan bir görünüm



Şekil 4.5: Güncel işletmenin doğu kesimine ait jeolojik kesitleri



Şekil 4.6: Himmetoğlu işletmesinde gözlenen bitüm laminalı marn zonu

olabileceği belirtilmiştir. Birim, güncel işletmenin güneydoğusunda ve TKİ kantarı kenarında gözlenmektedir (bknz. Şekil 4.1). Kalınlığı 2 ile 5 m arasında değişen birimin içinde, genellikle Selvipınar kireçtaşlarına ait köşeli çakılların yanısıra, Kızılçay formasyonunun değişik seviyelerine ait yuvarlak ve yarı yuvarlak çakıllar da bulunmaktadır.

4.1.3.2. Alüvyon

İnceleme alanında daha çok Bölücekova Dere, Ovaçay Dere, Boyalıcadere ve Mehmetağa Dere yatakları çevresinde yer alan alüvyon, en iyi şekilde işletmenin üst kotlardaki basamaklarında ve doğudaki derivasyon kanalında gözlenmektedir. Tabanında yer yer yeşil killi siltli ince kum seviyesi, bunun üstünde kum-çakıl seviyeleri ve yeşil-kahverenkli kil-silt bantları, en üstte ise kırmızı-kahverenkli ince taneli bir zondan oluşmaktadır (Şekil 4.7). Dolayısıyla alüvyon, yerel olarak gözlenen kümlü seviyeler ve/veya bantlar haricinde, genellikle ince taneli malzemedir oluşmaktadır.

Alüvyonun tabanında gözlenen yeşil killi silt seviyesi, TKİ jeofizik ekibinin Ağustos-Eylül 1997'de işletmede yaptığı rezistivite çalışmalarında (Ergüder vd., 1997) da belirlenmiş olup, bu seviyenin işletmenin güneyinde bulunduğu, ancak kuzey kesiminde gözlenmediği belirtilmiştir. Jeofizik etütlerde bu seviye yeşil kil olarak tanımlanmasına rağmen, 6. Bölümde belirtildiği gibi, indeks deneylerine ve zemin sınıflamasına, ayrıca bu birime ait örnekler üzerinde yapılan permeabilite deneylerinin sonuçlarına (Ulusay vd. 1998a) göre zeminin, geçirgenliği düşük kum-kil karışımı ve/veya killi siltli ince kum şeklinde tanımlanması gerektiği anlaşılmıştır.

Alüvyonun kalınlığı yer yer değişmekte olup, işletmenin güneyinde ve doğusunda bulunan Ovaçay Deresi ve Boyalıcadere boyunca yüzeylenen alüvyonun kalınlığı dere yataklarına yaklaştıkça artarken, uzaklaştıkça azalmaktadır. Ergüder vd. (1997) tarafından yapılan jeofizik etütlerden ve işletmenin hem kuzeyinde, hem güneyinde TKİ'nin yaptığı drenaj sondajlarından alüvyonun kalınlığının kuzeyde 2 ile 26 m, güneyde ise 6.5 ile



Şekil 4.7: İşletmenin güney şevinin üst basamaklarında yer alan alüvyondan sızan sular

38 m arasında değiştiği belirlenmiştir. 8. Bۆlümde tartişılan geriye dۆnük analizlerde ve 9. Bۆlümde sunulan duraylılık analizlerinde kullanılan kesitlere alüvyon sınırları işlenirken, yukarıda belirtilen jeofizik etütlerden ve drenaj sondajlarından yararlanılmıştır.

Bölücekova ve Ovaçay Derelerinden işletmeye gelen sular, bu birim içinden geçerek işletme şevlerinin duraysızlığında önemli rol oynamaktadır (bknz. şekil 4.7).

4.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma sahası, Ketin (1966) tarafından "Kuzey Anadolu Sıradağları" veya geniş anlamda "Pontidler" olarak adlandırılan tektonik birliğin batısında yer almaktadır. Miyosen öncesi paleotektonik dönemde K-G yönlü bir sıkışmaya maruz kalan bölgede kıvrımlanma yapıları gözlenirken, neotektonik dönemde yine K-G yönlü gerilimler sonucu normal faylar oluşmuştur (şener, 1992).

Çalışma alanının yapısal jeolojik özelliklerinin belirlenmesi bu çalışmanın amacı olmamakla birlikte, yapısal özelliklerin şevlerin duraylılığı üzerindeki etkisinin ortaya konulabilmesi amacıyla işletme içinde gözlenen yapısal unsurlar genel hatlarıyla incelenmiştir. Ulusay vd. (1998a) tarafından hazırlanan genel jeoloji haritasında (bknz. şekil 4.1) verilen yapısal unsurların işletme içindeki devamlılıkları açısından, süreksizliklere ait veri toplanması amacıyla işletme şevlerinde hat etütleri yapılmış, işletme dışında çıkma gözlenen bölgelerde ve özellikle işletme basamaklarında tabaka düzlemlerinin yönelimleri belirlenmiş ve daha önceki çalışmaların işığında faylar ve kıvrımlı yapılar saptanmıştır.

Yapısal unsurlar, tabakalanma ve kıvrımlanma, faylar ve eklemler olmak üzere üç başlık altında toplanmış ve aşağıda özetle verilmiştir.

4.2.1. Tabakalanma ve Kıvrımlanma

Şekil 4.1'de verilen jeoloji haritasındaki birimlerden Kızılcay formasyonu, Selvipınar Kireçtaşı ve Himmetoğlu formasyonunda tabakalanma ve kıvrımlanma yapıları görülmektedir. Ancak bu tezin kapsamı çerçevesinde sadece Himmetoğlu formasyonundaki, özellikle güncel işletme içindeki tabakalanma ve kıvrımlanmalar incelenmiştir.

İşletmenin içinde küçük boyutta, yaklaşık K-G yönlü bir sıkışma sonucu oluşan iki senklinal ile bir antiklinal belirlenmiştir (Şekil 4.8). Bu kıvrımlı yapıya bağlı olarak tabakalanma yönelimleri de farklılık göstermektedir. Bu nedenle işletme sahası sektörlere ayrılarak her sektör için tabaka ölçüleri ayrı değerlendirilmiştir. 5. Bölümde bu sektörler için tabaka konumlarının değerlendirilmesi ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bu değerlendirmeye göre, genel olarak tabakalanma işletmenin kuzeyinde güney ve güneydoğuya, güney şevinde kuzeydoğuya eğimli iken, doğu şevinde ise bölge bazında farklılık göstermektedir (EK-1). Eğimler işletmenin ortalarına doğru yataya yaklaşırken, üst basamaklarda artmaktadır. Sarı (1985) tarafından Himmetoğlu senklinali olarak adlandırılan ve çanak şeklindeki göl havzasının Miyosen çökelleriyle dolması sonucu oluşan bir senklinalden sözedilmekte olup, Himmetoğlu İşletmesi bu havzanın, dolayısıyla bu senklinalin içinde yer almaktadır. İşletmede ölçülen tabaka eğimlerinin işletmenin ortalarına doğru azalıp, işletmenin üst şevlerinde artması bu senklinalin varlığını doğrulamaktadır.

4.2.2. Eklemler

Eklemler sisteminin değerlendirilmesi ise, yine bu tezin kapsamı çerçevesinde, işletme içinde gözlenen Himmetoğlu formasyonundan alınan ölçümlerle sınırlı tutulmuştur. 5. Bölümde ayrıntılı olarak değerlendirilmiş olan eklemlerden KD-GB ve KB-GD doğrultulu ve eğimleri 70-85° arasında değişen başlıca iki eklemler sistemi ayırtlanmıştır.



Şekil 4.8: İşletmenin doğu şevinde gözlenen kıvrımlanmanın görünümü

4.2.3. Faylar

Himmetoğlu İşletmesinin basamaklarında gözlenen fayların işletme dışında da devam ediyor olması, fayların daha geniş bir alanda incelenmesini gerekli kılmıştır. Bu amaçla Şekil 4.1'de verilmiş olan jeoloji haritasında gözlenen fayların tümü incelenmiştir.

Himmetoğlu Neojen baseninin oluşumundan önceki dönemde gelişmiş iki adet doğrultu atımlı fay bulunmaktadır (Ulusay vd., 1998a). Bu faylardan biri Çayköy'ün doğusunda olup, Sarı (1985) tarafından da tanımlanmıştır. Diğeri ise, Orman Tepe civarında gözlenen KD-GB doğrultulu faydır. Yine bu dönemde Değirmen Tepe civarında D-B yönünde uzanan normal bir fay bulunmaktadır (bknz. Şekil 4.1).

Miyosen ve sonrasına ait dönemde, normal faylar oluşmuştur (Şener,1992). Güncel işletmenin yaklaşık kuzeydoğu sınırından başlayarak doğuya doğru uzanan D-B doğrultulu bir normal fay gözlenmekte olup, işletmenin ileriki aşamalarında fayın eğim yönünün kazı boşluğuna doğru olması şev duraylılığı açısından önem taşımaktadır. Tuncalı vd.(1986) ve Şener (1992), ortamı çöküntü havzası olarak değerlendirerek, inceleme alanını kuzeyden sınırlayan faya karşılık güneyden de sınırlayan bir fayın bulunabileceğini öne sürmüşlerdir. Ancak Ulusay vd. (1998), gerek güneydeki sondajların değerlendirilmesinden, gerekse bu bölgenin alüvyonla kaplı olmasından dolayı böyle bir fayın varlığına kanıt olabilecek bir göstergenin olmadığını belirtmişlerdir.

Bu fayların yanısıra, güncel işletmenin içinde 7 adet normal fay belirlenmiş olup, bu faylar jeoloji haritasına (bknz. Şekil 4.1) ve EK-1'de sunulan dökümantasyon haritasına işlenmiştir. Bu faylar, 1'den 7'ye kadar numara verilerek tanımlanmıştır. 1 numaralı fay olarak adlandırılan ve işletmenin kuzeydoğusundan başlayıp işletmeyi boydan boya kateden bu fay, önceki

yıllarda üretimin durdurulduğu ve B Panosu olarak adlandırılan eski ocağın (bknz. Şekil 4.1) güneybatı sınırına kadar devam etmektedir. Yaklaşık KD-GB doğrultulu olan bu fay 70° - 80° ile KB'ya eğimli olup, yaklaşık 10 m atıma sahiptir. İşletmenin kuzeyinde gelişmiş olan heyelan bu fayın varlığı nedeniyle daha doğuya yayılmamıştır (Şekil 4.9). 2, 3 ve 4 numaralı faylar ise bu faya yaklaşık paralel doğrultuludurlar. Ocak tabanına yakın bir bölgede gözlenen 5 numaralı fay yaklaşık D-B doğrultulu ve 55° - 60° eğimli olup, 2 m'lik bir atıma sahiptir. Güney şevinin üst kotlarında yine doğu-batı doğrultulu olan 6 numaralı fay gözlenmekte olup, fayın eğimi 40° ile 45° arasında değişmektedir. Bu fay Ağustos 1997'de işletmede aktif-pasif kama türünde gerçekleşmiş şev duraysızlığında kayma düzlemlerinden birini oluşturmuştur. Güney şevinin daha alt kotlarında bu faya yaklaşık 70 m uzaklıkta ve paralel konumda 7 numaralı fay gözlenmektedir. Ergüder ve Kızıldağ (1998), tarafından yapılan jeofizik etütlerde, bu fayın işletmenin dışına ve doğuya doğru bir miktar devam ettiği belirtilmiştir.

Güney şevlerinde gözlenen D-B doğrultulu faylar, şev doğrultularına paralel ve eğim yönlerinin ocak içine doğru olmasından dolayı, bu bölgedeki şevlerin duraylılığı açısından önem taşımaktadır.



Şekil 4.9: 1 numaralı faydan ve kuzeydeki duraysızlıktan bir görünüm

5. JEOTEKNİK AMAÇLI SAHA ÇALIŞMALARI

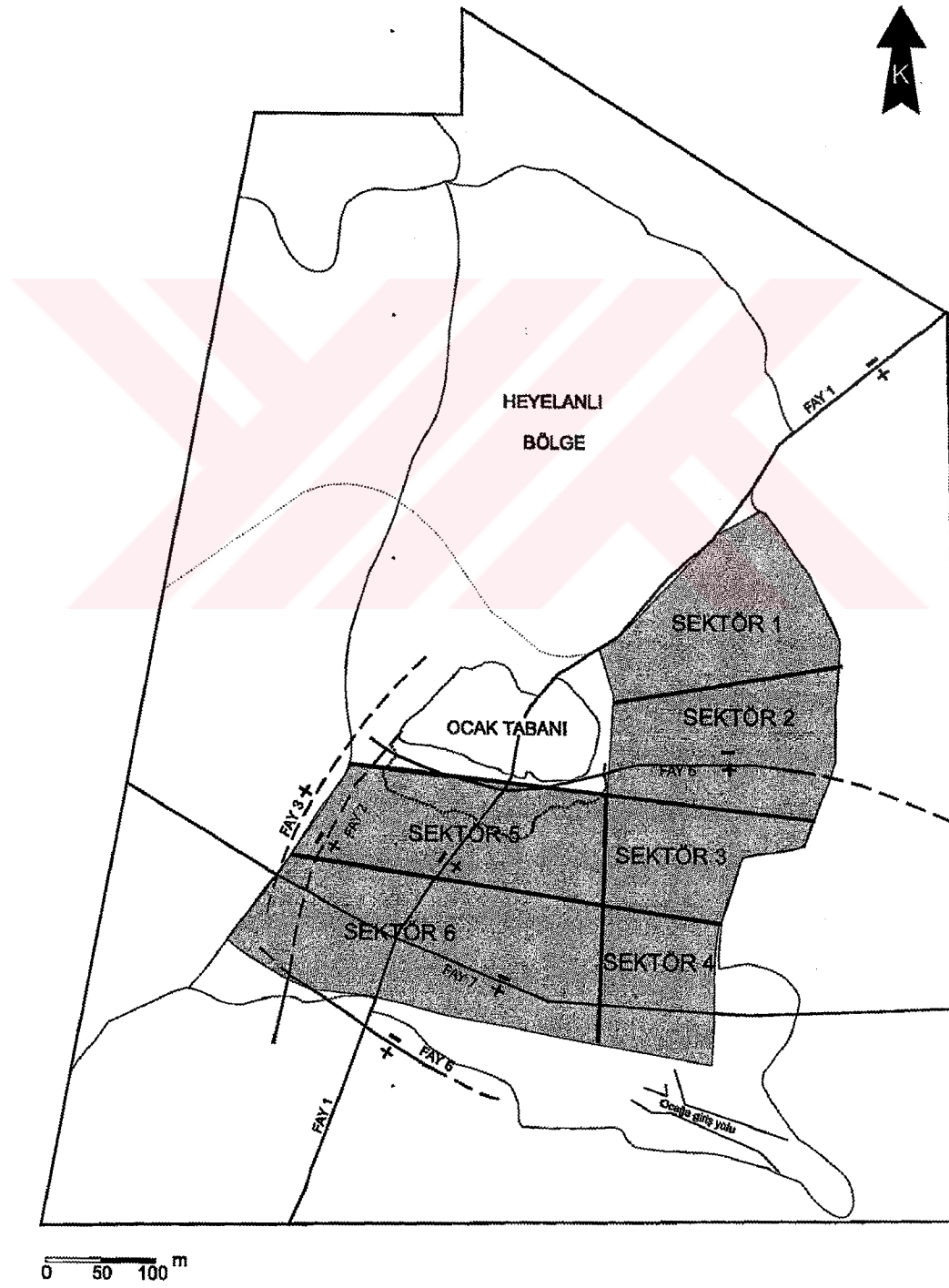
Bu bölümde, şevlerin duraylılığının deterministik ve olasılığa dayalı yöntemlerle değerlendirilmesi için gerekli olan saha verilerinin toplanmasına yönelik amaçlarla gerçekleştirilen çalışmalara değinilmiştir. Bu bağlamda Himmetoğlu açık işletmesinde; hat etütleri, işletmenin mühendislik jeolojisi haritasının hazırlanması ve işletmede gözlenen duraysızlıkların mekanizmasının belirlenmesi amacıyla yapılan gözlemlerle, hareket izleme ve ayrıca laboratuvar deneyleri için örnekleme çalışmaları yapılmıştır.

5.1. Hat Etütleri

İşletmede gözlenen duraysızlıkların Himmetoğlu formasyonuna ait marnlarda gelişmiş olmasından dolayı, işletme alanı içindeki süreksizlik sistemlerinin yönelimlerinin ve bunların şev duraylılığı üzerindeki denetimlerinin önem derecesinin istatistiksel olarak araştırılması amaçlarıyla, hat etütleri bu birim içinde yapılmıştır.

Tabaka konumlarının belirli bölgelerde farklılık göstermesi, ocak içindeki basamaklarda gözlenen kıvrımlanmadan kaynaklanmaktadır. Doğu ve güney şevinde kıvrımların her bir kanadı ayrı sektör olacak şekilde, çalışma alanı 6 sektöre ayrılmıştır (Şekil 5.1). Daha sonra her sektörde hat etütleri yapılmıştır. Ancak işletme şevlerinin önemli bir bölümünün döküntüyle kaplı olması, hat etütlerinin yeterli uzunlukta yapılmasına olanak vermemiştir. Bu nedenle, ölçüm için mümkün olan tüm lokasyonlarda, uzunluklarına bakılmaksızın, hat etütleri yapılmıştır. Toplam 18 lokasyonda 169 m'si yatay, 34.5 m'si düşey yönde yapılan hat etütleriyle,

- (a) Süreksizlik konumu
- (b) Süreksizlik aralığı ve devamlılığı
- (c) Süreksizlik açıklığı ve dolgu özellikleri
- (d) Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülük ve dalgalılığı



Şekil 5.1: Güncel işletmede süreksizliklerin ve şevlerin yönelimine göre ayrılmış sektörler

(e) Süreksizlik yüzeyleri boyunca bozunma ve su koşulları

hakkında, ISRM (1981) tarafından önerilen ölçütler esas alınarak veri toplanmıştır.

5.1.1. Süreksizliklerin Yönelimi

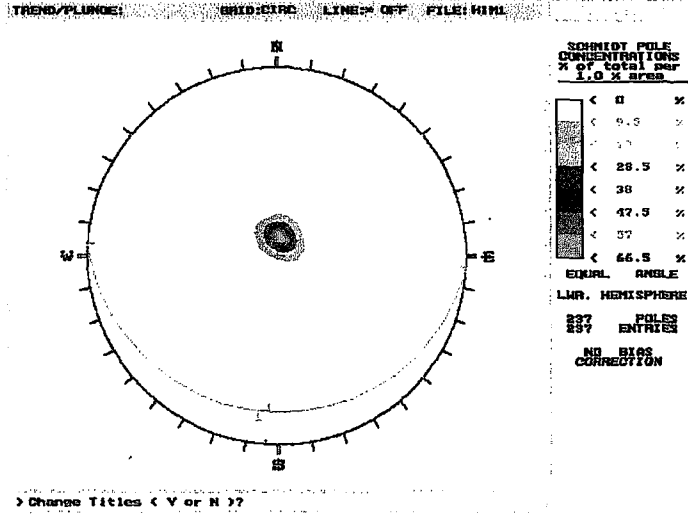
Hat etütlerinden elde edilen süreksizliklerin konumlarına ilişkin veriler her sektör için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. DIPS (Diedrichs and Hoek, 1989) isimli bir bilgisayar programı kullanılarak yapılan değerlendirmede, tabaka konumlarının sektörler bazında değiştiği (Şekil 5.2), eklem setlerinin ise tüm sektörlerde aynı olduğu (Şekil 5.3) sonucuna varılmıştır. Bundan dolayı eklem setleri için tüm sektörlerde alınan ölçüler birleştirilerek, bütün ocağı kapsayacak şekilde tek bir stereoprejeksiyon üzerinde değerlendirilme yapılmış ve başlıca iki eklem setinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 5.4).

İşletmenin kuzey şevinin tamamen heyelan malzemesiyle örtülü olması bu kısımdan süreksizlik ölçümü alınmasını engellemiştir. Ancak heyelanlı bölgede tabakalanmanın sahadaki genel konumunun korunduğu bazı yerlerden alınan ölçümler, 1 numaralı sektördeki tabaka ölçümleriyle çok büyük benzerlik göstermektedir. Ocak içindeki kıvrımlanma da bu iki bölgedeki tabaka konumlarının aynı olacağını desteklemektedir.

5.1.2. Süreksizlik Aralığı ve Devamlılığı

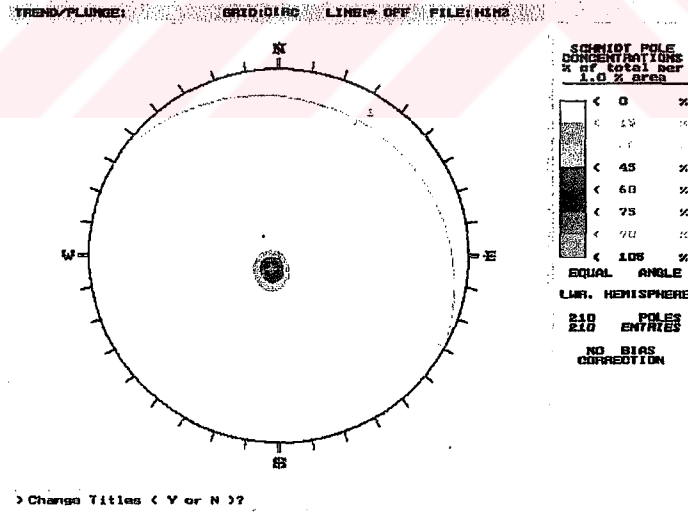
Eklem setlerinin dike, tabaka konumlarının ise yataya yakın olmasından dolayı, yatay hat etütlerinde eklem aralıkları, düşey hat etütlerinde ise tabaka aralıklarına ilişkin veri toplanmıştır. Her hat etütü için, işletmedeki şev aynaları boyunca serilen şerit metreyi kesen süreksizlikler arasındaki uzaklıklar ölçülerek, eklem ve tabaka aralıkları belirlenmiş olup, bu verilerden ortalama aralık değerleri hesaplanmıştır. Tabaka aralıkları ve sıklığı,

SEKTÖR 1



Ölçüm sayısı: 237
Tabaka yönelimi: 10/183

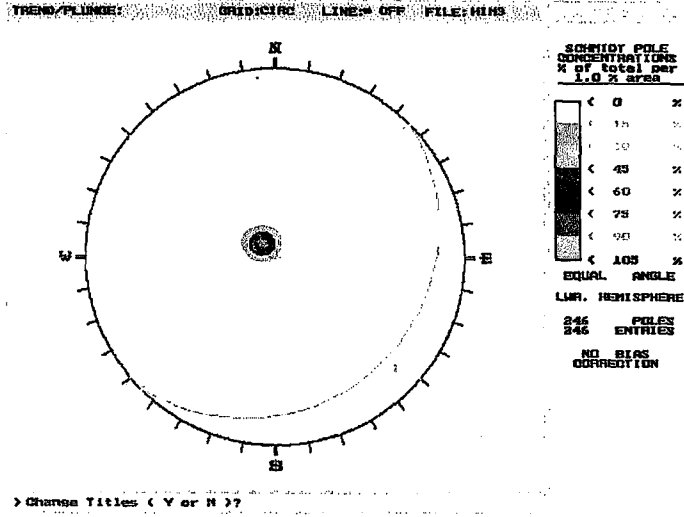
SEKTÖR 2



Ölçüm sayısı: 210
Tabaka yönelimi: 10/029

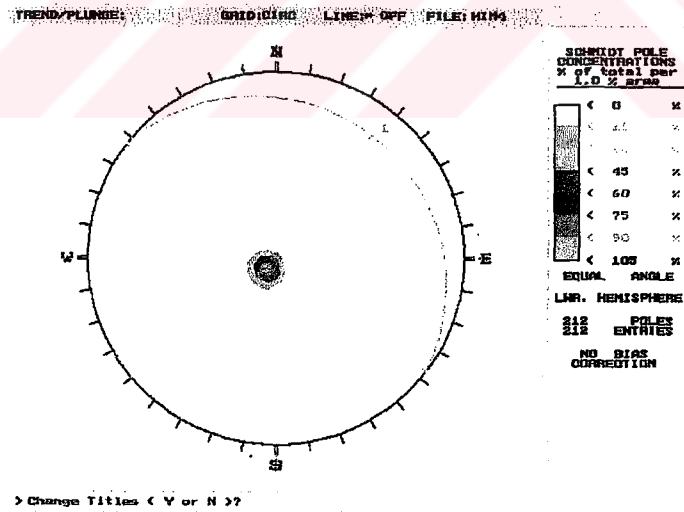
Şekil 5.2: Himmetoğlu İşletmesinde yapısal sektörlere göre tabakalanma düzlemlerine ait kontur diyagramları

SEKTÖR 3



Ölçüm sayısı: 246
Tabaka yönelimi:13/135

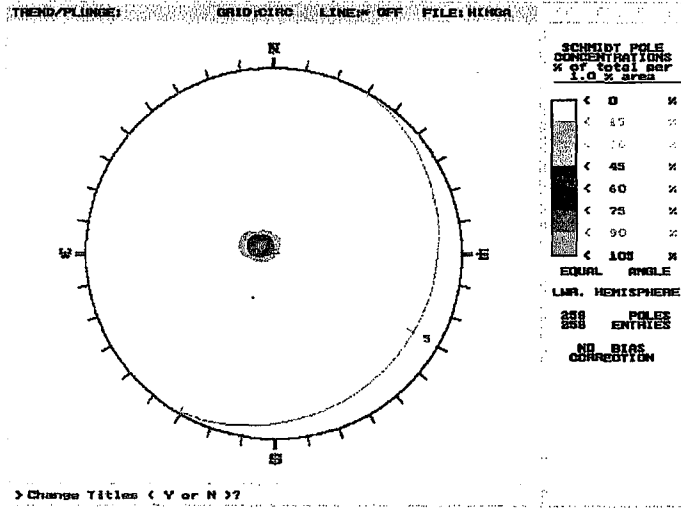
SEKTÖR 4



Ölçüm sayısı: 212
Tabaka yönelimi:11/037

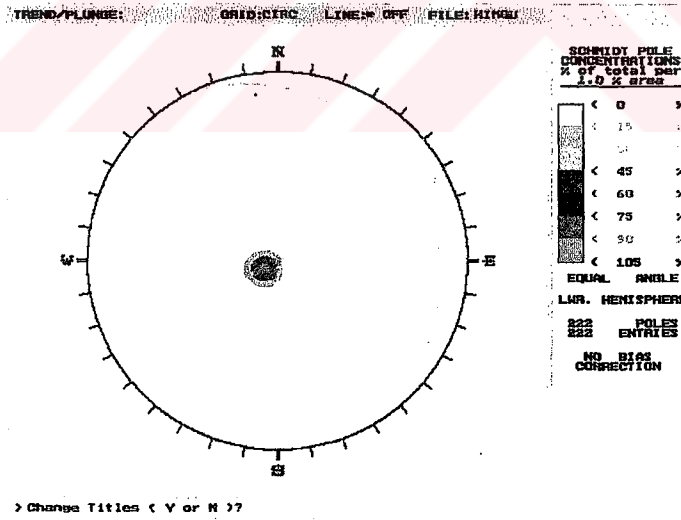
Şekil 5.2: (devamı)

SEKTÖR 5



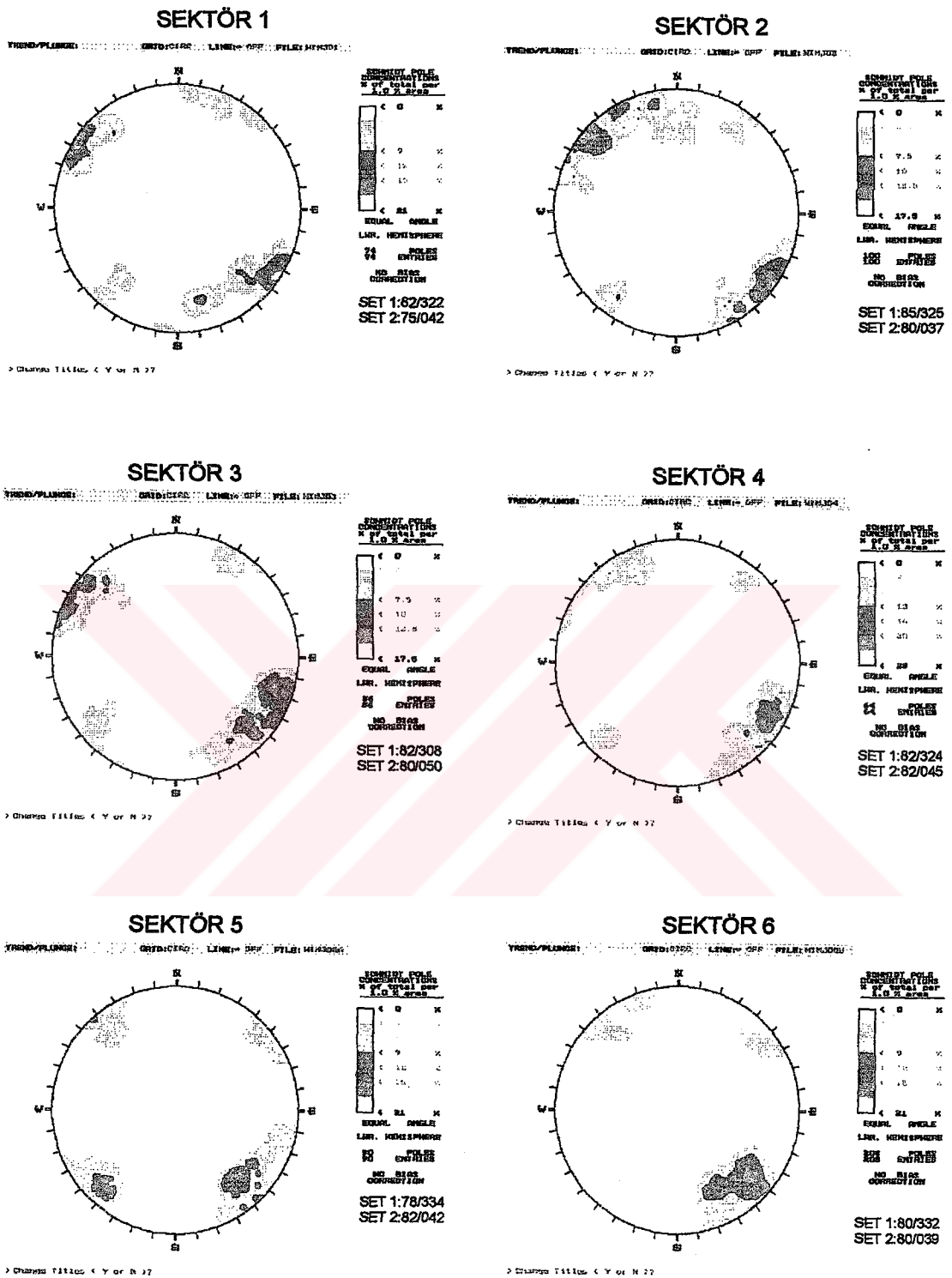
Ölçüm sayısı: 258
Tabaka yönelimi:10/119

SEKTÖR 6

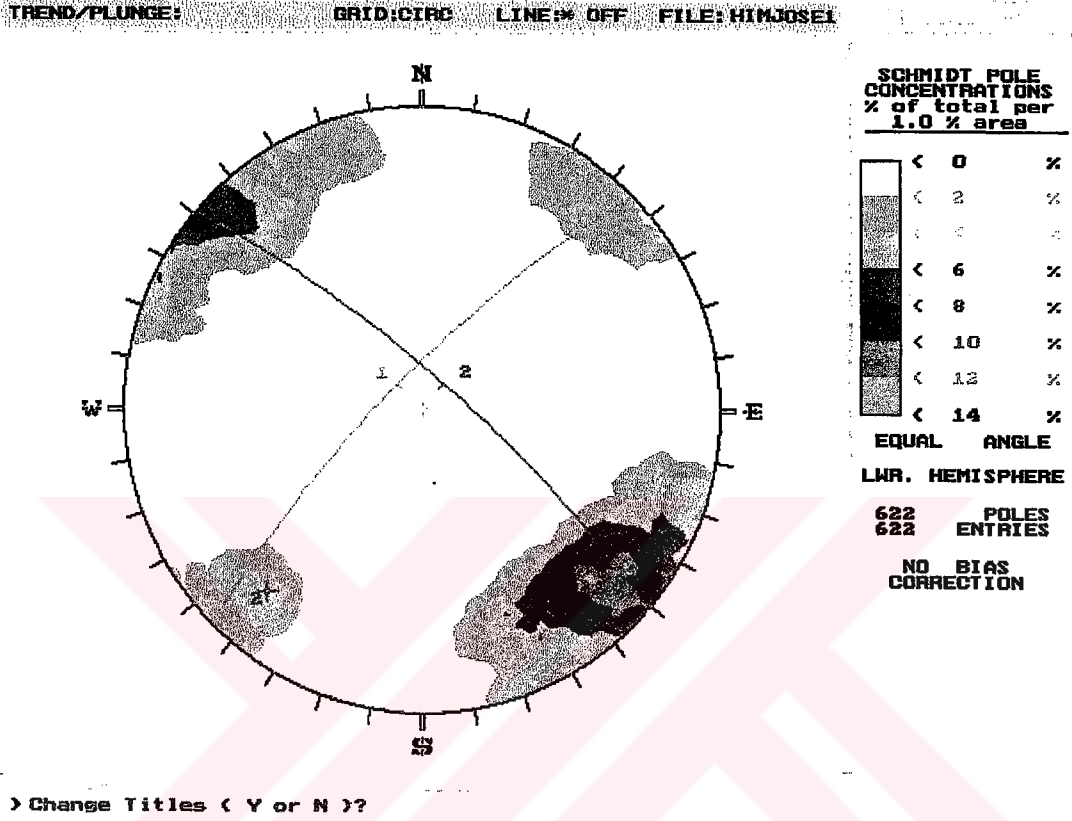


Ölçüm sayısı: 222
Tabaka yönelimi:10/063

Şekil 5.2: (devamı)



Şekil 5.3: Sektörlere göre eklemeler için kontur diyagramları



Ölçüm sayısı:622
Eklemler yönlemleri:
SET 1: 77/315
SET 2: 77/041

Şekil 5.4: Eklemler için tüm sektörler birleştirilerek elde edilen kontur diyagramı ve başlıca eklemler setleri

belirlenen iki eklem setinin her biri için eklem aralıkları ve eklem sıklığı ile ortalama süreksizlik aralığı değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Ulusay (1991) tarafından Eskihisar (Yatağan-Muğla) Linyit Açık İşletmesinde kireçtaşı, kiltası ve marn aralanmasından oluşan ve Himmetoğlu formasyonuna çok benzeyen Sekköy formasyonunda eklem aralığı dağılımının negatif eksponansiyel dağılıma uyduğu belirtilmiş olup, bu çalışmada da eklem aralıklarının dağılımının negatif eksponansiyel dağılıma uyduğu belirlenmiştir (Şekil 5.5).

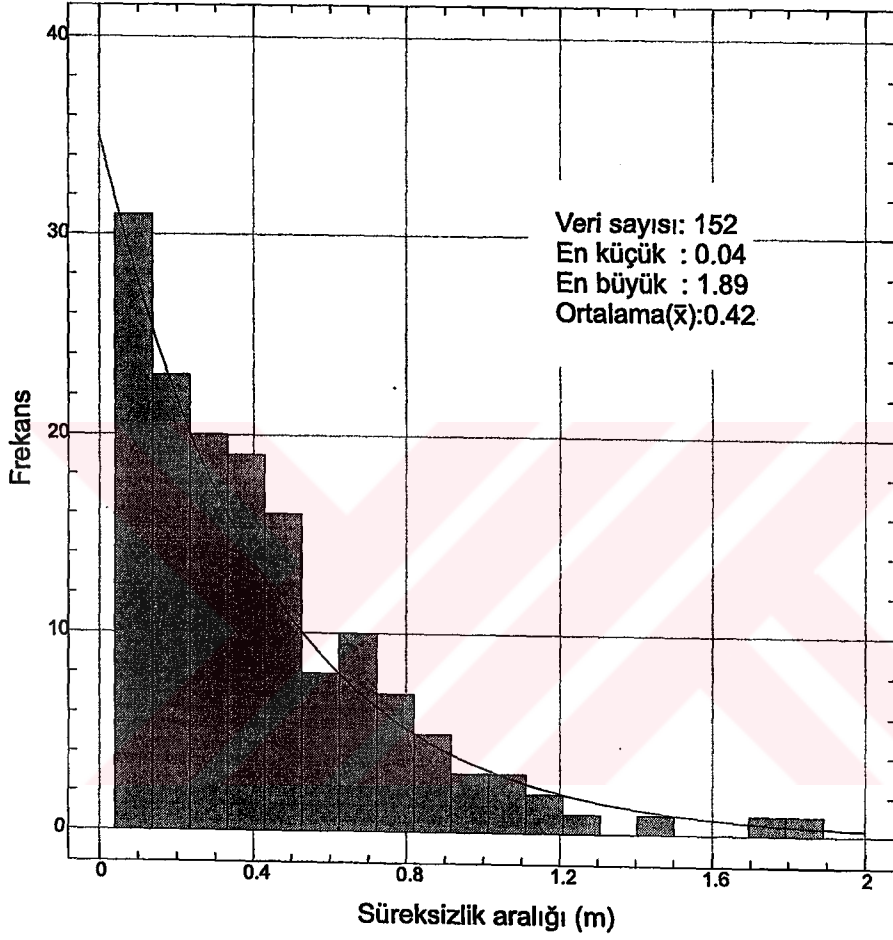
Çizelge 5.1: Her süreksizlik için süreksizlik aralığı (\bar{x}) ve sıklığı değerleri (λ) ile genel süreksizlik aralığı (χ)

Süreksizlik		\bar{x} (m)	λ (m ⁻¹)	χ (m)
Eklem	SET 1	0.37	2.68	0.33
	SET 2	0.65	1.55	
Tabaka		0.09	11.11	

Daha önce de belirtildiği gibi, çok sayıda basamak aynasının döküntüyle kaplı olmasından dolayı sektör başına düşen hat etüdü sayısının az olması, havzadaki tabaka aralığı değişiminin belirlenmesine olanak vermemiştir. Bu nedenle tabaka aralığı, tüm hat etütlerinden elde edilen verilerin ortalaması (bknz. Çizelge 5.1) olarak alınmış olup, bu değer tüm işletmeyi temsil ettiği varsayılmıştır.

5.1.3. Süreksizlik Açıklığı ve Dolgu Özellikleri

Tabaka ve eklem yüzeylerinin her ikisi için de açıklık, genellikle kapalı veya 1 mm'den küçük olarak tanımlanmıştır. Süreksizliklerde dolguya genelde rastlanmamakla birlikte, tabaka yüzeylerinin yer yer ince sıvama şeklinde



Şekil 5.5: İşletmede yapılmış hat etütlerinden bir kaçına ait tipik süreksizlik (eklem) aralığı frekans dağılımı

kille kaplı olduğu görülmüştür. İşletmedeki kaymaların bu yüzeyler boyunca gerçekleşmesi, şev duraylılığı açısından tabaka yüzeylerinin önemini arttırmaktadır.

5.1.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülük ve Dalgallılığı

Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü, özellikle süreksizlik denetimli yenilmelerde, süreksizliklerin makaslama dayanımına etki eden faktörlerden biri olduğu için önem kazanmaktadır. İnceleme alanındaki duraysızlıklar da tabaka yüzeyleri ve fay düzlemleri boyunca geliştiğinden, tabakaların pürüzlülüklerine ilişkin veri toplanarak, bu yüzeyler kaygan-parlak ve düz-mat olarak iki gruba ayrılmıştır. 6. Bölümde de değinileceği gibi, doğrudan makaslama deneylerinde bu ayırım gözönünde bulundurulmuştur. Eklem yüzeyleri ise az pürüzlü olarak tanımlanmıştır.

5.1.5. Süreksizlik Yüzeylerindeki Bozunma ve Su Durumu

İşletme basamaklarında gözlenen tabakalanma yüzeyleri için ISRM (1981) tarafından verilen ölçütlere göre bozunma tanımlamaları yapılmıştır. Bazı tabaka yüzeyleri, özellikle marnların arasındaki ince tüfit tabakaları sarımsı-kahve renklidir. Bu yüzeyler orta derecede bozunmuş olarak tanımlanmıştır. Eklem yüzeyleri ise, bozunmamış-az bozunmuş olarak sınıflandırılmıştır.

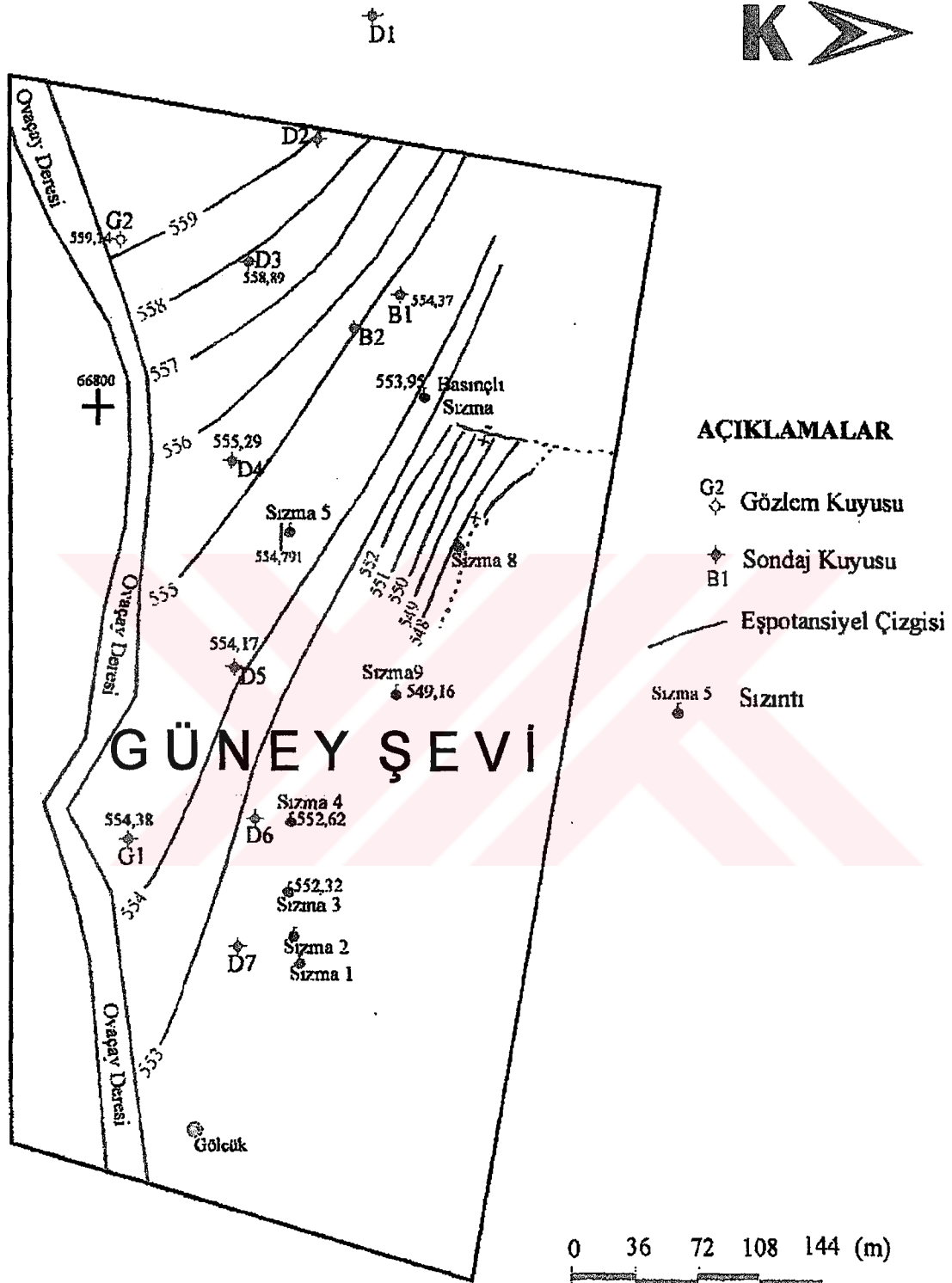
Süreksizlik yüzeyleri boyunca gözlenen su için tek bir tanımlama yapmak mümkün olamamıştır. Su durumu, iklim koşullarına ve ocak içi drenaja bağlı olarak açıklığı fazla olan süreksizlik yüzeylerinde su akışı ve damlama şeklinde tanımlanırken, diğer süreksizlik yüzeylerinde yağışlı zamanlarda ıslak, genelde nemli olarak tanımlanmıştır.

5.2. İşletme ve Yakın Civarında Yeraltısuyu Koşulları

Ulusay vd. (1998a) işletmedeki yeraltısuyunun, drenaj ve şev duraysızlığı olmak üzere, iki temel soruna neden olduğunu belirtmişler, hidrojeolojik koşulları değerlendirerek birimleri geçirimsizliklerine göre ayırtlayarak yeraltısuyuna ilişkin veriler sunmuşlardır. Söz konusu çalışmada, Boyalıcadere, Ovaçay Deresi ve Bölücekova Deresi yataklarında yüzeylenen alüvyon çökelleri akifer birimler olarak değerlendirmiş, Taraklı, Seben, Kızılcay formasyonları ve Selvıpınar kireçtaşı ise teorik olarak geçirimsiz birimler olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada ise, Ulusay vd. (1998a)'nin elde ettikleri bulgulardan sadece işletmenin güney şevlerini ilgilendiren kısmından yararlanılmıştır.

İşletmenin güney şevlerinde alüvyon ve Himmetoğlu formasyonu bulunmaktadır. Ovaçay deresinin yatağında yüzeylenen alüvyon çökelleri, yeraltısuyunu iletebilen ve depolayabilen (akifer) birim olarak tanımlanırken, Himmetoğlu formasyonunda kömür seviyesinin altında bulunan ve taban kili olarak adlandırılan birim geçirimsiz, kömür ve marndan oluşan üstteki birimler ise düşük geçirimsizliğe sahip, belirli oranlarda su taşıyabilen, ancak suyu çok yavaş iletebilen birimler olarak değerlendirilmiştir. Ulusay vd. (1998a) tarafından işletmenin güneyindeki Ovaçay Deresi alüvyonlarında yapılmış su sondajlarının verileri kullanılarak hazırlanmış olan yeraltısuyu seviyesi eşpotansiyel haritası Şekil 5.6'da verilmiştir.

İşletmenin güney şevini tamamen kapsayan duraysızlık, marnlardaki tabakalanma yüzeyleri boyunca gerçekleşmektedir. Bu nedenle kırık ve çatlaklar boyunca taşınan suyun marnlar içinde ne kadar yükselebileceği şev duraylılık analizlerinin doğru yapılabilmesi açısından önemlidir. Ulusay vd. (1998a) tarafından, marnların önemli miktarlarda su taşıyamamasına rağmen, kıvrımlanma nedeniyle yerel çanaklaşmanın olduğu kesimlerde suyun belirli bir düzeye kadar yükselerek depolanacağı vurgulanmış ve depolanan suyun işletmede çalışma koşulları açısından bir sorun yaratmayacak miktarda



Şekil 5.6: Himmetoğlu İşletmesinin güney kesiminde kazı sonrası yeraltısuyu seviyesi eşpotansiyel haritası (Ulusay vd., 1998a'dan)

olduğu, ancak Şev duraylılığı açısından oluŐturabileceđi etkilerin incelendiği belirtilmiştir. Aynı araştırmacılar bu amaçla, su seviyesinin kazı aynasında meydana gelen serbest drenajdan sonraki konumunun, kazı aynasından iç kısımlara doğru uzaklığa ve zamana bağlı değişimini hesaplamıŐlardır. Bu tez çalışması kapsamında da marnlar içindeki su seviyesi Ulusay vd. (1998a) tarafından belirlendiği Şekilde alınmıştır.

5.3. Şev Duraysızlıklarına İlişkin Gözlemler

Bir duraysızlığın geriye dönük analizi yapılarak, kayma anında kayma yüzeyinin makaslama dayanımı parametreleri hakkında bilgi edinilebilmektedir. Bunun için duraysızlığın geliŐtiđi alanda yapılacak incelemelerde kayma yüzeyinin belirlenmesi ve kaymadan nceki Şev geometrisinin bilinmesi gerekmektedir. Hareket izleme çalışmaları, hareketi devam eden duraysızlıkların kayma yüzeyinin Őeklinin belirlenmesi için oldukça kullanışlı bir yöntem olup, yerinde incelemelerle birlikte değerlendirildiğinde, duraysızlık modelinin belirlenmesine ıŐık tutabilecek bulgular sağlayabilmektedir.

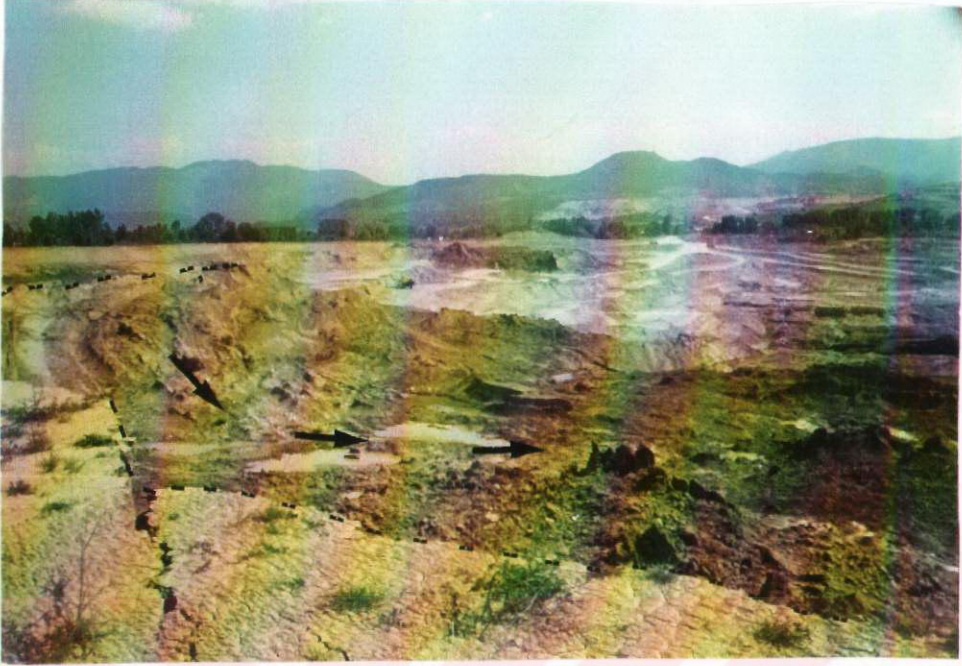
TKİ Himmetoğlu açık işletmesinde hem bu çalışmadan önce gerçekleşmiş, hem de hareketin hala devam ettiği duraysızlıklar gözlenmiştir. Geçmişte gerçekleşmiş heyelanlarda yerinde incelemeler, devam eden duraysızlıklarda ise hem yerinde incelemeler, hem de hareket izleme çalışmaları yapılarak işletme içindeki tüm duraysızlıkların geometrileri belirlenmiş ve duraysızlıklar hakkında sistematik olarak veri toplanmıştır.

İŞletmede gözlenen duraysızlıkların bazıları işletmenin kuzey ve güneyindeki tüm Şevleri kapsayacak büyüklükte iken, bazıları ise lokal olarak gelişmiş türdeki küçük kaymalardır. İncelenen duraysızlıklar HEYELAN 1, 2, 3 ve 4 Şeklinde kodlanarak EK 1'deki haritaya işlenmiş ve aşağıda bunlar hakkında özetle bilgi verilmiştir.

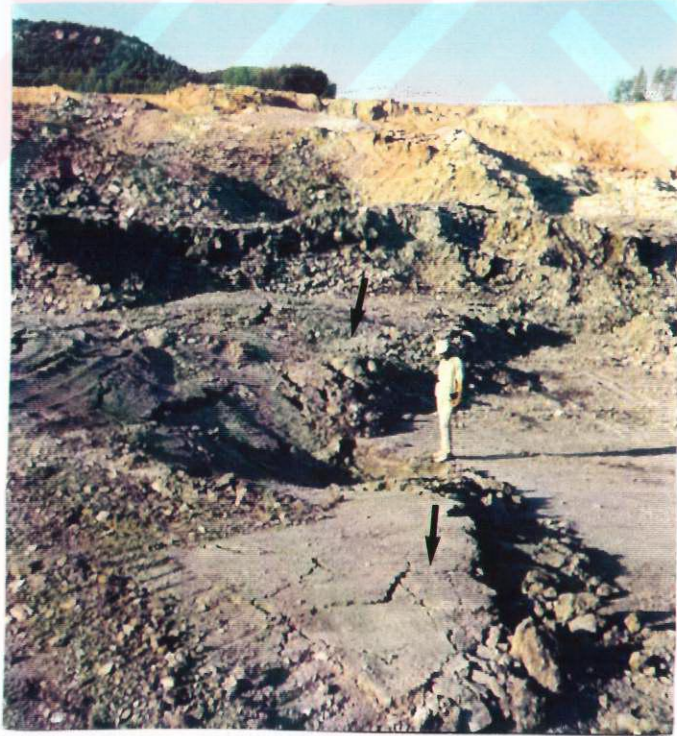
HEYELAN 1:

İşletmenin kuzey ve kuzeydoğusunu tamamen kaplayan bu heyelanın (Şekil 5.7) 1995 yılında meydana geldiği TKİ yetkilileri tarafından belirtilmiştir. Heyelanlı bölgenin kaymış malzeme ile örtülü olması ve yağmur suları ile Boyalıcadere alüvyonlarından sızan suların heyelanlı bölgede büyük birikintiler oluşturması, veri toplanmasında güçlüklerle karşılaşılmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, şevin üst bölümlerinde kayma yüzeyi gözlenmiş olup, bu yüzeyin parlak ve kaygan bir görünüme sahip marn tabaka yüzeyleri olduğu belirlenmiştir. Yine heyelanlı alanın kuzeybatısında ve kömür horizonunun incelerek dikleştiği kesimde lokal olarak taban kilinde de bir kayma yüzeyi gözlenmiştir. Ancak, bu yüzeyin lokal olarak gözlenmesi, 6. Bölümde de değinildiği gibi, taban kilinin makaslama dayanımı parametrelerinin parlak-kaygan tabaka yüzeylerinininkinden daha yüksek olması ve işletmede gözlenen diğer duraysızlıkların kömürün üzerindeki kotlardaki marn biriminde gerçekleşmesi taban kilinin duraysızlıklarda rolünün olmadığını desteklemektedir. Marnın üzerinde yeralan ve bu kesimde oldukça kalın olan alüvyon içinde de heyelan devam etmiş olup, kopmuş alüvyon bloklarından yararlanılarak kayma mekanizması hakkında değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır. Heyelanın üst kesimlerinde alüvyon blokları geriye doğru yatık iken, alt kotlarda marn tabaka yüzeylerine paralel konumda oldukları gözlenmiştir. Dolayısıyla bu eski heyelanın marnlardaki tabaka yüzeyleri boyunca başladığı ve sonrasında önünün boşalması ile alüvyonun da harekete katıldığı düşünülmüştür.

Bu incelemeler devam ettirilirken kuzey şevinin topuğuna yakın bir bölgede bulunan yolda kabarmaların başladığı gözlenmiş (Şekil 5.8) olup, şevin topuğunda yapılan kazı çalışması durdurulmuş ve bir müddet sonra hareket de durmuştur. Kuzey şevinin topuğuna doğru tabaka eğimleri şev içine doğru eğimli olup, kuzeye doğru ise kıvrılarak şev kazısına doğru eğimli hale gelmektedir. Kuzey şevinde başlayan bu hareketin muhtemel sebebi topukta kaymayı engelleyici rol oynayan kısmın kazılıyor olmasıdır.



Şekil 5.7: İşletmenin kuzey şevinde meydana gelmiş HEYELAN 1 olarak kodlanmış duraysızlıktan bir görünüm



Şekil 5.8: Kuzey şevinin topuğuna yakın kısımdaki yolda gözlenen kabarmalar

HEYELAN 2:

Yapılan ilk incelemelerde güney şevinin üst kısmında alüvyon içinde tansiyon çatlakları gözlenmiş (Şekil 5.9), ancak alt kotlarda hareketin varlığını gösteren bir iz rastlanmamıştır. Bu bölgede de hareket izleme ağı kurulmuş ve çok az miktarda hareket gözlenmiştir. Kuzey şevinde olduğu gibi, güney şevinin topuğunda da tabaka eğimleri şev içine doğrudur. Tabaka eğimlerinin bu konumları gözönünde bulundurularak , kömür üretiminin belli bir hatta kadar yapılması, bu hattın güneyine geçilmemesi gerekmektedir. Ancak kömür üretimine devam edilmesiyle kaymayı engelleyici rol oynayan tabakaların şev içine doğru eğimli olduğu kısmın kazılması nedeniyle, 1998 yılı başlangıcında üstteki alüvyonun içinde basamakları boydan boya kapsayan tansiyon çatlakları ve birkaç metreyi bulan oturmalar gerçekleşmiştir. Daha sonra ise büyük ölçekli, ancak hareket miktarı kuzeydeki heyelana göre daha az olan bir duraysızlık meydana gelmiştir. Yapılan incelemede kayma yüzeyi belirgin olarak gözlenmiş ve bu yüzeyin kömür horizonunun yaklaşık 8-10 m üzerinde yer alan parlak-kaygan tabaka yüzeyi olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.10).

İşletmenin güney şevinde gözlenen D-B doğrultulu fayların da duraysızlıkların gelişmesinde etkin olduğu ve kaymanın fay düzlemi boyunca başlayıp tabaka yüzeyi boyunca devam ettiği düşünülmüştür. Hareketle birlikte önü boşalan üst kotlardaki alüvyonun ise oturma ve kopma davranışı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

HEYELAN 3:

Ağustos 1997'de güney şevinin batı kısmında üst kotlardaki sıg kömür damarının alınması ile gözlenebilen 6 numaralı fay boyunca başlayıp, tabakalanma düzlemi boyunca devam eden bu duraysızlık, kuzey ve güney şevlerini kapsayan 1 ve 2 numaralı duraysızlıklara göre oldukça küçük olup, iki basamağı kapsamaktadır. Şekil 5.11'de bu duraysızlıktan bir görünüm sunulmuştur.



Şekil 5.9: Güney şevinin üst kotlarında alüvyonda gelişmiş tansiyon çatlakları ve oturmalar



Şekil 5.10: Şubat 1998'de kömür horizonunun yaklaşık 8-10 m üzerinde gözlenen ve HEYELAN 2 kodlu duraysızlığa ait kayma yüzeyi



Şekil 5.11: Güney şevinin yaklaşık ortasında yeralan ve HEYELAN 3 olarak kodlanmış duraysızlıktan bir görünüm

HEYELAN 4:

İşletmenin güney şevinden ocak tabanına inen yolun kenarında ve güncel işletmenin hemen batı sınırındaki pasa malzemesine yakın bir bölgede gözlenen bu küçük kayma bir tek işletme basamağı boyunca gelişmiştir. Kayma yüzeyi net bir şekilde gözlenmiş ve eğimi 15° olarak ölçülmüştür (EK 1). Kaymanın gerçekleştiği şev, işletmenin güney kısmında bulunmasına rağmen, geçici olarak oluşturulmuş doğuya eğimli bir şevdir. Kayma yüzeyi kurumuş olmakla birlikte, kayma izlerinin belirgin şekilde farkedilebiliyor olması, bu yüzeyin de parlak-kaygan tabaka yüzeyi olduğunu desteklemektedir.

5.4. Hareket İzleme Çalışmaları

Hareket izleme çalışmalarına Ulusay vd. (1998a) tarafından 16 Temmuz 1997 tarihinde hem kuzey, hem de güney şevleri üzerinde metal çubuklardan yapılmış istasyonlardan oluşan bir izleme ağı kurularak başlanmış ve ölçümlere 11 Mart 1998'e kadar devam ettirilerek bu dönemde elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Bu tez kapsamında ise daha sonraki tarihlerde de ölçümlere devam edilmiş ve 16 Temmuz 1997'den 8 Temmuz 1998'e kadar olan yaklaşık bir yıllık veri değerlendirilmiştir. Ancak işletmenin kuzey şevinde topuktaki kazının durmasına bağlı olarak hareketin sona ermesinden dolayı, sadece güney şevinden alınan hareket ölçümleri değerlendirmeye katılmıştır. Ölçümler duraylı lokasyonlarda kurulan Gre-3 Data terminal monteli distomat kullanılarak istasyonların x, y ve z koordinatlarındaki değişimler periyodik olarak kaydedilmiştir.

Güney şevinde toplam 50 istasyon kurulmuş olup (Çizelge 5.2), bu istasyonların bazıları işletmecilik faaliyetlerinin devam etmesinden dolayı kaybolmuştur. İstasyonların lokasyonları EK-1'de sunulan işletme dökümantasyon haritasında verilmiş olup, ayrıca Şekil 5.12'de şematik olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.2: Güney şevinde kurulmuş olan hareket izleme istasyonları

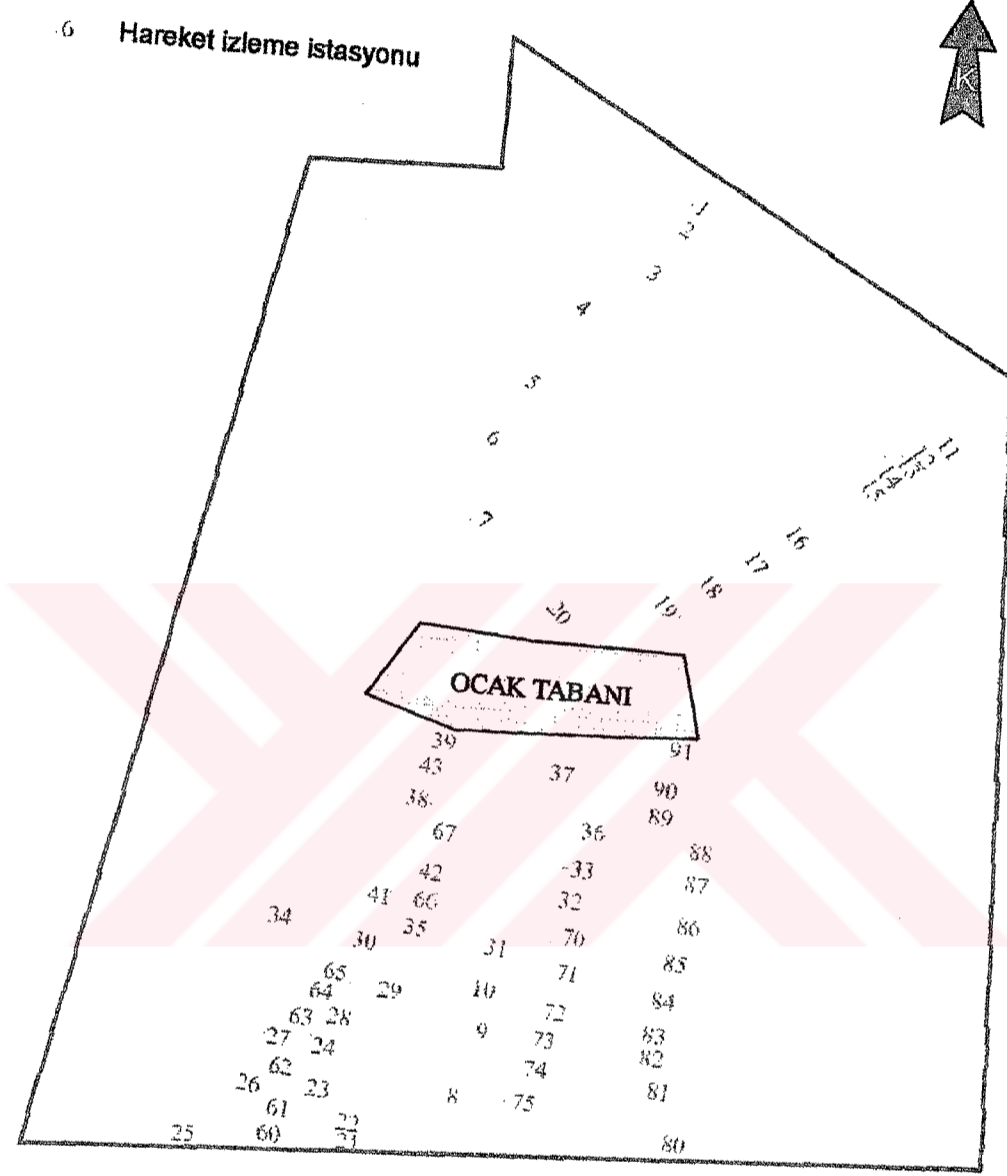
İzleme istasyon numaraları	Ölçüme başlangıç tarihi
8,9*,10*,31*,32*,33*,36*,37*,21, 22,23,24*,28*,29*,30*,35*,41*,42*, 43*,38*,39*,25*,26*,27*,34*	16.7.1997
60,61,62,63,64,65,66, 67,70,71,72,73,74,75	24.9.1997
80,81,82,83,84,85, 86,87,88,89,90,91	13.2.1998

*Kısa süre sonra kaybolmuş çubuklar

İzleme çalışmaları ile ilgili değerlendirmeler "Duraysızlık Mekanizmasının Araştırılması" başlığı altında 7. Bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Yapılan değerlendirmede 13 Ekim 1997'de ve Şubat 1998'de hareket miktarlarında bir artış gözlenmiştir. Hareket miktarlarındaki bu artıştan sonra 2 numaralı heyelan meydana gelmiştir. Yapılan incelemelerde güney şevinin üst kısımlarında alüvyon içinde tansiyon çatlaklarının olduğu gözlenmiştir. Ayrıca güney şevi boyunca gelişen hareketin kayma yüzeyinin şev üzerindeki izi de belirlenmiştir. Hareket izleme çalışmaları, bu tezde kullanılmak üzere 8 Temmuz 1998 tarihine kadar devam ettirilmiştir.

5.5. Örnekleme

Şev duraylılığı analizlerinde esas alınacak jeomekanik parametrelerin tayininde kullanılmak üzere, işletmenin değişik kesimlerinden kaya ve zemin birimlerden örnekleme çalışması yapılmıştır. Kepçeyle açtırılan yarmalarda alüvyon ve taban kilinden, ayrıca fay aynalarından kesici kalıplar kullanılarak örselenmemiş örnekler alınmıştır. Bunun yanısıra, zemin sınıflama deneyleri için örselenmiş örnek alımı da gerçekleştirilmiştir. Fay malzemesi, alüvyon ve taban kilinden toplam 81 adet örselenmemiş örnek parafinlenerek ve 18



Şekil 5.12: Hareket izleme istasyonlarının konumları (ölçeksiz).

adet örselenmiş örnek plastik torbalarda Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mühendislik Jeolojisi Laboratuvarlarına taşınmıştır.

Duraysız bölgelerde kayma yüzeyinin önemli bir bölümünü oluşturan parlak-kaygan marn tabaka yüzeylerinin makaslama dayanımı parametrelerinin belirlenmesi için bu yüzeylerden 30 adet örnek alınmıştır. Bu örneklerin içerdiği parlak ve kaygan yüzeylerin özelliklerini kaybetmemesi amacıyla tüm örnekler parafinlenmiştir. Ayrıca makaslama dayanımlarının karşılaştırılması amacıyla düz-mat olarak tanımlanan diğer marn tabaka yüzeylerinden de 31 adet süreksizlik örneği alınmıştır. Bunların yanısıra, marn biriminden, birim hacim ağırlık tayininde kullanılacak karotların hazırlanması amacıyla 4 adet blok örnek çıkarılmıştır.



6. JEOMEKANİK PARAMETRELERİN TAYİNİ

Şev duraylılığı analizlerinde, şevin içinde açılacağı birimlerin makaslama dayanımı parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca malzemenin birim hacim ağırlığı da limit-denge analizlerinde diğer bir girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemlerle ve ASTM (1985) standartlarına uygun olarak H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mühendislik Jeolojisi Laboratuvarlarında aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır.

A) Kayaç örnekleri ve süreksizlikler üzerinde yapılan deneyler:

- Birim hacim ağırlık tayinleri
- Doğrudan makaslama deneyleri

B) Zemin örnekleri üzerinde yapılan deneyler:

- Birim hacim ağırlık deneyleri
- Sınıflama deneyleri
- Doğrudan zemin makaslama deneyleri

6.1. Kayaç Mekanik Deneyleri

Himmetoğlu formasyonuna ait ve duraysızlıklarda etkin rol oynayan marnların içerdiği tabaka yüzeylerinin makaslama dayanımı parametrelerini belirlemek amacıyla, bu yüzeylerden alınan bloklardan 6x6x1 cm boyutlarında prizmatik deney örnekleri hazırlanmıştır. Birim hacim ağırlık deneyleri için de bu prizmatik örnekler kullanılmış olup, ayrıca bu amaçla NQ çaplı (47.6 mm) karotlardan da yararlanılmıştır. Bu deneyler, ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemlere uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

6.1.1. Birim Hacim Ağırlık Tayinleri

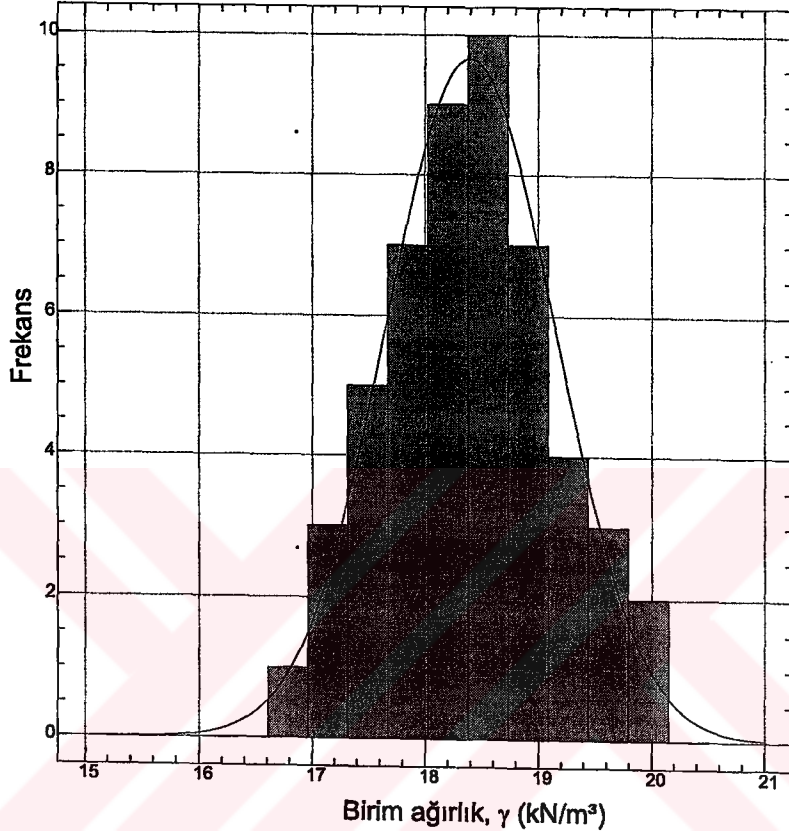
Toplam 51 adet birim hacim ağırlık deneyi yapılmış ve deney sonuçları EK-2.1'de verilmiştir. Şekil 6.1'de ise sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi histogram şeklinde sunulmuştur. Birim hacim ağırlık değerlerinin normal dağılıma uyduğu yapılan χ^2 (ki-kare) testi ile saptanmış ve kayaç örneklerinin birim ağırlıklarının 16.8 kN/m³ ile 20 kN/m³ arasında değiştiği ve ortalama birim ağırlığının 18.4 kN/m³ olduğu belirlenmiştir.

6.1.2. Tabakalanma Yüzeylerinin Makaslama Dayanımı Parametreleri

İşletmede gözlenen gerek tabaka yüzeyi boyunca gelişen düzlemsel kayma, gerekse fay düzlemi boyunca başlayıp tabaka yüzeyi boyunca devam eden aktif-pasif kama türü duraysızlıkların analizlerinde kullanılmak üzere tabaka yüzeylerinin makaslama dayanımlarının tayinine ihtiyaç duyulmuştur.

Saha çalışmaları sırasında tabaka yüzeylerinin bazılarının parlak-kaygan, bazılarının ise düz-mat özellikte oldukları belirlenmiş ve örnekler bu özelliklerine göre sırasıyla 1. ve 2. grup şeklinde ayrılarak makaslama deneyine tabi tutulmuştur. 1. grup için toplam 75 örnek hazırlanarak 25 deney seti, 2. grup için ise 12 örnekten 3 deney seti oluşturulmuştur.

Süreksizliklerin makaslama dayanımlarının tayini için portatif makaslama aleti kullanılmaktadır. Ancak Ulusay ve Yoleri (1993) şev duraylılığı problemlerinde yenilme yüzeylerine etkiyen normal gerilmelerin düşük olduğunu, bu durumun laboratuvar deneylerinde dikkate alınması gerektiğini ve portatif makaslama aletinin düşük gerilmeler için yeterince hassas olmadığını belirtmişlerdir. Adı geçen araştırmacılar, doğrudan zemin makaslama cihazını süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımını belirlemek için kullanmışlar ve motoru sayesinde seçilebilen sabit hızların ve daha düşük yüklerin uygulanabildiği bu cihazın makaslama dayanımının tayininde kullanılmasının daha uygun olacağını göstermişlerdir. Bu çalışma kapsamında da deneyler, deformasyon kontrollü doğrudan zemin



Veri sayısı: 51
En küçük: 16.8
En büyük: 20
Ortalama: 18.4
Standart sapma: 0.75

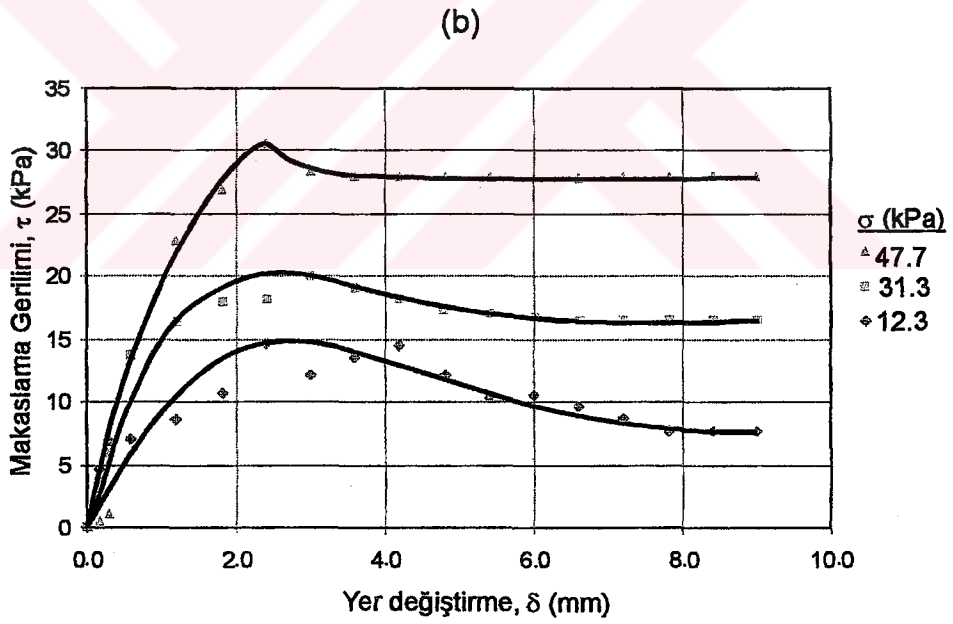
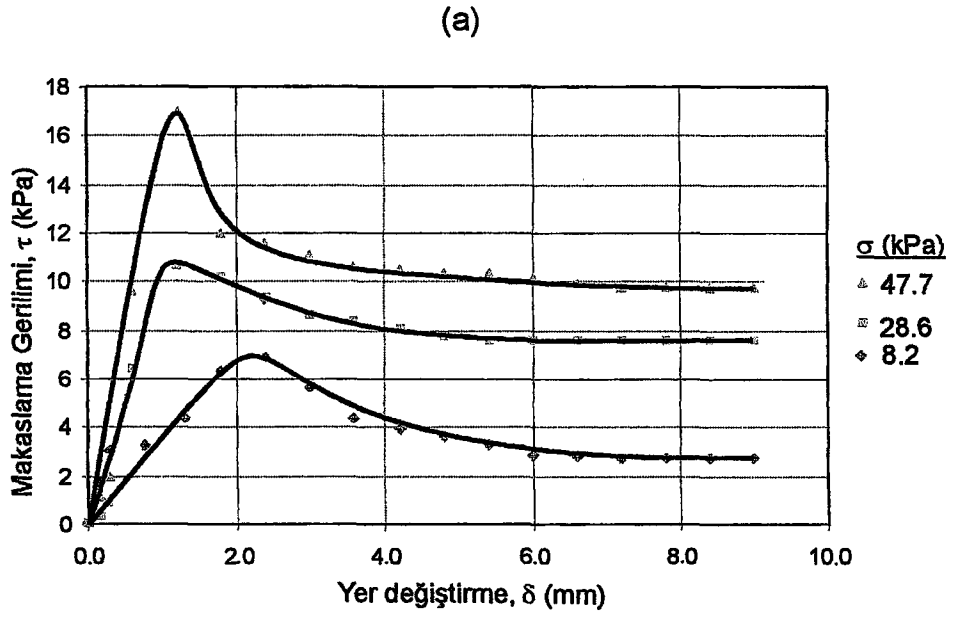
Şekil 6.1: Marnların birim ağırlık değerlerinin dağılımını gösteren histogram

makaslama aletinde, tabaka yüzeyini içerecek şekilde ve 6x6x2 cm boyutunda hazırlanmış deney örnekleri üzerinde yapılmıştır.

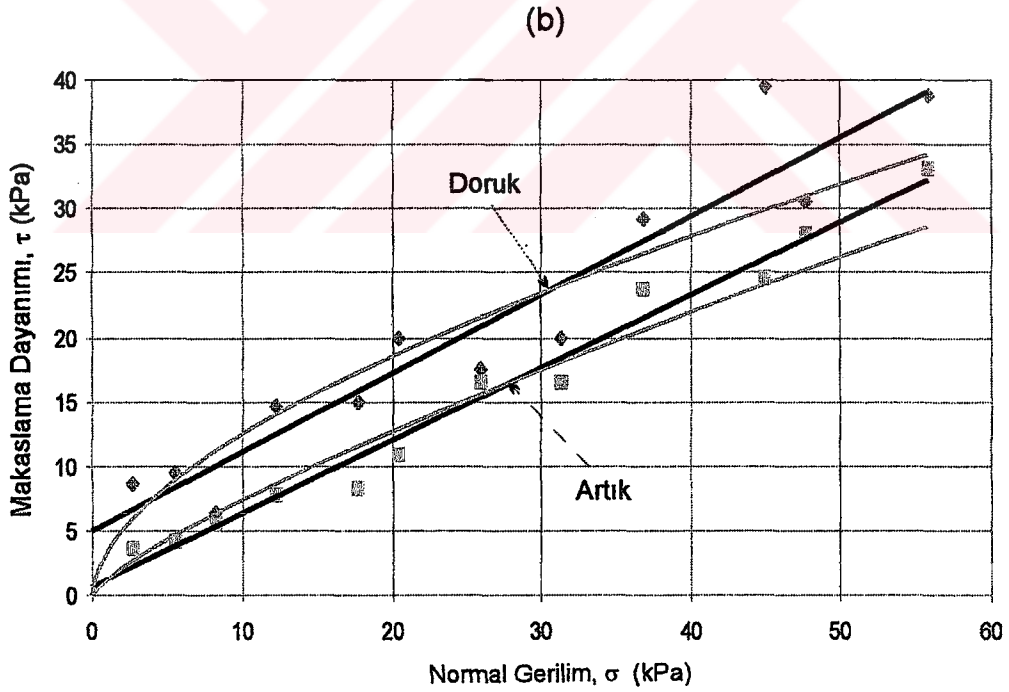
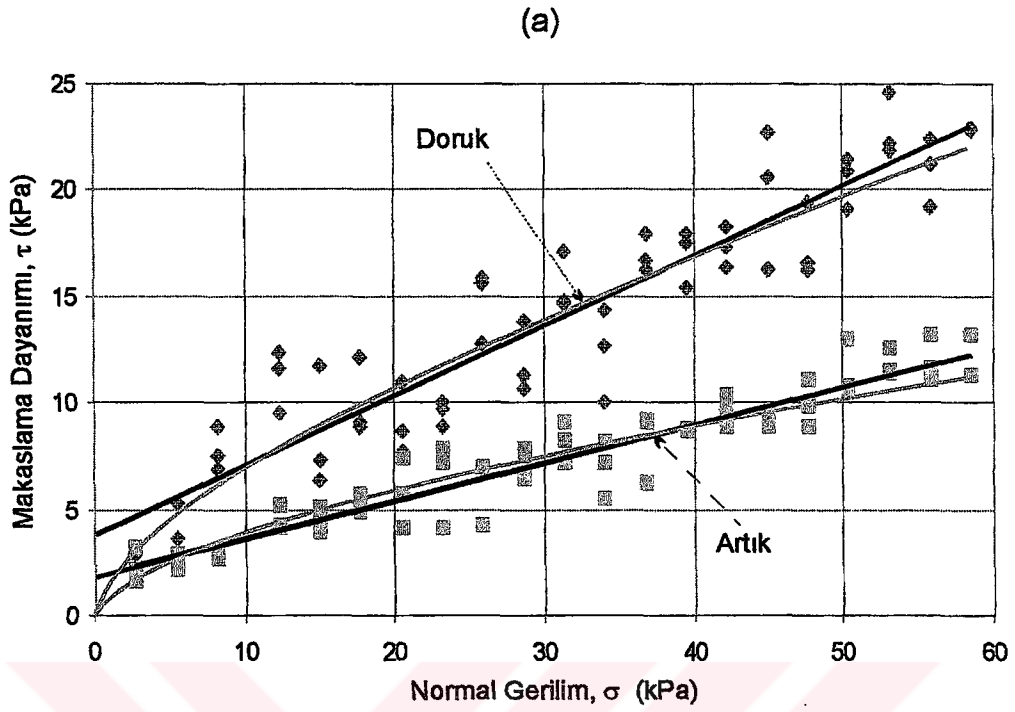
Saha gözlemlerinde şev aynalarında ve duraysızlık bölgelerinde tabaka yüzeylerinin nemli ve ıslak olduğu saptanmış olup, bu durumun yüzeylerin makaslama dayanımını düşüreceği düşünülmüştür. Bu nedenle tabaka yüzeyleri deneyler boyunca ıslak tutulmuştur.

Deneyler sonucunda elde edilen makaslama dayanımı - yer değiştirme ilişkileri incelendiğinde, süreksizliklerin makaslama dayanımının çok düşük yer değiştirme miktarlarında doruk değerlere ulaşip, sonra artık değerlere doğru azaldığı görülmektedir (Şekil 6.2). Bu durum, tabaka yüzeyleri boyunca gelişecek bir hareketin başlamasından kısa bir süre sonra yüzeylerin dayanımının artık değerlere düşeceğini göstermektedir.

Parlak-kaygan ve düz-mat tabaka yüzeylerine ait genelleştirilmiş yenilme zarflarının tayini için doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizleriyle yapılmıştır (Şekil 6.3). Şekil 6.3'de verilen grafiklerde, özellikle parlak-kaygan tabaka yüzeyleri için yaklaşık 10 kPa'dan yüksek normal gerilim değerlerinde doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkilerden elde edilen yenilme zarflarının birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir. Ayrıca doğrusal yenilme zarfları için hesaplanan korelasyon katsayıları daha yüksektir (Çizelge 6.1). Bu iki husus gözönünde bulundurularak ve duraylılık analizlerinde sağlayacağı kolaylık düşünülerek, makaslama dayanımı parametreleri doğrusal yenilme zarfları esas alınarak belirlenmiştir. Bu iki farklı özellikteki tabaka yüzeylerine ait makaslama dayanımı parametreleri karşılaştırıldığında, düz-mat yüzeylerin özellikle içsel sürtünme açısının çok daha yüksek olduğu görülmüştür. İşletmede kaymaların 10°-15° eğimli şevlerde, 12°-15° eğimli tabaka yüzeyleri boyunca meydana gelmiş olması, parlak-kaygan yüzeylerin duraysızlıkların gelişmesinde en etkin rolü oynadığını, dolayısıyla şevlerin duraylılığında bu yüzeylerin makaslama dayanımlarının dikkate alınmasının daha gerçekçi olacağını göstermektedir.



Őekil 6.2: Marnlardaki parlak-kaygan (a) ve dűz-mat (b) tabaka yűzeylerine ait makaslama gerilimi- yer deęiřtirme eęrilerine tipik birer őrnek (Deney őrneęi No: (a) DİS-6; (b) DİS-12)



Şekil 6.3: Marnlardaki parlak-kaygan (a) ve düz-mat (b) marn tabaka yüzeylerine ait genelleştirilmiş doğrusal ve doğrusal olmayan yenilme zarfları

Çizelge 6.1: Marnlardaki parlak-kaygan ve düz-mat tabaka yüzeylerinin genelleştirilmiş yenilme zarflarına ait eşitlikler

Süreksizlik tipi		Doğrusal yenilme zarfı ($\tau = c + \sigma \tan\phi$)	r	Doğrusal olmayan yenilme zarfı ($\tau = A \sigma^B$)	r
Parlak-kaygan tabaka yüzeyi	Doruk	$\tau = 3.7 + \sigma \tan 16.8^\circ$	0.94	$\tau = 1.5 \sigma^{0.66}$	0.94
	Artık	$\tau = 1.8 + \sigma \tan 10.1^\circ$	0.95	$\tau = 0.93 \sigma^{0.61}$	0.94
Düz-mat tabaka yüzeyi	Doruk	$\tau = 5 + \sigma \tan 31.4^\circ$	0.96	$\tau = 3.35 \sigma^{0.57}$	0.91
	Artık	$\tau = 0.6 + \sigma \tan 29.5^\circ$	0.99	$\tau = 1.2 \sigma^{0.79}$	0.97

r: Korelasyon katsayısı; c: kohezyon; ϕ : içsel sürtünme açısı; τ : makaslama dayanımı; σ : normal gerilim; A, B: eğrisel yenilme zarflarını tanımlayan katsayılar

Makaslama dayanımı parametrelerinin istatistiksel değerlendirmesinin yapılması amacıyla parlak-kaygan tabaka yüzeylerine ait her deney seti için doğrusal yenilme zarfları çizilerek doruk ve artık makaslama dayanımı parametreleri ayrıca hesaplanmıştır (EK-2.2). Bu durumda kohezyon (c) 0.27-3.72 kPa değerleri arasında değişirken, içsel sürtünme açısının 8.27°-12.04° değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Yukarıda değinilen belirlemelerin ışığında düz-mat tabaka yüzeyleri için böyle bir değerlendirmeye ihtiyaç duyulmamıştır.

6.2. Zemin Mekaniği Deneyleri

Kömür horizonunun hemen altında bulunan taban kilinin yanısıra, ayrıca fay malzemeleri ve alüvyondan alınan örnekler üzerinde ASTM (1985) standartlarına uygun olarak; birim hacim ağırlık, nem içeriği, doğrudan zemin makaslama deneyleri ve sınıflandırma amacıyla tane boyu dağılımı analizleri ile Atterberg limitleri tayinleri yapılmıştır.

6.2.1. Birim Hacim Ağırlık ve Nem İçeriği Tayinleri

Saha çalışmaları sırasında, alüvyon ve taban kili birimlerinden 6x6x2 cm boyutundaki kesici kalıplar kullanılarak alınan 25 adet örselenmemiş zemin örneği üzerinde birim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir (EK-2.3). Deney sonuçlarına göre ortalama birim hacim ağırlığın; ince taneli alüvyonda 19.5 kN/m³, iri taneli alüvyonda 19.7 kN/m³, taban kilinde ise 17.4 kN/m³ olduğu belirlenmiştir.

Bu birimlerin nem içeriklerinin; taban kilinde %42-52, alüvyon malzemesinde ise %12-34 değerleri arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 6.2).

6.2.2. Zemin Sınıflama Deneyleri

İşletme basamaklarından alınan iri ve ince taneli alüvyon, fay malzemesi ve kömür altındaki taban kiline ait örnekler üzerinde, zemin sınıfının belirlenmesi amacıyla, tane boyu dağılımı analizleri ve Atterberg limitleri tayinleri yapılmıştır.

6.2.2.1. Tane Boyu Dağılımı Analizleri

3 adet taban kili, 5 adet fay malzemesi ve 12 adet alüvyon örneği üzerinde, tane boyu dağılımı analizleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre (Çizelge 6.2) taban kili olarak tanımlanan zeminin %75 ile %90 arasında kil içerdiği, kalan miktarın ise silt ve kum boyutundaki malzemedan oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 6.4). Fay malzemelerinde kil ve silt oranının %55 ile %95 arasında değiştiği, bir miktar da kum boyutunda tanelerin bulunduğu saptanmıştır (Şekil 6.5). Alüvyon malzemesinden alınan ince taneli örnekler için elde edilen sonuçlar esas alındığında; malzemenin yaklaşık %60 ile %90 arasında kil ve siltten oluştuğu, geri kalan malzemenin ise genelde kum ve çakıl boyutunda olduğu saptanmıştır (Şekil 6.6).

6.2.2.2. Atterberg Limitleri Tayinleri ve Zemin Sınıflaması

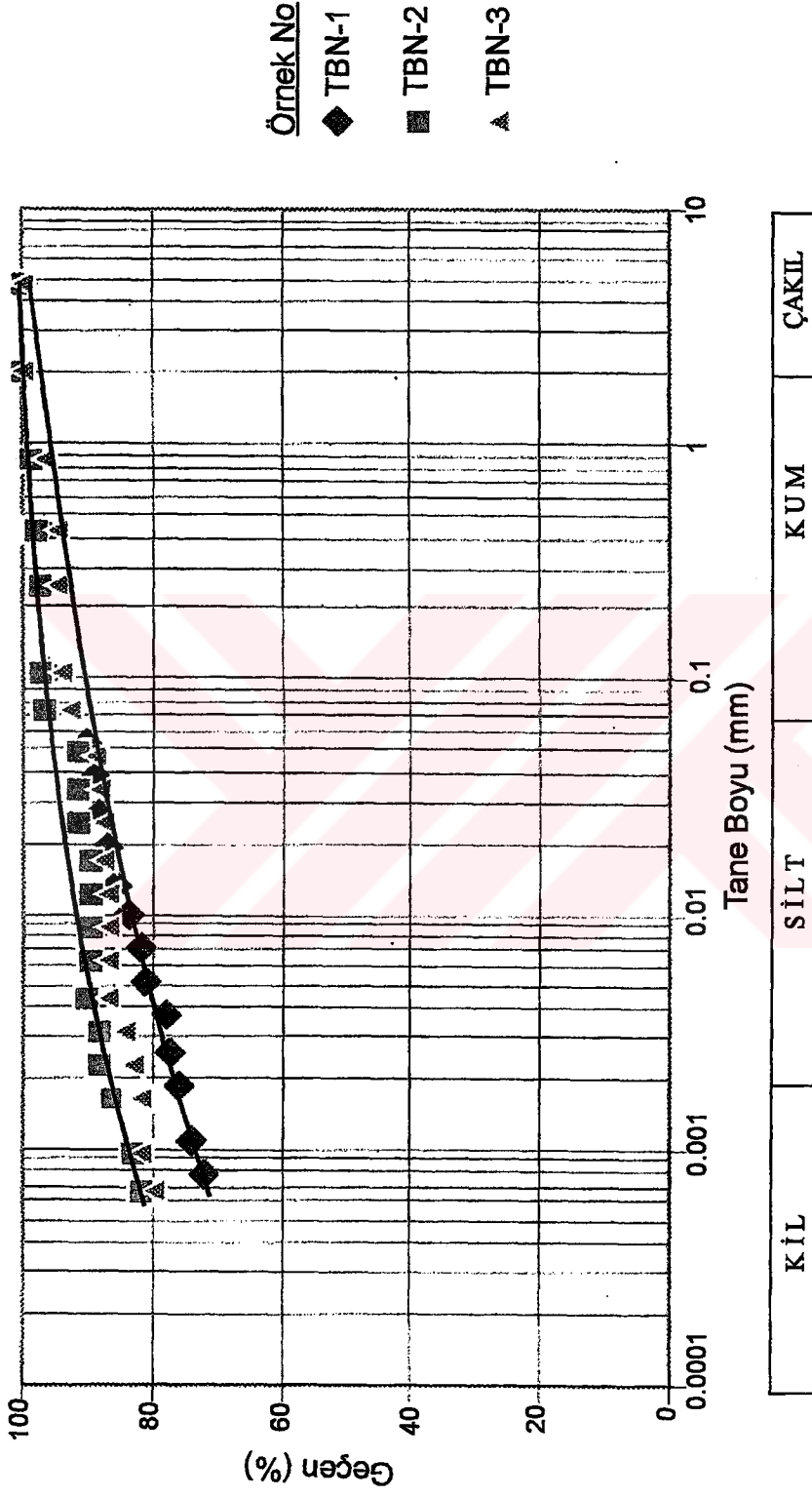
İşletme sahasındaki ince taneli zeminlerin mühendislik sınıflamalarının yapılması amacıyla, likit limit, plastik limit ve plastisite indeksi değerleri belirlenmiştir. Çizelge 6.2 'de zemin türlerinin Atterberg limitlerinin istatistiksel değerlendirmesi verilmiştir.

Çizelge 6.2: Zemin birimlerin indeks özelliklerinin istatistiksel değerlendirmesi

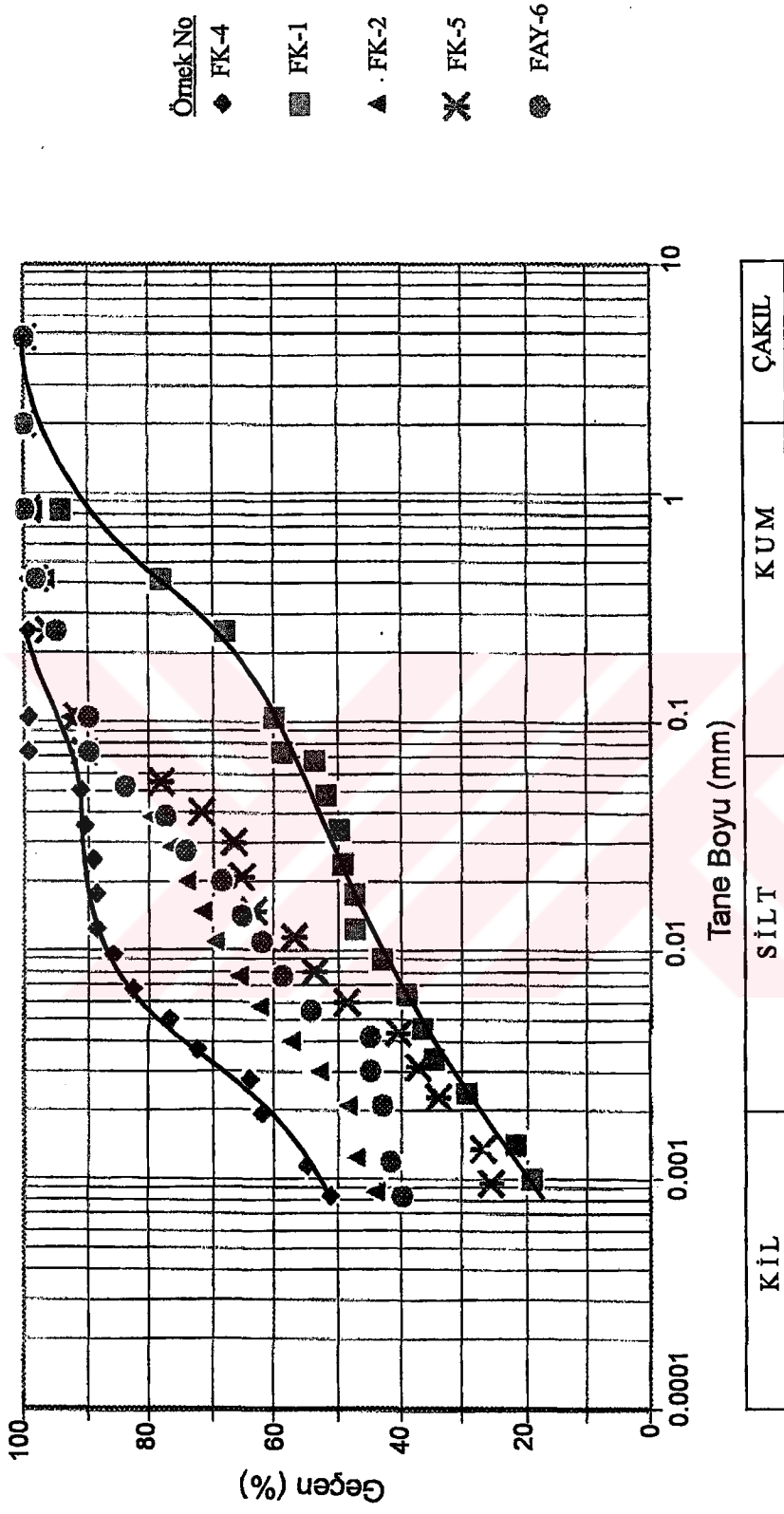
		Taban Kili	Fay Malzemesi	Alüvyon	
				Ince taneli	İri taneli
Birim Ağırlık (kN/m ³)		17.1-17.8 (17.4)	-	16.2-20.1 17.9	19.1-20 (19.6)
Tane Boy Dağılımı (%)	Çakıl	0	0	0-5	0-77
	Kum	6-10	5-47	11-35	21-42
	Silt	6-16	26-31	45-51	2-42
	Kil	76-88	27-64	16-37	0-8
Nem içeriği (%)		42.4-52.2 (45.9)	16.4-41.7 (33.1)	12.4-33.8 (23)	15.3-26.1 (19.2)
Atterberg Limitleri (%)	LL	95-142 (111.7)	64-93 (77.6)	26-59 (45.3)	-
	PL	32-48 (41)	17-46 (33.4)	17-32 (22.8)	
	PI	52-94 (70.7)	1-58 (44.2)	9-29 (22.5)	
Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması		CH	CH ve MH	CL veya CH ve MH	GW ve GM

Parantez içinde verilen değerler ortalama değerlerdir.

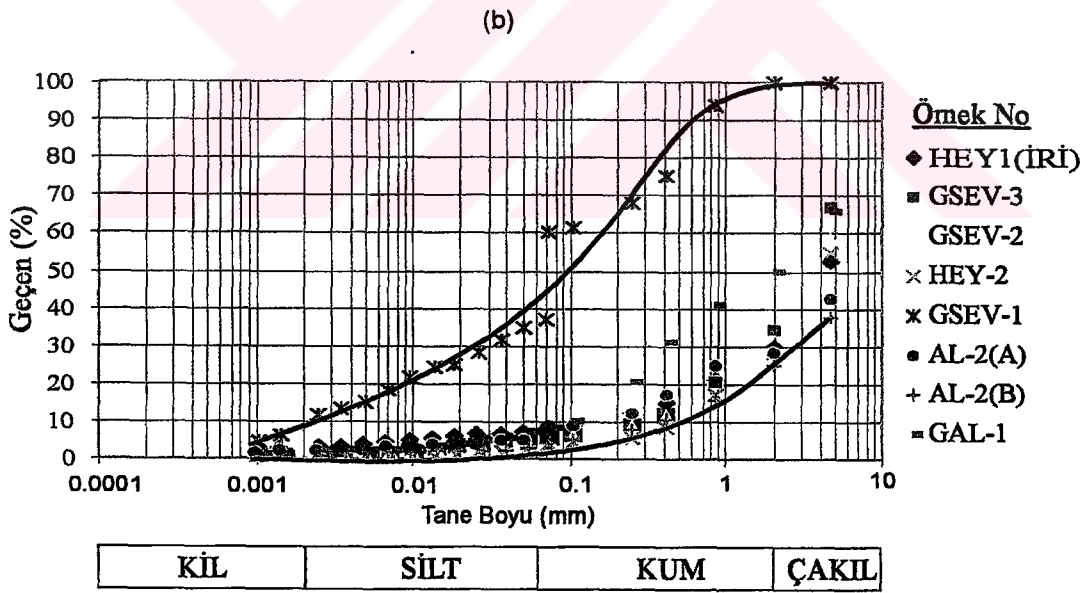
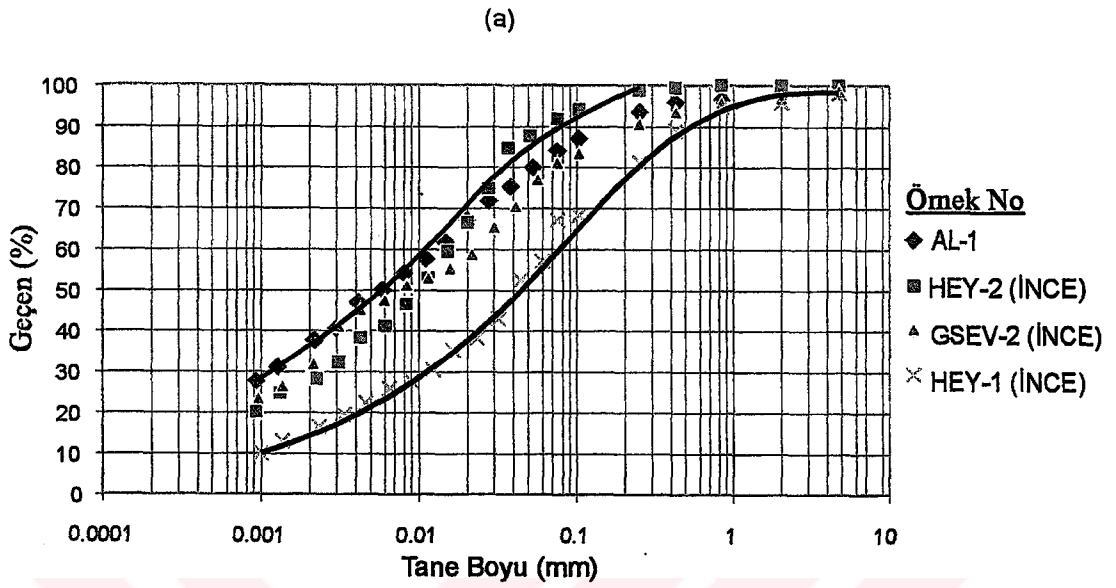
Ulusay vd. (1998a) tarafından işletmedeki zemin birimlerin X-ışınları kırınım analizleri yapılmış ve taban kilinde egemen kil grubu olarak şişme özelliğine sahip simektit grubu killer belirlenmiştir. Nitekim taban kiline ait likit limit değerlerinin %100 civarında ve üstünde olması da simektit grubu killerin varlığını da ayrıca göstermektedir.



Şekil 6.4: Taban kili örneklerinin tane boyu dağılımları ve değişim aralığı



Şekil 6.5: Fay melzemelerinin tane boyu dağılımları ve değişim aralığı



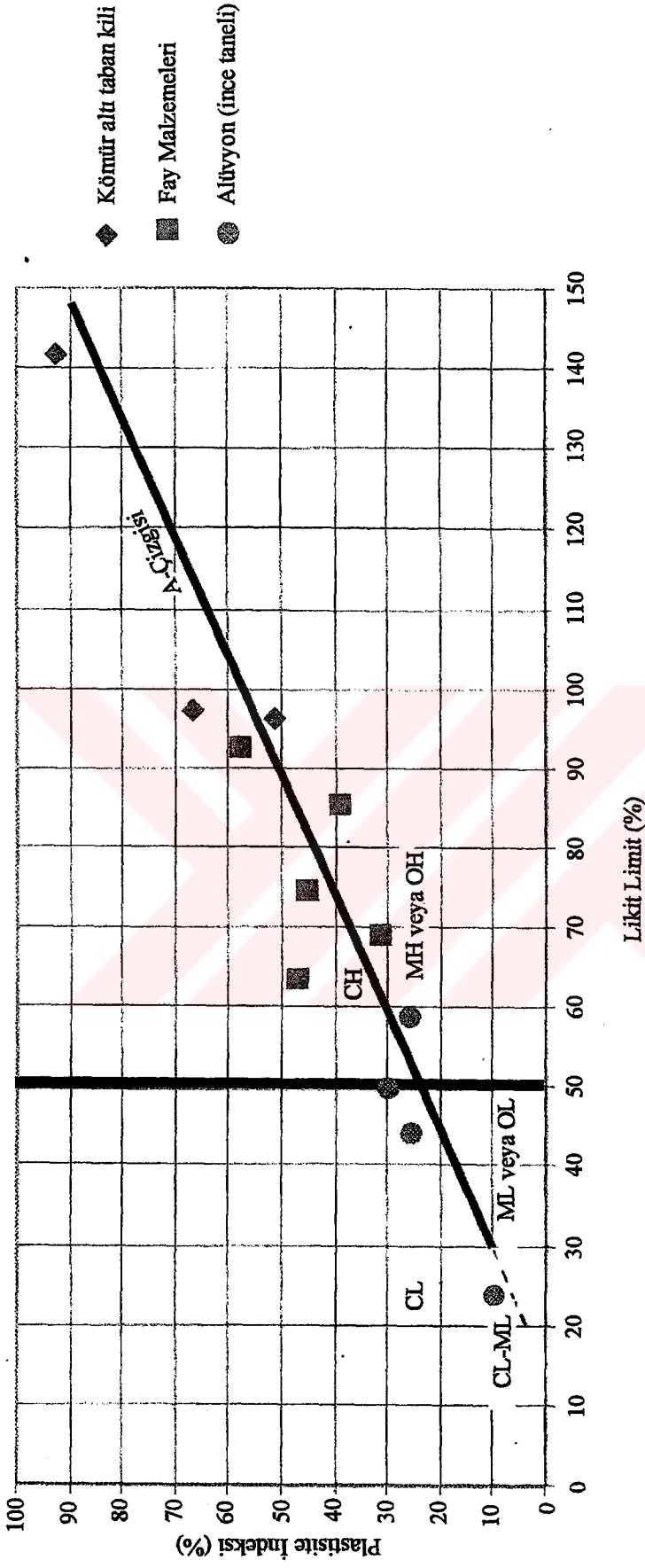
Şekil 6.6: Alüvyonun içerdiği ince taneli (a) ve iri taneli zeminlerin (b) tane boyu dağılımları ve değişim aralıkları

Tane boyu dağılımları ve Atterberg limitleri esas alınarak çalışma alanındaki zemin türü malzemeler Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi'ne göre sınıflandırılmışlardır. Önce tane boyu dağılımı analizlerine göre zeminler, iri taneli (%50'den fazlası 200 No'lu elek çapından büyük) ve ince taneli (%50'den fazlası 200 No'lu elek çapından küçük) olmak üzere iki gruba ayrılmış ve daha sonra sınıflandırma sistemi kullanılmıştır. Buna göre sadece alüvyon malzemesi iri ve ince taneli olarak iki gruba ayrılmış, fay malzemesi ve taban kiline ait örneklerin hepsinin ince taneli gruba girdiği belirlenmiştir.

İri taneli alüvyon malzemesinin laboratuvar sınıflandırma ölçütlerine göre GW ve GM gruplarında yer alan, kötü ve iyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum-silt karışımından oluştuğu belirlenmiştir. İnce taneli alüvyon, fay malzemesi ve taban kili örneklerinin plastisite abağındaki yerleri belirlenmiştir (Şekil 6.7). Buna göre, ince taneli alüvyon örnekleri yüksek plastisiteli inorganik killer (CH) veya düşük plastisiteli inorganik kil-siltli kil (CL) ve inorganik silt, ince kumlu veya elastik silt (MH) grubu zemin gruplarında yer almaktadır. Fay malzemeleri CH ve MH grubu, taban kili örnekleri ise CH ve OH grubu zeminler olarak tanımlanmıştır.

6.2.3. Zeminlerin Makaslama Dayanımı Parametreleri

Himmetoğlu açık işletmesinde gözlenen şev duraysızlıklarından bazılarının fay yüzeyi boyunca başlayıp tabaka yüzeyi boyunca devam eden aktif-pasif kayma şeklinde gelişmesi, fay malzemesinin makaslama dayanımı parametrelerinin de belirlenmesini gerektirmiştir. Saha çalışmalarında 1 numaralı heyelan içinde lokal olarak gözlenen ve kömürün hemen altında yer alan taban kilinin de makaslama dayanımı parametrelerinin tayini amacıyla taban kili üzerinde de deneyler yapılmıştır. Bunların yanısıra, alüvyon malzemesinde ayırteğilen ince ve iri taneli kısımlar için de deneyler gerçekleştirilmiştir (EK-2.4).



Şekil 6.7: Zemin örneklerinin plastisite abağındaki dağılımı

Bu zeminlerden kesici kalıpla alınmış 6x6x2 cm boyutundaki örselenmemiş örnekler üzerinde fay malzemesinde 4, taban kilinde 2, ince taneli alüvyonda 4 ve iri taneli alüvyonda 1 deney seti olacak şekilde, toplam 33 örnek üzerinde doğrudan makaslama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

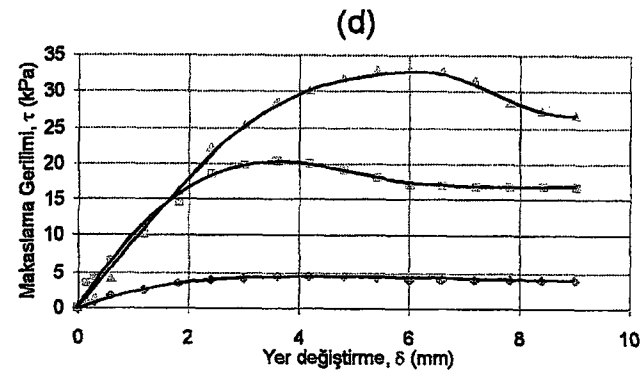
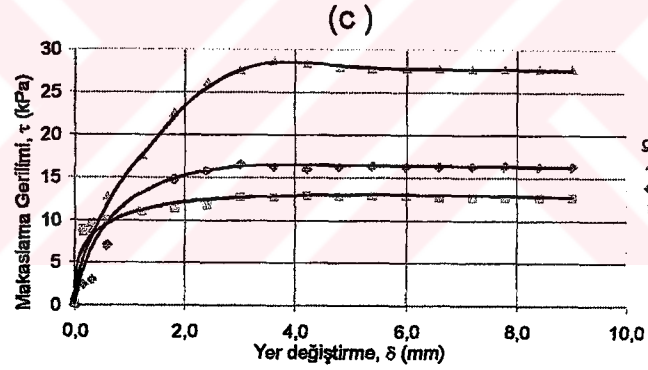
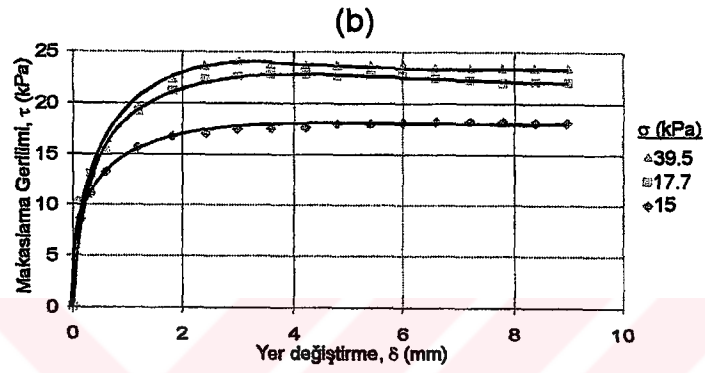
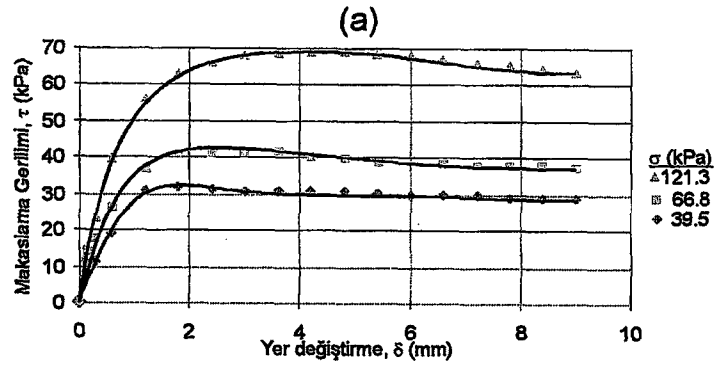
Deney sonuçlarından elde edilen tüm makaslama dayanımı - yer değiştirme grafikleri incelendiğinde, zemin birimlerin makaslama dayanımlarının küçük deformasyonlarla doruk değerlere ulaştıktan sonra yavaş yavaş artık değerlere doğru azaldığı görülmektedir (Şekil 6.8). Fay malzemesi, taban kili, ince ve iri alüvyon malzemesi için çizilmiş olan doğrusal ve doğrusal olmayan yenilme zarfları (Şekil 6.9), süreksizlik yüzeylerinde olduğu gibi, zemin türü birimler içinde analizlerde doğrusal yenilme zarfının kullanılmasının, hem iki zarfın birbirine çok yakın olması, hem de korelasyon katsayıları açısından (Çizelge 6.3) yerinde olacağını göstermektedir.

Çizelge 6.3: Zemin türü birimlerin makaslama deneylerinden elde edilen genelleştirilmiş yenilme zarflarına ait eşitlikler

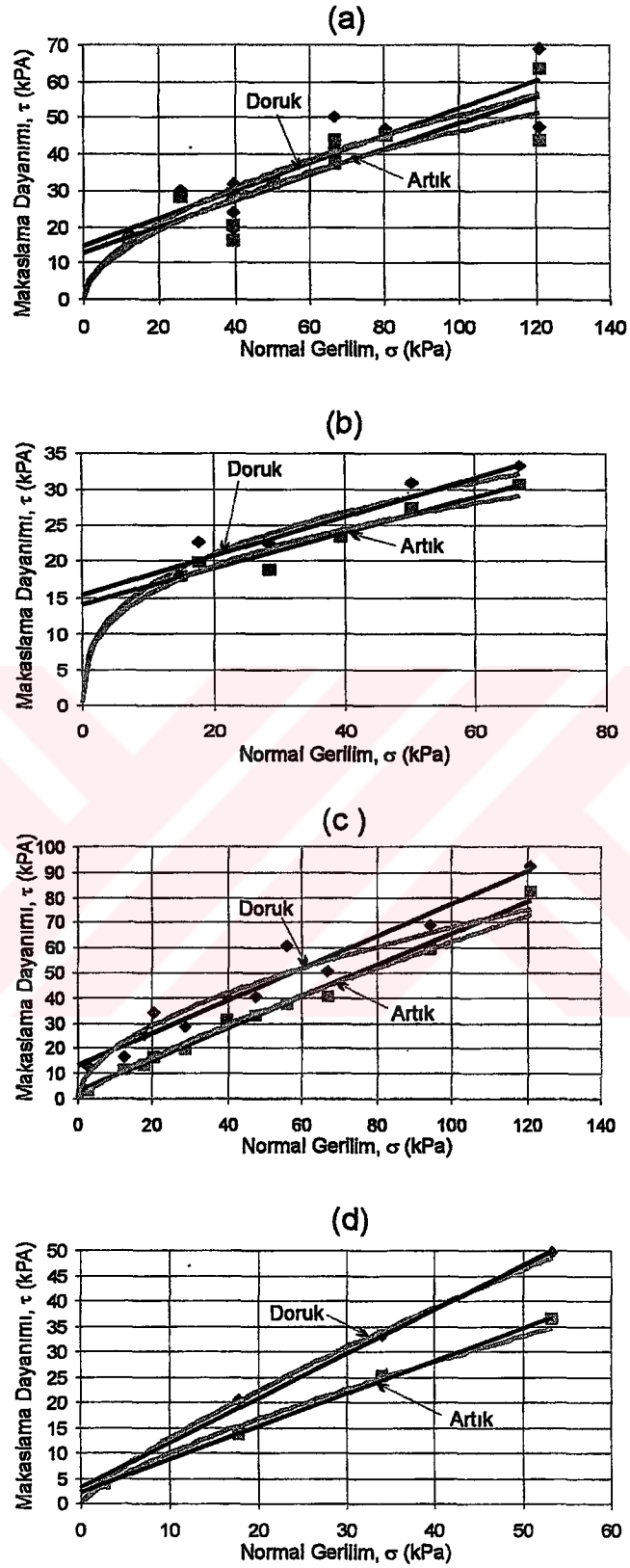
Zemin birimler		Doğrusal yenilme zarfı ($\tau = c + \sigma \tan\phi$)	r	Doğrusal olmayan yenilme zarfı ($\tau = A \sigma^B$)	r	
Fay kili	Doruk	$\tau = 14.8 + \sigma \tan 20.8^\circ$	0.88	$\tau = 4 \sigma^{0.55}$	0.87	
	Artık	$\tau = 12.9 + \sigma \tan 19.6^\circ$	0.88	$\tau = 3.6 \sigma^{0.56}$	0.84	
Taban kili	Doruk	$\tau = 15.4 + \sigma \tan 15.2^\circ$	0.95	$\tau = 7.3 \sigma^{0.36}$	0.93	
	Artık	$\tau = 14.1 + \sigma \tan 13.9^\circ$	0.97	$\tau = 7 \sigma^{0.34}$	0.93	
Alüvyon	İnce taneli	Doruk	$\tau = 13.6 + \sigma \tan 32.5^\circ$	0.97	$\tau = 5.9 \sigma^{0.53}$	0.95
		Artık	$\tau = 3 + \sigma \tan 32.1^\circ$	0.99	$\tau = 1.4 \sigma^{0.83}$	0.99
	İri taneli	Doruk	$\tau = 3.1 + \sigma \tan 41.4^\circ$	1	$\tau = 2 \sigma^{0.80}$	1
		Artık	$\tau = 2.2 + \sigma \tan 33.1^\circ$	1	$\tau = 1.7 \sigma^{0.75}$	1

r: Korelasyon katsayısı; c: kohezyon; ϕ : içsel sürtünme açısı; τ : makaslama dayanımı;

σ : normal gerilim; A,B: eğrisel yenilme zarflarını tanımlayan katsayılar

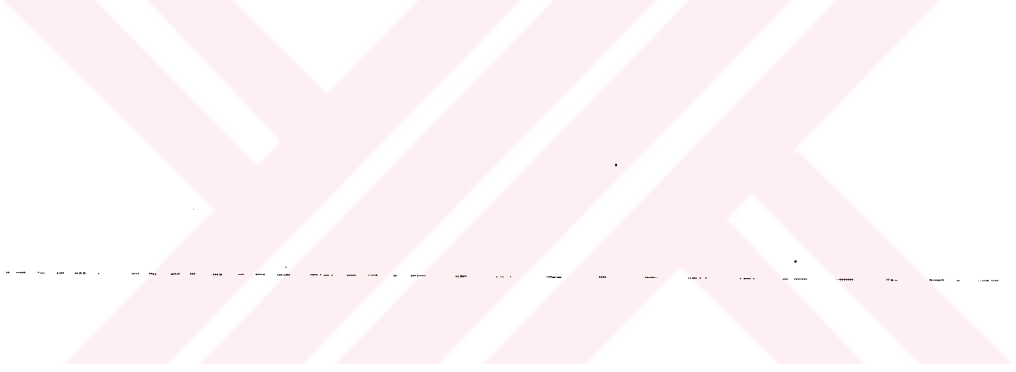


şekil 6.8: (a)Fay kili; (b) taban kili; (c) ince taneli alüvyon; (d) iri taneli alüvyon örneklerine ait makaslama dayanımı yer değiştirme eğrilerine tipik birer örnek (Deney örneği (a)FK-2; (b)TBN-2; (c) HEY-2; (d)Gal-2)



Şekil 6.9: (a) Fay kili; (b) taban kili; (c) ince taneli alüvyon; (d) iri taneli alüvyon örneklerine ait doğrusal ve geometrik yenilme zarfları

Ayrıca taban kilinin makaslama dayanımı parametrelerinin parlak-kaygan tabaka yüzeylerinininkinden büyük olduğu belirlenmiş, dolayısıyla, saha gözlemleriyle de desteklendiği gibi, bu kilin şev duraylılığı açısından tabakalanmaya oranla çok daha az kritik olduğu sonucuna varılmıştır.



7. KİNEMATİK ANALİZLER

İşletmede yapılan gözlemler, zemin özelliği taşıyan ve üst kotlarda yer alan alüvyon malzemesi dışında, karşılaşılabilecek duraysızlıkların genellikle süreksizlik sistemlerinin denetiminde gelişebileceğini göstermiştir. Bu nedenle, işletmenin değişik kesimlerinde şev kazısı sırasında hangi tür duraysızlığın ve/veya duraysızlıkların gelişebileceğinin araştırılması ve ayrıntılı limit denge analizleriyle incelenmek üzere kritik olarak değerlendirilebilecek kayma modellerinin belirlenmesi öngörülmüştür. Bu amaçla şev yönelimleri ve/veya süreksizlik yönelimleri açısından farklılıklar gösteren sektörler (bknz. Şekil 5.1 ve EK 1) ayrı ayrı ele alınmış ve stereografik izdüşüm tekniğinden yararlanılarak "kinematik analizler" yapılmıştır. Kinematik analizlerde, geniş ölçüde heyelana maruz kalmış olması nedeniyle yeterli sayıda süreksizlik ölçümü yapılamayan kuzey şevi dışında, doğu ve güney şevlerini temsil eden sektörler dikkate alınmış ve her sektörde süreksizlikler için belirlenmiş olan dağılımların merkezinde yer alan hakim süreksizlik yönelimleri (bknz. Şekil 5.2 ve 5.4) kullanılmıştır.

Şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi için yaygın şekilde kullanılan kinematik analiz tekniğinde hakim süreksizlik yönelimi esas alınmakta, ancak aynı süreksizlik setine ait daha düşük frekansta (az sayıda) gözlenen yönelimler ihmal edilmektedir. Bu çalışmada hakim süreksizlik yönelimlerine göre gerçekleştirilmiş olan kinematik analizlerin yanısıra, daha düşük frekanstaki yönelimlerin istatistiksel dağılımları da gözönünde bulundurularak, olasılığı esas alan kinematik analizler de yapılmıştır.

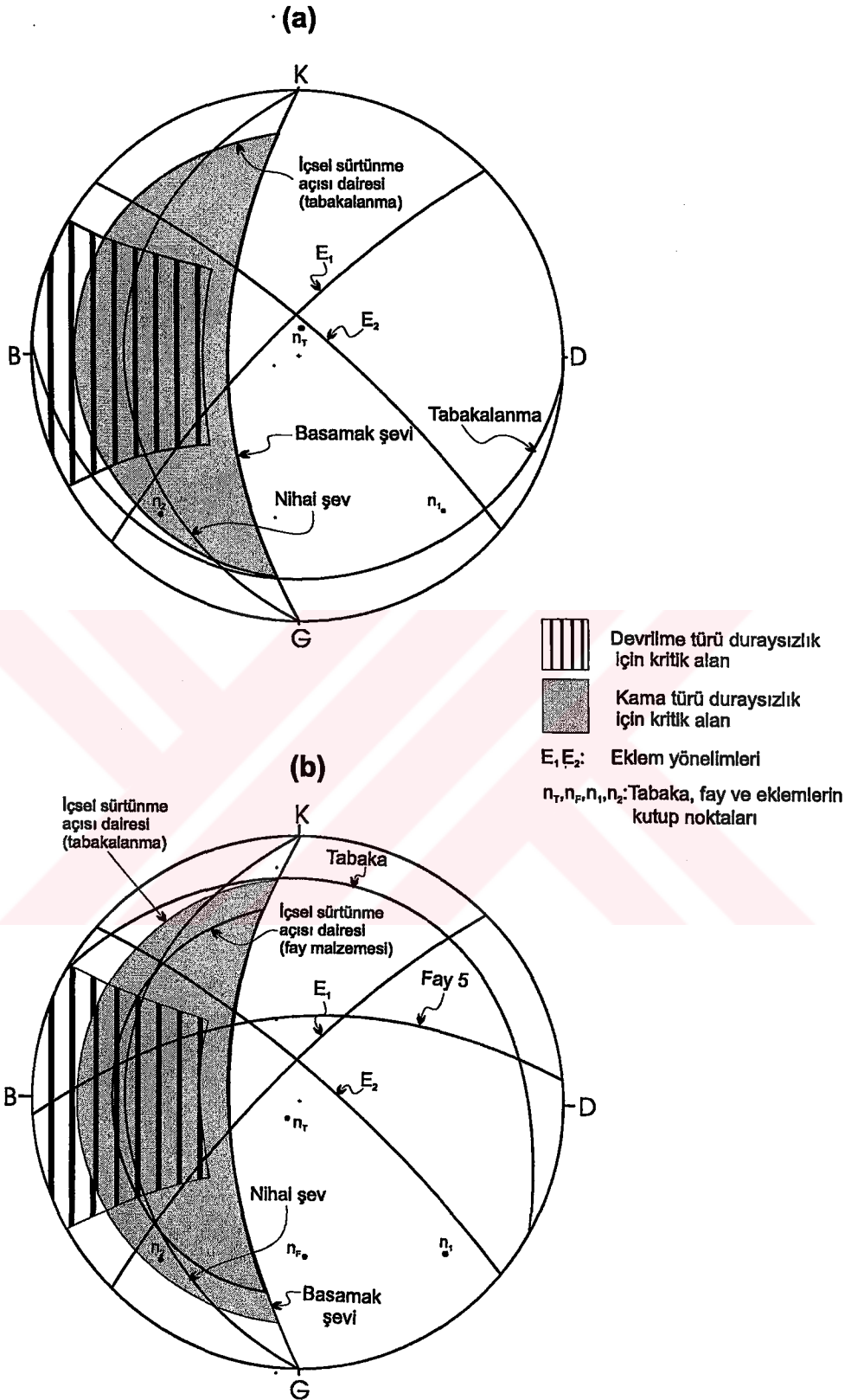
7.1. Hakim Süreksizlik Setlerine Göre Kinematik Analizler

İşletme genelinde çok sayıda basamaktan oluşan güncel şevler oldukça düşük eğimlidir. Buna karşın, basamaklar tek tek dikkate alındığında ise bunların 50-60° gibi daha dik eğimlere sahip oldukları görülmektedir. Dolayısıyla kinematik anlamda, öncelikle basamakların duraylılığının incelenmesi öngörülmüştür. İşletmede basamak geometrisi parametreleri (basamak eğim açısı ve eğim yönü), yer yer değişkenlik göstermekle birlikte,

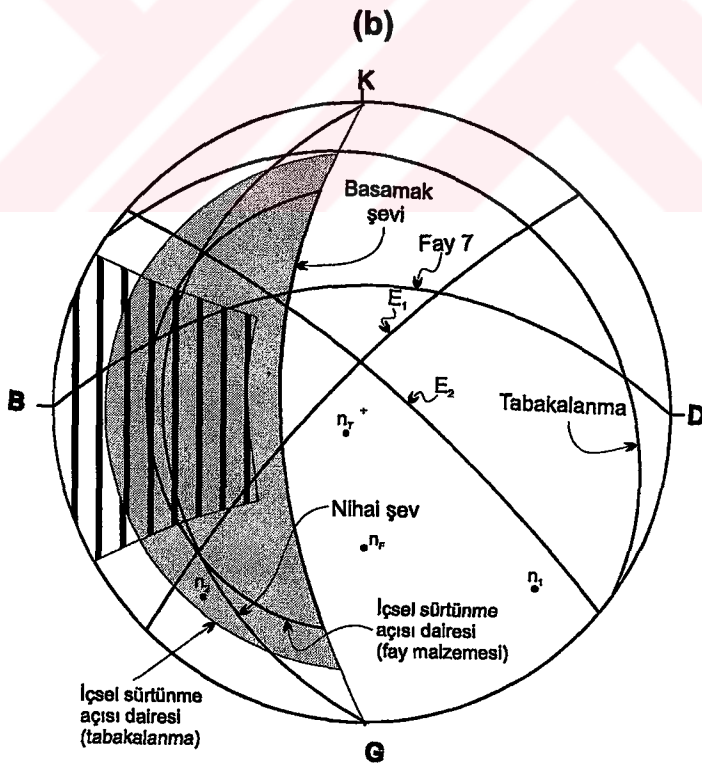
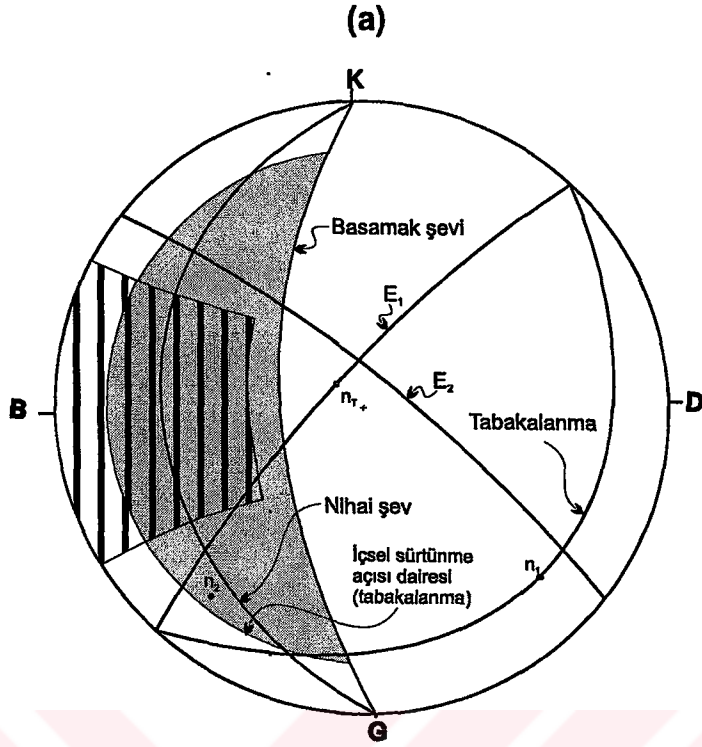
genelde basamakların eğim yönü güney şevinde kuzeye, doğu şevinde ise batıya doğru olup, analizlerde basamak eğim açıları 60° olarak alınmıştır.

Kinematik analizlerin sonucunda, doğu şevinde ayırtlanan 1, 2 ve 3 no'lu sektörlerde basamak bazında herhangi bir duraysızlık beklenmezken (Şekil 7.1 ve 7.2.a), 4 no'lu sektörde 7 no'lu fay ile 2 no'lu eklem setinin kesişme hattı boyunca kama türü duraysızlık riski belirlenmiştir (Şekil 7.2b). Analizler 60° eğimli münferit basamaklar için yapıldığından, söz konusu kama türü kayma riskinin 7 no.lu fayın gözleendiği basamakta gelişmesi olasıdır. Bu nedenle bu basamakta basamak aynasının eğiminin 52° civarında tutulması uygun olacaktır. Bununla birlikte, Şekil 7.2b'den de görüleceği gibi, bu iki süreksizliğin kesişme noktası kama duraysızlığını gösteren kritik bölgenin sınırına düşmekte olup, süreksizliklerin yönelimlerdeki yerel sapmalar, söz konusu duraysızlığın gelişmesini önemli ölçüde engellemektedir. Basamaklarda gelişebilecek herhangi bir duraysızlığın önlenmesi için basamak aynasının 60° 'den 52° 'ye indirilmesi bile yeterli iken, çok daha küçük bir eğime sahip ve çok sayıda basamaktan oluşan doğu şevinin genelinde süreksizlik denetimli bir duraysızlığın beklenmesi söz konusu değildir (Şekil 7.1 ve 7.2). Nitekim, bu şevde herhangi bir duraysızlığın gözlenmemiş olması da bu belirlemeyi desteklemektedir.

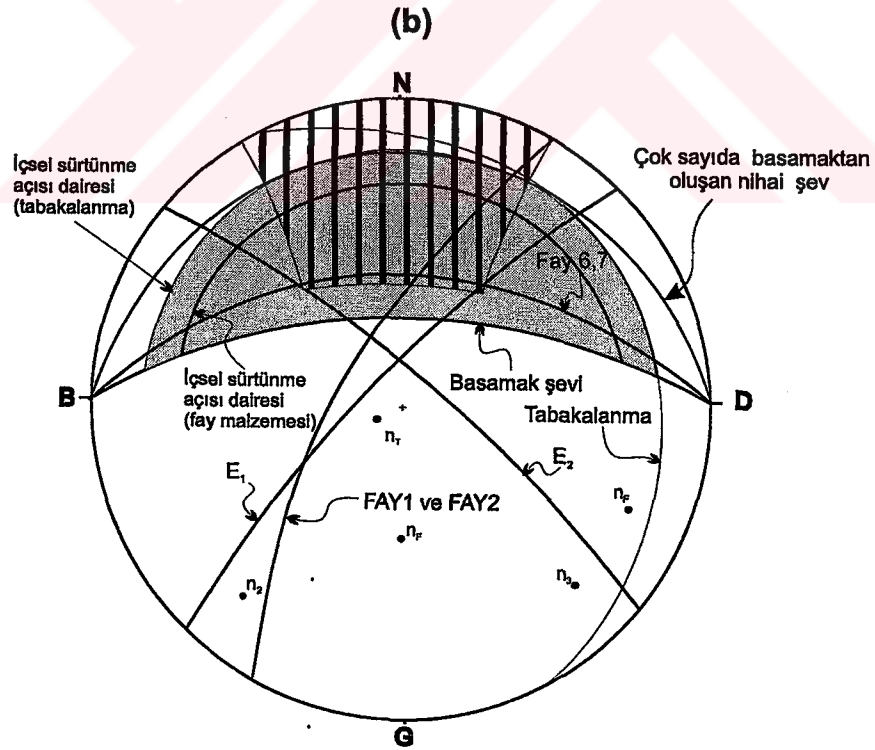
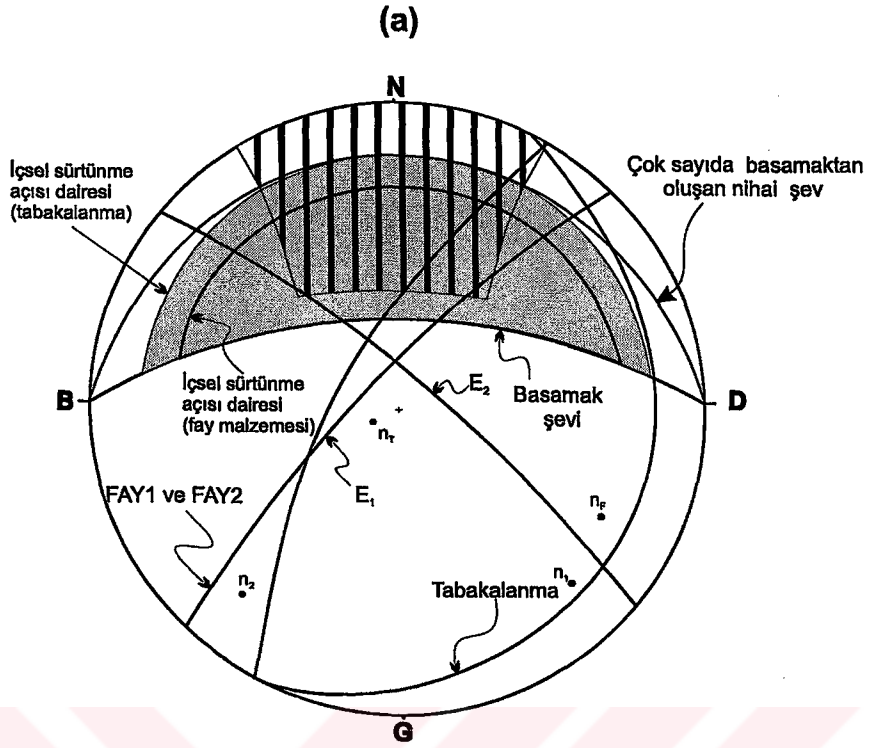
Güney şevinde ise, 5 no'lu sektörde duraysızlık riski beklenmemekle birlikte (Şekil 7.3a), 6 no'lu sektörde 6 ve 7 no'lu fay düzlemleri boyunca kinematik anlamda düzlemsel kayma riski söz konusudur. (Şekil 7.3b). Ancak, güncel şev kazısı sırasında söz konusu faylar oluşturulan basamakların aynalarını kesmediği için bu tür bir duraysızlıkla karşılaşılmamıştır. Bununla birlikte, basamakların fayları kesmeyecek şekilde düzenlenmesinde fayda vardır. 1 ve 2 no'lu eklem setleri ile 6 ve 7 no'lu fay düzlemlerinin, ayrıca 1 ve 2 no'lu faylar ile 6 ve 7 no'lu fayların kesişme hatları boyunca, yerel de olsa, kama türü duraysızlık riski belirlenmiştir (Şekil 7.3b). Her ne kadar yerel de olsa, bu riskin ortadan kaldırılması için basamak eğiminin 45° 'ye düşürülmesi gerekmektedir. Doğru şevinde olduğu gibi, güney şevindeki sektörler için de



Şekil 7.1: Doğu şevindeki basamaklar ve genel şev için 1 no'lu (a) ve 2 no'lu (b) sektörler için kinematik analizler



Şekil 7.2: Doğu şevindeki basamaklar ve genel şev için 3 no'lu (a) ve 4 no'lu (b) sektörlere ait kinematik analizler



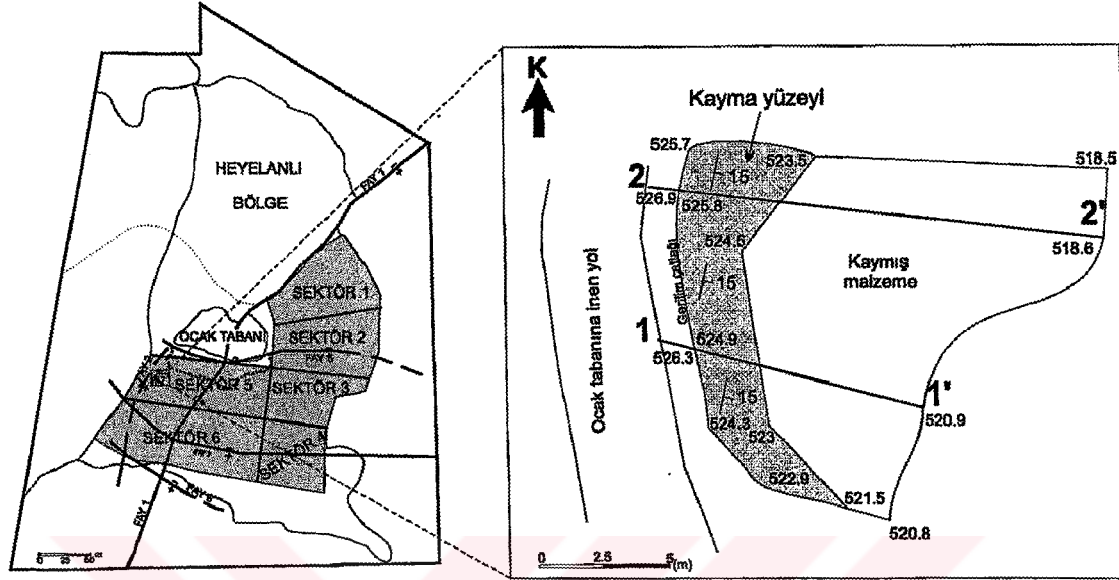
Şekil 7.3: Güney şevindeki münferit basamaklar ve çok sayıda basamaktan oluşan şevlerin 5 no'lu (a) ve 6 no'lu (b) sektörlere ait kinematik analizler

çok sayıda basamaktan oluşan nihai şevin eğimi oldukça düşük olup, Şekil 7.3'de görüldüğü gibi, çok sayıda basamağı içeren düzlemsel, kama veya devrilme türü bir duraysızlığın beklenmesi kinematik anlamda söz konusu değildir.

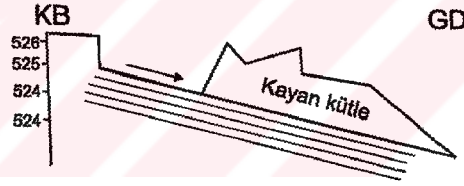
7.2. Olasılığı Esas Alan Kinematik Analizler

Güney şevlinde geçici olarak ve eğim yönü doğuya doğru olan basamaklar açılmış ve 5 no'lu sektör içinde yer alan bu basamakların ocak tabanına inen yolun kenarındaki kısmında, 5. Bölüm'de de değinildiği gibi, 15/105 yönelimli tabaka yüzeyi boyunca düzlemsel kayma (Heyelan 4) gerçekleşmiştir (Şekil 7.4).

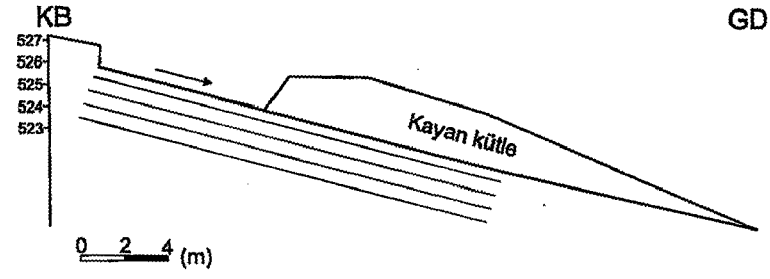
Eğer ocağın bu kısmında doğuya eğimli şevlerin açılacağı önceden planlanmış ve belirlenen ortalama tabaka yönelimine göre (10/119) kinematik analiz yapılmış olsaydı, bu kesimde şevin (090) ve tabakaların eğim yönleri (119) arasındaki fark 20°'den büyük olduğu için herhangi bir duraysızlık riskinin olmayacağı şeklinde bir sonuç elde edilecekti. Ancak, bu tipik duraysızlık örneği, hakim süreksizlik sistemlerinin ortalama yönelimlerinde, yerel de olsa, bazı sapmaların olması halinde beklenmeyen duraysızlıkların gelişebileceğini göstermesi bakımından önem taşımaktadır. Zambak (1977), kinematik analizlerde hakim süreksizlik yönelimi değerlerinin (ortalama yönelim) kullanılmasının en güvenilir çözümü vereceğini ifade etmekle birlikte, daha düşük frekanstaki yönelimlerin de önem taşıyabileceğini ve bunların da analizlerde dikkate alınmasının olası duraysızlık risklerinin belirlenebilmesi açısından önem taşıyacağını vurgulamıştır. Bu hususlar gözönünde bulundurularak, işletmede duraysızlıkların daha yaygın şekilde gözlemlendiği güney şevinde (5 ve 6 no'lu sektörler) süreksizlik setlerinin istatistiksel dağılımına göre daha düşük frekanstaki yönelimlerin de dikkate alınması öngörülmüştür. Bunun için öncelikle süreksizlik yönelimlerinin dağılımı incelenmiş ve dağılımı temsil eden model araştırılmıştır.



1-1' KESİTİ



2-2' KESİTİ

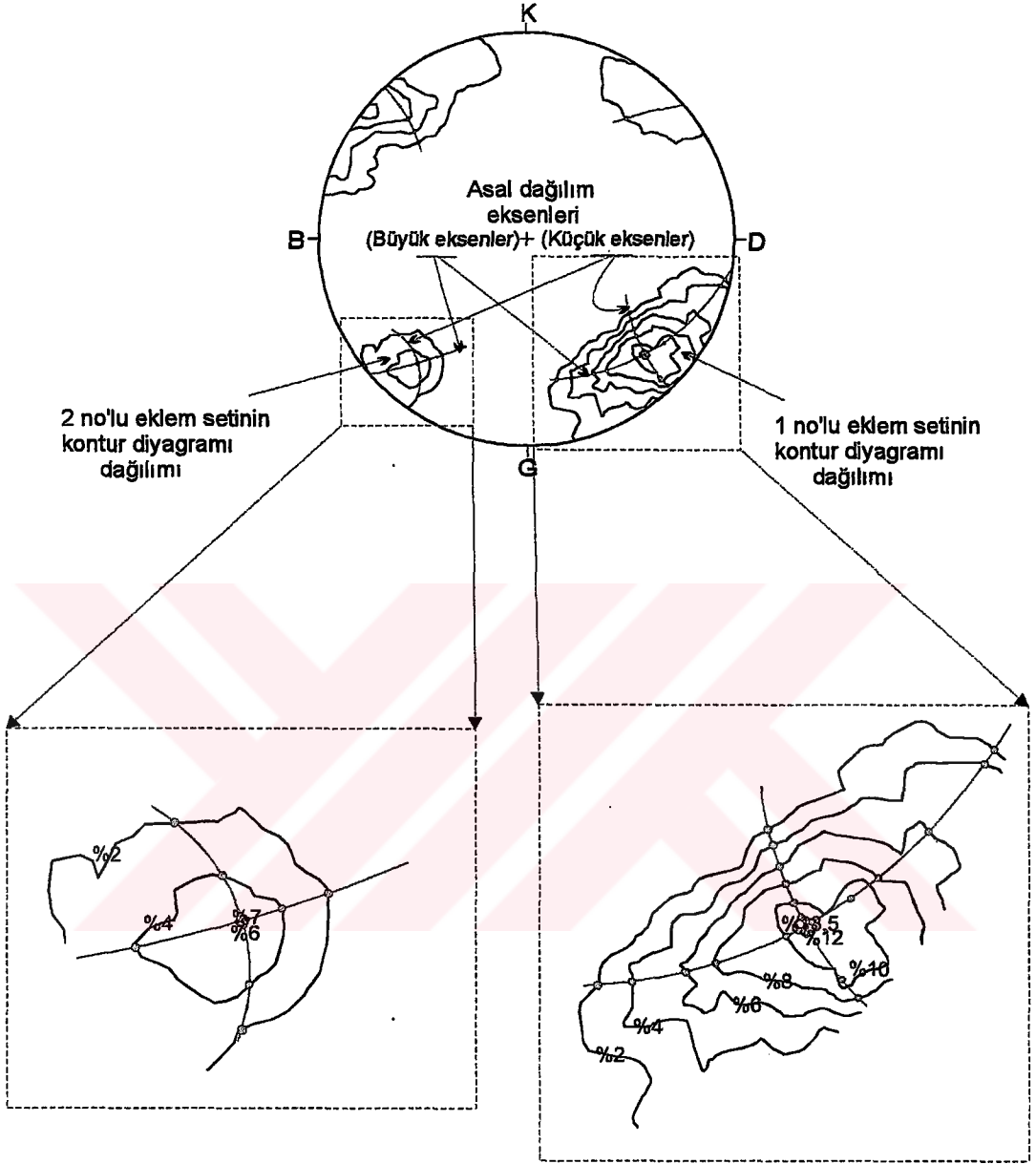


Şekil 7.4: 4 no'lu heyelanın lokasyonu, planı ve bu duraysızlıktan alınmış kesitler

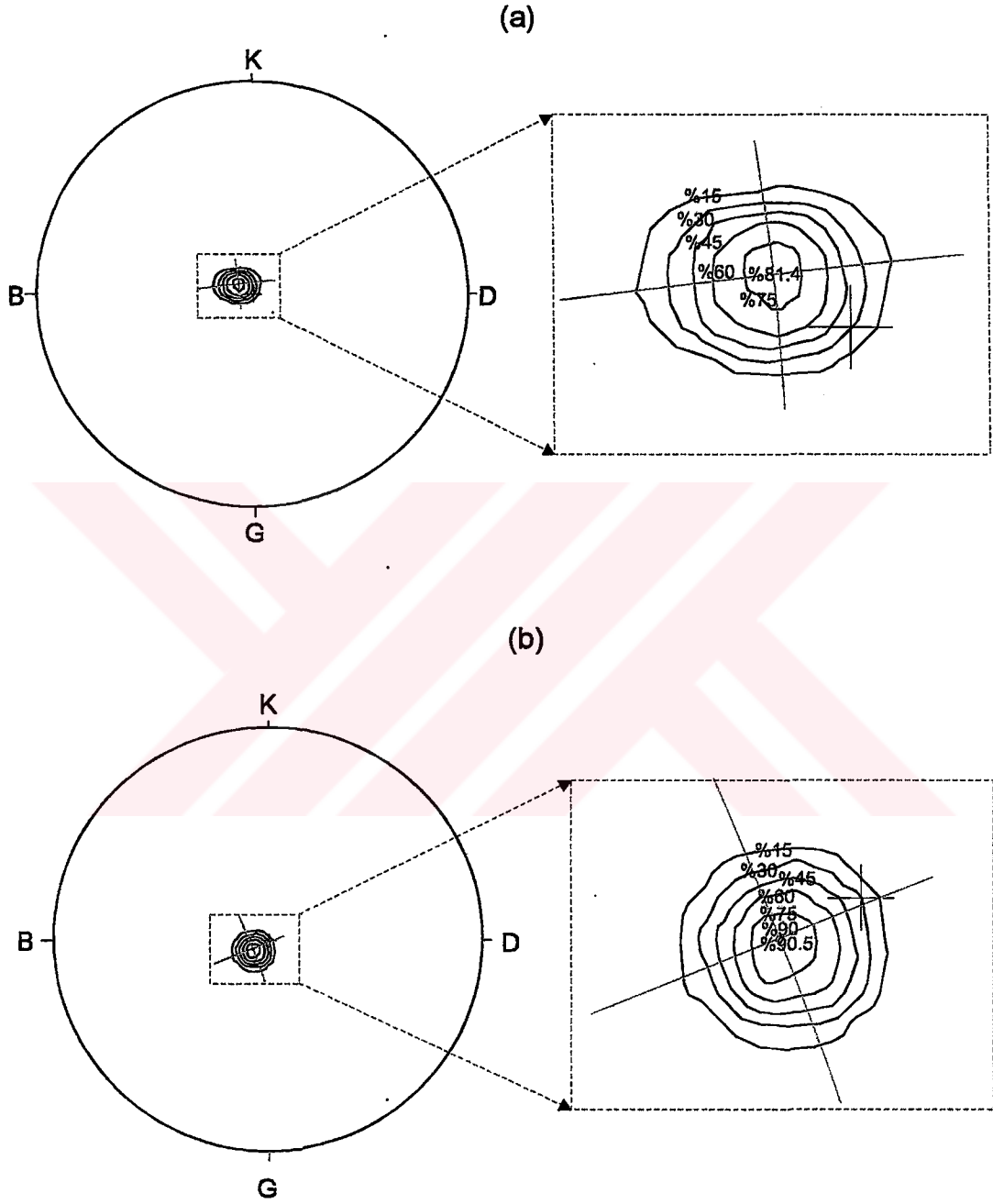
5 ve 6 no'lu sektörlerde tabakalanma ve eklem yüzeylerinin yönelimlerinin kontur diyagramındaki dağılımları genel olarak elipse benzemektedir. McMahon (1971) ve Zambak (1977) tarafından önerilen yöntem izlenerek, bu elipslerin büyük ve küçük eksen düzlemleri, diğer bir ifadeyle asal dağılım eksenleri çizilmiştir (Şekil 7.5 ve 7.6). Bu eksenler boyunca konturların eksenleri kestiği noktaların dağılım merkezinden uzaklıkları ve her konturun ifade ettiği frekans değeri kullanılarak, yine bu eksenler boyunca iki boyutlu olarak dağılan noktalar ile bunların frekansları belirlenmiştir (Çizelge 7.1).

McMahon (1971), Zambak (1977) ve Miller (1983), süreksizliklere ait yönelim verilerinin normal dağılıma uyduğunu göstermişlerdir. Ayrıca Gökçeoğlu vd. (1999), yönelim verilerinin normal dağılıma uyduğunu kabul ederek ve bu verilerin ortalaması ile standart sapmasından elde edilecek teorik normal dağılım eğrisini kullanarak verilerin normalleştirilebileceğini belirtmişlerdir. Bu araştırmada da süreksizlikler için asal dağılım eksenleri boyunca belirlenmiş veriler (Çizelge 7.1) gruplandırılarak histogramları hazırlanmış (Şekil 7.7) ve χ^2 testleri yapılarak verilerin normal dağılıma uygunlukları araştırılmıştır (Çizelge 7.2).

Stereografik izdüşüm ağında belirlenen konturların (Şekil 7.5 ve 7.6) yüzde değerleri, bu konturlar üzerindeki her bir noktanın (süreksizliklerin kutup noktası) arazide bulunma olasılığını ifade etmektedir. Aynı şekilde ortalama yönelimin yüzdesi de bu yönelimin bulunma olasılığını ifade eder. Örneğin, 5 no'lu sektördeki ortalama tabaka yöneliminin bulunma olasılığı % 81.4'tür. Olasılığa dayalı kinematik analizlerde, bu değerlerden yola çıkılarak gerçekleştirilecek duraysızlıkların olasılıkları belirlenmektedir. Bu analizlerde, örneğin, "kama türü kayma olasılığı %24'tür" veya "düzlemsel kayma olasılığı %30'dur" gibi ifadeler sıkça kullanılmakta olup, uygulanabilirliği tartışmalı olan sonuçlar elde edilmektedir. Bu çalışmada bu tür bir tanımlama yerine, yine olasılık ilişkilerinden yararlanılarak (teorik normal dağılım eğrisi altındaki alan kullanılarak), sonuçların pratikte de kullanılabilmesi için belirli olasılık aralıkları oluşturulmuş ve bu aralıklardaki tüm süreksizlik yönelimleri



Şekil 7.5: 1 ve 2 no'lu eklem setlerinin yönelimlerine ait kontur diyagramı dağılımları ve asal dağılım eksenleri



Şekil 7.6: 5 no'lu (a) ve 6 no'lu (b) sektörlerdeki tabalanma yönelimlerine ait kontur diyagramları ve asal dağılım eksenleri

Çizelge 7.1: 5 ve 6 no'lu sektörlere ait süreksizlik kontur diyagramlarındaki asal dağılım eksenleri üzerinden okunan değerleri

(a) 5 no'lu sektöre ait tabaka yönelimleri için büyük ve küçük eksenler boyunca dağılım değerleri

Frekans	15	30	45	60	75	81.4	75	60	45	30	15
Büyük Eksen	-11.9	-9	-7	-5.8	-2.8	0	2.8	6.1	8	10.5	13.6
Küçük Eksen	-8.7	-7.5	-6.4	-5.5	-3.3	0	3.4	6	7	8.4	9.8

(b) 6 no'lu sektöre ait tabaka yönelimleri için büyük ve küçük eksenler boyunca dağılım değerleri

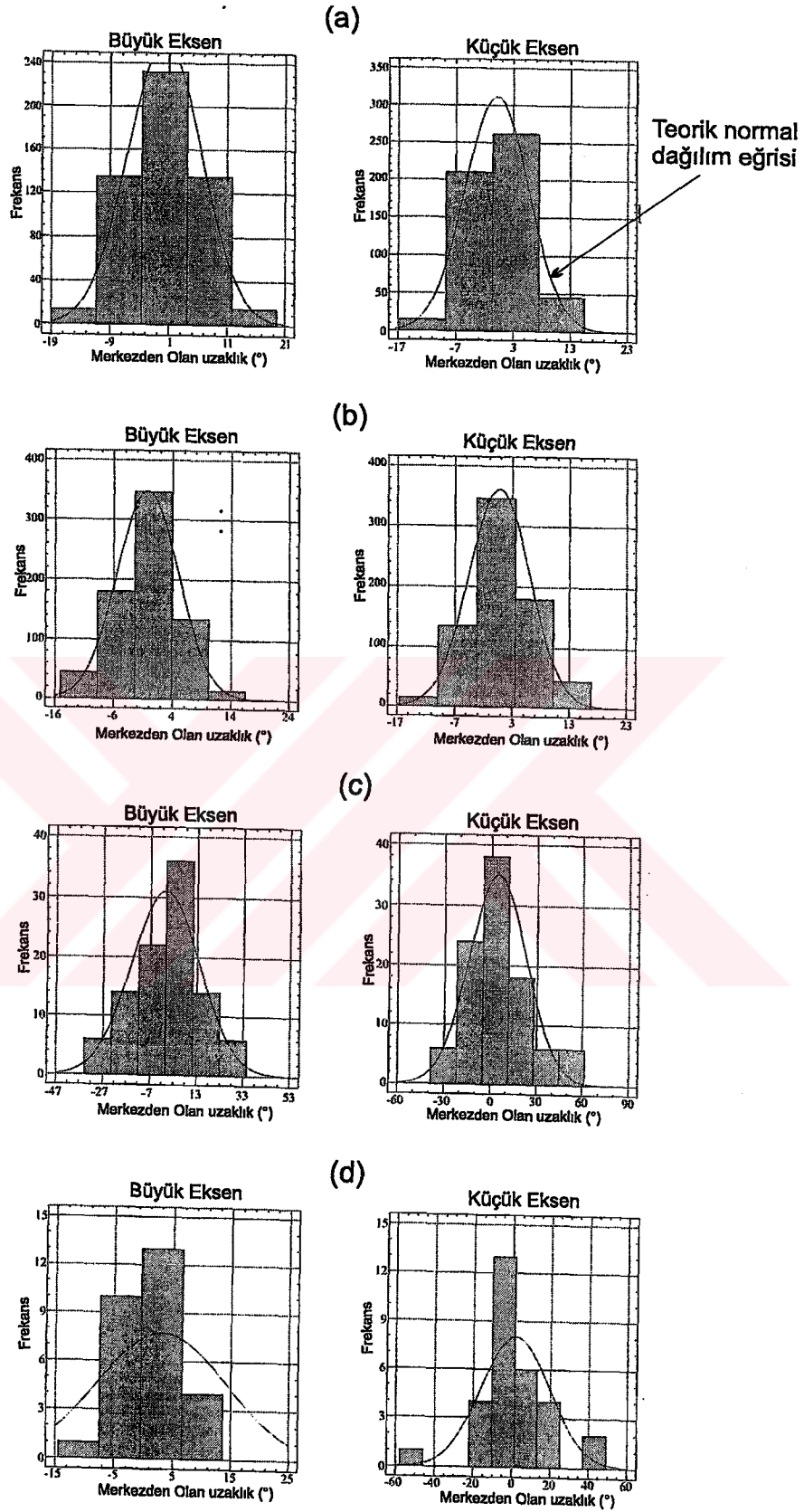
Frekans	15	30	45	60	75	90	90.5	90	75	60	45	30	15
Büyük Eksen	-11.7	-9.8	-7.8	-6.1	-3.8	-0.4	0	0.4	3.3	5.2	7	8.4	11.2
Küçük Eksen	-9.9	-7.7	-6.1	-4.8	-2.6	-0.4	0	0.4	4.3	7	9	10.7	13.1

(c) 1 no'lu eklem seti için büyük ve küçük eksenler boyunca dağılım değerleri

Frekans	2	4	6	8	10	12	13.5	12	10	8	6	4	2
Büyük Eksen	-34.9	-32.6	-21.6	-11.9	-7.2	-1.2	0	1.2	3.2	14.8	19.3	27.7	33.2
Küçük Eksen	-26.6	-22	-16	-11.3	-6.2	-2.3	0	1.8	14	18.9	39.7	47.3	54.1

(d) 2 no'lu eklem seti için büyük ve küçük eksenler boyunca dağılım değerleri

Frekans	2	4	6	7	6	4	2
Büyük Eksen	-9.3	-4.2	-0.5	0	0.6	10.3	39.5
Küçük Eksen	-47.7	-18.6	-2	0	1.6	24.2	39.9



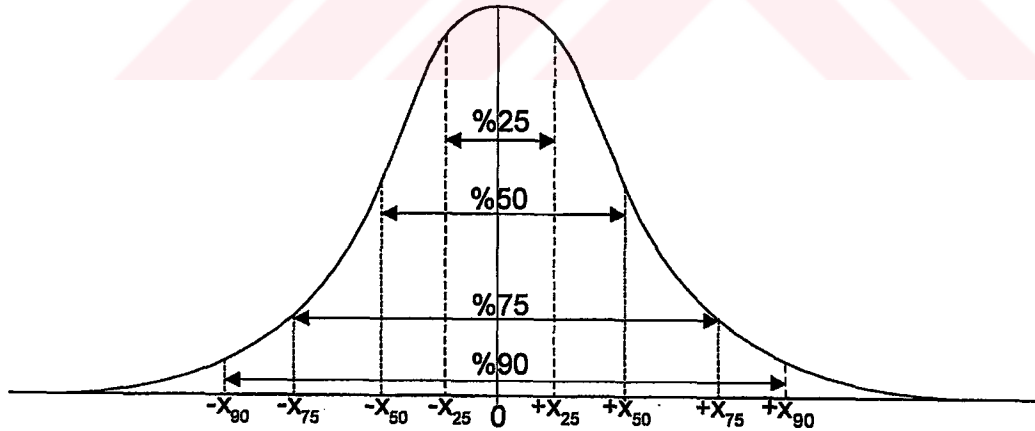
Şekil 7.7: 5 no'lu (a) ve 6 no'lu (b) sektörlerdeki tabaka yönelimleri ile 1 no'lu (c) ve 2 no'lu (d) eklem şartlarına ait asal dağılım eksenlerinden elde edilen verilerin histogramları ve teorik normal dağılım eğrileri

kullanılarak riskli duraysızlık türleri ile risk gösteren şev yönelimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 7.2: Süreksizlik yönelimlerinin kontur diyagramındaki dağılımlarının büyük ve küçük eksenlerine (asal dağılım eksenleri) ait χ^2 testlerinin sonuçları

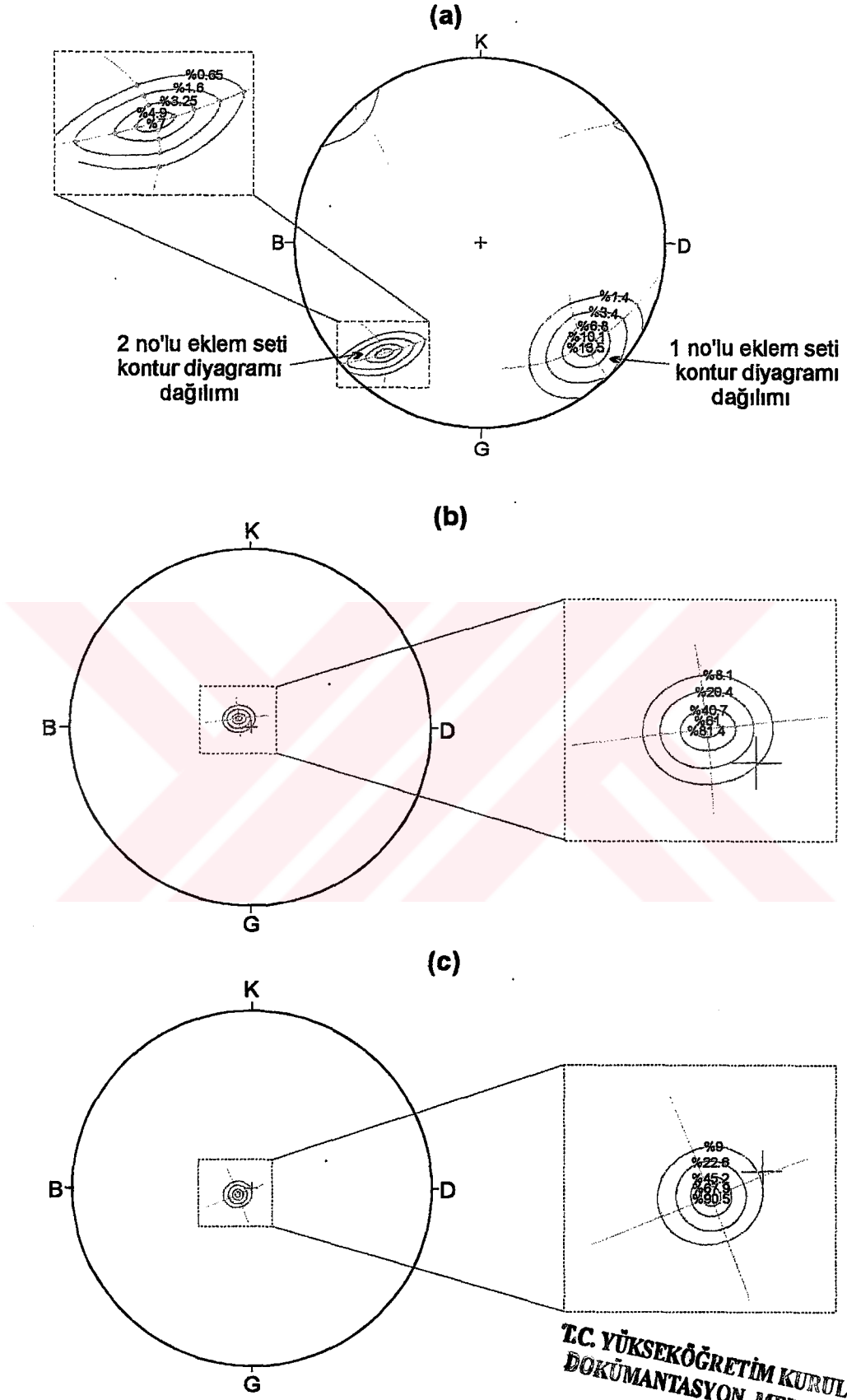
Süreksizlik/Sektör	Asal dağılım eksenleri	χ^2	Serbestlik derecesi
Tabaka /Sektör 5	Büyük	3.024	1
	Küçük	7.291	1
Tabaka /Sektör 6	Büyük	6.777	1
	Küçük	13.9	1
1 no'lu eklem seti	Büyük	4.075	3
	Küçük	3.315	2
2 no'lu eklem seti	Büyük	6.454	1
	Küçük	5.652	1

Bu çerçevede asal dağılım eksenleri boyunca elde edilen teorik normal dağılım eğrilerinin (bkz. Şekil 7.7) altında kalan %25, %50, %75 ve %90'lık alanlar - güven aralıkları (merkezin orta nokta olması koşuluyla) Şekil 7.8'de gösterildiği gibi belirlenmiştir. Bu işlemler, STATGRAPH isimli bir paket program (STSC Inc., 1991) kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 7.8: Normal dağılım eğrisi altında kalan alanlara göre belirlenen güven aralıkları

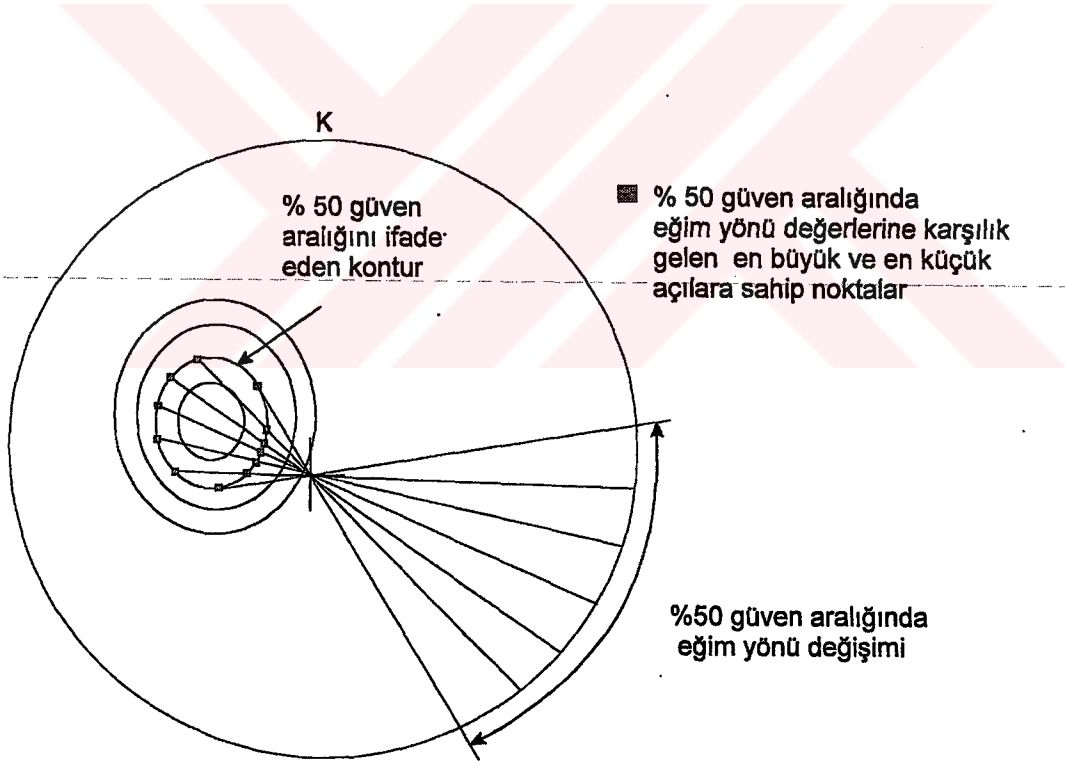
Sonra bu alanları sınırlayan x (merkezden uzaklık) değerlerinin gerçek olasılıkları, asal dağılım merkezini ifade eden 0 (sıfır) noktasının gerçek olasılık değerinden yararlanılarak hesaplanmış ve kontur diyagramları bu değerlere göre normalleştirilmiş olarak yeniden düzenlenmiştir (Şekil 7.9). Bu



Şekil 7.9: 1 ve 2 no'lu eklem seti (a), 5 no'lu (b) ve 6 no'lu sektördeki tabakalanma yönelimlerine ait normalleştirilmiş kontur diyagramı dağılımları

şekilde, her süreksizlik setinin hakim süreksizlik yönelimleri etrafında, bir anlamda güven aralıkları oluşturulmuştur. Aşağıdaki paragraflarda anlatımda kolaylık sağlaması açısından, bu alanlardan bahsedilirken “güven aralıkları” tanımlaması kullanılmıştır. Analizler için süreksizlik setlerinin %25, %50 ve %75 güven aralıklarındaki süreksizlik yönelimleri kullanılmış ve öncelikle her süreksizlik setine (tabakalanma, 1no’lu ve 2 no’lu eklemler) ait eşit güven aralığındaki (örneğin tüm setlere ait %50 güven aralığı) belirli eğim yönlerine karşılık gelen en düşük ve en yüksek eğim açıları saptanmıştır.

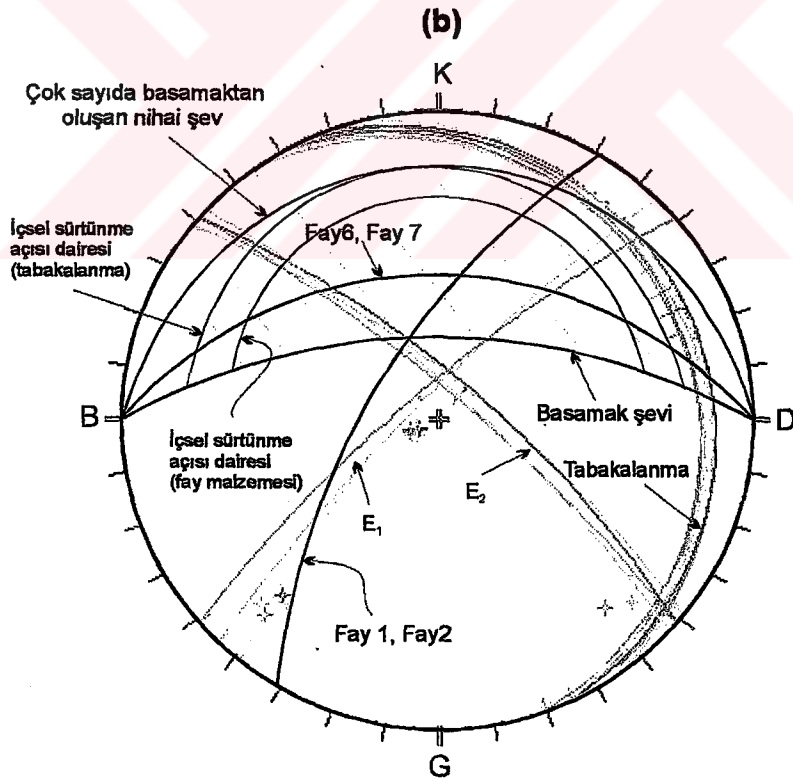
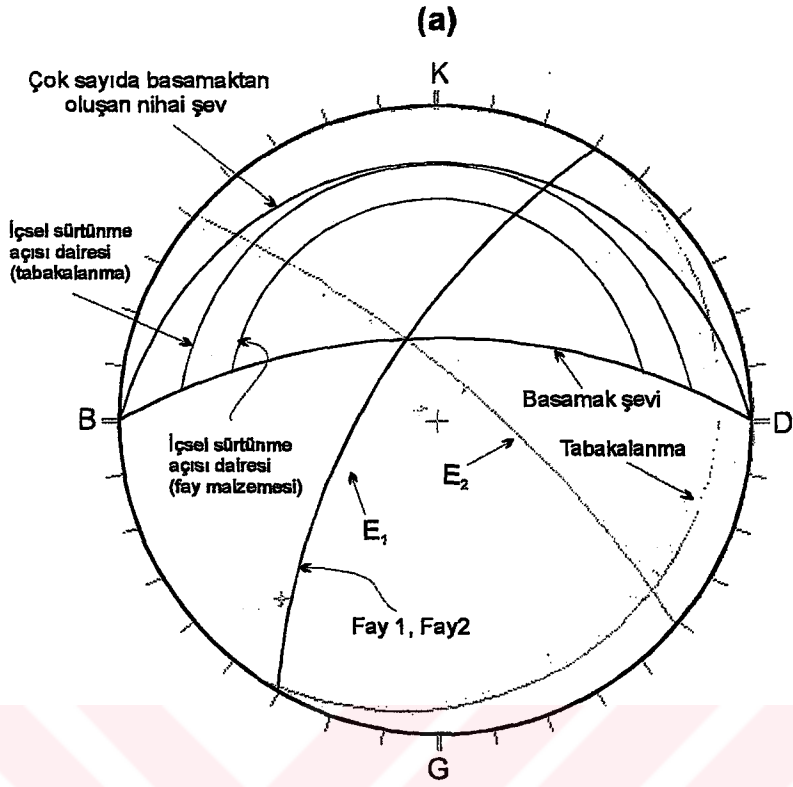
Şekil 7.10’da süreksizlik setinin %50 güven aralığı için eğim yönlerine karşılık gelen eğim açılarının bulunması temsili olarak gösterilmiştir. Bu işlem %25, %50 ve %75 güven aralıkları için de yapılmış ve elde edilen değerler kinematik analizlerde kullanılmıştır (Şekil 7.11-13).



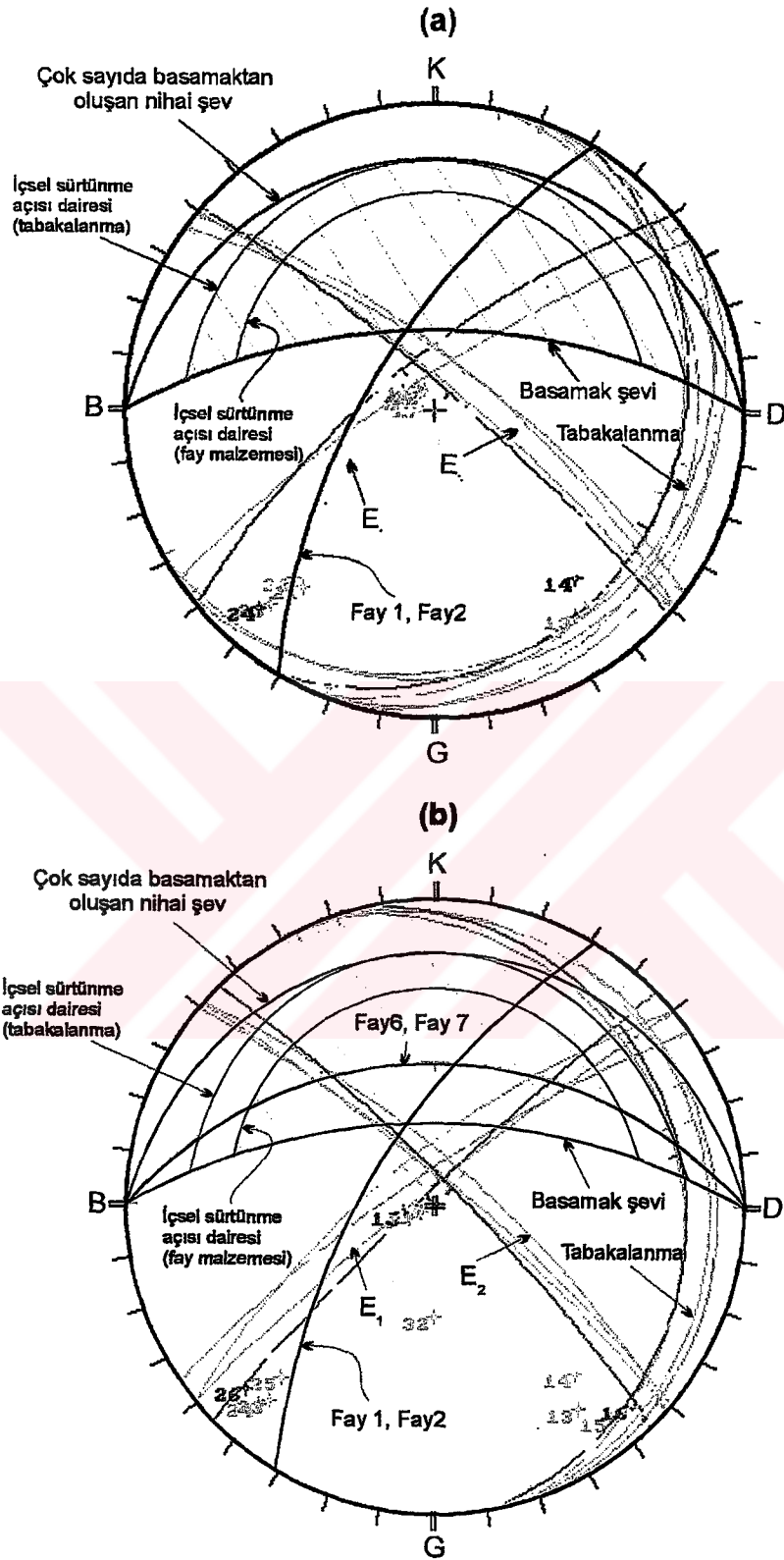
Şekil 7.10: %50 olasılıktaki konturlar üzerinde belirli aralıklarda eğim yönlerine karşılık gelen eğim açılarının belirlenmesinde izlenen yöntem.

Böylece, bu süreksizlikler bir tek büyük daire yerine birden fazla büyük daireyle tanımlanmıştır. Dairelerin her biri, ait oldukları süreksizlik setlerinin belirtilen güven aralığı içinde bir olasılık değerine sahiptir. Dolayısıyla kama duraysızlığı riski gösteren kesişme alanları da çeşitli olasılıklara karşılık gelmektedir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi, bu çalışmada bu olasılıkların belirlenmesi yerine merkezden itibaren belirli güven aralıklarındaki süreksizliklerin tümü bir değerlendirme içinde tutularak riske neden olabilecek duraysızlık modelleri araştırılmıştır.

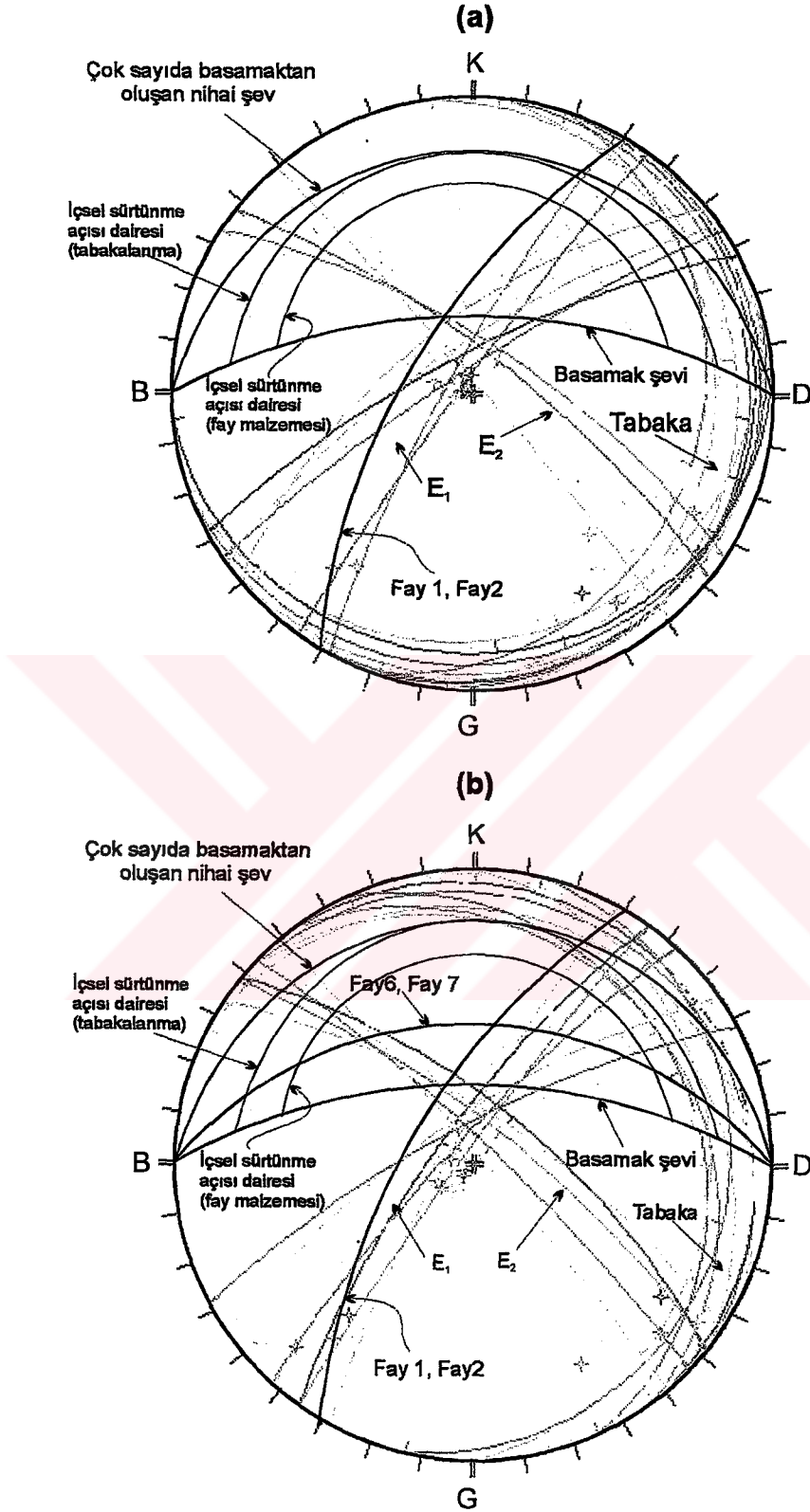
Güney şevinde kuzeye eğimli 60°'lik basamak aynaları için %25 güven aralığında yapılan analizlerin sonuçlarına göre, 5 no'lu sektörde bir risk gözlenmezken (Şekil 7.11a), 6 no'lu sektörde 6 ve 7 no'lu faylar ile 1 ve 2 no'lu faylar ve 1 ve 2 no'lu eklem setlerinin kesişme hatları boyunca kama türü duraysızlık riski söz konusudur (Şekil 7.11b). Bu sonuçlar 6 no'lu sektör için hakim süreksizlik yönelimlerine göre yapılan kinematik analizin sonuçlarından farklı değildir. Yine yerel olarak gelişmesi olası bu risklerin giderilebilmesi için basamak aynalarının eğimlerinin 45°'ye düşürülmesi gerekmektedir. %50 güven aralığına ait analizlere göre 5 no'lu sektörde yine bir risk gözlenmezken (Şekil 7.12a), 6 no'lu sektörde %25 güven aralığında olduğu gibi faylarla tabakalar arasında kama türü duraysızlık riskinin söz konusu olacağı anlaşılmaktadır (Şekil 7.12b). Söz konusu kama türü duraysızlık risklerinde etkin olan süreksizlik düzlemlerinden birisi 6 veya 7 no'lu fay olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bakımdan 6 no'lu sektörde bu fayların gözlemlendiği basamak aynalarının eğimlerinin 45°'ye düşürülmesi gerekmektedir. %75 güven aralığındaki analizlere göre ise, 5 no'lu sektörde 1 veya 2 no'lu faylar ile 2 no'lu eklem setinin kesişme hatları boyunca, sınır koşuluna yakın olmakla birlikte, kama türü duraysızlık riski belirlenmiştir. Böyle bir riskle karşılaşılmasını için basamak aynası eğiminin 54°'ye indirilmesi gerekmektedir (Şekil 7.13a). 6 no'lu sektörde ise, %50 güven aralığında yapılan analizlerden farklı olarak, 1 veya 2 no'lu faylar ile 2 no'lu eklem setinin kesişme hatları boyunca kama türü duraysızlık riski belirlenmiştir (Şekil 7.13b). Bu yaklaşımla fayların bulunduğu bölgelerde lokal



Şekil 7.11: 5 no'lu (a) ve 6 no'lu (b)sektörlerde %25 güven aralığında gözlenen süreksizlik yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler



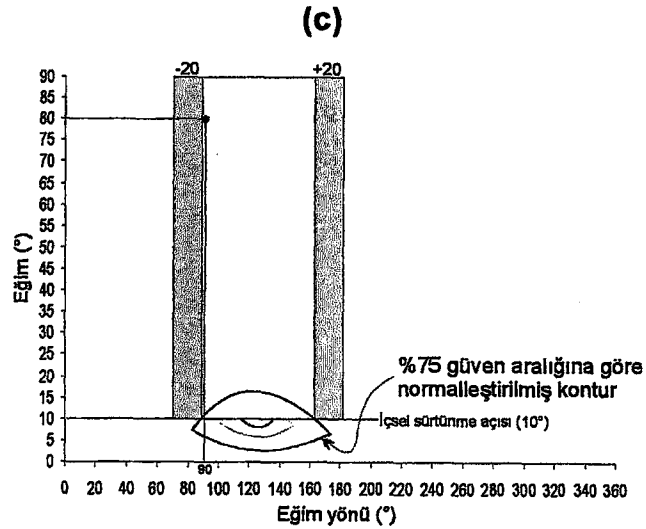
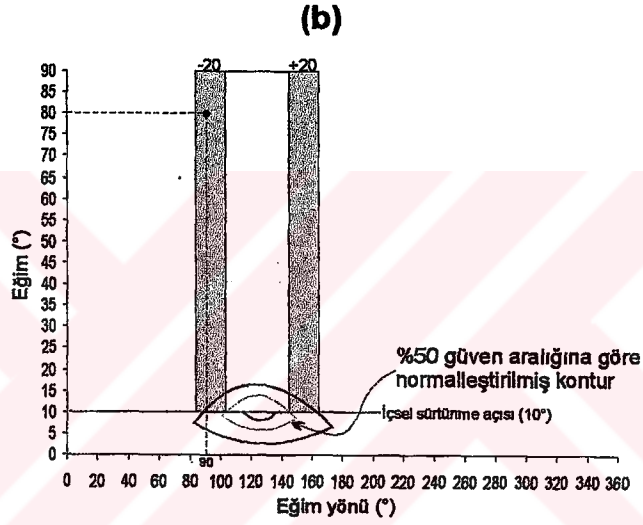
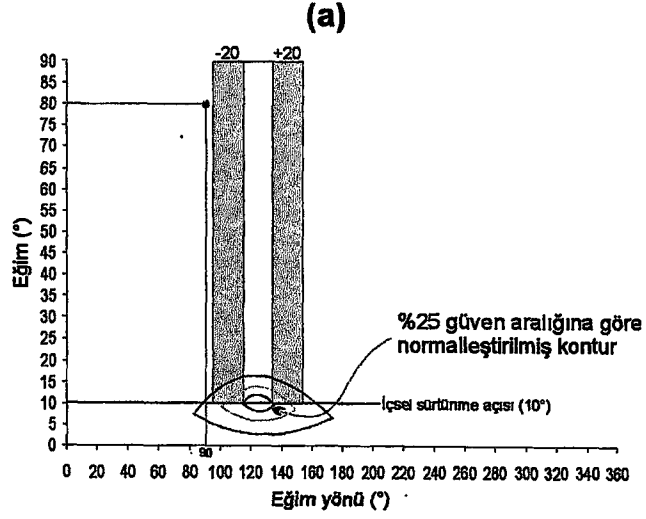
Şekil 7.12: 5 no'lu (a) ve 6 no'lu (b) sektörlerde %50 güven aralığında gözlenen süreksizlik yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler



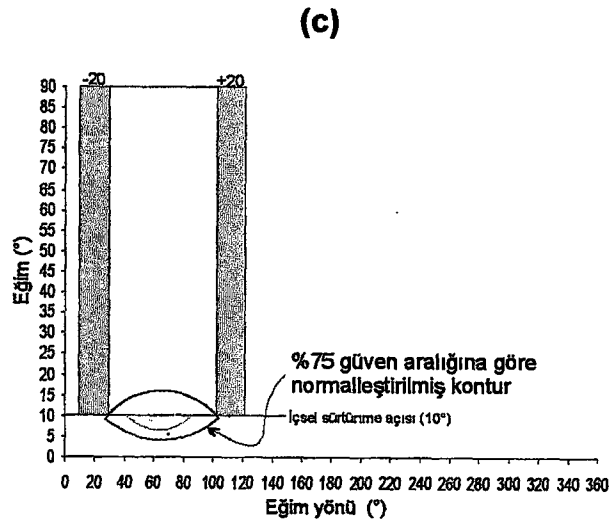
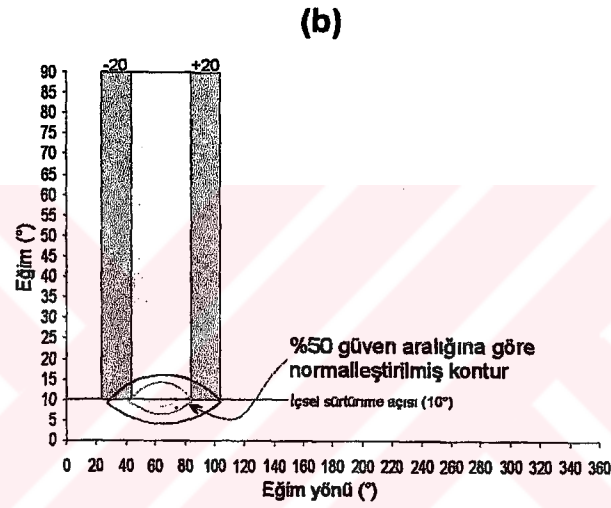
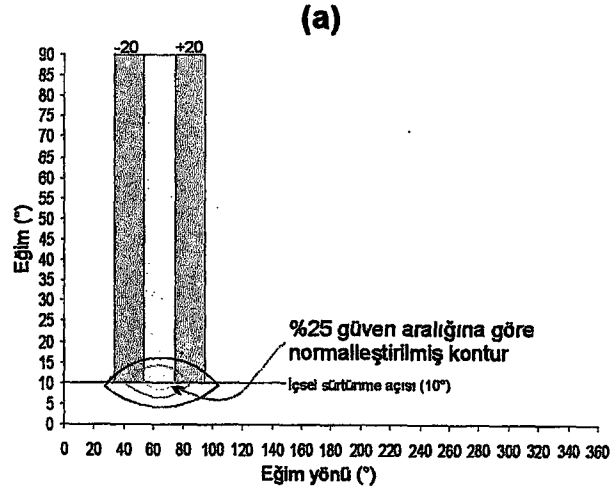
Şekil 7.13: 5 no'lu (a) ve 6 no'lu (b) sektörlerde %75 güven aralığında gözlenen süreksizlik yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler

olarak gözlenebilecek kama türü duraysızlıkların giderilmesi için basamak aynasının eğiminin 45° 'ye indirilmesi yeterlidir. Her iki sektörde ve tüm güven aralıklarında çok sayıda basamaktan oluşan nihai şevlerin ise risk yaratmadığı belirlenmiştir.

Güney şevinde, geçici de olsa, eğim yönleri kuzeydoğu ve güneydoğu arasında değişen basamaklar da oluşturulmaktadır. Basamak bazında gelişecek bir duraysızlık tüm şevi kapsayan bir duraysızlığın yanında önemsiz görünmekle birlikte, can ve mal kaybına neden olabileceği için önemi artmaktadır. Geçici olarak açılan bu basamaklar açısından en kritik yapısal unsur, Şekil 7.11, 7.12 ve 7.13'de de görüldüğü gibi, tabakalanma yüzeyleri, dolayısıyla en riskli kayma modeli olarak düzlemsel kaymadır. Çünkü ocak içinde gerçekleşen duraysızlıkların tümünde dayanımları oldukça düşük olan tabakalanma yüzeylerinin rolü bulunmakta ve geçici olarak açılan şevlerin eğim yönleri bu tabakalanma yüzeylerinin yönelimlerinin değişim aralıkları içinde kalmaktadır. Bu nedenle %25, %50 ve %75 güven aralıklarına göre sadece tabaka yönelimleri esas alınarak, 5 ve 6 no'lu sektörlerde düzlemsel kayma açısından risk taşıyabilecek şev yönelimleri de belirlenmiştir. Şekil 7.14 ve 7.15'de gösterilen ovaloidler, stereografik izdüşüm ağında çeşitli güven aralıklarına göre normalleştirilmiş konturlara karşılık gelmektedir. Ovaloidin içinde kalan her bir nokta daha yüksek frekansa sahip tabaka yönelimlerini ifade etmektedir. Ovaloidlerin yaklaşık olarak ortalarına doğru hakim süreksizlik yönelimi yer almaktadır. Kinematik anlamda bir süreksizlik yüzeyinin düzlemsel kayma riski taşıyabilmesi için, şev yönelimi ile süreksizlik yönelimi arasında en fazla 20° 'lik fark bulunmalı (Hoek ve Bray, 1981) ve eğim açısının şevin eğiminden küçük, içsel sürtünme açısından büyük olması gerekmektedir. Bu nedenle ovaloidin içine düşen tabaka yönelimlerinden, sadece eğimleri içsel sürtünme açısından büyük olanlar risk arzedecektir. Kırmızı çizgiyle gösterilen içsel sürtünme açısı çizgisinin üzerinde ve bu çizginin ovaloidi kestiği noktalardaki eğim yönleri ile sınırlı alan (sarı alan), belirtilen güven aralığında risk arzeden tabaka yönelimlerini temsil etmektedir. Bu durumda sarı alan dahil olmak



Şekil 7.14: 5 no'lu sektörde %25 (a), %50 (b) ve %75 (c) güven aralıkları içindeki tabaka yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler sonucunda oluşturulacak basamak aynası yönelimleri için riskli alanlar



Şekil 7.15: 6 no'lu sektörde %25 (a), %50 (b) ve %75 (c) güven aralıkları içindeki tabaka yönelimleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş kinematik analizler sonucunda oluşturulacak basamak aynası yönelimleri için riskli alanlar

üzere, bu alanın üstünde kalan yeşil alan da ile düzlemsel kayma açısından $\pm 20^\circ$ eğim yönü farkının ifade edildiği kahverengi alana düşecek bir şev yönelimi, belirtilen güven aralığı içinde risk taşıyor anlamına gelmektedir. Örneğin, 5 no'lu sektörde meydana gelen 4 no'lu heyelanda belirlenen şev yönelimi (80/090), Şekil 7.14'de gösterildiği gibi, %25 güven aralığına göre oluşturulan riskli alana düşmezken, %50 ve %75 güven aralıklarında riskli bölgeye düşmektedir.

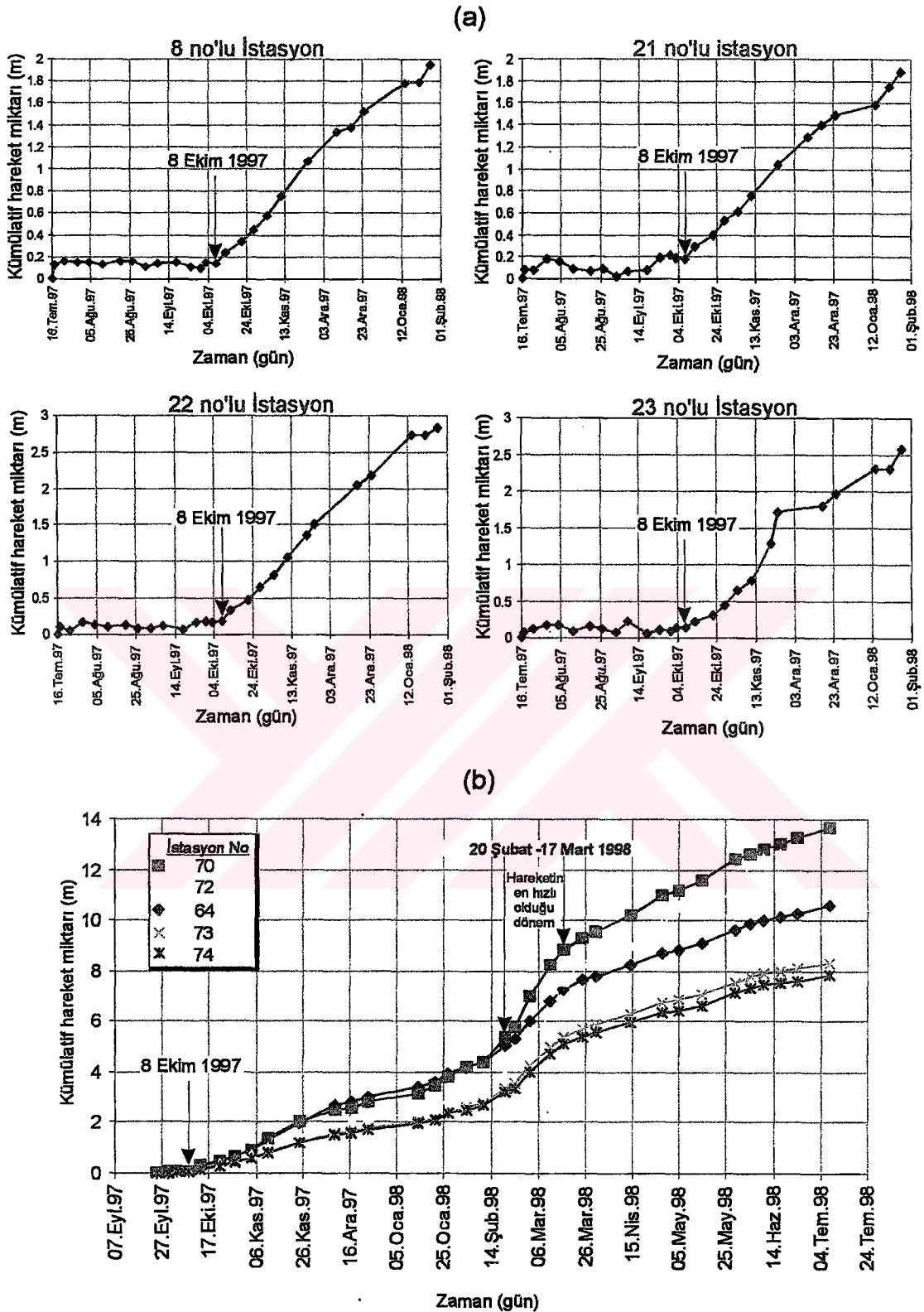


8. ŞEV DURAYSIZLIKLARININ MEKANİZMASININ ARAŞTIRILMASI

8.1. Hareket İzleme Verilerinin Değerlendirilmesi

5. Bölümde değinildiği gibi, işletmenin kuzey ve güney şevlerinde kurulan çok sayıdaki hareket izleme istasyonunun bir bölümünden, devam eden şev kazısı ve işçilerin bazı ölçüm kazıklarını sökmesi vb. nedenlerden dolayı çalışmanın sonuna kadar efektif olarak yararlanılamamıştır. Bununla birlikte, bu tez kapsamında 16 Temmuz 1997 ve 8 Temmuz 1998 tarihleri arasında yürütülen izleme çalışması dönemi boyunca, yerinden sökülmemiş ve sürekli ölçüm alınmış yeterli sayıdaki istasyon kullanılarak hareket izleme verilerinin değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Bu tezin ağırlıklı konusunu oluşturan güney şevindeki duraysızlığın (2 no'lu heyelan) mekanizmasının belirlenmesi amacıyla, hareket izleme çalışmasının verileri değerlendirilerek aşağıdaki paragraflarda sunulmuştur.

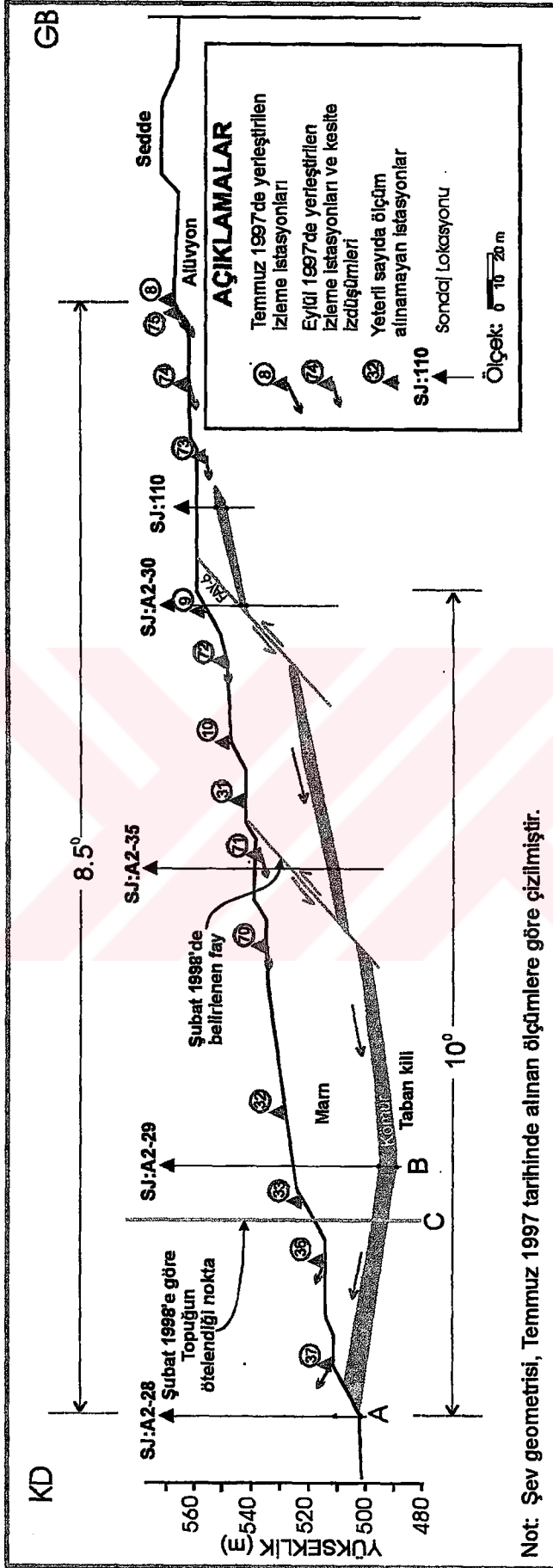
Himmetoğlu işletmesinde çalışmaya ilk başlanıldığında marnların içinde açılan basamaklarda belirgin bir hareket gözlenememiş, sadece güney şevindeki alüvyon malzemesinde açılmış üst kotlardaki basamaklarda bazı tansiyon çatlakları ve oturmalar gözlenmiştir (bknz. Şekil 5.9). Bu nedenle çalışmanın başlangıcından itibaren geçen belirli bir süre boyunca güney şevinde bir duraysızlığın gelişmekte olduğu anlaşılmışsa da, bunun mekanizması hakkında kesin bulgulara ulaşılamamıştır. 16 Temmuz 1997'de başlatılan hareket izleme ölçümlerine ait ilk değerlendirmeler de hareketin çok yavaş bir hızla devam ettiğini göstermiştir. Ancak sonbahar döneminde hareketin hızı artmıştır. İzleme istasyonlarından sağlanan verilere göre her istasyon için "zaman-kümülatif hareket grafikleri" çizildiğinde, hareketin hızı daha açık şekilde görülmüştür. Şekil 8.1a'da verilen bazı istasyonlara ait tipik "zaman-kümülatif hareket" grafiklerinden çok yavaş bir şekilde gelişen hareketin 8 Ekim 1997'de hızlanmaya başladığı anlaşılmaktadır. 24 Eylül 1997'den 8 Temmuz 1998'e kadar sürekli ölçüm alınabilme olanağı elde edilen bazı istasyonlara ait "zaman-kümülatif hareket" grafikleri (Şekil 8.1b) de yukarıda değinilen belirlemeyi desteklemektedir. Hareketteki bu ani artış,

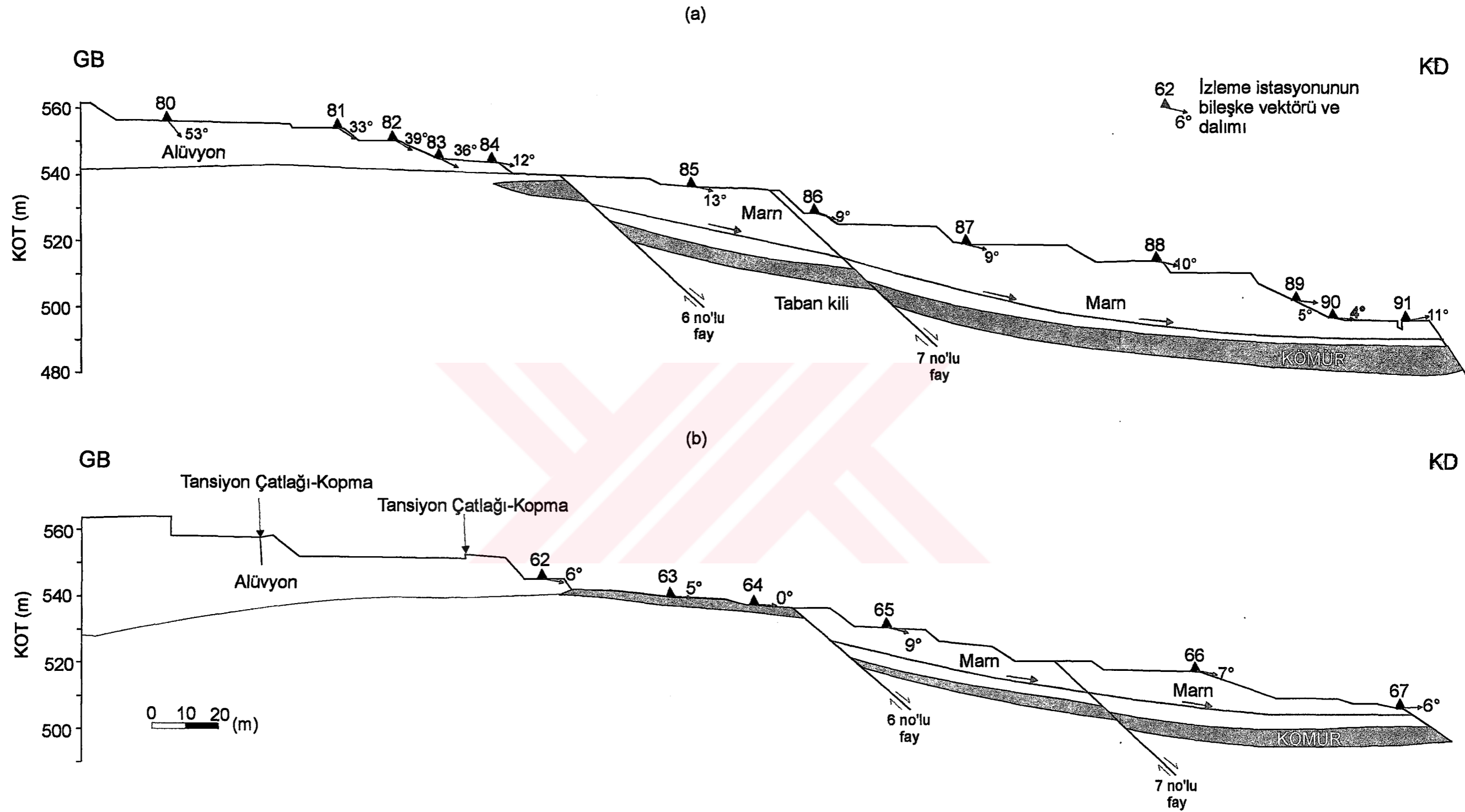


Şekil 8.1: 16 Temmuz 1997'de güney şevinde ölçüm alınmaya başlanmış bazı istasyonlar (a) ile 24 Eylül 1997-8 Temmuz 1998 tarihleri arasında kesiksiz olarak ölçüm alınmış istasyonlara (b) ait zamana karşı toplam hareket miktarını gösteren grafikler

güney şevinin topuk bölgesinde kömürün alınmaya devam ettiği dönemle çakışmaktadır. Bu belirleme, Şekil 8.2'de verilen ve güney şevinin yaklaşık ortasından geçen 4-4' kesiti (EK 1) üzerinde yer alan hareket izleme istasyonlarında da görülmektedir. Ekim 1997'den itibaren A ve B noktaları arasında kalan kesimde (bknz. Şekil 8.2) kömürün alınmaya başlanmasıyla, harekete karşı koyan ve şevin tersi yönde eğime sahip kısım zamanla ortadan kaldırılmış olup, bu kazı işlemi kaymaya karşı koyan kuvvetleri de önemli ölçüde azaltmıştır. Şubat 1998'de A noktasındaki topuk, kazı nedeniyle ötelenerek C noktasına gelmiştir. Hareketin hızında belirgin bir artışın kaydedildiği dönem 20 Şubat - 17 Mart 1998 tarihleri arasında olup, bu dönem esas duraysızlığın (bknz. Şekil 5.10) gerçekleştiği zamana rastlamaktadır.

Kayma yüzeyinin konumunun belirlenmesi amacıyla, izleme dönemi boyunca elde edilen veriler esas alınarak istasyonlara ait bileşke vektörleri hesaplanmıştır. Duraysızlığın en belirgin olarak gözlemlendiği dönemde ve güney şevini temsil eden iki kesit (1 ve 3 no'lu kesitler) seçilerek hareket vektörleri bu kesitler üzerinde gösterilmiştir. (Şekil 8.3a ve 8.3b). Vektörlerin konumu incelendiğinde, bunların dalım ve dalım yönlerinin kömür horizonunun üzerinde yer alan ve bu horizona paralel konumlu marnlardaki tabakalanma düzlemleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Buna karşın, alüvyondaki bileşke vektörlerin dalım açısı, marnlardakine oranla oldukça yüksektir. Bunun nedeni, marnlarda açılmış basamaklarda kuzeye doğru gerçekleşen bir ötelenmenin sonucu olarak bu iki birim arasında oluşan boşluğun, alüvyonda açılmış gerideki basamaklar tarafından doldurulmasıdır. Hareket vektörlerinden dikkati çeken bir husus da, 7 no'lu faya yakın konumdaki 86 no'lu istasyonun (bknz. Şekil 8.3a) hareket vektörünün dalımının bu fayın eğimiyle değil de, tabakalanma yüzeyinin eğimiyle uyumlu olduğudur. Bu belirleme, ayrıca geriye dönük analiz sonuçlarından da belirlendiği gibi, söz konusu fay yüzeyinin duraysızlığa doğrudan katılmadığının bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. 6 no'lu fayın üstündeki istasyon çubuğu kısa sürede söküldüğü için burada hareket vektörü elde edilememiştir. Bununla birlikte, aşağıda değinilen hız konturları ile ilgili



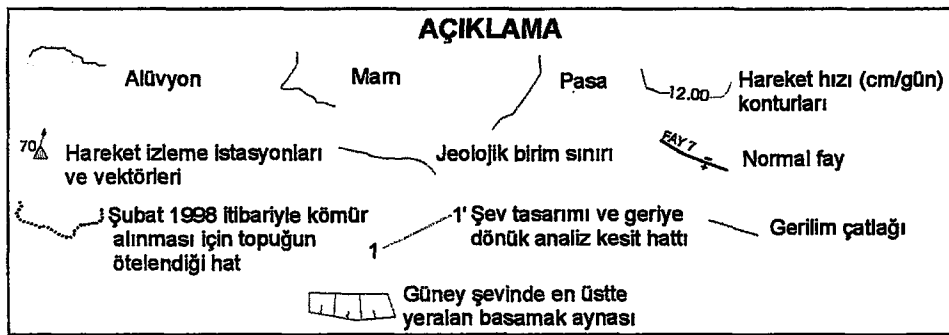
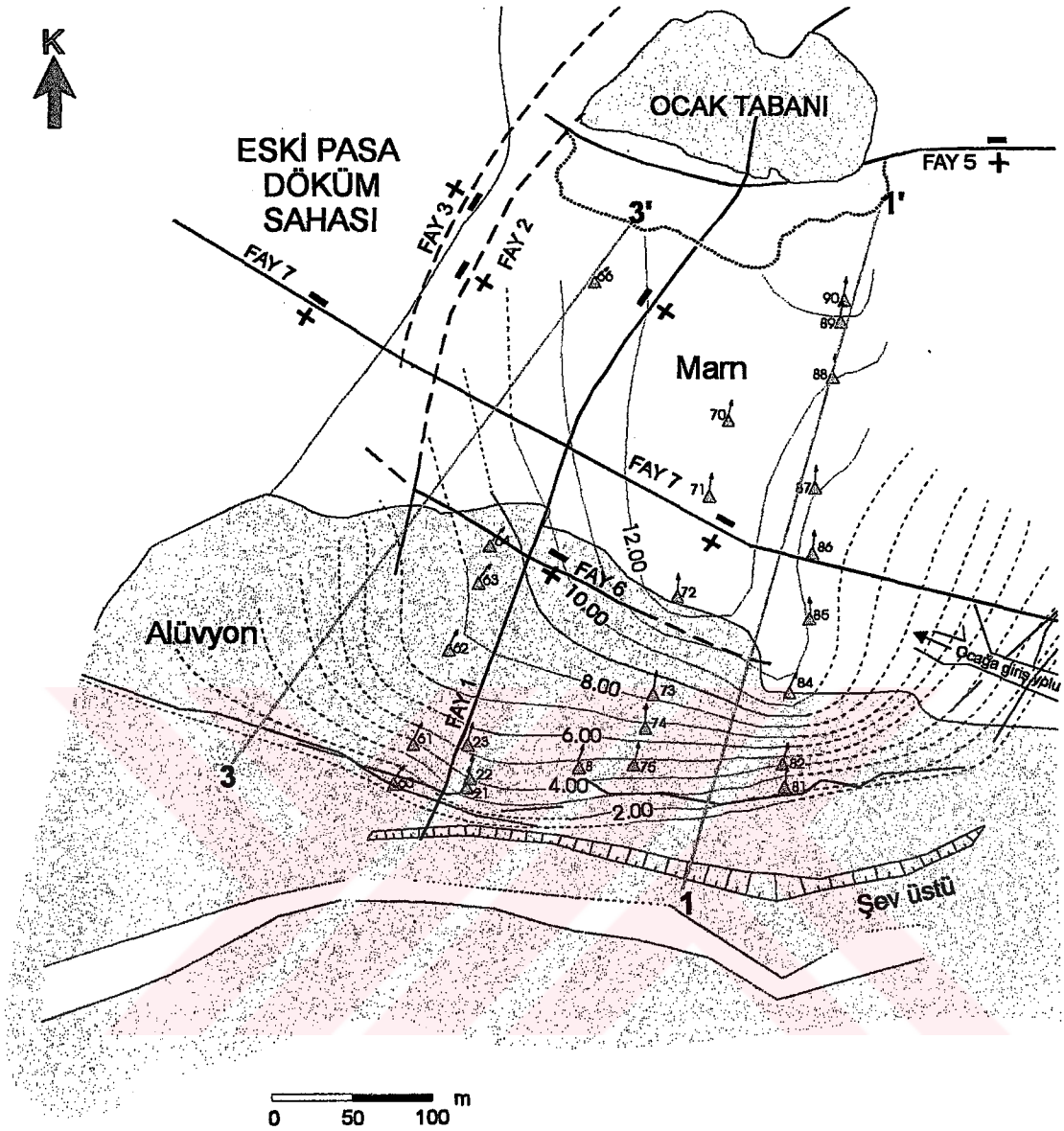


Şekil 8.3: Güney şevinde 1-1' (a) ve 3-3' (b) şev profilleri boyunca hareket izleme istasyonlarında belirlenmiş hareket bileşke vektörlerinin konumları ve dalım açıları

değerlendirmelerde ve geriye dönük analizlerde de belirtildiği gibi, hareketin 6 no'lu fay ile linyit horizonunun 8-10 m üzerinde ve marnlardaki kaygan tabakalanma yüzeyi boyunca gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Ayrıca yukarıdaki değerlendirmelere ilave olarak ve izleme istasyonlarının zaman-kümülatif hareket grafiklerinden yararlanılarak, duraysızlığın yayılımı ve mekanizması hakkında yorum yapılabilmesi amacıyla, duraysız alan için hareket hızı kontur ağı oluşturulmuştur. Bu işlem için SURFER (Golden Software, 1990) adlı paket program kullanılmıştır. Güney şevindeki istasyonların bir kısmından sürekli ölçüm alınamadığından, hızların ölçüm süresince belirlenen toplam hareketlere göre hesaplanması mümkün olamamıştır. Şekil 8.1b'de görüldüğü gibi, izleme istasyonlarında belirlenen hareket hızlarının (grafiklerin eğimlerinin) zamana bağlı olarak azalması veya artması bu istasyonların tümünde yaklaşık aynı oranlardadır. Dolayısıyla herhangi bir dönemi veya tüm izleme dönemini kapsayacak şekilde hazırlanmış hız kontur ağının genel hatlarıyla birbirlerine benzerlik göstermesi doğaldır. Bunun yanısıra, kontur ağının genel görünümünün elde edilmesi açısından, ölçümlerde kullanılan alettten kaynaklanabilecek hataların hareket hızının daha düşük olduğu dönemlerde fazla olması beklenir. Bu hususlar dikkate alınarak konturlama amacıyla, hareketin en hızlı olduğu 20 Şubat - 17 Mart 1998 zaman aralığına ait ölçümler esas alınmıştır. Bu dönemde sürekli ölçüm alınmış istasyon sayısının da diğer dönemlere oranla fazla olması, hız konturlaması için bu dönemin seçilmesinde diğer bir etken olmuştur.

Bu esaslar doğrultusunda hazırlanan hız kontur ağının (Şekil 8.4) değerlendirilmesinden, duraysızlığın; doğuda ocağa giriş yolu üzerinde gözlenen tansiyon çatlaklarıyla, güneyde ise en üstte alüvyonda gelişmiş tansiyon çatlaklarıyla sınırlı olduğu belirlenirken, batıdaki sınırının da eski pasa döküm sahası tarafından oluşturulabileceği düşünülmüştür. Özellikle duraysızlığın orta kesiminden geçen bir hat boyunca konturların dağılımı,



Şekil 8.4: 20 Şubat-17 Mart 1998 tarihleri arasında güney şevindeki izleme istasyonlarına ait verilerden tayin edilmiş hız değerlerine göre hazırlanmış hareket hızı kontur ağı.

güneydeki tansiyon çatlakları ile 6 no'lu fay arasında kalan alanda oldukça sık aralıklarla artış gösterirken, bu fayın kuzeyinde ve şevin topuğuna çok yakın bir bölgeye kadar ise değişim göstermemektedir. Bu durum, duraysızlığın 6 no'lu fayın kuzeyinde yaklaşık sabit bir hızla devam ettiğini, dolayısıyla 6 numaralı fay düzlemi ile tabaka düzlemleri boyunca geliştiğini ve alüvyon malzemesindeki basamakların önünün boşalmasıyla bir miktar oturmaya maruz kaldıkları, bir miktar da öne (kuzeye) doğru hareket ettikleri izlenimini uyandırmaktadır. Nitekim hareket izleme vektörlerinden elde edilen sonuçlar da bunu göstermektedir.

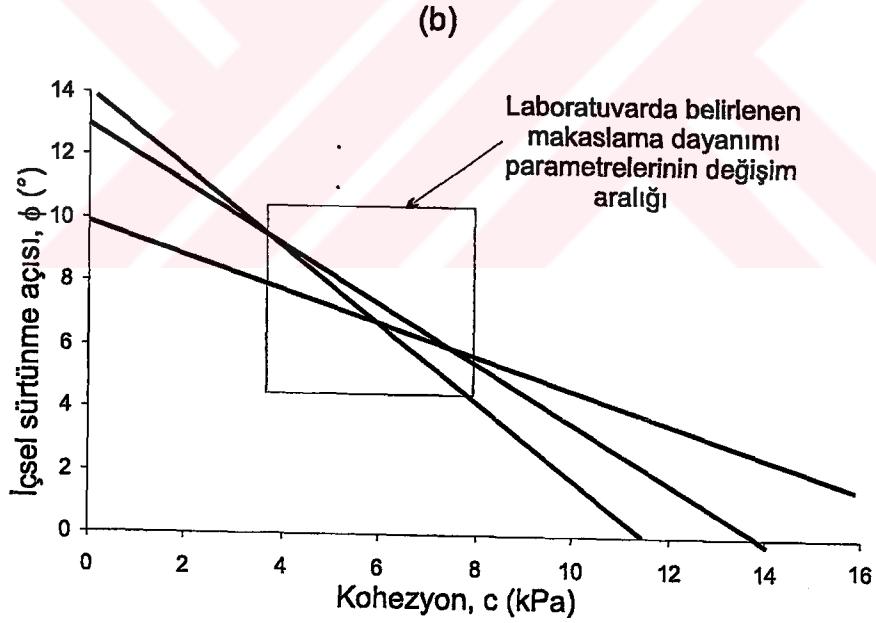
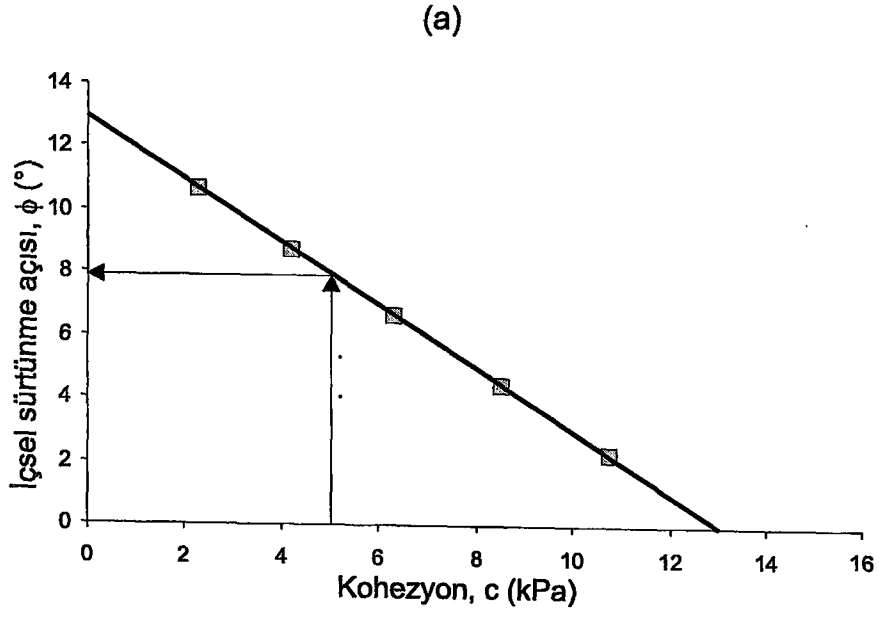
8.2. Duraysızlıkların Geriye Dönük Analizi

Çalışma alanında gözlenen duraysızlıkların modellerinin araştırılması ve tasarımda kullanılabilecek makaslama dayanımı parametreleri konusunda karar verilebilmesi amaçlarıyla geriye dönük analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonuçları, hareket izleme çalışmasının sonuçlarıyla birlikte değerlendirilerek duraysızlık mekanizması açısından ayrıca yorumlanmıştır.

Limit-denge analizlerinde şevlerin duraylılığının göstergesi olarak hesaplanan güvenlik katsayısının bire eşit olması ($F=1$) durumunda, şevin kayma konumunda olduğu kabul edilmektedir. Bu çerçevede,

- (a) şevin kayma öncesi ve sonrasına ait geometrisi,
- (b) kayma yüzeyinin şekli,
- (c) şevi oluşturan malzemelerin birim hacim ağırlıkları ve
- (d) su koşulları

biliniyor ise, duraysızlık sırasında kayma yüzeyi boyunca etkin olan makaslama dayanımı parametreleri geriye dönük analizlerle belirlenebilmektedir. Bunun için makaslama dayanımı parametrelerinden (c ve ϕ) biri sabit tutularak, $F=1$ koşulunu sağlayacak diğer parametrenin değeri belirlenmekte ve bu işlem değişik c ve ϕ değerleri için tekrarlanmaktadır. Böylece duraysızlık boyunca alınmış bir kesit için elde edilecek veri çiftleriyle c - ϕ zarfları çizilmektedir (Fookes vd., 1977; Şekil 8.5a). Sancio (1981),

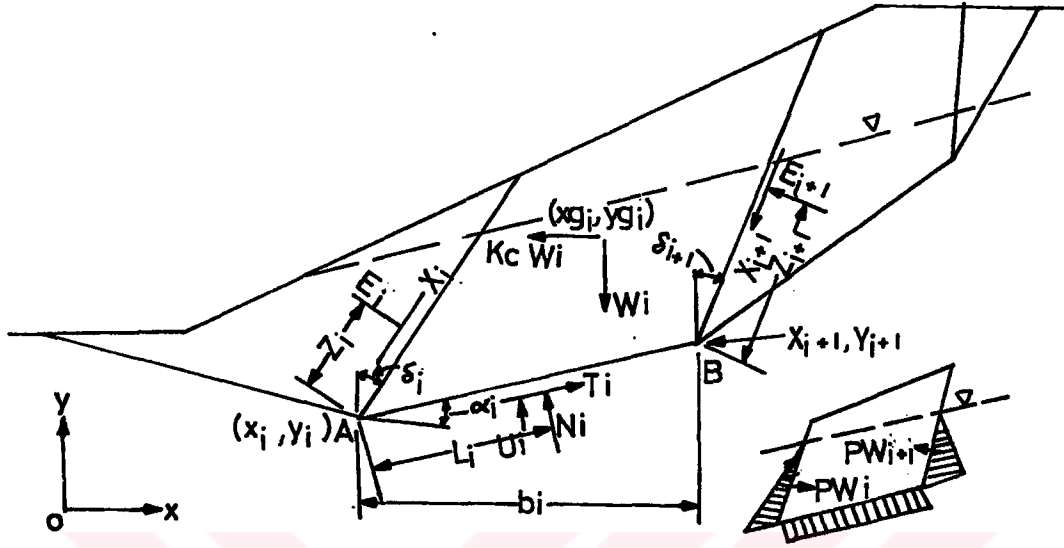


Şekil 8.5: Geriye dönük analizlerle makaslama dayanımı parametrelerinin belirlenmesi için Fookes vd. (1977) (a) ve Sancio (1981) (b) tarafından önerilen değerlendirme yöntemleri

tasarımda kullanılacak makaslama dayanımı parametrelerinin seçimi için, geriye dönük analizlerden belirlenenlerle laboratuvarda belirlenen değerlerin karşılaştırılmasını önermektedir. Ancak, adı geçen araştırmacı böyle bir karşılaştırmanın daha sağlıklı yapılabilmesi için, çok sayıdaki $c-\phi$ zarfının birlikte değerlendirilmesini önermektedir. Bu amaçla duraysızlıklardan hazırlanmış çok sayıda kesit üzerinde çalışılması tercih edilmektedir. Böylece Sancio (1981)'nin önerdiği çoklu çözüm gerçekleştirilerek her şev kesiti için elde edilecek $c-\phi$ zarflarının kesim noktaları laboratuvar deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilmektedir (Şekil 8.5b).

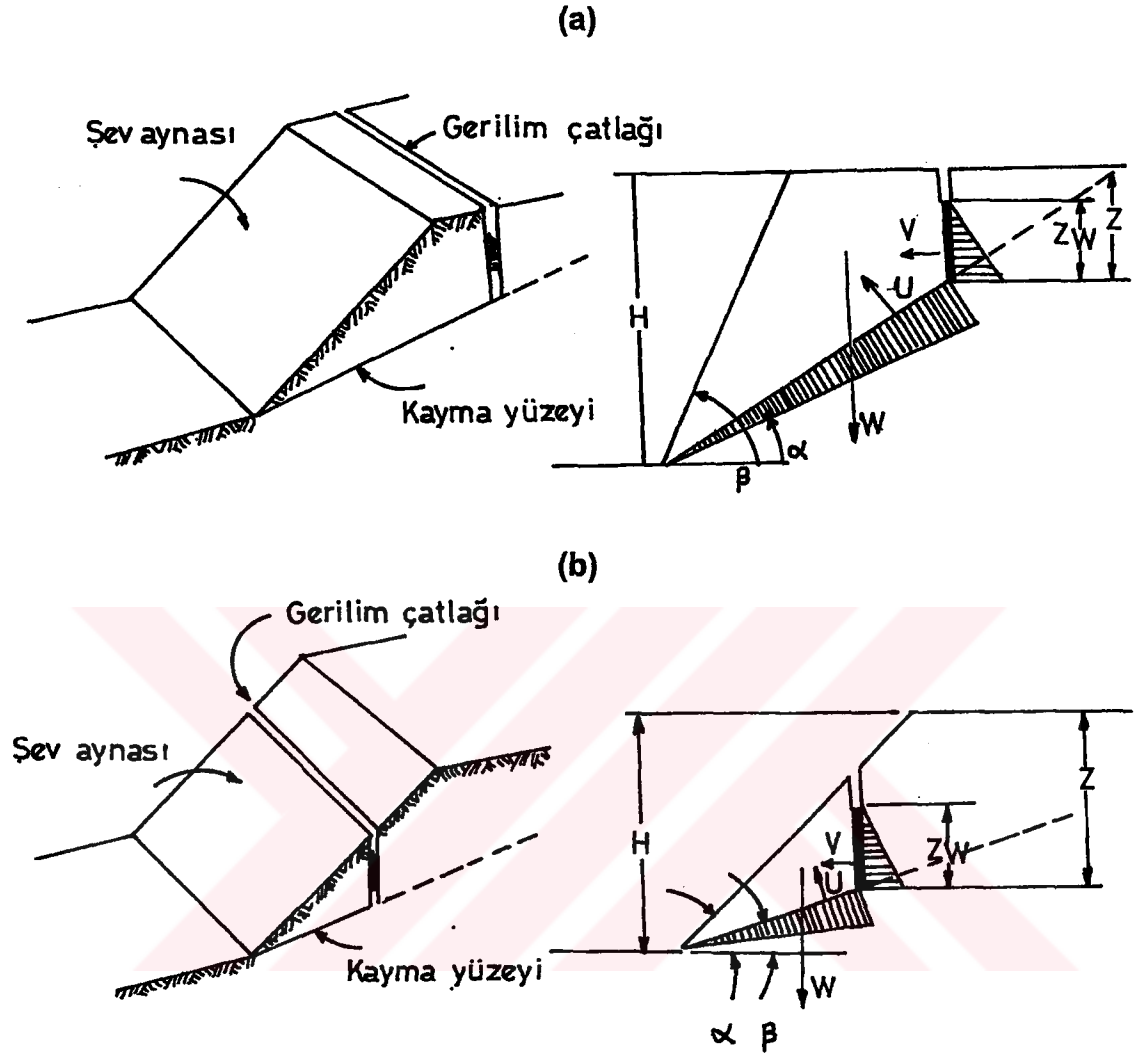
Saha gözlemleri ve hareket izleme çalışmalarının sonuçları, güney şevindeki 2 no'lu heyelanın fay düzlemi ile kaygan tabakalanma yüzeyi boyunca ve tabakalanmanın eğimindeki değişime bağlı olarak çok yüzeyli duraysızlık (aktif-pasif kama) modeline uygun şekilde geliştiğini göstermiştir. 3 no'lu heyelan da, 6 no'lu fay düzlemi ile kaygan tabaka yüzeyi boyunca aktif pasif kama modeline uygun gelişmiştir. Analizlerde bu duraysızlık modeli için Sarma (1973, 1979) tarafından geliştirilmiş olan analiz yöntemi (Şekil 8.6) ve bu yöntem için hazırlanmış bir bilgisayar programı (Hoek, 1987) kullanılmıştır. 4 no'lu heyelanın ise düzlemsel kayma modeline (bkz. Şekil 7.4) uygun olduğu saha çalışmalarıyla belirlenmiş ve bu duraysızlık modelinin geriye dönük analizi için Hoek ve Bray (1981) tarafından önerilen yöntemden (Şekil 8.7) yararlanılmıştır. İncelenen bu duraysızlıklara ait analiz sonuçları aşağıda verilerek yorumlanmıştır.

HEYELAN 4: Lokasyonu EK 1'de gösterilmiş olan ve 15/105 yönelimli kaygan tabaka yüzeyi boyunca düzlemsel kayma modeline uygun olarak gelişmiş bu duraysızlığın geriye dönük analizi su tablası içermeyen ve topoğrafik ölçümlerle hazırlanmış iki şev profili üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 8.8'de duraysızlığa uğramış bu şevin kayma öncesine ve sonrasına ait kesitleri ile analiz sonuçları ($c-\phi$ zarfları) verilmiştir. Şekil 8.8'de ayrıca kaygan tabaka yüzeylerinin laboratuvar deneylerinden elde edilen doruk ve artık



- E_i ve E_{i+1} : dilimin kenarlarında etkiyen yanal itki kuvvetleri
 x_i ve x_{i+1} : dilimin kenarlarında etkiyen makaslama kuvvetleri
 $P W_i, P W_{i+1}$: dilimin kenarlarında etkiyen bileşke su basıncı
 W_i : i numaralı dilimin ağırlığı
 N_i : dilim tabanında etkiyen normal gerilim
 U_i : dilim tabanında etkiyen gözenek suyu basıncı
 T_i : dilim tabanında etkiyen makaslama kuvveti
 z_i : E_i kuvvetinin etkime noktasının kayma yüzeyinden yüksekliği
 a_i : AC dilim tabanının yatayla yaptığı açı
 b_i : dilim genişliği
 x_g, y_g : x ve y eksenlerine göre dilim ağırlık merkezinin koordinatları
 K_c : yatay yöndeki kritik ivme
 l_i : normal kuvvetin dilim tabanına etkime noktasının dilim köşesine uzaklığı
 d_i, d_{i+1} : dilim kenarlarının düşeyle yaptığı açı
 $(x_i, y_i)(x_{i+1}, y_{i+1})$: dilim tabanı koordinatları

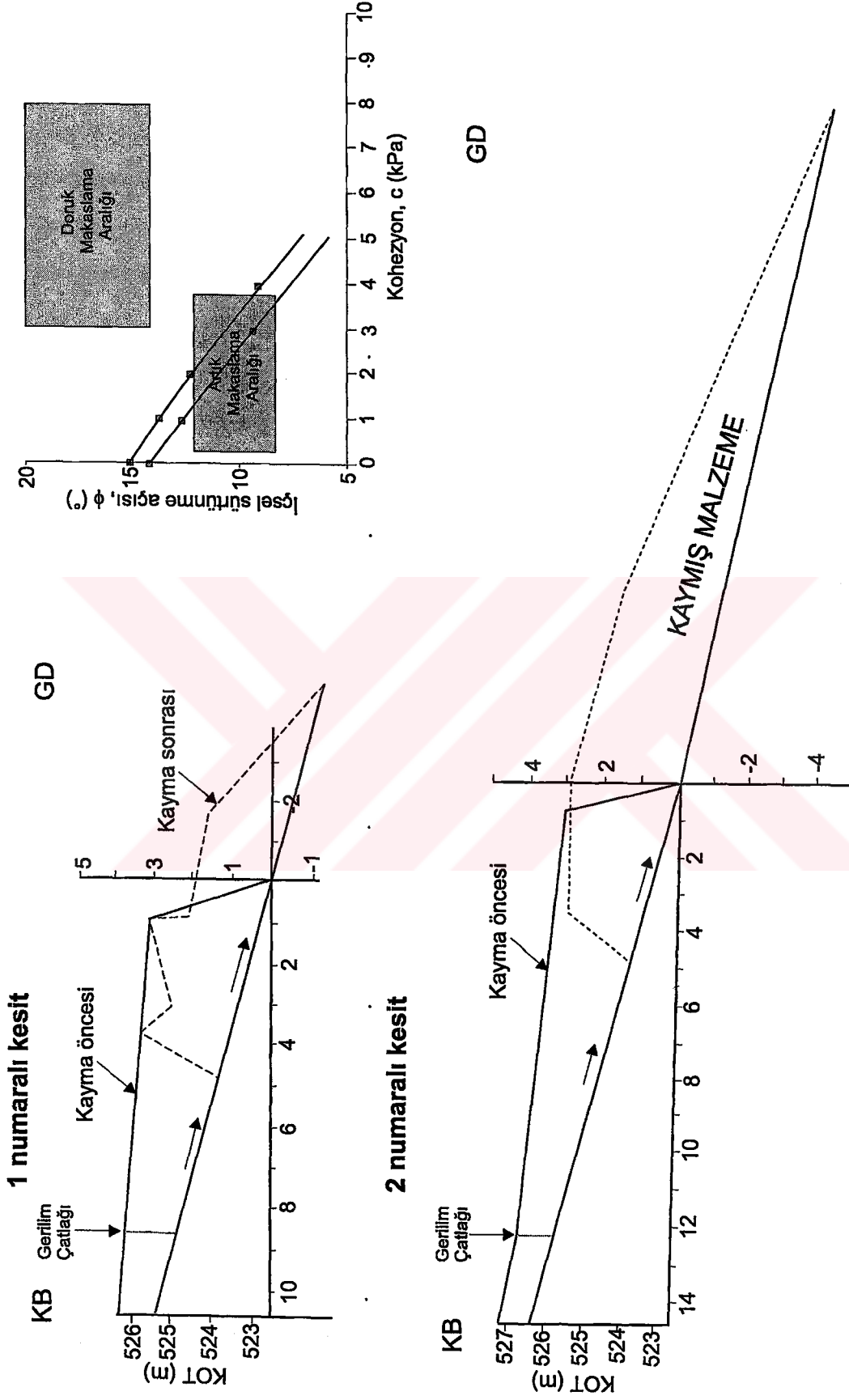
Şekil 8.6: Sarma yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetler (Sarma, 1973 ve 1979'dan düzenlenmiştir).



W : Kayan kütlelerin ağırlığı
 H : Şev yüksekliği
 b : Şev açısı
 a : Kayma düzlemi açısı

z : Gerilim çatlığının şev tepesine göre derinliği
 z_w : Gerilim çatlığında su olması koşulunda
 suyun yüksekliği
 u : Su basıncı
 v : Gerilim çatlığındaki suyun basıncı

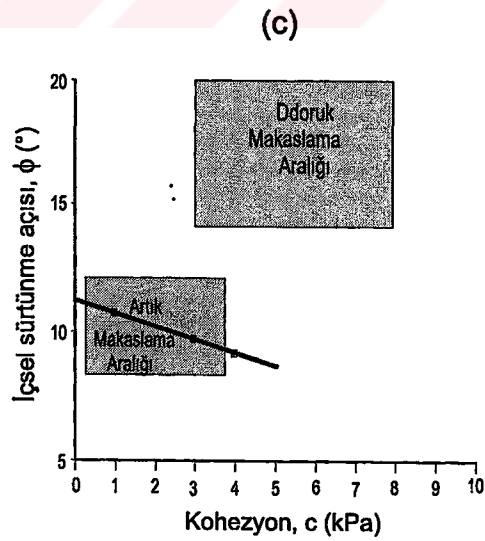
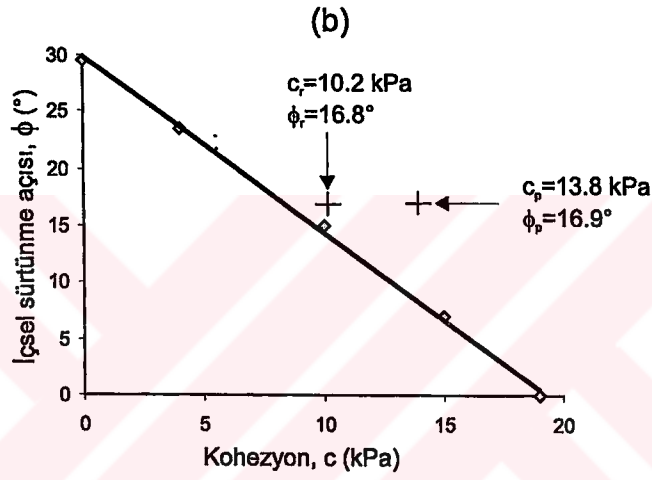
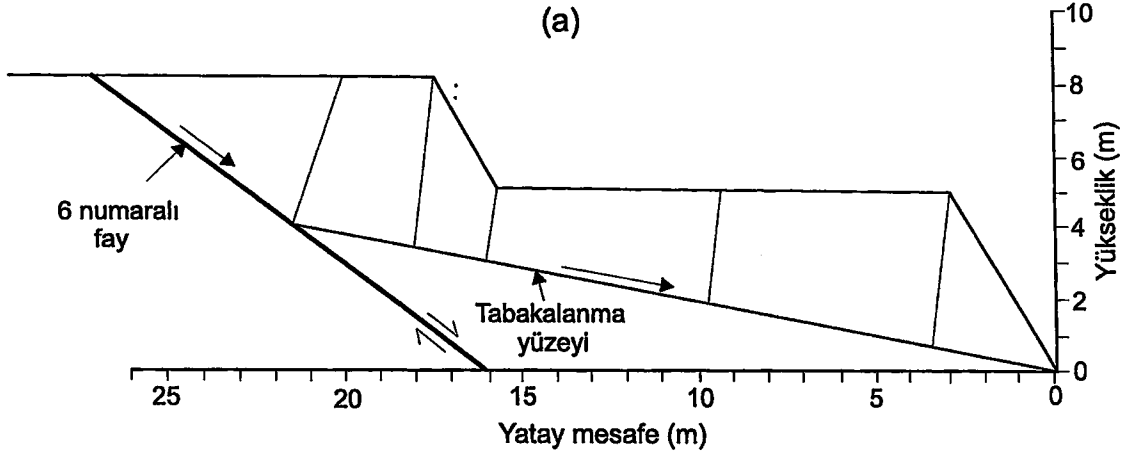
Şekil 8.7: Düzlemsel kayma modeli: (a) gerilim çatlığının şev tepesinin gerisinde; (b) gerilim çatlığının şev aynasında gelişmesi koşulları için şev geometrisi ve kayan kütleyle etkileyen kuvvetler (Hoek ve Bray 1981'den düzenlenmiştir).



Şekil 8.8: 4 numaralı duraysızlığa ait kesitler ve geriye dönük analiz sonuçları

makaslama dayanımı parametrelerinin değişim aralığı da gösterilmiştir. $c-\phi$ zarflarının kesişmemesi, kesitlerin aynı kayma yüzeyi boyunca birbirlerine paralel yönde alınmış olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, $c-\phi$ zarfları tabaka düzlemlerinin artık makaslama dayanımının değişimini gösteren değişim aralığı bölgesinden geçmekte ve doruk makaslama dayanımı parametreleri ise çok farklı bir aralıkta yer almaktadır. Dolayısıyla bu sonuç, duraysızlığın düzlemsel kayma modeline uygun olarak geliştiğini desteklemesinin yanısıra, kayma sırasında tabakalanma yüzeyleri boyunca makaslama dayanımının artık değerlere düştüğünü de göstermektedir.

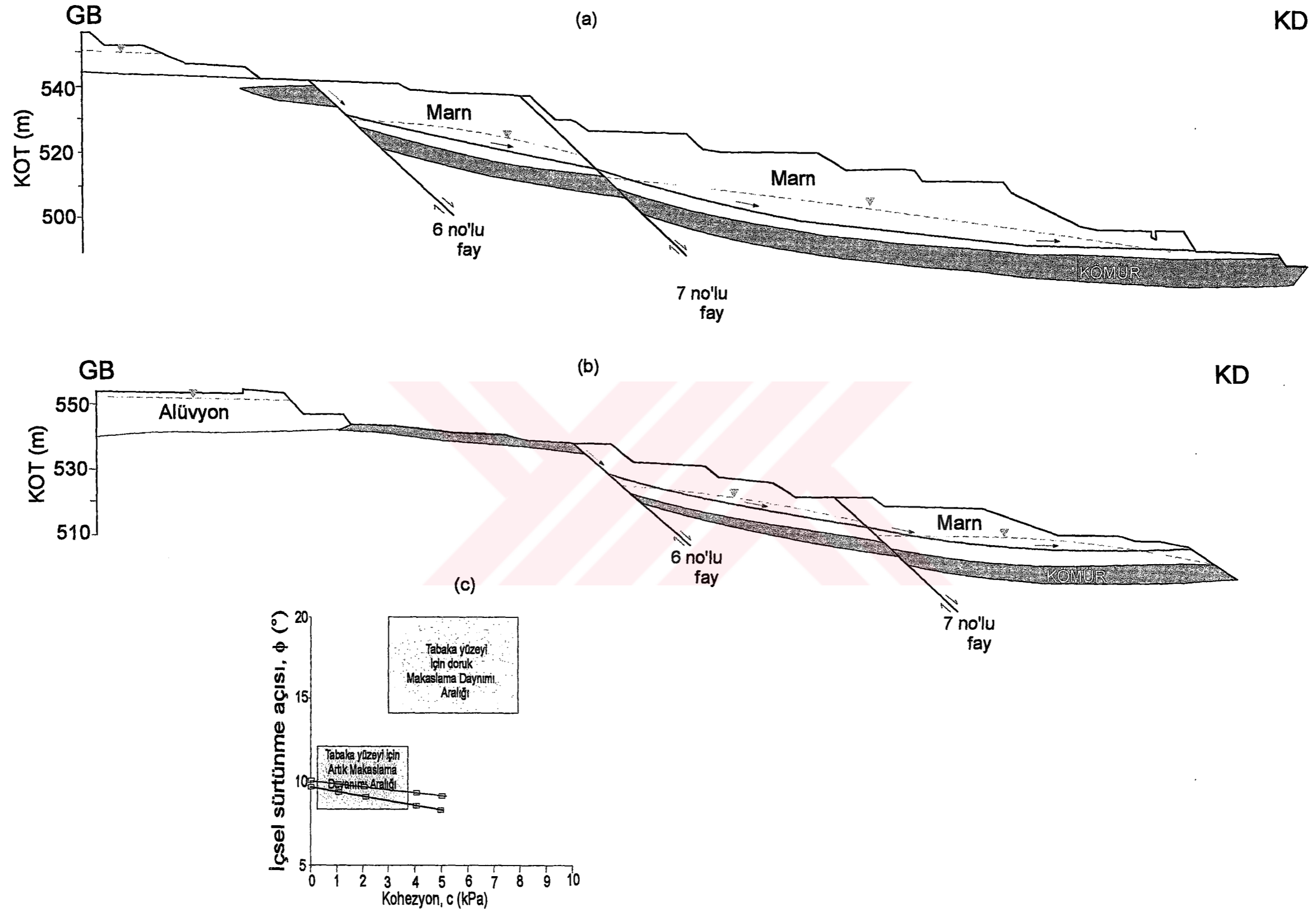
HEYELAN 3: Bu duraysızlıkta (bknz. Şekil 5.11) kayma, sadece tabaka yüzeyi boyunca gelişmemekte, 6 no'lu fay da diğer bir kayma yüzeyi olarak harekete katkı sağlamaktadır (Şekil 8.9a). Dolayısıyla geriye dönük analizde her iki yüzeyin de kohezyon ve içsel sürtünme açısının araştırılması öngörülmüştür. Bu durumda, tabakalanma ve fay yüzeyi birlikte alındığında, bilinmeyen parametre sayısı dört (c_t, ϕ_t, c_f, ϕ_f) olmakta ve bunların sayısı ikiye azaltılmadıkça geriye dönük analizden sağlıklı sonuç alınması mümkün görünmemektedir. Ancak 4 no'lu heyelana ait analizin sonucunda, duraysızlık sırasında tabakalanma yüzeyleri boyunca etkin olan makaslama dayanımı parametrelerinin artık makaslama değerlerine eşit olduğu belirlenmiştir. Bu belirlemeden hareketle kaygan tabaka yüzeylerinin ortalama artık makaslama dayanımı değerleri geriye dönük analizlerde sabit (bilinen parametre) tutularak, fay malzemesinin makaslama dayanımı parametreleri hakkında fikir edinilebileceği düşünölmüştür. Bu doğrultuda gerçekleştirilen analizlerden, 6 no'lu fay yüzeyinin laboratuvarında belirlenen artık makaslama dayanımı parametrelerinin geriye dönük analiz sonucunda elde edilen $c-\phi$ zarfıyla uyumlu olduğu görölmüştür (Şekil 8.9b). Ayrıca fay yüzeyinin geçmişte makaslama hareketleri sonucu gelişmiş bir yüzey olması da bu belirlemeyi desteklemektedir. Bu belirlemeden hareketle, ikinci aşamada 6 no'lu fayın artık kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri bilinen parametreler olarak alınmış ve bu sefer de tabaka yüzeylerine ait



Şekil 8.9: Güney şevinde 6 no'lu fayla denetlenen Heyelan 3 kodlu aktif-pasif kama duraysızlığının kesiti (a) ve fay malzemesi (b) ile kaygan tabakalanma yüzeyinin (c) makaslama dayanımı parametrelerinin tasarım açısından irdelenmesine yönelik geriye dönük analiz sonuçları

parametrelerin irdelenmesi için tekrar geriye dönük analiz yapılmıştır. Elde edilen $c-\phi$ zarfının (Şekil 8.9c) kaygan tabaka yüzeylerinin laboratuvarda tayin edilen artık makaslama dayanımı parametrelerinin değişim aralığını temsil eden bölgeden geçtiği görülmüş olup, öncelikle aktif-pasif kama duraysızlığını, ayrıca tabakalanma yüzeylerinin makaslama dayanımı parametreleri açısından 4 no'lu heyelan için elde edilen verileri destekleyen sonuçlar elde edilmiştir.

HEYELAN 2: 1998 Şubat ayında işletmede yapılan inceleme sırasında kayma yüzeyinin kömür horizonunun 8-10 m üzerinden ve marndaki tabakalanma yüzeyi boyunca geçtiği, üst kotlarda ise 6 No'lu fayla sınırlandığı belirlenmiştir. Şubat 1998'de hazırlanan 1 ve 3 no'lu kesitler için şev profilleri boyunca su tablasının bilinen konumu ile faylar ve kömür horizonunun üzerinde gözlenen kayma yüzeyi (Şekil 8.10a,b ve bkz. Şekil 5.10) esas alınarak geriye dönük analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde 6 no'lu fay malzemesinin laboratuvarda tayin edilen artık c ve ϕ değerleri girdi parametreleri olarak alınmış ve $F=1$ foşulunda kaygan tabaka yüzeyine ait $c-\phi$ çiftleri araştırılmıştır. Elde edilen $c-\phi$ zarfları ile laboratuvar deneyleriyle belirlenen artık makaslama dayanımı parametrelerinin uyum içinde olduğu görülmüştür. (Şekil 8.10c). Bu durum, izleme çalışmasında belirlenen duraysızlık modelinin doğruluğunun yanısıra, diğer duraysızlıkların geriye dönük analizinden de belirlendiği gibi, hareket sırasında kayma yüzeyleri boyunca artık makaslama dayanımı parametrelerinin etkin olduğunu göstermektedir. Bunun yanısıra, 7 no'lu fay yüzeyinin 6 no'lu fay gibi gelişen harekette etkin olup olmadığının araştırılması amacıyla da 7 no'lu fay düzlemi ve tabakalanma yüzeyi boyunca analiz yapılmıştır. Analizlerde en küçük artık makaslama dayanımı parametreleri için bile 1-1' kesitinde güvenlik katsayısı 1.1, 3-3' kesitinde ise 1.15 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, güney şevinde gelişen aktif-pasif kama duraysızlığında 6 no'lu fay ile kaygan tabakalanma yüzeylerinin rol oynadığını, ancak 7 no'lu fayın harekete katılmadığını göstermektedir.

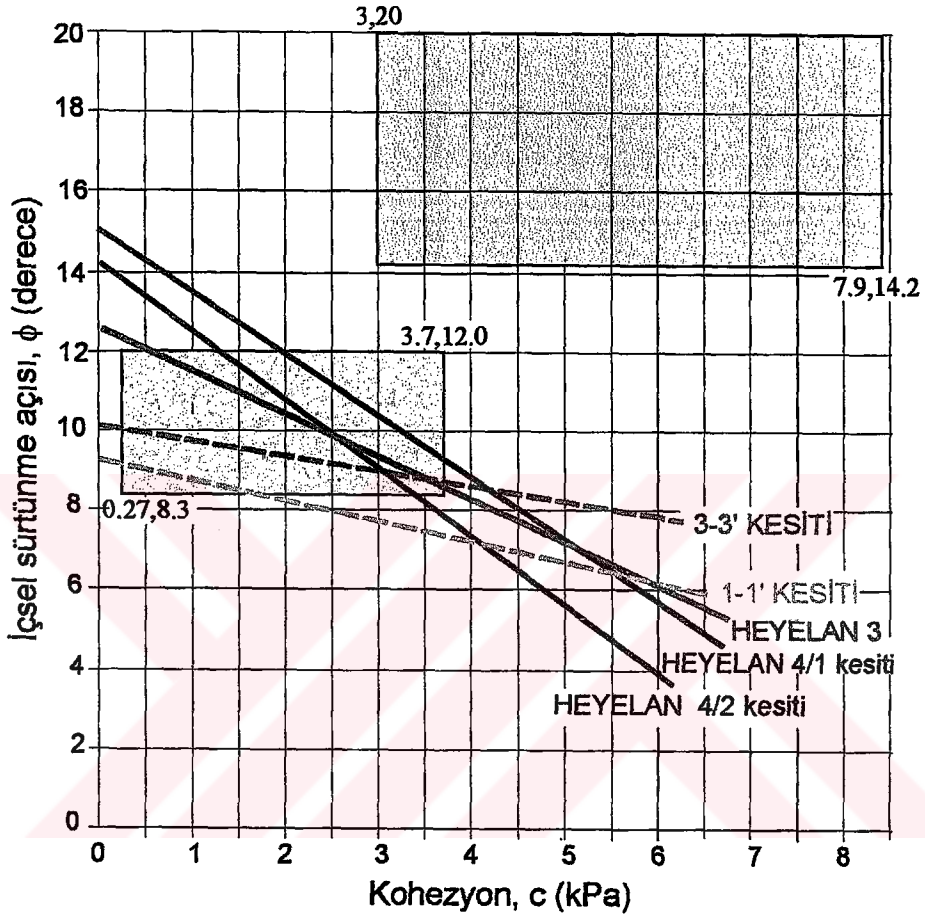


Şekil 8.10: Güney şevinde 2 no'lu heyelanı temsil eden 1-1' (a) ve 3-3' (b) şev kesitleri ve bunların geriye dönük analiz sonuçları (c)

8.3. Güney Şevindeki Duraysızlıklara İlişkin Değerlendirme

Güney şevinin tümünü kapsayan ve HEYELAN 2 olarak adlandırılan duraysızlığın gelişimi hakkında hareket izleme çalışmalarından elde edilen veriler, duraysızlığın mekanizmasının belirlenmesi açısından yararlı sonuçlar sağlamıştır. 16 Temmuz 1997'den 8 Ekim 1997 tarihine kadar güney şevinde çok belirgin bir hareket gözlenmezken, bundan sonraki dönemde hareket hızlanmış ve artarak devam etmiştir. Güney şevine ait şev profilleri incelendiğinde, kömür horizonunun, dolayısıyla tabakalanma düzlemlerinin eğim yönü genelde şev topuğuna doğru iken, topuğa yaklaşıldıkça eğim yönü değişmekte ve şevin tersi yönünde bir eğim söz konusu olmaktadır. Şekil 8.2'de de verilen şev profili üzerindeki A ve B noktaları arasında kalan bölgede tabakalanma düzlemleri şev içine doğru eğimlidir. Kaymaya karşı kuvvetlerin etkin olduğu bu kısım, zaman içinde kömürün alınması amacıyla kazılarak hareketin belirgin şekilde hızlanmasına neden olunmuştur. Şubat 1998'de bu kısım neredeyse tamamen alınmış ve hareketin hızı en yüksek değerine ulaşarak 2 no'lu duraysızlık gerçekleşmiştir.

2 no'lu duraysızlığın geriye dönük analizi, hareket vektörleri ve hız konturları açısından yararlanılarak 6 no'lu fay düzlemi ile tabakalanma düzlemlerinin sınırladığı blok için gerçekleştirilmiştir. İncelenen tüm duraysızlıkların geriye dönük analizinden, kaygan tabakalanma düzlemleri için elde edilen $c-\phi$ zarfları bir grafiğe işlenmiş ve bunlar laboratuvarında belirlenen artık makaslama dayanımı değerleri ile karşılaştırılarak uyumlu oldukları belirlenmiştir (Şekil 8.11). Bu belirlemeler, güney şevinin emniyetli bir şekilde tasarımı amacıyla yapılacak olan şev duraylılığı analizlerinde tabakalanma ve fay düzlemlerinin artık makaslama dayanımı parametrelerinin kullanılmasının gerçekçi olacağını, ayrıca hareket izleme çalışmasının sonuçlarıyla da desteklendiği gibi, yaklaşık D-B doğrultulu fayların geçtiği güney şevi için aktif-pasif kama duraysızlık mekanizmasının en riskli yenilme türü olduğunu



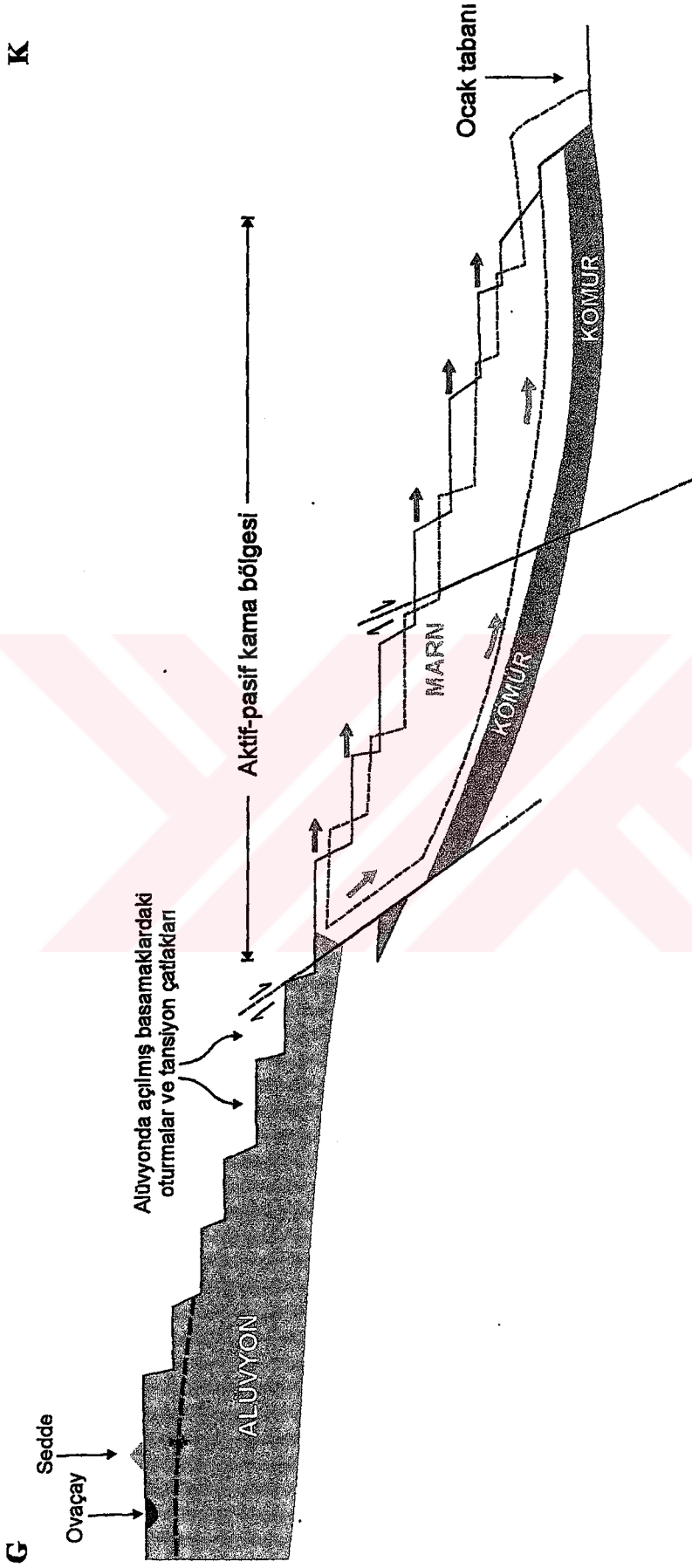
 c_p, ϕ_p : Doruk makaslama dayanımı
değişim aralığı

 c_r, ϕ_r : Artık makaslama dayanımı
değişim aralığı

Şekil 8.11: Çok yüzeyli ötelenmeli ve düzlemsel kaymaların geriye dönük analiz sonuçlarına göre tabakalanma yüzeyleri için genelleştirilmiş c - ϕ zarfları

göstermiştir. Bu mekanizmanın güney şevindeki gelişimini gösteren temsili kesit Şekil 8.12'de verilmiştir.





Şekil 8.12: Himmetoğlu açık işletmesinin güney şevinde gelişen aktif-pasif kama türü duraysızlığın mekanizmasını ve alüvyonda açılmış basamaklardaki hareketlerin gelişimini gösteren temsili şematik kesit (ölçeksiz).

9. ŞEV DURAYLILIĞI ANALİZLERİ

Himmetoğlu Linyit İşletmesinin doğu şevinde herhangi bir duraysızlık sorunu ile karşılaşılmamasından ve kuzey şevinin 1995 yılında gerçekleşmiş duraysızlık sonucu tamamen örtü malzemesiyle kaplı olmasından dolayı, bu tez kapsamında sadece en riskli şev konumundaki güney şevinin duraylılığı ve tasarımı üzerinde durulmuştur. Saha gözlemlerinden, hareket izleme çalışmalarından ve geriye dönük analizlerden elde edilen bulgularla güney şevinin tümünü kapsayan duraysızlığın mekanizması belirlenmiş ve bu mekanizma esas alınarak güney şevi için değişik seçeneklere göre duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Duraylılık analizleri, deterministik ve olasılığa dayalı yöntem olmak üzere iki analiz yöntemiyle yapılmış ve elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

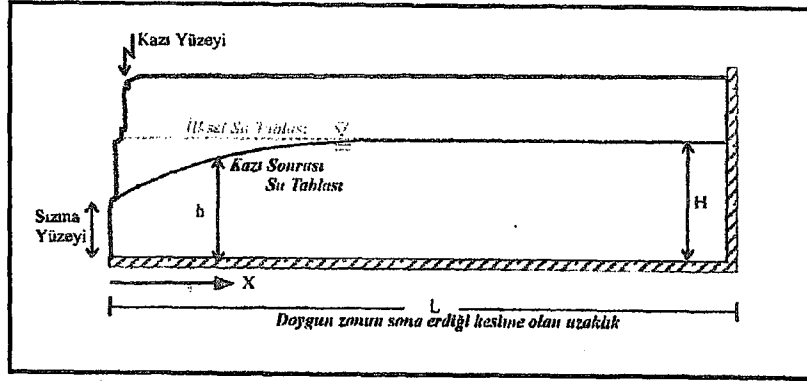
9.1. Deterministik Yöntemle Şev Duraylılığının Değerlendirilmesi

Güney şevinin tümünü kapsayan duraysızlığın (HEYELAN 2) mekanizmasına önceki bölümlerde değinilmiş ve hareket izleme çalışmaları ile geriye dönük analizlerden elde edilen sonuçlara göre bu duraysızlıkta rol oynayan birleşik kayma yüzeyinin; kömür horizonunun yaklaşık 8-10 m üstünde marnlardaki kaygan tabakalanma düzlemleri ve 6 no'lu fay düzlemi olduğu belirlenmişti. Limit denge analizlerinde bu yüzeyler esas alınarak ve Sarma (1973, 1979) tarafından geliştirilmiş olan analiz yöntemi (bknz. Şekil 8.6) kullanılarak güney şevinin duraylılığı araştırılmıştır. Analizlerde marnlardaki tabakalanma düzlemleri ve 6 no'lu fay düzlemi için, geriye dönük analizlerden de belirlendiği gibi, artık makaslama dayanımı parametreleri (kaygan tabakalanma düzlemi: $c_r=1.8$ kPa, $\phi_r=10.1^\circ$; 6 no'lu fay düzlemi: $c_r=10.2$ kPa, $\phi_r=16.8^\circ$; EK 2) kullanılmıştır. Analizlerin gerçekleştirildiği 1-1', 2-2' ve 3-3' kesitlerinin doğrultuları EK-1'de gösterilmiştir.

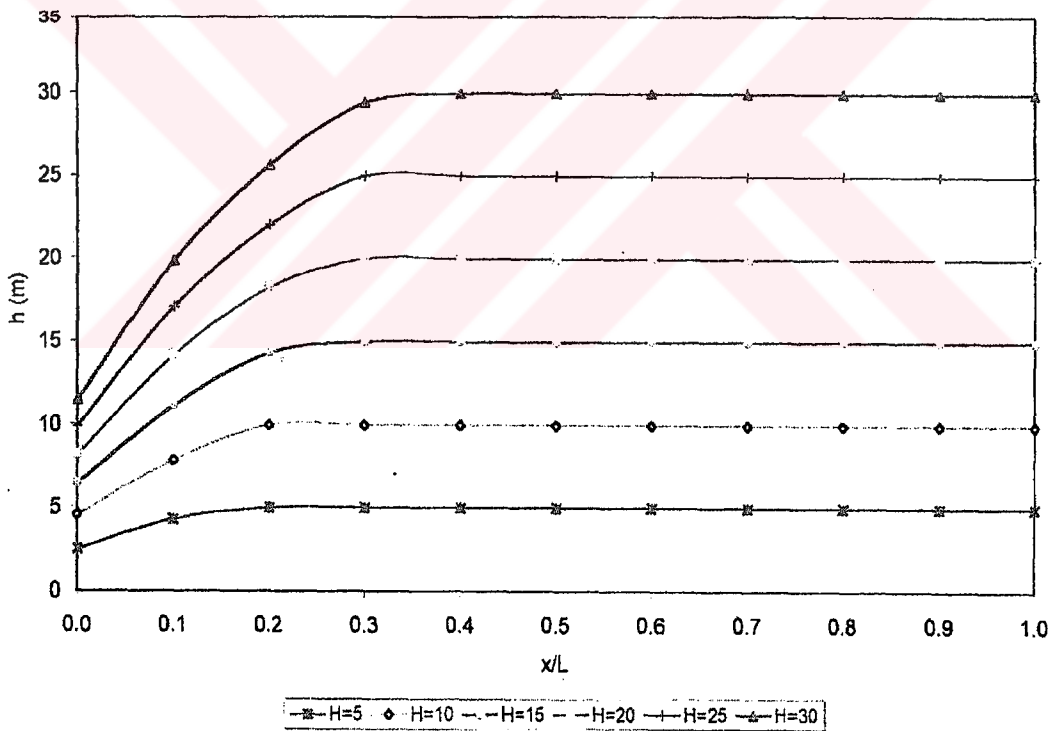
Tasarıma yönelik amaçlarla yapılan analizlerde öncelikle güvenliğin sağlanması koşuluyla, kömürün mümkün olduğunca erken alınmasına olanak sağlayabilecek basamak geometrileri ve nihai şev profilleri

öngörülerek bunların analiz edilmesine dikkat edilmiştir. Basamaklar, TKI'nin uygulamada öngördüğü gibi, 5 m yükseklikte ve kinematik analiz sonuçlarına dayanılarak marnlarda 45°'lik açıyla oluşturulmuştur. Ayrıca her kesitte nihai şev için taban kilinde basamak eğimi 60°, alüvyonda ise yine 45° derece alınmıştır.

Analizler, yeraltısuyu tablasının kazı sırasında oluşturulacak şev profillerine göre farklı birimlerde zamana bağlı olarak düşmesi (drenaj) sonucu kazanacağı yeni konumu her kesit için ayrı ayrı belirlenerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 9.1). Ulusay vd. (1998a) tarafından marnlarda yapılan kazı sırasında su tablasının, drenaja bağlı olarak aynadan iç kesime doğru kazıdan 7 gün sonra alacağı konumu gösteren grafikler hazırlanmış olup (Şekil 9.2), bu çalışmada da bu grafikler kullanılmıştır. Marnlarda olduğu gibi, alüvyonda da basamakların açılmasıyla, serbest düşüm sonucu, yeraltısuyu tablasının konumunda bir değişimin olması beklenmektedir. Bu nedenle; marnlar için yapılan yaklaşım aynı şekilde alüvyonda da uygulanmıştır. Duraylılık analizlerinde dikkate alınan parametrelerin bir bölümünde bazı belirsizlikler söz konusu olabilmektedir. Bunlar arasında jeomekanik parametreler, yeraltısuyu koşulları ve çalışılan bölgeye ait sismik katsayılar önemli yer tutmaktadır. Bu araştırmada, çok sayıda izleme istasyonundan elde edilen güvenilir veriler ve bilinen su koşulları esas alınarak yapılan geriye dönük analizlerin sonuçları, duraysızlıklar sırasında kayma yüzeyleri boyunca makaslama dayanımı parametrelerinin artık değerlere kadar azaldığını göstermiştir. Dolayısıyla analizlerin girdi parametrelerinden olan makaslama dayanımı, yeraltısuyu koşulları ve kayma yüzeyinin geometrisi gibi faktörlerden kaynaklanabilecek belirsizliklerin çok az olduğu kabul edilebilir. Ancak, çalışılan sahanın sismik koşullarını temsil edebilecek ve analizlerde kullanılacak bir sismik ivme değerinin bulunmaması gibi bir belirsizlik, deterministik analizlerde tasarım amacıyla limit denge koşuluna ($F=1$) oranla biraz daha yüksek bir güvenlik katsayısı değerinin seçilmesini zorunlu kılmaktadır. Büyük çaptaki açık işletmelerin bulunduğu ABD, İngiltere ve Kanada gibi ülkelerde madencilik kuruluşları



Şekil 9.1 : Kazılarda serbest drenaj ile su seviyesinin konumunun değişimi

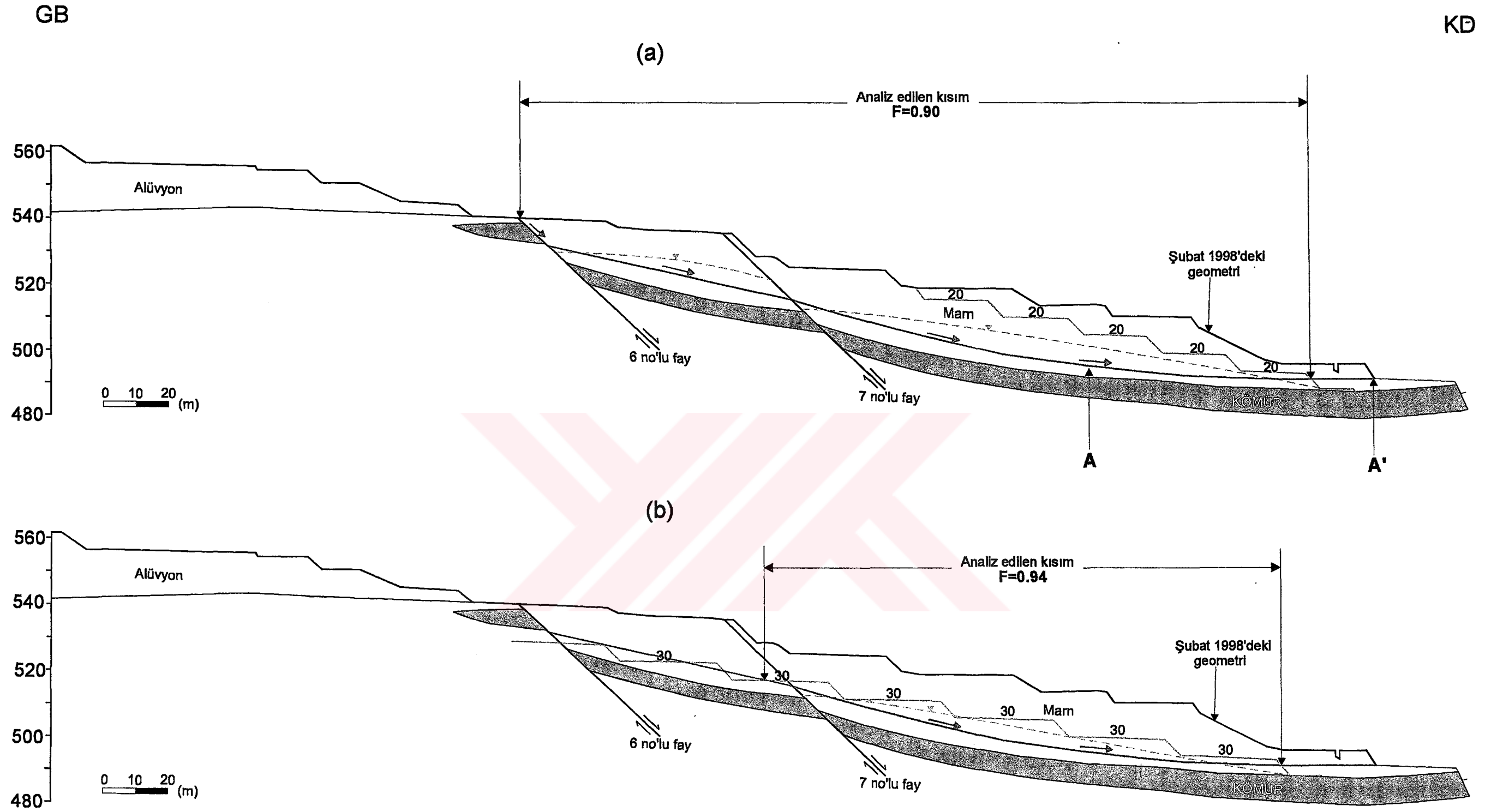


Şekil 9.2: Marnlarda yapılan bir kazı sırasında kesilen su tablasının aynadan iç kesime doğru kazıdan 7 gün sonra alacağı konum (Ulusay vd., 1998a)

(D'Appolonia Consulting Engineers, Inc., 1975; National Coal Board, 1970; Mines Branch, Canada, 1972; Huang, 1983'ten) gözlem ve deneyimlere göre tasarımın artık makaslama dayanımı parametreleri esas alınarak yapılması, ancak en büyük sismik ivme değerinin hesaba katılmaması durumunda güvenlik katsayısının 1.3 olarak alınmasını önermişlerdir. Ülkemizde de pek çok açık işletmede benzeri koşullarda 1.3 güvenlik katsayısı değerinin tasarım amacıyla kullanılarak şevlerin emniyetli şekilde oluşturulduğu bilinmektedir (Ulusay ve Doyuran, 1993; Ulusay vd. 1993; Ulusay vd. 1996). Yukarıda belirtilen hususlar gözetilerek ve çalışılan sahaya ilişkin bulgular da dikkate alınarak, deterministik yöntemle göre yapılan analizlerde tasarım amacıyla güvenlik katsayısı için 1.3 değeri seçilmiştir. Tüm bu yaklaşımlar doğrultusunda gerçekleştirilen duraylılık analizlerinin sonuçları her kesit için aşağıda verilmiş ve tartışılmıştır.

9.1.1. 1-1' Kesitinde Duraylılık Analizi

Analizlerde öncelikle, şev boyunca duraysızlığa uğramış kısmın duraylı hale getirilmesi ve sonrasında emniyetli nihai şev profilinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu çerçevede, 1-1' kesiti boyunca Şubat 1998'de ölçülen şev profili üzerinde öncelikle 20 m genişliğindeki basamaklarla şev geometrisi oluşturularak bunun analizi gerçekleştirilmiş ve güvenlik katsayısı(F) 0.90 olarak bulunmuştur (Şekil 9.3a). Bu belirleme dikkate alınarak, 30 m genişliğinde basamaklarla şev geometrisi oluşturulmuş ve yapılan analizde güvenlik katsayısının bu şev profili için 0.94 olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.3b). Bu son geometri için şevin genel eğimi 8°'ye düşmüş ve bu geometride bile şevin duraylı hale getirilmesi mümkün olamamıştır. Bu iki analiz için esas alınan şev geometrileri incelendiğinde (Şekil 9.3a ve b), 20 m genişliğindeki basamaklardan oluşan şev geometrisi için, kayma yüzeyinin (kaygan tabakalanma yüzeyi) eğiminin yataya yaklaştığı kesimin hemen üst kısmında (Şekil 9.3a; A-A' noktalarının arası) kazı yapılması gerekmektedir. 30 m genişliğinde basamaklar esas alınarak hazırlanan şev geometrisinin oluşturulması için ise, 6 no'lu fay ile ve bu kesime doğru eğimi artan kaygan tabakalanma yüzeyinin üzerindeki kısımdan da kazı yapılmalıdır. Buna



Şekil 9.3: 1-1' kesitindeki şev profili üzerinde 20 m (a) ve 30 m (b) genişliğinde basamaklarla oluşturulan şev geometrilerinin analizi

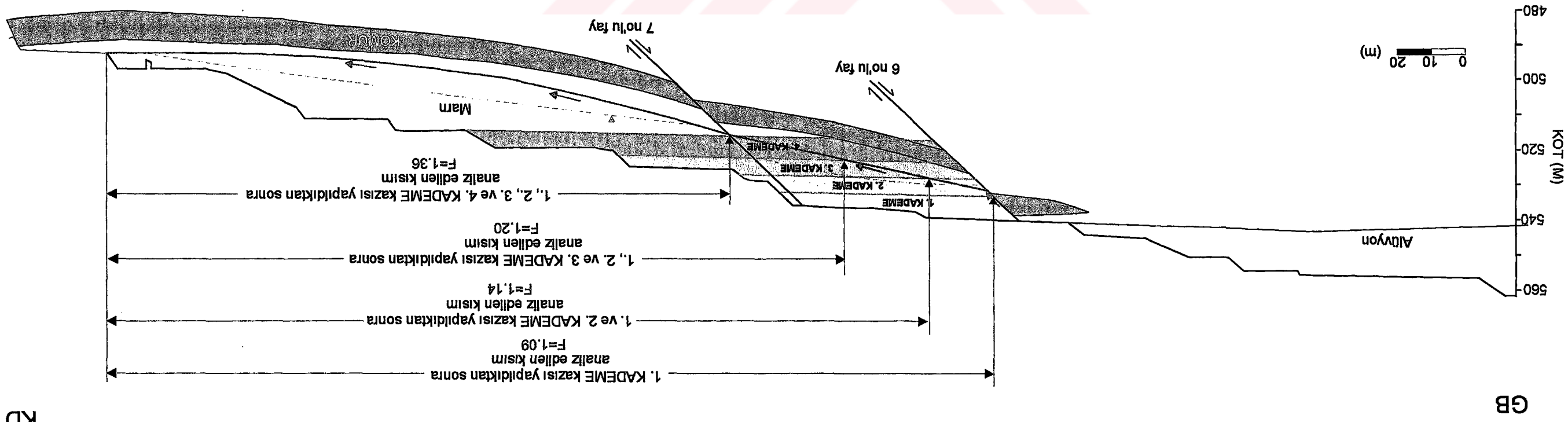
rağmen analiz sonuçları, güvenlik katsayısında çok az bir artışın kaydedildiğini göstermektedir. Analiz sonuçları gözönünde bulundurularak, şevin topuğuna yakın kısımdan çok az, kaygan tabakalanma yüzeyinin dikleştiği ve 6 no'lu fayın bulunduğu kısımdan ise çok daha fazla kazı yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür. Buradan hareketle, öncelikle topuğa yakın bölgede hiç kazı yapılmadan ve sadece duraysızlığın gerçekleştiği kütlelerin üst kısmından kazıya başlanacağı varsayılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 9.4'de görüldüğü gibi, öncelikle 1. KADEME olarak adlandırılan kısmın kaldırılması sonucu ortaya çıkan şev geometrisi için yapılan analizde $F=1.09$ olarak belirlenmiştir. Daha sonra 1. ve 2. KADEME olarak adlandırılan kısmın tamamen kaldırılması durumu için analiz yapılmış ve güvenlik katsayısı 1.14'e yükselmiştir. 1., 2. ve 3. KADEME kazıları tamamlandığında $F=1.20$ ve 4. KADEME'nin sonunda ise $F=1.36$ elde edilmiştir. Daha sonra 5. KADEME'nin de kaldırıldığı ve topuktan itibaren 15 m genişliğinde basamaklarla ilerlenmesi durumu (Şekil 9.5) için analiz yapılmış ve güvenlik katsayısının 1.3 olacağı belirlenmiştir.

1-1' kesitini temsil eden şev profilinde yapılan analizler sonucunda güvenli bir şekilde kazıya devam edilebilmesi için, duraysız kısmın üzerinde yer alan ve 1'den 5'e kadar numaralandırılan kademelerin öncelikle kaldırılması ve daha sonra topuktan itibaren 15 m genişliğinde basamaklar oluşturularak güneye doğru ilerlenmesinin uygun olacağı anlaşılmıştır.

9.1.2. 2-2' Kesitinde Duraylılık Analizi

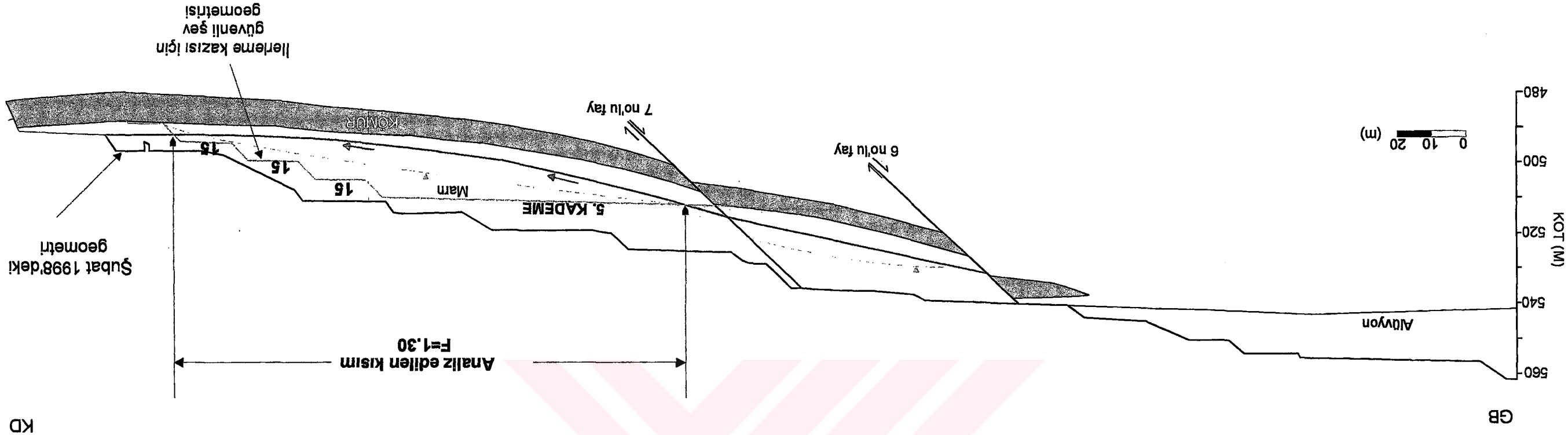
Güney şevinin yaklaşık olarak orta kesiminden alınan bu kesit Temmuz 1997'de hazırlandığından, 1-1' ve 3-3' kesitlerinin üzerine daha sonraki tarihlerde çizilen güncel şev geometrisinden biraz farklıdır. Bununla birlikte, EK-1'deki dökümantasyon haritasından Şubat 1998 itibarıyla kömürün alınması amacıyla güneye doğru yapılan ilerlemeyi temsil eden hattın bu kesiti kestiği nokta kesit üzerine taşınmıştır. Daha sonra 1-1' kesiti için belirlenen güvenli şev geometrisinin konumu da bu kesite yerleştirilerek daha gerçekçi bir analiz yapılması mümkün olabilmıştır. Bu çerçevede 1-1'

KD



Şekil 9.4: Kademeli kazı yapılarak güvenli şev geometrisine ulaşılabilmesi amacıyla gerçekleştirilen analizler

KD



Şekil 9.5: 1-1' kesitinde 5. kademelin kazısı yapıldıktan sonra, topuktan 15 m genişliğinde basamaklarla oluşturulan şev geometrisinin duraylılık analizi

kesitinde 5 kademe kaldırıldıktan ve topuktan itibaren 15 m genişliğinde basamaklar oluşturulduktan sonra ortaya çıkan şev geometrisi aynen bu kesit için de uygulanmış ve yapılan analiz sonucunda $F=1.67$ olarak belirlenmiştir (Şekil 9.6). Güvenlik katsayısı 1-1' kesitinde 1.3 iken, bu kesitte 1.67'ye yükselmesinin nedeni kömür horizonundaki ve dolayısıyla tabakalanmadaki yerel değişime (tabakalanma eğiminin daha az oluşuna) bağlanmıştır.

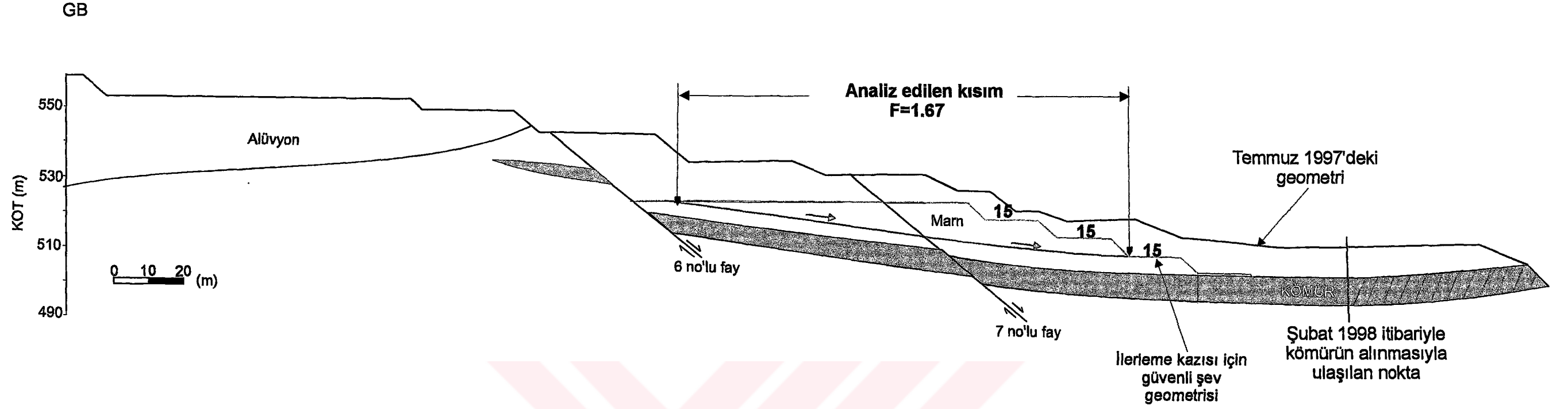
9.1.3. 3-3' Kesitinde Duraylılık Analizi

Diğer iki kesitten elde edilen duraylı nihai şev geometrisi bu kesitte de esas alınmış ve $F=1.3$ bulunmuştur (Şekil 9.7). Böylece tüm kesitlerde, güney şevinde marnlarda gelişen duraysızlığı giderebilecek şev geometrileri belirlenmiştir.

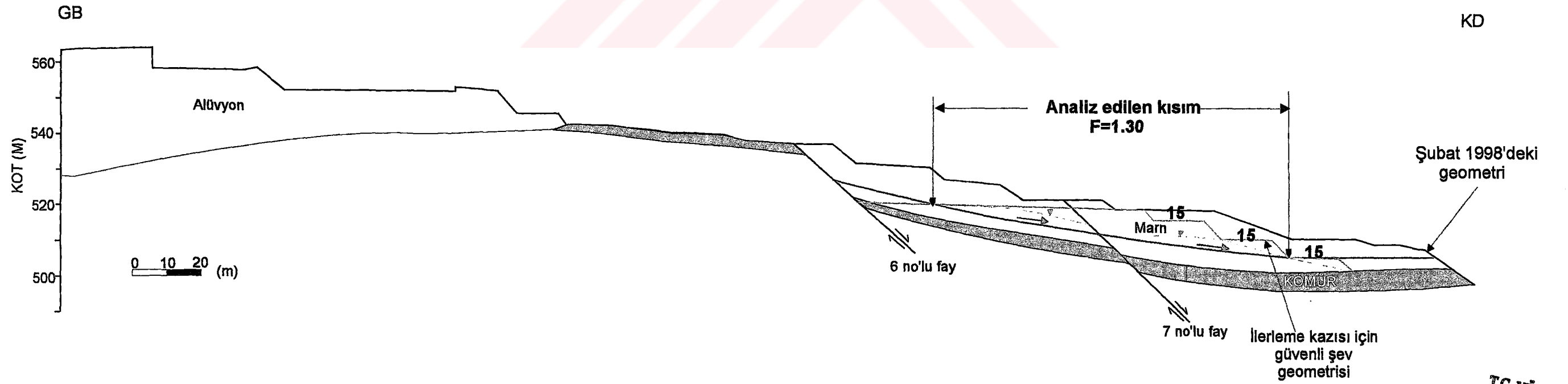
9.1.4. Zemin Türü Birimlerde Açılacak Basamakların Duraylılığı

Güney şevinde en kritik duraysızlık, şev topuğu ile 6 no.'lu fay arasında kalan bölgede gelişmekte olup, birinci aşama analizler bu bölge için yapılmıştır. Ancak ocağın güney kesiminde fayın güneyindeki kömürün de alınarak nihai şevin oluşturulabilmesi açısından kazının 6 no.'lu fayın gerisinde ve kısmen alüvyon, kısmen de taban kilinde de devam etmesi gerekmektedir. Dolayısıyla marnlar için belirlenen ve emniyetli olacağı anlaşılan şev geometrisinin bu birimler içinde kalan bölümünün duraylılığının da araştırılmasına gereksinim duyulmuştur. Her iki birimin de zemin niteliği taşıyor olması gözönünde bulundurularak, şevin bu birimler içinde kalan bölümü için dairesel kayma modeli (Şekil 9.8) esas alınmıştır. Analizler, Bishop (1955) tarafından geliştirilmiş yöntemle göre hazırlanmış SGSLP (Sönmez, 1996) isimli program kullanılarak üç kesit için ayrı ayrı yapılmıştır. Tüm kömürün alınabilmesi amacıyla, kömür horizonunun konumu da dikkate alınarak, taban kilinde ve alüvyonda genişliği 10 ile 20 m arasında değişen ve alüvyonda 45° , taban kilinde 60° eğimli basamaklar öngörülerek elde edilen şev geometrileri incelenmiştir (Şekil 9.9). Gerek alüvyonda, gerekse

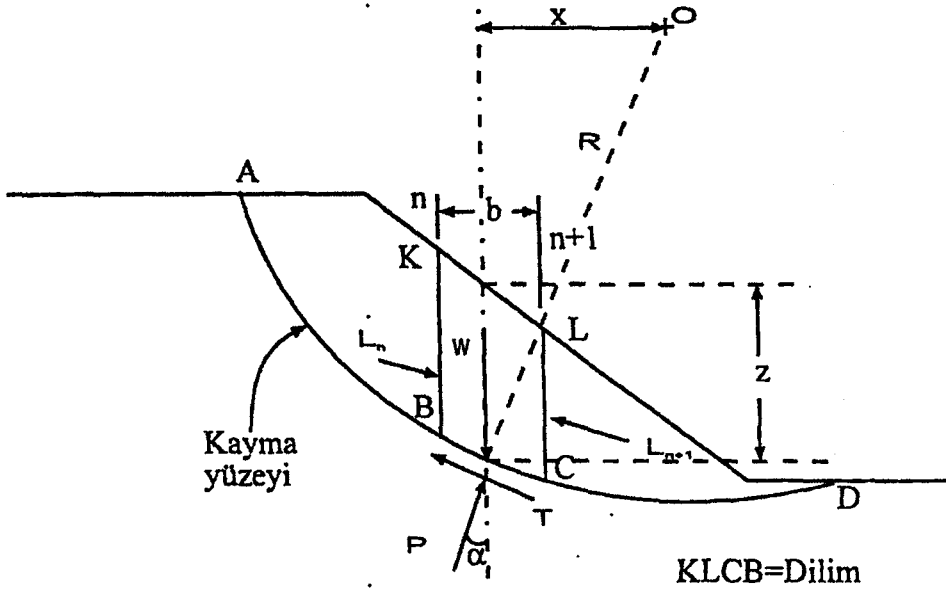
KD



Şekil 9.6: 2-2' kesitinde 5. kademenin kazısı yapıldıktan sonra, topuktan 15 m genişliğinde basamaklarla oluşturulan şev geometrisinin duraylılık analizi



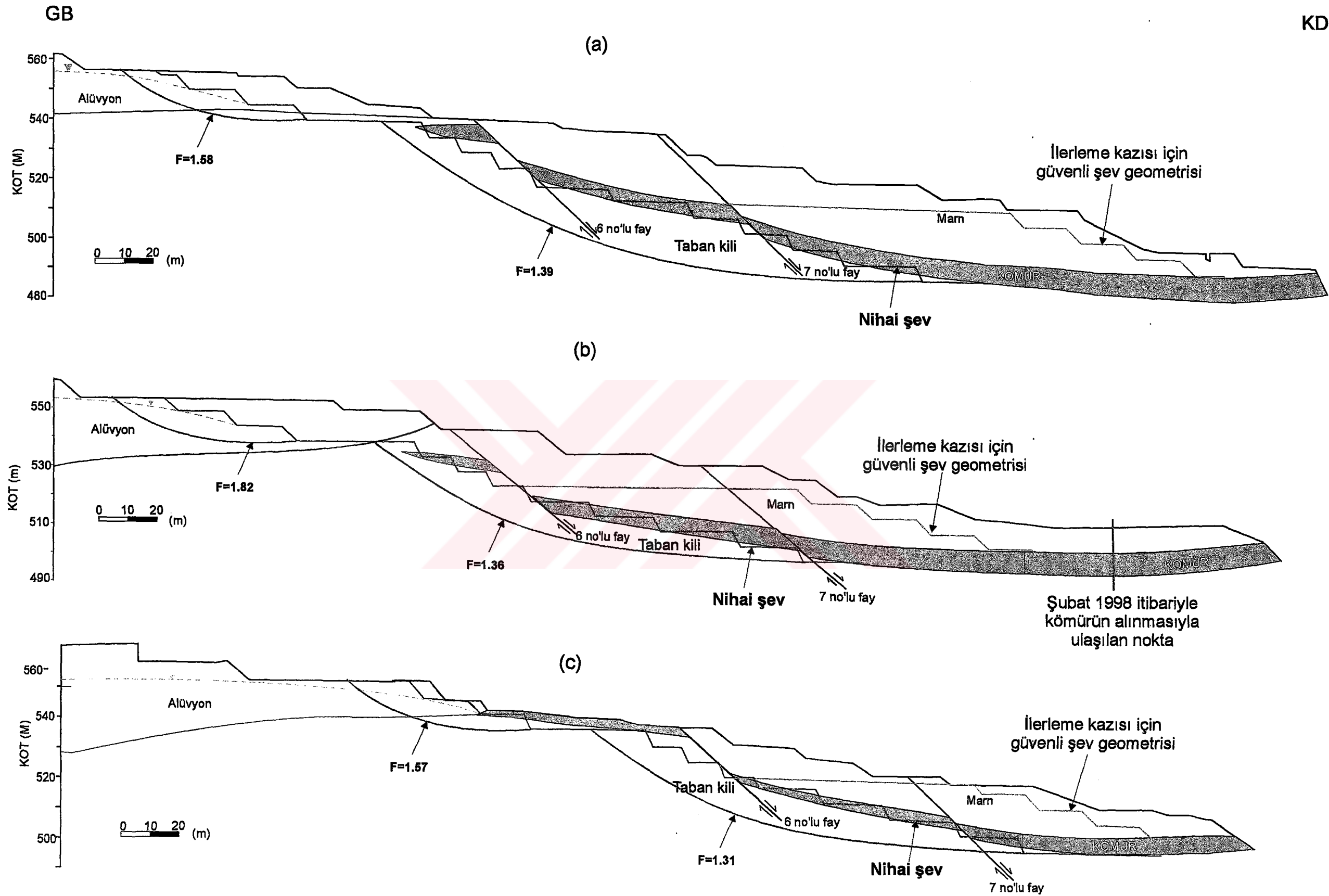
Şekil 9.7: 3-3' kesitinde 5. kademenin kazısı yapıldıktan sonra, topuktan 15 m genişliğinde basamaklarla oluşturulan şev geometrisinin duraylılık analizi



$$F = \frac{R}{\sum Wx} \sum \left[\frac{c'l + (W - ul \cos\alpha - \frac{c'l}{F} \sin\alpha) \tan\phi'}{\cos\alpha + \frac{\tan\phi' \sin\alpha}{F}} \right]$$

- W : Dilim ağırlığı
 P : Dilim tabanına etkiyen normal kuvvet
 T : Dilim tabanına etkiyen makaslama kuvveti
 l_n, l_{n+1} : Dilime etkiyen yanıl kuvvetler (basitleştirilmiş yöntemde ihmal edilmektedir)
 z : Dilim yüksekliği
 b : Dilim genişliği
 l : Dilim tabanının genişliği
 x : Dilim merkezinden dönme koluna olan moment kolu
 u : Boşluk suyu basıncı
 α : Dilim tabanının eğimi
 c' : Efektif kohezyon
 ϕ' : Efektif içsel sürtünme açısı
 R : Kayma yüzeyinin yarıçapı

Şekil 9.8: Dairesel kayma modeli için Bishop (1955) tarafından önerilen basitleştirilmiş analiz yöntemi



Şekil 9.9: 1-1' (a), 2-2' (b) ve 3-3' (c) kesitleri için taban kili ve alüvyonda açılacak basamakların oluşturduğu şev profillerinin analizi

taban kilinde oluşturulacak 45° ve 60° eğimli basamaklar için ayrı ayrı yapılan analizlerle güvenlik katsayıları sırasıyla 1.32 ve 1.50 bulunmuş olup, bu nedenle nihai şev profiline ilişkin analizlerde her iki birimde öngörülen basamakların açıları için bu değerler esas alınmıştır. Analizlerde her iki zemin birimin Çizelge 6.3'de verilen artık makaslama dayanımı parametreleri kullanılmıştır. Analiz sonuçları, incelenen şev profillerinin taban kili ve alüvyonda kalan bölümleri için Çizelge 9.1'de ayrı ayrı verilmiş, ayrıca en düşük güvenlik katsayısını veren dairesel kayma yüzeyleri de Şekil 9.9'da kesitler üzerinde gösterilmiştir.

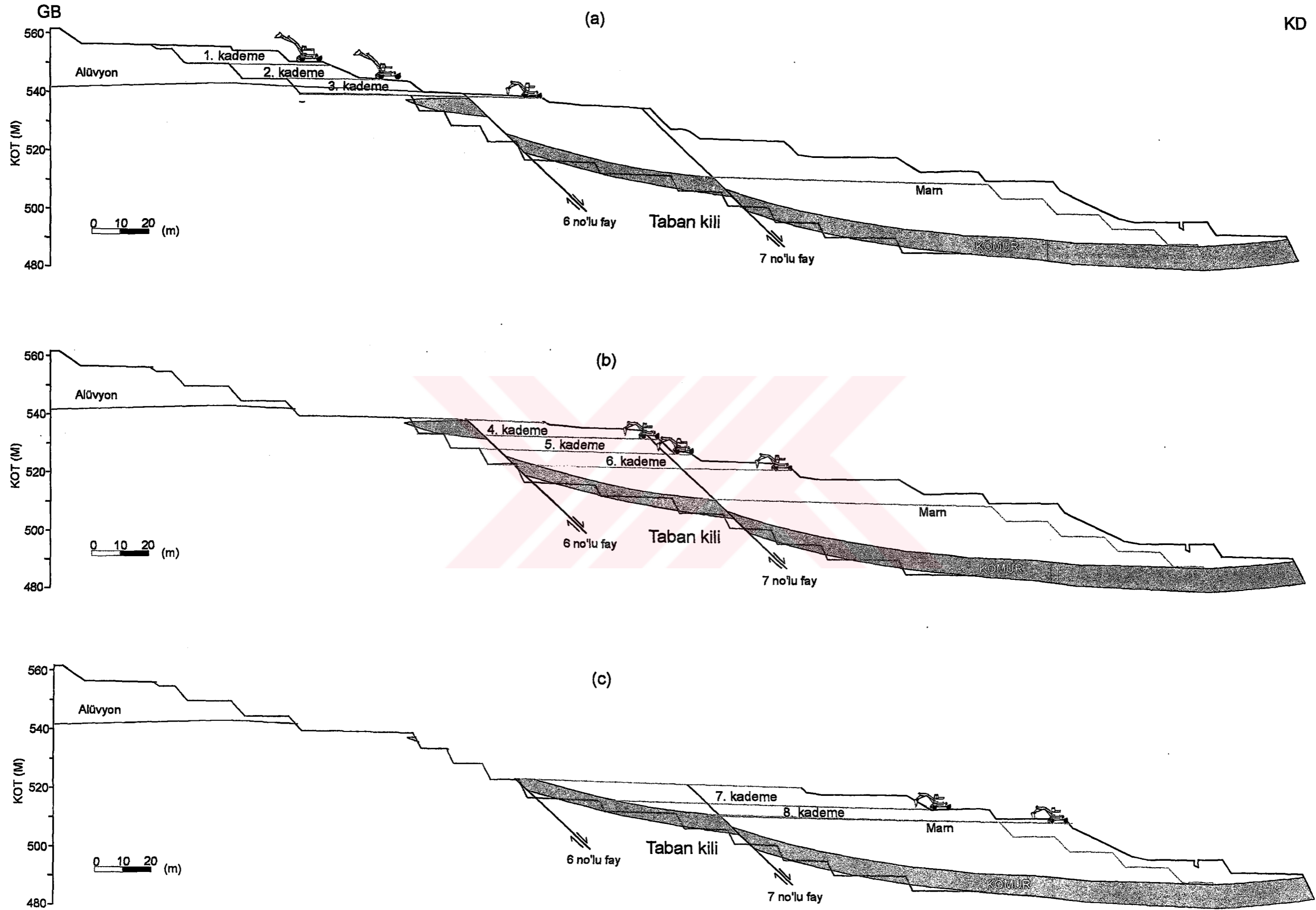
Çizelge 9.1: Güney şevinin taban kili ve alüvyon malzemesinde kalan bölümleri için hesaplanan güvenlik katsayıları

Malzeme	Güvenlik Katsayısı (F)		
	Kesit No.		
	1-1'	2-2'	3-3'
Taban kili	1.39	1.36	1.31
Alüvyon	1.58	1.82	1.57

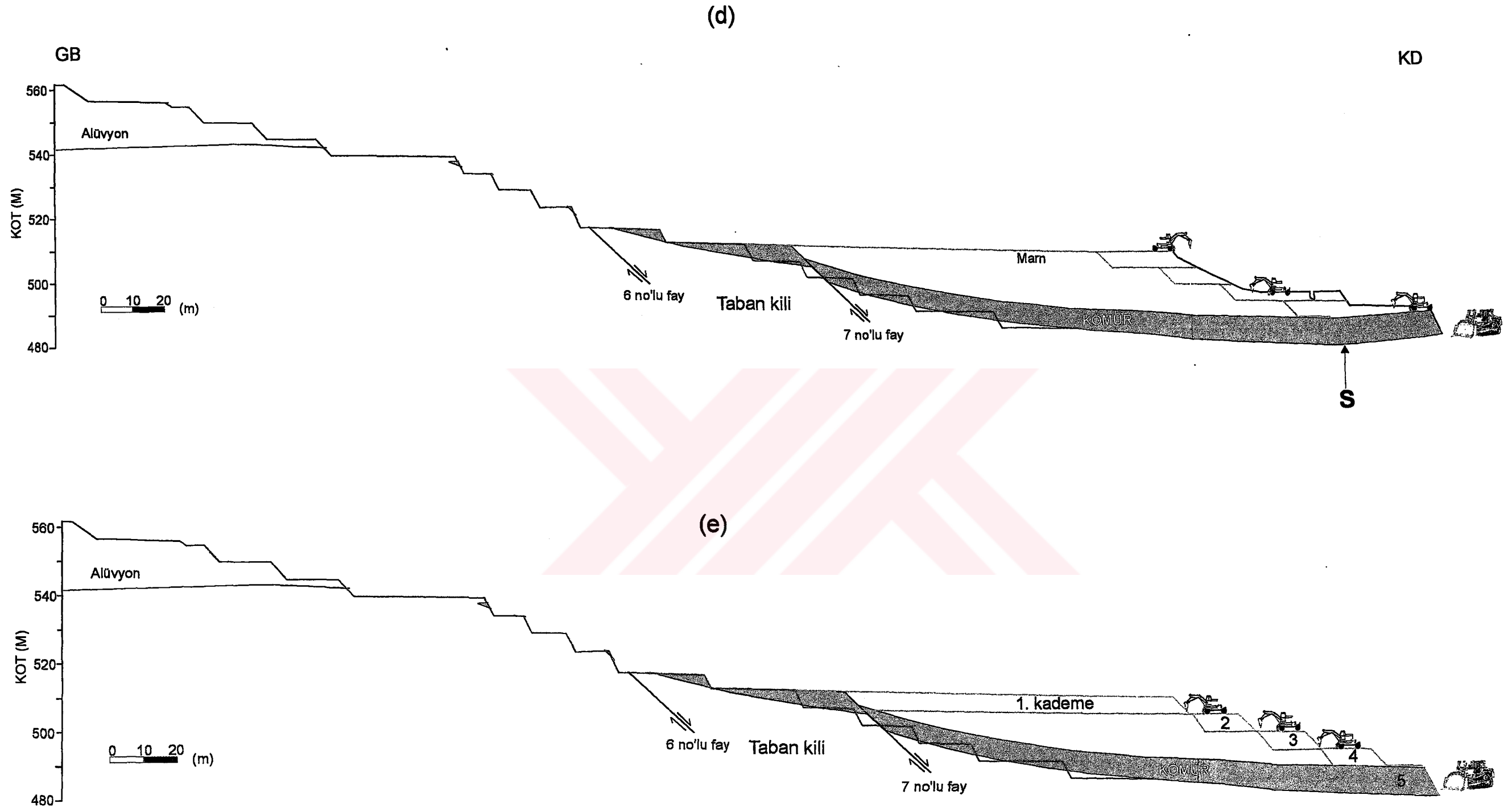
Çizelge 9.1'den görülebileceği gibi, hesaplanan güvenlik katsayılarının 1.3 ve daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla seçilen şev geometrisinin kömürün emniyetli şekilde üretimine de olanak sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

9.1.5. Genel Değerlendirme

Şekil 9.10'da emniyetli kazı uygulamasının nasıl yapılması gerektiği 1-1' kesiti esas alınarak temsili şekilde gösterilmiştir. Üç aşamalı olarak düşünülen kazı sistemi, işletmedeki makina parkı da dikkate alınarak, üç ekskavatörün birlikte ve farklı kademelerde çalışacağı yaklaşımla planlanmıştır. İlk aşamada Şekil 9.10a'da görüldüğü gibi nihai şevin en üstteki basamağının oluşturulması için gerekli olan 1. kademe kazısı yapılarak çalışılmaya başlanmalıdır. Daha sonra sırasıyla, 2. ve 3. kademe kazıları ve Şekil 9.10b'de görüldüğü gibi, yine sırasıyla 4., 5. ve 6. kademe



Şekil 9.10: 1. aşama olarak tanımlanan kazı sisteminin uygulanma şekli: 1. aşama kazısı (a,b,c)



Şekil 9.10: (Devamı): 2. aşama kazısı (d); 3. aşama kazısı (e)

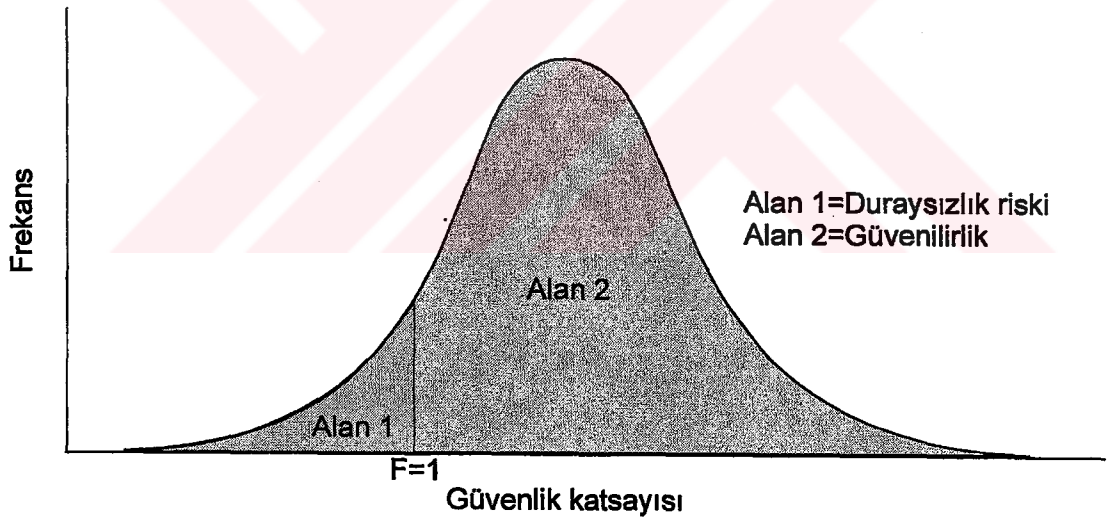
kazıları yapılarak, arkasından 7. ve 8. kademe kazıları (Şekil 9.10c) gerçekleştirilmelidir. Bu kazıların tamamlanmasından sonra analizlerle belirlenen güvenli şev geometrisinin üst kısmının kazısı tamamlanmış olacaktır. Daha sonra Şekil 9.10d'de gösterildiği gibi, 2. aşama kazısına geçilerek topuğa yakın bölgede 15 m genişliğinde basamaklardan oluşacak bir şev profili için kazı yapıldıktan sonra üstü açılacak olan kömürün de işletilmesi mümkün olacaktır. Ancak bu noktada dikkat edilmesi gereken husus, kömürün sadece güvenli şev geometrisi olarak tanımlanmış kısma (Şekil 9.10d'de S noktası) kadar alınabileceğidir. Tüm bu kazılar yapılırken, Şekil 9.10d'de de görüldüğü gibi, her aşamaya ait kazı sırasında üst kesimlerde yüzeye çıkan kömür (6 no'lu fayın gerisinde ve 6 ile 7 no'lu faylar arasında kalan bölgede) de bu sırada alınabilecektir. Bundan sonra 3. aşama olarak adlandırılan kazıya geçilmelidir (Şekil 9.10e). Bu aşamada öncelikle Şekil 9.10e'de gösterilen 1. kademe kazısı yapılarak üstteki dekapaj kaldırıldıktan sonra sırasıyla 2, 3 ve 4 no'lu dilimler de kazılarak 5 numarayla gösterilen kömür dilimi alınabilecektir. Bu işlemin aynı şekilde tekrarlanmasıyla güney şevindeki kömürün tamamının emniyetli şekilde hem topuktan, hem de üstten alınabilmesi mümkün olabilecektir.

9.2. Olasılığa Dayalı Yaklaşımla Duraylılığın Değerlendirilmesi

Genel olarak şevlerin tasarımı aşamasında incelenen kazının geometrisini ve malzeme özelliklerini, kazıyı etkileyecek yüklerin değerini ve süresini, ayrıca bu yükler altında kazının davranışını önceden belirleyebilmek ve bir boyutlandırma yapabilmek amacıyla değişik yöntemler geliştirilmiştir. Kullanılan tüm yöntemlerde, kaçınılmaz olarak bazı varsayımların ve basitleştirmelerin yapılması ve çoğu kez sınırlı sayıda veri olması, sonuçların gerçek durumu ne ölçüde yansıttığı konusunda bazı belirsizliklere yol açabilmektedir. Şevlerin duraylılığının değerlendirilmesinde genellikle deterministik esaslı limit-denge analiz yöntemleri kullanılmakta ve değişik koşullar için duraylılığın bir göstergesi olan boyutsuz güvenlik katsayısı (F) değerleri tayin edilerek tasarıma gidilmektedir. Deterministik analizlerde kullanılan dayanım parametreleri, genellikle deneyler ve ölçümler sonucunda

belirlenen ortalama değerler esas alınarak seğilmektedir. Özellikle duraysızlıkların varlığı halinde ve bunların geriye d6nük analizinin yapılarak hareket sırasında kayma yuzyeyi boyunca etkin olan makaslama dayanımı parametrelerinin (doruk veya artık) belirlenmesi koşulunda girdi parametrelerinin gūvenilirlięi artmaktadır. Belirsizlięin fazla olduğu durumlarda ise, geleneksel yaklaşım, bu parametreler ięin tutucu tarafta kalan değerlerin seğilmesidir (Wu ve Kraft, 1996). řev duraylılığı analizlerinde kullanılan parametrelerin bir b6lümü özellikle geniş bir aralıktaki dağılıma sahip oldukları taktirde, bu husus s6z konusu parametrelerin bir 6lęde belirsizlik iğeriyor anlamına geldiğini ve tek bir değerle ifade edilmelerinin uygun olmayacağını g6stermektedir. Özellikle parametrelerin tutucu tarafta kalınarak seğilmesi ekonomik ağıdan olumsuzluk yaratabilirken, aksi bir seğimde ise duraysızlık riski arttırılmış olunabilir. Bununla birlikte, 6rneğin, daha dik şevler oluşturularak cevherin kısa sūrede uytelmesi gibi ekonomik kaygılarla tasarım ağısından mevcut verilerin yeterli ve gūvenilir olup olmamasından bağımsız şekilde bir karar verilmesi de gerekebilir. Bu yaklaşım da mūhendislik uygulamalarında belirli bir riskle birlikte ęalıřılmasına yol ağabilir. B6yle bir durumda 6nemli olan bu riskin seviyesinin bilinmesidir. Bu nedenle, uygulamada yaygın olmamakla birlikte, istatistik ve olasılık hesaplama y6ntemlerinin kullanıldığı olasılığa dayalı duraylılık analizleri de yapılmaktadır. řev duraylılığının değerlendirilmesinde ilk olarak 1970'li yıllarda ortaya atılan olasılığa dayalı y6ntemlerle bugūne kadar biręok analiz yapılmış ve gūvenlik katsayısına bağlı duraysızlık riski veya gūvenilirlik terimlerinden de s6z edilir olmuştur (McMahon, 1971 ve 1975; Alonso, 1976; Piteau ve Martin, 1977; McPhail ve Fourie, 1980; Miller, 1983; Priest ve Brown, 1983; Barron vd., 1986; Sah vd., 1989; Pine, 1992; Whittlestone vd., 1995; Juang vd., 1998). Yapılan ęalıřmalarda değişkenlik g6steren parametrelerin dağılımları g6z6nünde bulundurularak, ęoęu zaman birden fazla sayıda gūvenlik katsayısının hesaplanmasına y6nelik analizler geręekleřtirilmiřtir.

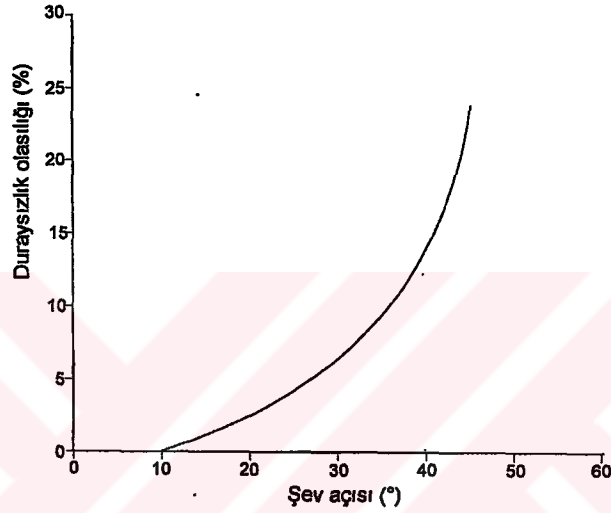
Whittlestone vd. (1995), deterministik yöntemlerde asıl sorun yaratan unsurun girdi parametrelerinin seçimi olduğunu belirterek, bu parametrelerin değişim aralıklarının dikkate alınmasının gerekliliği üzerinde durmuşlardır. Aynı araştırmacılar, olasılığa dayalı yaklaşımla ve girdi parametrelerinin dağılımını gözönünde bulundurarak gerçekleştirdikleri şev duraylılığı analizlerinden elde edilen sonuçların genellikle güvenlik katsayısının dağılımı şeklinde sunulduğunu ve kayma riskinin bu dağılımda güvenlik katsayısının birden küçük olan kısmının olasılığıyla belirlendiğini belirtmişlerdir (Şekil 9.11). Doğal olarak, güvenlik katsayısının birden büyük olduğu kısmın alanı da güvenilirlik (reliability) derecesini ifade etmektedir. Whittlestone vd. (1995), makaslama dayanımı parametrelerinin değişimini esas alarak olasılığa dayalı analizler yapmışlar ve girdi parametrelerinin dağılımının; literatürde yaygın olarak kabul görmesi ve pekçok parametre için temsil edici olması açısından normal dağılıma uyduğunu kabul etmişlerdir.



Şekil 9.11: Güvenlik katsayısı değerlerinin dağılımından duraysızlık riskinin veya güvenilirlik derecesinin belirlenmesi

Olasılığa dayalı analizler için geliştirilmiş ve şevlerin duraylılığı için de uygulanan en karmaşık yöntem Monte Carlo simülasyon tekniği (CANMET, 1979) olup, bu yöntem girdi parametrelerindeki değişkenliğin etkilerinin analiz edilmesi için kullanılan normal dağılım modeline alternatif bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda her parametrenin değişim aralığı dikkate alınarak simüle

edilmekte ve bu değerlerle çok sayıda eşleştirme yapılarak deterministik modelde kullanılan analiz yöntemlerinden uygun olanıyla (dairesel, düzlemsel, kama, vb.) çok sayıdaki güvenlik katsayısının dağılımı araştırılmakta ve duraysızlık riski veya güvenilirlik belirlenmektedir. Olasılığa dayalı yaklaşımların sonuçları genellikle şev açısı veya şev yüksekliğine karşı duraysızlık riski grafikleri (Şekil 9.12) şeklinde ifade edilmekte ve buradan ekonomik analizlere de geçilebilmektedir.



Şekil 9.12: Duraysızlık riski için hipotetik kümülatif olasılık eğrisi

Bu tez kapsamında incelenen güney şevinde; kayma yüzeyinin konumu, yeraltısuyu tablasının derinliği vb. girdi parametreleri sağlıklı bir şekilde belirlenmiş, ayrıca çok sayıda laboratuvar deneyi yapılarak kayma yüzeyinin makaslama dayanımı parametreleri de tayin edilmiştir. Bununla birlikte, makaslama dayanımı parametrelerinde kaydedilen değişimlerin duraylılığı hangi ölçüde etkileyebileceği ve tasarım açısından yaratabileceği olası bir riskin boyutlarının araştırılması amacıyla deterministik yöntemin yanısıra, olasılığa dayalı yöntemden de yararlanılması öngörülmüştür. Ayrıca elde edilen sonuçlar kömürün daha kısa sürede alınmasına olanak sağlayabilecek şev geometrileri açısından değerlendirilerek, belirli risk yüzdelerine göre basitleştirilmiş maliyet analizlerinin de yapılması ve bu iki yöneme ilişkin sonuçların karşılaştırılması da amaçlanmıştır.

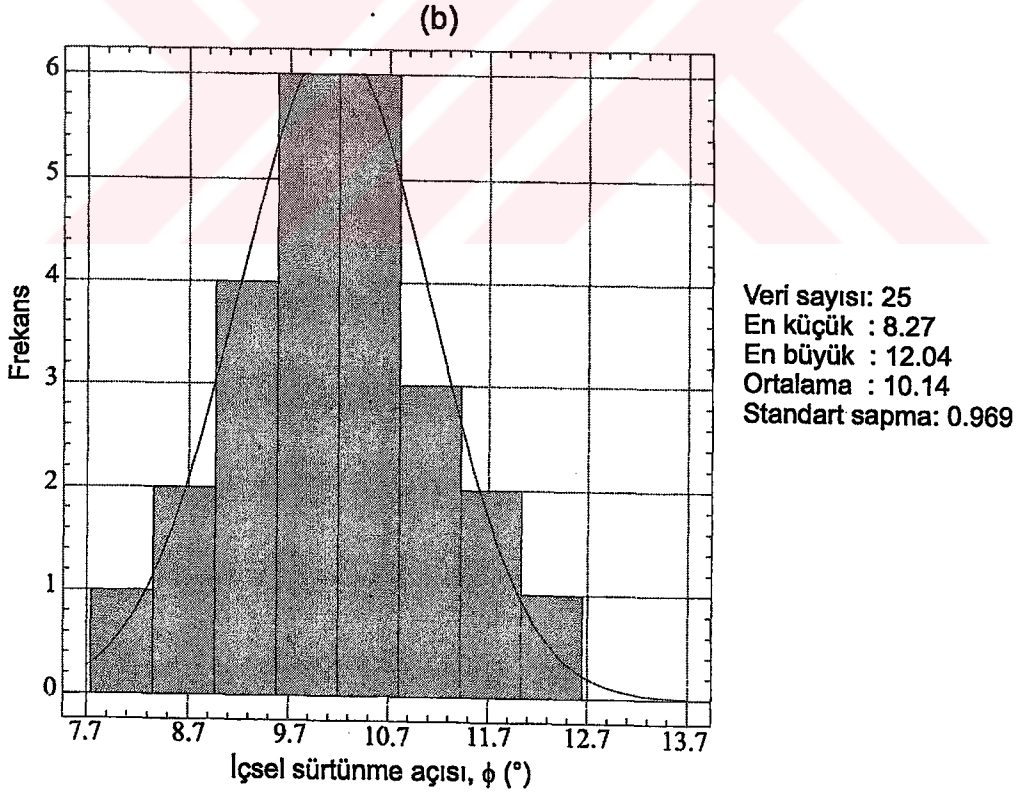
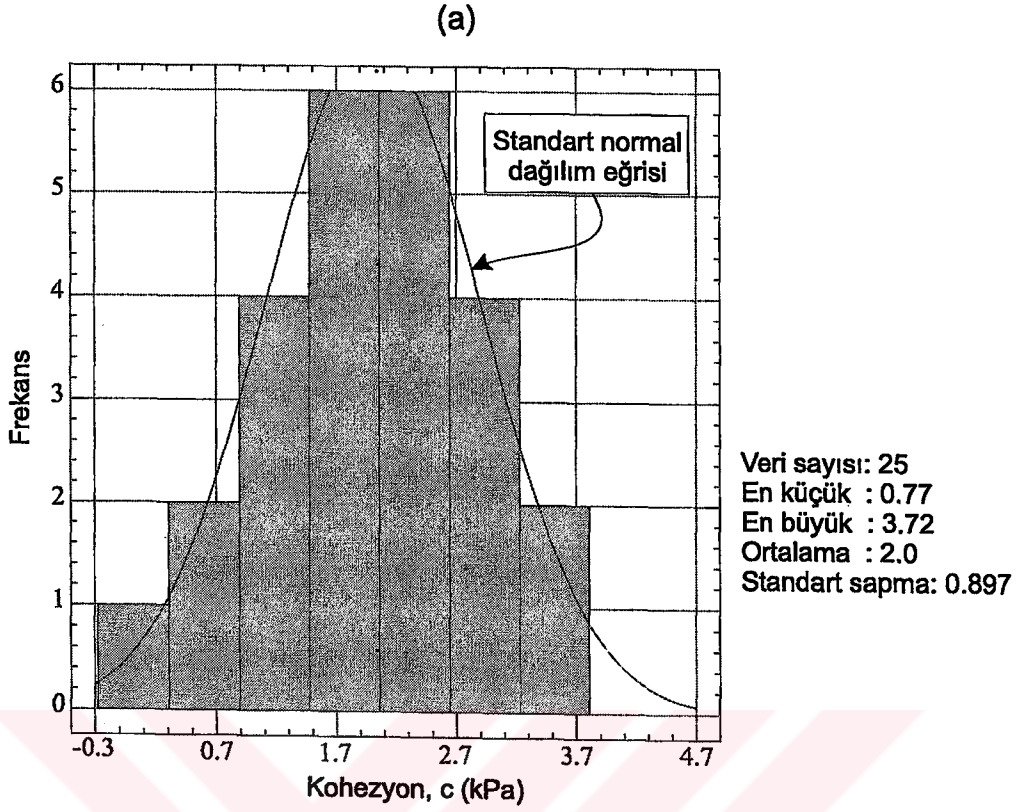
Daha önceki araştırmacılar tarafından yapılmış olan olasılık esaslı şev duraylılığı analizlerinde genellikle düzlemsel ve dairesel kayma modelleri üzerinde durulmuştur. Ancak, bu araştırmaya konu olan güney şevindeki duraysızlığın belirlenen mekanizması çok yüzeyli bir kayma olup, diğer yenilme modellerine oranla daha karmaşıktır. Dolayısıyla bu çalışmada bazı yaklaşımların yapılmasına gereksinim duyulmuş ve olasılığa dayalı analiz amacıyla şevin en kritik (marnlarda 6 no'lu fay ile kaygan tabakalanma yüzeyi üzerinde kalan bölge) bölümü esas alınmıştır. Bu kesimde 6 no'lu fayın laboratuvarında belirlenen makaslama dayanımı parametrelerinin örnek bazında değişkenlik göstermemesi ve geriye dönük analizlerde de artık değerlerin geçerli olduğunun belirlenmesi nedeniyle kayma yüzeyinin bu bölüme ait girdi parametrelerinin sabit alınması uygun görülmüştür. Deterministik analizlerde 20 veya 30 m genişliğindeki basamaklarla oluşturulan şev profilleri için yapılan değerlendirme sonucunda güney şevinde düzenli (sabit) bir geometriye sahip şevler oluşturularak emniyetli çalışma koşullarının yaratılmasının mümkün olmayacağı belirlenmiştir. Dolayısıyla değerlik nihai şev açılara göre olasılığa dayalı bir analizin yapılması da düşünölmemiştir. Bu nedenle olasılığa dayalı yaklaşımda, deterministik yöntemde uygulandığı gibi, duraysız bölgenin üstünde "aşamalı kademe" kazılarıyla oluşturulacak şev geometrileri için analiz yapılmasının yerinde olacağına karar verilmiştir. Analiz yöntemi olarak yine Sarma (1973, 1979)'nın önerdiği yöntem kullanılırken, saha gözlemleri ve hareket izleme çalışmaları ile belirlenmiş ve geriye dönük analizlerle doğruluğu desteklenmiş kayma yüzeyi, incelenen tüm şev geometrileri için sabit olarak alınmıştır. Yeraltısuyu ise, Ulusay vd. (1998a) su tablasının serbest düşüm sonrası konumu esas alınarak analizlere katılmıştır. Bu amaçla kaygan tabaka yüzeylerine ait artık makaslama dayanımı parametrelerinin dağılımları esas alınarak mevcut şevde herhangi bir kazıya devam edilmeden önceki durum ve aşamalı şekilde oluşturulacak 5 farklı şev geometrisi için olasılığa dayalı analizler gerçekteştirilmiştir.

Bir kaç araştırmacı dışında, olasılığa dayalı şev duraylılığı çalışmalarında değişkenlerin seçilen dağılım modeline uygunluğunun χ^2 veya benzeri bir testle araştırıldığına rastlanılmamıştır. χ^2 değerinin güvenilirliği ne kadar yüksek olursa, o değişkenin seçilen dağılım modeline uygunluğu da o ölçüde artmaktadır. Bu husus gözetilerek, kaygan tabakalanma düzlemlerine ait toplam 25 deney için tayin edilmiş 25 adet c ve ϕ değerinin ayrı ayrı dağılımları belirlenmiştir (Şekil 9.13). Her iki parametrenin de normal dağılıma uyduğu χ^2 testleriyle belirlenmiş ve sonuçlardan 0.94 ve 0.92 gibi oldukça yüksek güvenilirlik dereceleri elde edilmiştir (Çizelge 9.2). Bu değişkenlerin (c , ϕ) standart normal dağılım eğrilerinden sistematik olarak belirli olasılıklara karşılık gelecek değerlerinin belirlenebileceği düşünülmüştür. Bu amaçla bu değişkenlere ait kümülatif olasılık grafikleri hazırlanmış (Şekil 9.14) ve bu grafiklerden 9 kümülatif olasılık seviyesi seçilerek bunlara karşılık gelen c ve ϕ parametreleri bulunmuştur (Çizelge 9.3).

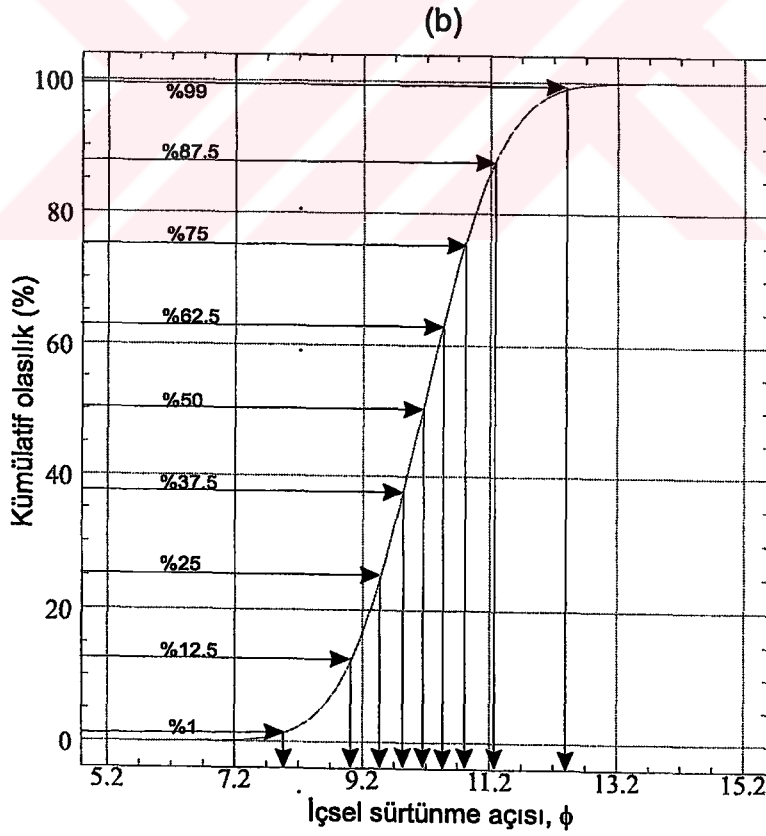
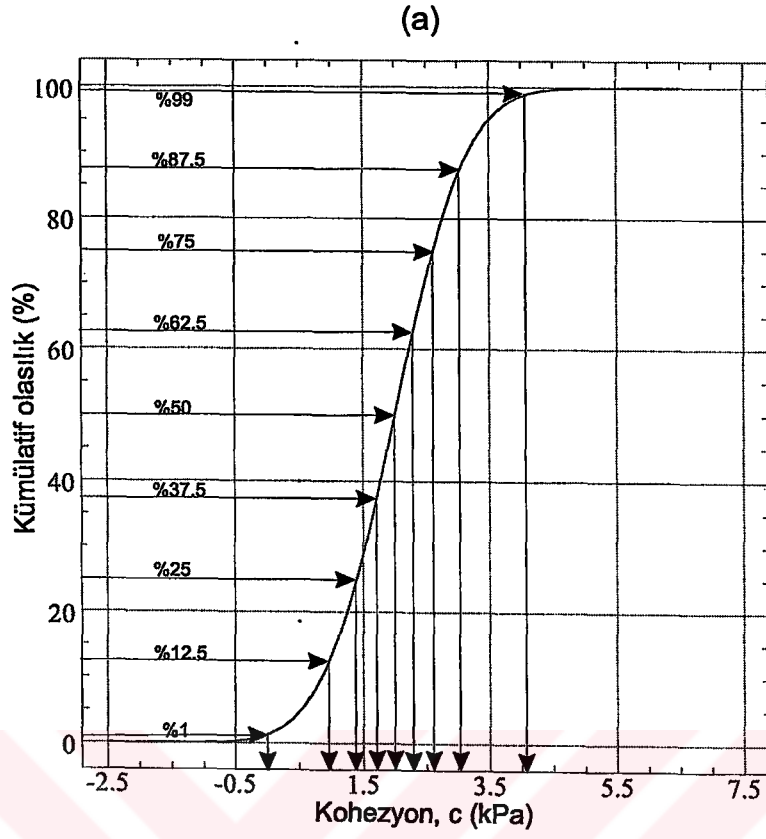
Çizelge 9.2: Makaslama dayanımı parametrelerinin normal dağılıma uygunluklarının belirlenmesi için yapılan χ^2 testlerinin sonuçları

Değişken	χ^2	Serbestlik derecesi	Güvenilirlik derecesi
c	0.00604	1	0.94
ϕ	0.00995	1	0.92

Çizelge 9.3'de verilen değerler birbirleriyle eşleştirilerek, analizlerde kullanılmak üzere toplam 81 adet c - ϕ çifti oluşturulmuştur (EK-3.1). Öncelikle şevin kazıya devam edilmeden önceki durumu (şu anki güncel durumu) için olasılığa dayalı analizler gerçekleştirilmiş ve bu durum için 81 adet güvenlik katsayısı tayin edilmiştir (EK-3.2). Daha sonra deterministik yöntemle yapılan analiz aşamalarına benzer şekilde ve Şekil 9.15'de görüldüğü gibi, 5 ayrı şev



Şekil 9.13: Kohezyon (a) ve içsel sürtünme açısı (b) değerlerine ait dağılım histogramları ve standart normal dağılım eğrileri



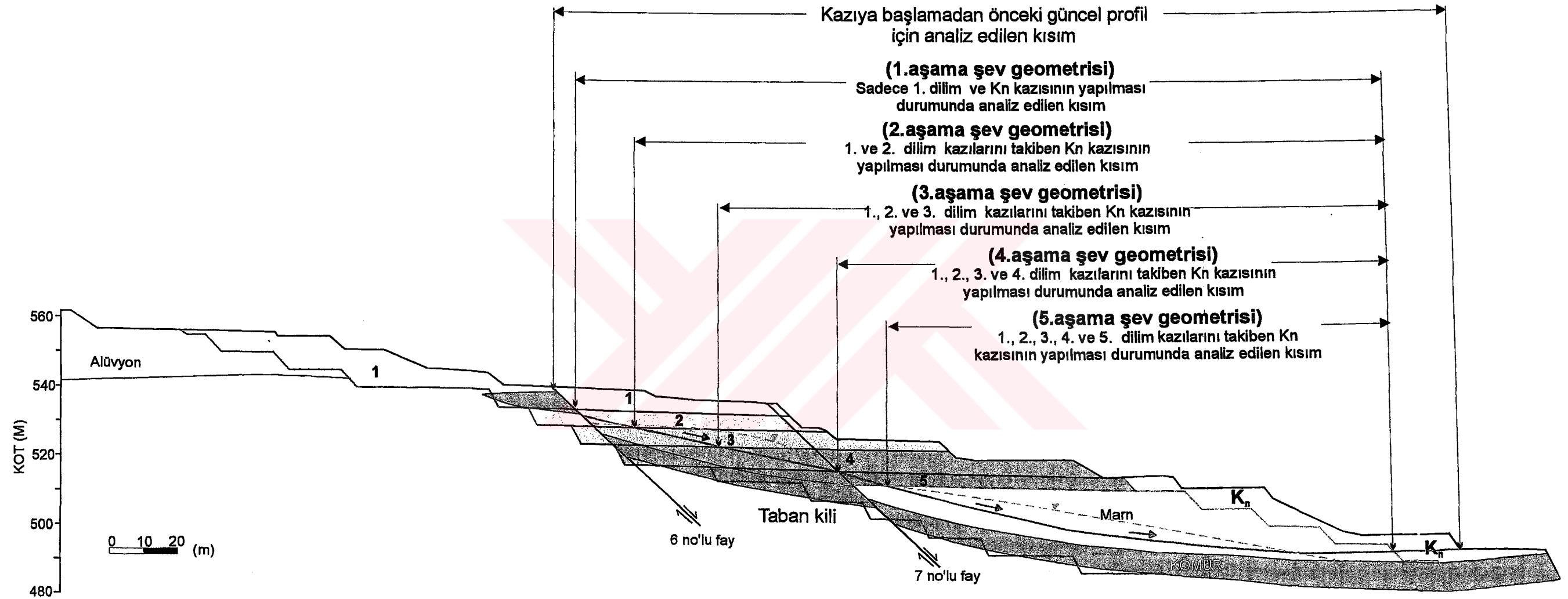
Şekil 9.14: Kohezyon (a) ve içsel sürtünme açısı (b) değerlerine ait kümülatif olasılık eğrileri ve sistematik olarak belirli yüzdelerdeki değerlerinin belirlenmesi

Çizelge 9.3: Makaslama dayanımı parametrelerinin kümülatif olasılık eğrilerinden belirli olasılıklar için elde edilen değerleri

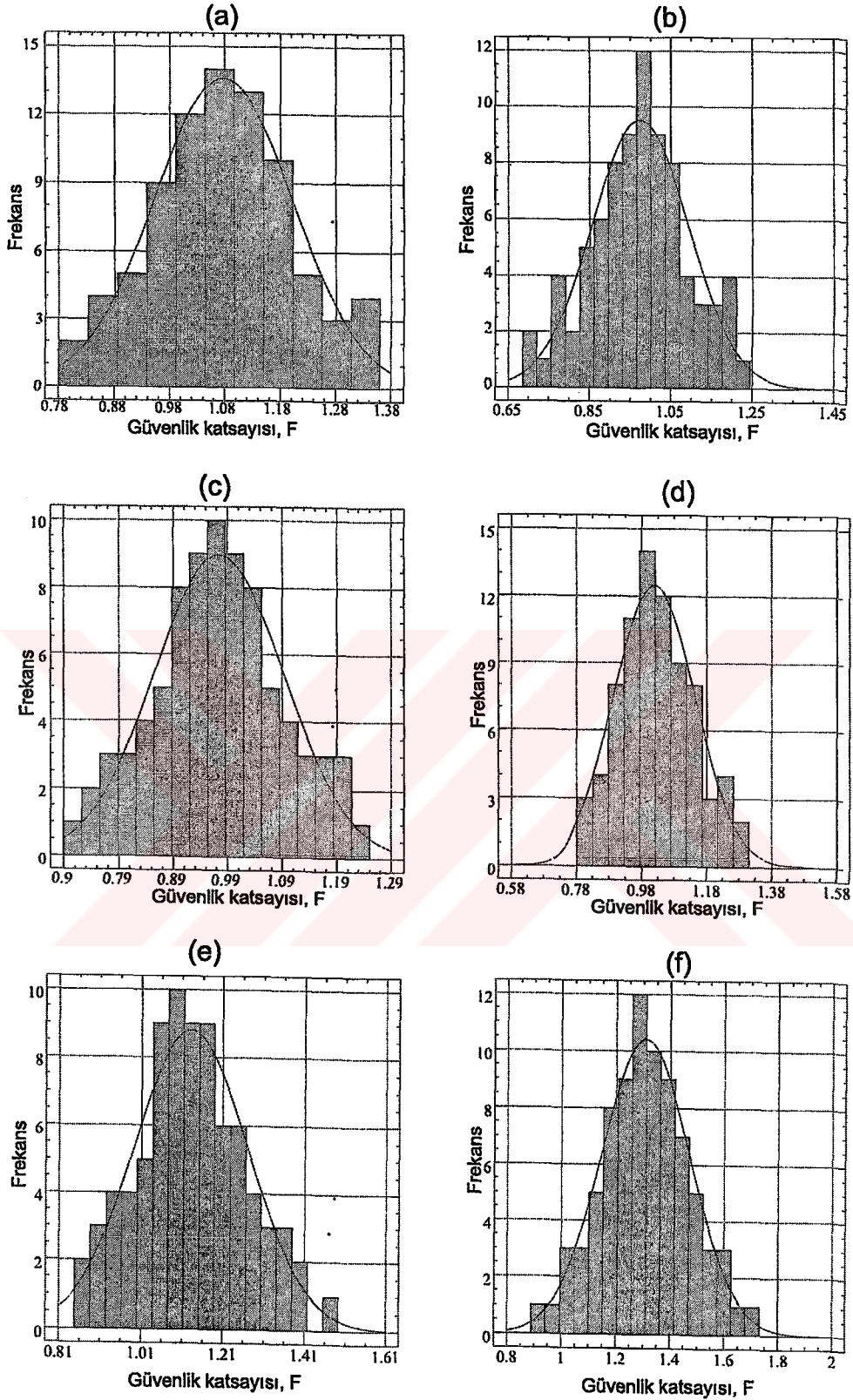
Kümülatif %	ϕ (°)	c (kPa)
99	12.39	4.09
87.5	11.26	3.04
75	10.79	2.61
62.5	10.45	2.29
50	10.14	2.00
37.5	9.83	1.72
25	9.49	1.40
12.5	9.03	0.98
1	7.89	0

geometrisi oluşturularak analiz edilmiştir. Diğer bir ifadeyle Şekil 9.15'de şev profilindeki 1 numaraya ve Kn simgesiyle tanımlanan kısımların ardışıklı şekilde kazısının yapılması planlanarak **1. aşama şev geometrisi** oluşturulmuş ve bunun olasılığa dayalı analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece bu geometri için 81 adet güvenlik katsayısı belirlenmiştir (EK 3.3). Benzer şekilde **2. aşama** (1., 2. ve Kn kısımlarının kaldırılması durumu), **3. aşama** (1., 2., 3. ve Kn kısımlarının kaldırılması durumu), **4. aşama** (1., 2., 3., 4. ve Kn kısımlarının kaldırılması durumu) ve **5. aşama** (1., 2., 3., 4., 5. ve Kn kısımlarının kaldırılması durumu) şev geometrileri için de analizler gerçekleştirilerek, her bir geometri için 81 adet güvenlik katsayısı değeri hesaplanmıştır (EK 3.4-7). İncelenen şev geometrileri için hesaplanan güvenlik katsayılarının dağılımları belirlenmiş ve normal dağılıma uydukları görülmüştür (Şekil 9.16). Yapılan χ^2 testlerinde de oldukça yüksek güvenilirlik dereceleri elde edilmiştir (Çizelge 9.4). Bu sonuçlar, olasılığa dayalı değerlendirme açısından 9'ar adet c ve ϕ değerinin yeterli olacağını desteklemektedir. Bir sonraki aşamada her bir şev geometrisinin olasılığa dayalı analiz yöntemine göre taşıyacağı duraysızlık riski (olasılığı) daha önce Şekil 9.11'de gösterildiği gibi belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 9.5'de verilmiştir.

GB



Şekil 9.15: Olasılığa dayalı analizlerde esas alınan 5 ayrı şev geometrisi için planlanan kazı aşamaları



Şekil 9.16: Güncel şev (a)1. şev geometrisi (b), 2. şev geometrisi (c) 3. şev geometrisi (d) 4. şev geometrisi (e) ve 5. şev geometrisi (f) için gerçekleştirilen olasılığa dayalı analizlerden elde edilen güvenlik katsayısı değerlerinin histogramları ve standart normal dağılım eğrileri

Çizelge 9.5 incelendiğinde, bu geometrisiyle duraysız olan güncel şevde kazıya devam edilmeden önce duraysızlık riskinin %27.05 olduğu görülmektedir. Bir tür geriye dönük analiz sayılabilecek bu değerlendirme sonucunda seçilecek şev geometrisinin bu risk düzeyinden daha düşük bir risk taşıması gerekeceği düşünülmüştür.

Çizelge 9.4: Tüm şev geometrileri için belirlenen F değerlerinin dağılımının normal dağılıma uygunluğunun araştırılması amacıyla yapılan χ^2 testlerinin sonuçları

*Oluşturulan şev geometrisi/kazı aşaması	χ^2	Serbestlik derecesi	Güvenilirlik derecesi
Kazı başlamadan önce (güncel durum)	0.72758	6	0.994
1.	0.81248	6	0.991
2.	1.26725	7	0.989
3.	0.852725	6	0.991
4.	0.960761	7	0.995
5.	0.467198	7	0.999

* bkz. Şekil 9.15

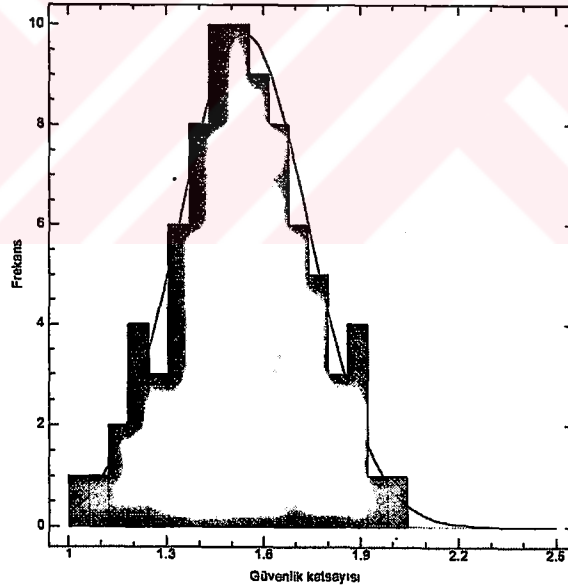
Çizelge 9.5: 1-1' kesitinde analizi yapılan tüm şev geometrileri için saptanan duraysızlık riskleri

*Oluşturulan şev geometrisi /kazı aşaması	Duraysızlık riski (%)
Kazı yok	27.05
1.	58.67
2.	58.64
3.	45.19
4.	17.35
5.	2.93

* bkz. Şekil 9.15

Olasılığa dayalı analizlerin, 1-1' kesitinde olduğu gibi, 2-2' ve 3-3' kesitlerinde de yapılması öngörülmüştür. Ancak, 2-2' kesitinde sadece deterministik

analizle belirlenen güvenli şev geometrisi (1-1' kesitindeki olasılığa dayalı analizde 5. aşama şev geometrisi) üzerinde en küçük $c-\phi$ (0 kPa-7.89°) çifti için bile $F=1.18$ değeri elde edildiğinden, olasılığa dayalı analize gerek kalmadan bu kesit ve yakın civarı boyunca şevin duraysızlık riski taşımayacağı sonucuna varılmıştır. 3-3' kesitindeki güvenli şev geometrisinin (bknz. Şekil 9.7) taşıdığı riskin ise 1-1' kesitindeki 5. aşama şev geometrisi için belirlenen riske (%2.93) çok yakın olduğu (%2.99), olasılığa dayalı analiz sonrası saptanan güvenlik katsayılarının (EK 3.8) dağılımından (Şekil 9.17) belirlenmiştir (Çizelge 9.6). 3-3' kesitinde diğer şev geometrileri için yapılacak olasılığa dayalı analizlerde de 1-1' kesiti için belirlenen değerlerle çakışan risklerin bulunacağı düşünüldüğünden, ayrıca analize gerek görülmemiştir.



Şekil 9.17: 3-3' kesitinde güvenli şev geometrisi için gerçekleştirilen olasılığa dayalı analizden elde edilen güvenlik katsayısı değerlerinin histogramları ve standart normal dağılım eğrisi

Çizelge 9.6: : 3-3' kesitinde analizi yapılan güvenli şev geometrisi için belirlenen F değerlerinin dağılımının normal dağılıma uygunluğunun araştırılması amacıyla yapılan χ^2 testlerinin sonucu ve saptanan duraysızlık riski

Şev geometrisi	χ^2	Serbestlik derecesi	Güvenilirlik derecesi	Duraysızlık riski (%)
İlerleme kazısı öncesi güvenli şev geometrisi	0.60808	6	0.996	2.99

9.3. Maliyet Açısından Değerlendirme

Olasılığa dayalı analizlerin sonuçlarından yararlanılarak ve risk yüzdeleri kullanılarak farklı şev geometrileri için şevin kayması veya kaymaması durumlarına ilişkin maliyet analizleri de yapılabilmektedir. Bu amaçla kullanılan, ayrıntısı Canmet (1979) tarafından verilen ve çok sayıda parametrenin dikkate alındığı karmaşık Monte Carlo simülasyon tekniğinin yanısıra, Whittlestone vd. (1995) tarafından da bir maliyet analizi yöntemi önerilmiştir. Birim genişlikteki şev kazısı için esas alınan ve "şevin beklenen maliyeti - C_s " şeklinde tanımlanan bir terimle ifade edilen bu yaklaşımda, şevin kazı maliyeti (C_c) ve şevin kayması halinde beklenen maliyet ($P_f \cdot C_f$) kavramları kullanılmakta olup, C_s aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$C_s = C_c + P_f \cdot C_f \dots\dots\dots(9.1)$$

burada,

C_c : Şevin kazı maliyeti (patlatma, kazı ve şev stabilizasyon (iyileştirme) masrafları birlikte)

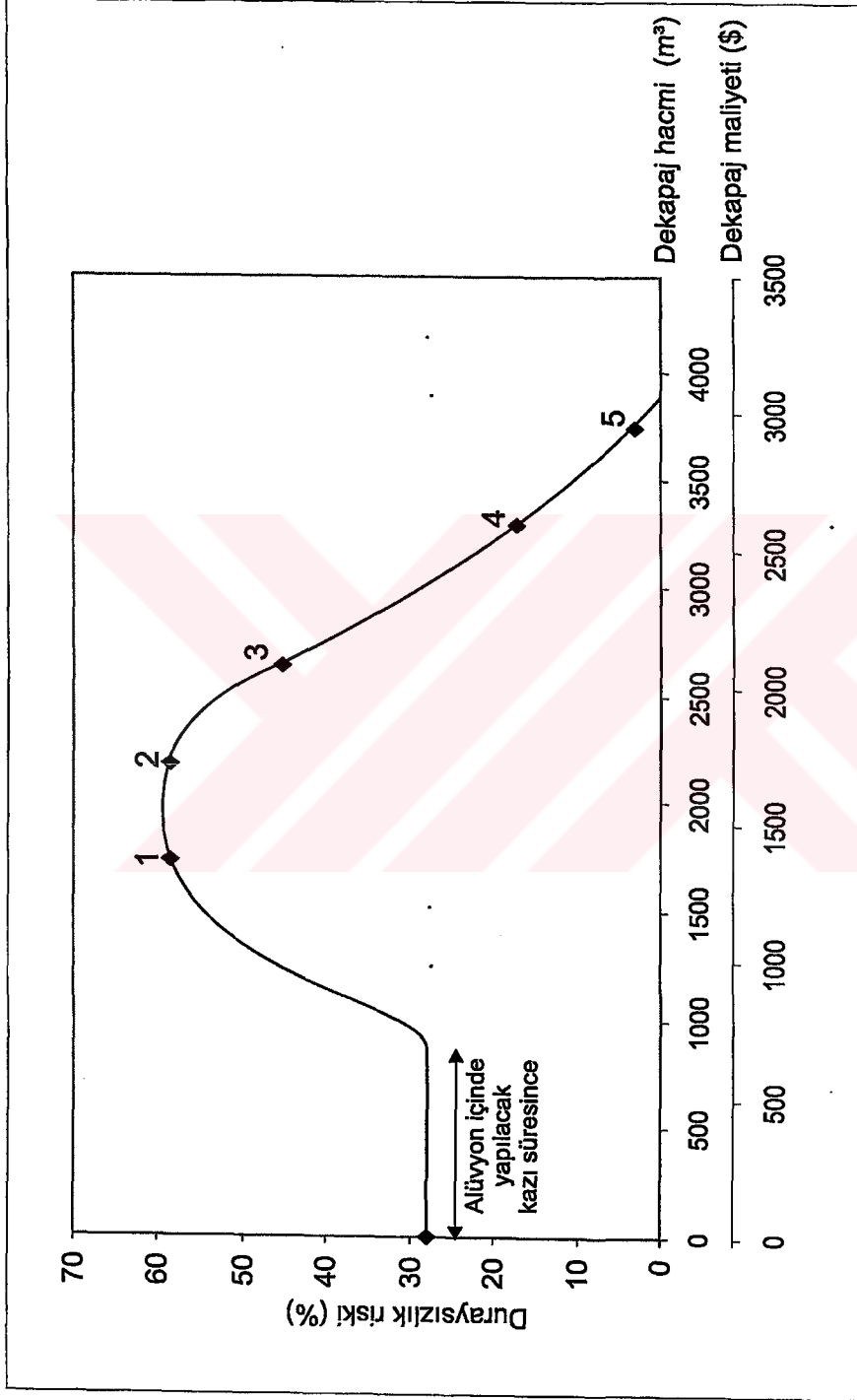
P_f : Şev duraysızlığı olasılığı

C_f : Şevin yenilmesi halinde kayan malzemenin kaldırılmasından, üretime ara verilmesinden ve iyileştirme çalışmalarından kaynaklanan maliyet

Yukarıdaki ifadeden de görüldüğü gibi, ayrıntılı bir maliyet analizinde, yapılacak her türlü harcamanın dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca

zaman faktörü de (özellikle duraysızlık sonrasında tekrar üretime geçilene değin kaybedilen zaman, dolayısıyla ortaya çıkan zarar) ayrı bir etken olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür değerlendirmelerde diğer önemli bir husus da, her işletmenin kendine özgü koşulları ve olanaklarıdır. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında bu denli çok sayıda ve değişken faktör dikkate alınarak bir maliyet analizinin yapılması mümkün olamamaktadır. Bununla birlikte, daha basit ve sadece gerekli dekapaj miktarı ve kazı maliyetine karşı duraysızlık riski için bir değerlendirme yapılmıştır. TKİ'den alınan bilgilere göre, 15 Mayıs 1998 tarihi itibarıyla 199.166 TL/m³ olan birim kazı maliyeti o döneme ait dolar kuru (252.000 TL) gözönünde bulundurularak dolar bazında hesaplanmış ve 0.79 \$/m³ olarak belirlenmiştir. Uzun süreli düşünüldüğünde, dekapaj kazısının maliyetinin sabit bir değere ulaşması doğaldır. Diğer bir ifadeyle, deterministik yöntemle yapılan değerlendirmede belirlendiği gibi, güney şevi boyunca tüm kömürün alınması planlandığında dekapaj maliyetinin değişmeyeceği açıktır. Çünkü kömürün üzerinde yer alan tüm malzemenin kaldırılması gerekecektir. Ancak, bunun yanında, dekapaj işlemleri için en az şekilde para harcadıktan sonra güvenli bir biçimde kömürün alınmaya başlanması ve para dönüşümünün daha kısa sürede gerçekleşmesinin sağlanması önemlidir. Bu yönüyle, duraysızlık riski ve dekapaj maliyeti arasındaki ilişki de işletmecilik açısından önem kazanmaktadır.

Bu doğrultuda, 1-1' kesiti boyunca analizi yapılan her şev geometrisi için kaldırılması gerekli olan dekapaj hacmi ile maliyeti ve alınacak kömür hacmi belirlenmiştir (Çizelge 9.7). Ayrıca her şev geometrisi için belirlenmiş olan duraysızlık riski ile dekapaj hacmi ve maliyeti karşılaştırılmıştır (Şekil 9.18). Tüm hacim hesapları, 1-1' kesitinde kaldırılacak malzemenin alanının şevin birim genişliğe sahip olduğu varsayılarak yapılmıştır.



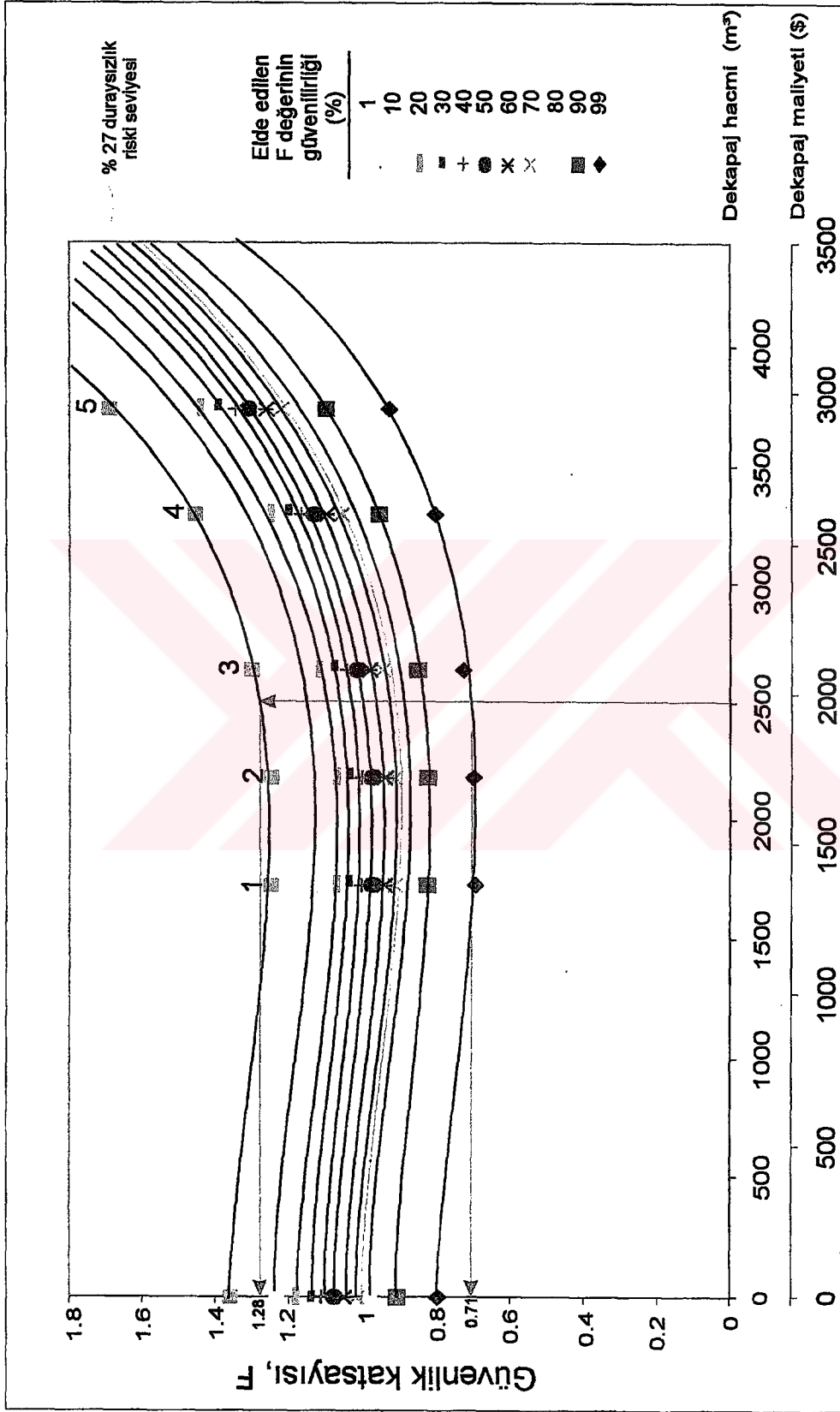
Şekil 9.18: Güney şevi için dekapaj kazısı maliyeti - maliyeti gerektiren kazının yapılmasından sonraki şev geometrisinin duraysızlık riski

Çizelge 9.7: Tasarlanan şev geometrilerinin oluşturulması için gerekli kazı hacmi, kazı maliyeti ve alınabilecek kömür hacmi

*Oluşturulan şev geometrisi/kazı aşaması	Dekapaj kazısı (m ³)	Dekapaj maliyeti (\$)	Alınacak kömür miktarı (m ³)
Kazıya başlanmadan önce	0	0	0
1.	1725.8	1363.38	246
2.	2175	1718.29	246
3.	2631.6	2078.92	254.5
4.	3282	2592.82	357
5.	3734	2949.9	478

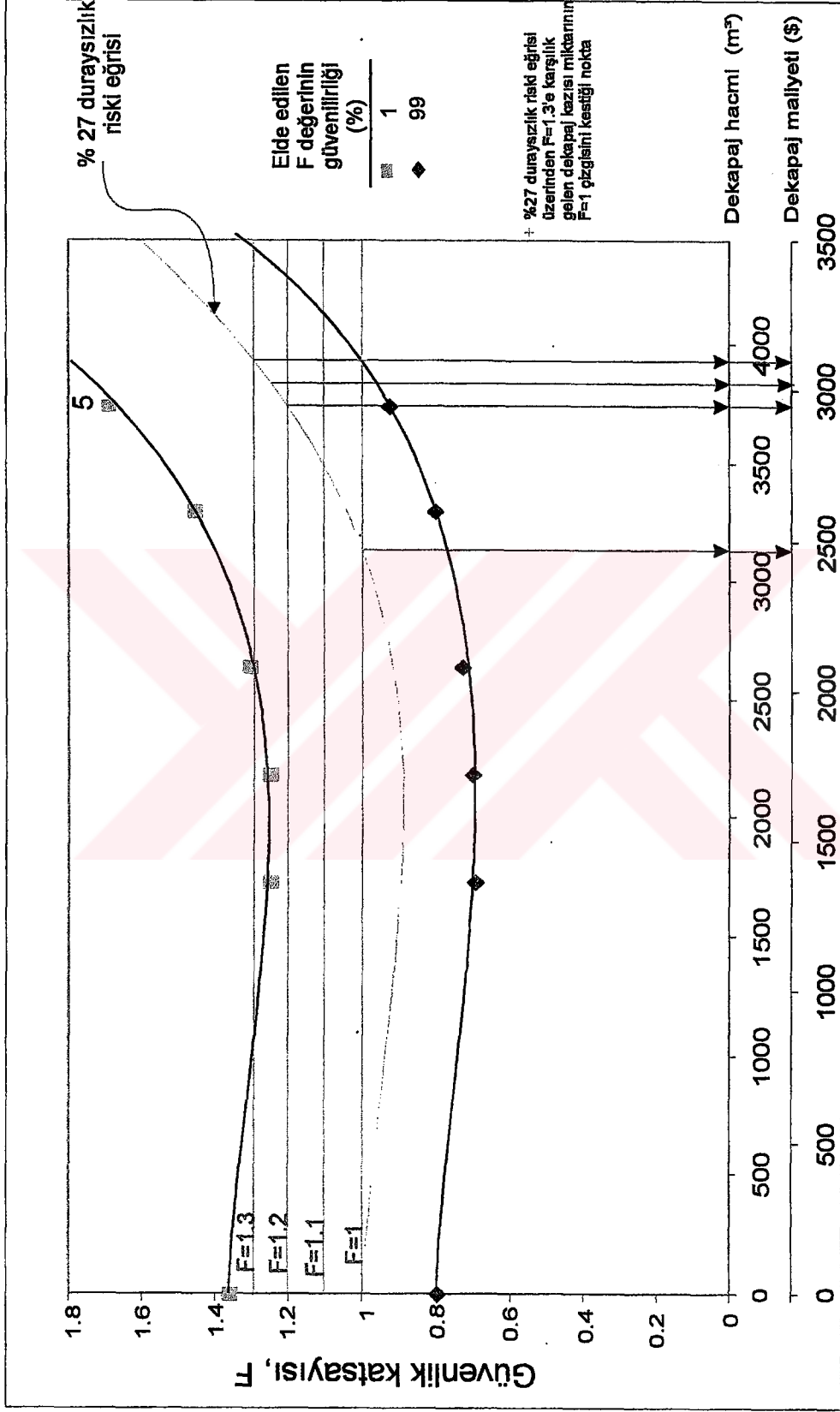
* bkz. Şekil 9.15

Çizelge 9.4 ve Şekil 18'de görüldüğü gibi, duraysızlık riski kazıya devam edilmemesi halinde %27 olup, bu risk belli bir dekapaj kazısına kadar değişmemektedir. Olasılık esaslı analizlerin 6 no'lu fay ile kaygan tabaka yüzeyi boyunca meydana gelen duraysızlık için gerçekleştirilmiş olmasından dolayı, 6 no'lu fayın güneyinde aynı zamanda aynı zamanda alüvyonda da dekapaj kazısının (863 m³) yapılmasının duraysız bölgede bir değişikliğe neden olmayacağı açıktır. Bu nedenle 6 no'lu faya kadar yapılacak kazı için duraysızlık riski sabit olacaktır. Bundan sonra Şekil 9.15'de gösterilen 1. şev geometrisinin oluşturulması için Kn simgeli topuktaki kısmın da kaldırılması duraysızlık riskini arttırmaktadır. 2., 3., 4., ve 5 no'lu diğer şev geometrilerinde riskin azalması ise, Kn kısmı ile birlikte üstten daha fazla dekapaj kazısının (hafifletmenin) yapılacak olmasıyla ilişkilidir. 5. şev geometrisi (deterministik analizdeki güvenli şev geometrisi) %2.93 oranında bir duraysızlık riskine sahiptir. Duraysızlık riskinin oldukça düşük olmasına rağmen gerçekleşme olasılığı da vardır. Şekil 9.19'da her şev geometrisi için dekapaj hacmi ve dekapaj maliyetine karşılık çeşitli güvenilirlik seviyeleri için güvenlik katsayıları verilmiştir. Grafikteki her eğri, sabit bir güvenilirlik değerini ifade etmektedir. Örneğin, 2500 m³ 'lük dekapaj kazısının yapılmasından sonra % 1 güvenilirlikte elde edilecek F değeri 1.28 iken, %99 güvenilirlikte 0.71'dir. Bu durum 2500 m³'lük kazı sonrası olasılığa dayalı



Şekil 9.19: Herbir geometri için elde edilen güvenlik katsayısı değerlerinin normal dağılım eğrilerinden belirlenmiş güvenlilik derecelerinde kazı miktarı ve maliyetine karşılık güvenlik katsayısı (F) değerleri

analizlere göre elde edilen F değerlerinin % 99'u 1.28'den küçüktür, ya da %99'u 0.71'den büyüktür anlamına gelmektedir. Diğer eğrilerden elde edilecek F değerleri de aynı şekilde düşünülerek değerlendirilmelidir. Şekil 9.19'da açık mavi renkli eğri ise, % 27'lik risk seviyesine karşılık gelmektedir. Şevin güncel konumu için yapılan analizde duraysızlık riski % 27 olarak belirlenmişti. Şev bu geometrisi ile zaten duraysız (F=1 durumunda) olduğuna göre, olasılığa dayalı analizlerde güney şevinde tasarlanan tüm şev geometrileri için % 27'lik risk seviyesinin kritik değer alınması uygun bir yaklaşım olarak görünmektedir. Bu bakış açısıyla değerlendirme yapmak amacıyla Şekil 9.20'deki grafik hazırlanmıştır. Optimum şev geometrisinin belirlenmesi için de yaklaşımlar yapılabileceği düşünülerek, Şekil 9.20'de % 27 duraysızlık riski eğrisiyle birlikte, güvenlik katsayısının 1, 1.1, 1.2 ve 1.3 değerlerini temsil eden çizgiler de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, % 27'lik risk seviyesinde F=1 koşuluna ulaşan ilk şev geometrisi yaklaşık 3125m³'lük dekapaj kazısı ve yaklaşık 2470 \$'lık bir maliyet ile sağlanabilmektedir. Bu şev geometrisinin yukarıda da belirtildiği gibi, limit denge durumunda olacağı kabul edilmelidir. %27'lik risk seviyesi boyunca güvenlik katsayısının artırılması sonucu dekapaj miktarı da doğal olarak artmaktadır. F=1.3 değerine ulaşılması için ise, yaklaşık 3920 m³'lük bir kazı yapılması gerekmektedir. Bu kazı durumunda ise, güvenlik katsayısının 1 değerinin altında olma olasılığı veya duraysızlık riski %1'in altına düşmektedir. Deterministik yaklaşımlarda şev tasarımı için tercih edilen güvenlik katsayısı değerleri, bazı belirsizliklerin türüne ve boyutlarına bağlı olarak, 1.1 ile 1.5 arasında alınmaktadır. Söz konusu belirsizlikler arasında en önemlisi olan ve çoğu kez gerçekçi bir şekilde hesaplamalara dahil edilemeyen parametre sismik ivmedir. Bu çalışmada geriye dönük analizlerde kullanılan şev geometrisi arazide hassas ölçümlerle belirlenmiştir. Kayma yüzeyinin şev topuğundaki topuktaki konumu da belirlenmiş ve bir yıla yakın süre boyunca gerçekleştirilen hareket izleme çalışmalarıyla bu yüzeyin şev boyunca devamlılığı da saptanmıştır. Belirlenen kayma yüzeyi geriye dönük analizlerin sonuçlarıyla da doğrulanmış ve 25 deney setinden tayin edilen artık makaslama dayanımı parametrelerinin dağılımları alınarak



Şekil 9.20: % 27 duraysızlık risk seviyesi için dekapaj kazısı ve dekapaj maliyetine karşılık güvenlik katsayısı grafiği

olasılığa dayalı analizler gerçekleştirilmiştir. Bu durumda, deprem riski dışında önemli sayılabilecek bir belirsizlik görünmemektedir. Mines Branch-Canada (1972; Huang 1983) artık makaslama dayanımı parametreleri kullanılarak yapılacak şev duraylılığı analizlerinde personel ve ekipman açısından risk taşıyan yerlerde güvenlik katsayısının 1.3, deprem riskinin de dikkate alınabildiği değerlendirmelerde ise 1.2 alınmasını önermektedir. D'Appolonia Consulting Engineers Inc. (1975; Huang 1983) de en az 1.3 olarak önerdiği güvenlik katsayısını, en büyük sismik ivmenin hesaba katılması durumunda limit-denge koşuluna ($F=1$) düşürülebileceğini belirtmektedir. Bu yaklaşımlara göre, analizlere deprem riskinin katılıp katılmaması koşulları arasında güvenlik katsayısı için önerilen değerlerin farkı 0.1 ile 0.3 arasında değişmektedir. Bu çalışma kapsamında bu iki fark değerinin ortalaması olan 0.2 değeri limit-denge koşulunu ifade eden $F=1$ değerine eklenerek 1.2 elde edilmiştir. Bu durumda, güvenlik katsayısının 1.2'nin altında seçilmesi riskli olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanısıra, olası sistematik ölçüm hatalarından ve kayma yüzeyinin yönelimindeki yerel değişimler gibi sapmalardan dolayı bir güvenlik payı da bırakılarak $F=1.25$ değeri seçilmiş ve bu değer optimum olabileceği düşünülmüştür. Bu durumda, Şekil 9.20'de $F=1.25$ değerine karşılık gelen dekapaj kazısıyla (3820 m^3 ; maliyet $\approx 3020\$$) optimum duraylı şev geometrisini sağlanabileceği belirlenmiştir. Deterministik analizle belirlenen güvenli şev geometrisi için ($F=1.3$) ise gerekli dekapaj kazısının hacmi 3734 m^3 ve bunun maliyeti $2950\$$ 'dir. Bu geometrinin olasılığa dayalı analizinde ise (5. şev geometrisi) %27 risk seviyesindeki güvenlik katsayısı 1.2 olarak belirlenmiştir (Şekil 9.20).

Her iki analiz yöntemi ile elde edilen güvenli şev geometrileri değerlendirildiğinde, iki yöntemde de kaldırılması gerekli olan malzeme miktarı birbirine çok yakın olarak ortaya çıkmaktadır (dekapaj farkı = 86 m^3 ; maliyet farkı = $68\$$). Ancak 1-1' kesitine ait analizlerde birim genişlik esas alınmıştır. Gerçekte, yaklaşık olarak 3-3' kesitine kadar olan bir genişlik (dolayısıyla hacim) için değerlendirme yapılmalıdır. Bu genişlik dikkate

alındığında (yaklaşık 200m) iki analiz yönteminin sonuçları arasında 5 milyara yakın maliyet farkı söz konusu olmaktadır. Bunun yanında, bu çalışmada olduğu gibi, belirsizliklerin oldukça azaltıldığı bir kazı ortamında yapılacak deterministik analiz uygulamasında, tasarım amacıyla güvenlik katsayısı için seçilen 1.3'ün oldukça uygun bir değer olacağı da ortaya çıkmaktadır. Olasılığa dayalı analizde en önemli nokta duraysızlık riskinin yanısıra, dekapaj maliyetinin de değerlendirilerek çeşitli yaklaşımların yapılabilmesidir. Ayrıca kömürün alınmasıyla gelirlerde de artış olması söz konusu olacağından, bu gelirlerin kar hanesine kaydedilerek karşılaştırma yapılması daha gerçekçi olacaktır.



10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Himmetoğlu Linyit İşletmesinde, işletme açısından taşıdığı önem dikkate alınarak, incelenen güney şevindeki duraysızlıkların değerlendirilmesi ve şev tasarımına yönelik amaçlarla gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- (a) Güney şevinde duraylılığı etkileyen en önemli unsurlar, eğimleri kazı boşluğuna doğru olan marnların içermiş olduğu kaygan-parlak tabakalanma yüzeyleri ile doğrultuları şevin doğrultusuna yaklaşık paralel konumdaki normal faylardır. Bu süreksizlik yüzeylerinin üzerinde yeralan marn kaya kütleleri aktif-pasif kama modeline uygun şekilde kazı boşluğuna (kuzeye) doğru hareket etmektedir. Gerek uzun süreli hareket izleme çalışmasının, gerekse duraysızlıkların geriye dönük analizinin sonuçları da bu modeli doğrulamıştır. Dolayısıyla şev duraylılığı açısından kömür horizonunun üzerinde yeralan birimlerin taban kiline oranla daha kritik ve önemli olduğu sonucuna varılmıştır.
- (b) Şevin üst kotlarında yeralan alüvyonun içinde açıldığı basamaklarda hareket beklenmemesine rağmen, faylarla sınırlanan bloklarda gelişen duraysızlığa bağlı olarak, bu basamaklar da oluşan boşluğa doğru hareket etme eğilimindedir. Bunun sonucu olarak, alüvyonda da tansiyon çatlakları ve oturma şeklinde duraysızlıklar gelişerek tüm şev riskli bir konuma geçmektedir.
- (c) Alüvyon içinde kalan basamaklarda etkin bir drenaj programının planlanmamış olması ve Ovaçay'ın şeve yakınlığı nedeniyle, alüvyonun iri taneli düzeylerinden sızan sular, yüzeyden ocak içine akıp marnlardan da süzülerek şev duraylılığını olumsuz yönde etkilemiştir.
- (d) Kısa sürede daha çok kömür alınması amacıyla güney şevinin topuk bölgesinde kazı yapılarak, eğimi kazı boşluğuna ters yönde olan

tabakalanmanın, dolayısıyla tutucu kuvvetlerin ortadan kaldırılması hareketi hızlandıran en önemli faktördür.

- (e) Güney şevinde gelişmiş duraysızlıkların geriye dönük analizlerinden, gerek parlak-kaygan tabakalanma yüzeylerinin, gerekse fay yüzeylerinin makaslama dayanımı parametrelerinin kayma hareketi sırasında doruk değerlerden artık makaslama değerlerine doğru azaldığı belirlenmiştir. Bu belirleme, söz konusu süreksizliklere ait makaslama gerilimi-birim deformasyon eğrileriyle de desteklenmekte olup, işletmede yapılacak şev duraylılığına ilişkin tasarım analizlerinde bu yüzeylerin artık makaslama dayanımı parametrelerinin kullanılmasıyla daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilecektir.
- (f) Güney şevine komşu konumlu olması nedeniyle, dört ayrı sektöre ayrılarak kinematik anlamda analizi yapılan doğu şevi için herhangi bir duraysızlık riski saptanmamıştır.
- (g) İki sektöre ayrılarak deterministik yaklaşımla yapılan kinematik analizler, güney şevinde faylarla eklem setlerinin kesişmesi sonucu, yerel de olsa, kama türü duraysızlıkların gelişebileceğini göstermiş ve bu açıdan basamak aynalarının 45° ile 52° arasında tutulmasının yerinde olacağı belirlenmiştir. Süreksizliklerin yönelimlerdeki değişimleri esas alan olasılığa dayalı kinematik analizlerle de, deterministik yaklaşımla belirlenen türde duraysızlık türleri ve emniyetli olabilecek basamak açıları saptanmıştır. Bununla birlikte, geçici de olsa, bazı kesimlerde şevin doğrultusunda değişiklik yapılması halinde düzlemsel kayma riskinin söz konusu olabileceği belirlenmiş ve pratikte yararlanılması amacıyla belirli güven aralıkları için riskli yönelimlerin tayin edilebileceği grafikler hazırlanmıştır.
- (h) Artık makaslama dayanımı parametreleri kullanılarak yapılan deterministik şev duraylılığı analizleri, güney şevinin üst kısmında bir yük hafifletme çalışması yapılmaksızın, kazıya şev topuğundan devam edilerek kömür üretiminin gerçekleştirilmesinin duraylılık açısından uygun

olmadığını göstermiştir. Gerek pekçok ülkede, gerekse ülkemizdeki linyit ocaklarında uygulandığı gibi, güvenlik katsayısının 1.3 gibi bir değerde tutulabilmesi amacıyla şev kazısına üstten kademeler şeklinde başlanması, belirli bir kademeye ulaşıncaya topuğa yakın kısımda başlatılacak diğer kademeli bir kazıyla kömürün üzerinin açılmasının emniyetli bir uygulama olacağı sonucuna varılmıştır.

- (i) Olasılığa dayalı duraylılık analizleri de emniyetli bir işletmecilik açısından, kademeli kazı yapılmasının uygun olacağını göstermiştir. Ayrıca olasılık yaklaşımı kapsamında yapılan ve dekapaj kazısını esas alan basitleştirilmiş maliyet analizlerinin sonuçları, maliyet açısından her iki yöntemin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiğini göstermiş ve deterministik değerlendirmede güvenlik katsayısı için tasarım amacıyla seçilen 1.3 değerinin gerçekçi bir değer olacağını desteklemiştir. Her iki analiz yönteminden elde edilen sonuçların yakınlığının, kaygan tabakalanma yüzeylerinin makaslama dayanımı parametrelerinin değişim aralığının geniş olmamasından kaynaklandığı düşünülmüştür.
- (j) Ayrıca olasılığa dayalı analizlerde güncel şev geometrisi için belirlenen duraysızlık riski seviyesi (%27) optimum şev geometrisinin belirlenmesi açısından oldukça kullanışlı bir gösterge olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar çerçevesinde, şev tasarımı, drenaj ve kazı sırasında dikkate alınmasında yarar görülen hususlar, öneriler şeklinde aşağıda özetle sunulmuştur.

- (1) Şev kazılarında üst kotlardan şev topuğuna doğru kademeli kazı yapılırken kömür horizonuna hemen girilmemesine ve gelişebilecek olası hareketlerin önceden tahmini amacıyla bu çalışmada uygulanan yöntemle hareketlerin izlenmesine özen gösterilmelidir.
- (2) İşletme kazısının sahanın doğusuna doğru ilerlemesine koşut olarak, D-B doğrultulu fayların, doğuda kazısı henüz yapılmamış sahanın sınırları boyunca da devam ettiği gözönünde bulundurulmalı ve güncel işletmede

karşılaşılan aktif-pasif kama duraysızlıkları açısından bu bölgede de önlem alınmalıdır.

- (3) Alüvyonda açılmış basamaklarda etkin bir drenaj programı uygulanarak suyun alt kotlardaki marnlara sızmasına mümkün olduğunca imkan verilmemeli, ayrıca basamak düzlüklerinde su birikintilerinin oluşturulmasından kesinlikle kaçınılmalıdır.
- (4) Süreksizliklerin şev kazısının tersi yönde bir eğime sahip olduğu ve herhangi bir duraysızlığın beklenmediği doğu şevinin gelecekte doğuya ilerlendikçe derinleşeceği de dikkate alınmalı ve bu şev boyunca ilerleme kazısının bugünkü genel şev açısından daha dik oluşturulmamasına dikkat edilmelidir.
- (5) Duraysızlığın olduğu bir bölgede yapılacak olasılığa dayalı analizlerin duraysız şevlerde de uygulanarak, bu şevler için belirlenen duraysızlık risk seviyesinin geriye dönük bir analiz sonucu olarak ele alınması ve optimum şev geometrisinin belirlenmesinde bir gösterge olarak kullanılması önerilir.

KAYNAKLAR

- Alonso, E. E., 1976. Risk analysis of slopes and its application to slopes in Canadian sensitive clays. *Geotechnique*, 26 (3), 453-472.
- Altınlı, İ.E., 1973. Orta Sakarya jeolojisi. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, Ankara, Bildiriler Kitabı, 103-112.
- Altınlı, İ.E., 1975. Paleosen yaşlı Kızılçay Grubunun çökeltme ortamları. İstanbul Üniversitesi., Fen Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 40, Sayı 1-2.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1986. Annual Book of ASTM Standards-Soil and Rock, Building Stones, Section-4, Construction, V. 04.08, ASTM Publication, 972 p.
- Ataman, G. et Beseme, P., 1972. Decouverte de l'ancime Sedimentaire er Anatolie du Nord-Quest (Turquie): Mineralogist, Genese, Paragenese. *Chemical Geology*, 9, 203-225.
- Barron, K., Stimpson, B., and Kosar, K., 1986. A regressive mode of highwall failure in coal strip mines. *CIM Bulletin*, 79, 73-78.
- Besbelli, B., 1991. Adapazarı H25 b1, b4, c1 paftalarının jeolojisi ve petrol olanakları. MTA Raporu (yayımlanmamış).
- Beseme, P., 1967. Kabalar senklinalinin (Göynük-Bolu) genel ve uygulamalı jeolojik etüdü. MTA Raporu, Derleme No. 4673 (yayımlanmamış).
- Bishop, A.W., 1955. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5, 7-17.s
- CANMET (Canada Centre for Mineral and Energy Technology), 1979. Pit Slope Manual: Chp. 5, Design. Canmet Report 77-5 126p.
- Demirbugan, M.A., 1987. Göynük (Bolu) Linyitleri maden işletme etüdü. Yüksek Mühendislik Tezi, H.Ü. Mühendislik Fak., Maden Müh. Böl., Ankara, 251 s. (yayımlanmamış).

- Diedrich, M.S., and Hoek, E., 1989. DIPS, A computer program for stereographic net (Ver.2.2, Advanced Version). Rock Engg. Group, Dept. of Civil Engg., University of Toronto, Canada.
- Ergüder, İ., Sucu, A. ve Kızıldağ, İ., 1997. Bolu - Göynük linyit sahası A Panosu jeolojik - jeofizik rezistivite etüt raporu. TKİ Raporu, 6s (yayımlanmamış).
- Ergüder, İ. ve Kızıldağ, İ., 1998. Bolu - Göynük Himmetoğlu linyit sahası A Panosu doğusu jeofizik rezistivite etüdü. TKİ Raporu, 7s (yayımlanmamış).
- Fookes, P.G., Reeves, B.J., and Dearmen, W.R., 1977. The design and construction of a rock slope in weathered slate at Fowey, Southwest England. *Geotechnique*, 27, 533-556.
- Golden Software Inc., 1990. SURFER Reference Manual. USA, 285 p.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., and Ercanoğlu, M., 1999. Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of Altındağ (Settlement) Region (Turkey). *Engineering Geology* (in press).
- Hoek, E. and Bray, J.W., 1981. *Rock Slope Engineering*. Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons Ltd., 3rd edition, London, 358p.
- Hoek, E., 1987. General two-dimensional slope stability analysis. *In Analytical and Computational Methods in Engineering Rock Mechanics*, E. T. Brown (ed.), Allen and Unwin, London, 95-128.
- Huang, Y.H., 1983. *Stability Analysis of Earth Slopes*. Van Nostrand Reinhold Comp., New York, 305 p.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods*. Pergamon Press, Oxford, E.T. Brown (ed.), 211 p.

- Juang, C.H, Jhi, Y.Y., and Lee, D.H., 1998. Stability of existing slopes considering uncertainty. *Engineering Geology*, 49, 11-122.
- Ketin, I., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. *MTA Dergisi*, 66, 20-34.
- Mc Mahon, B. K., 1971. A statistical method for the design of rock slopes. *Proc. 1st Australia- New Zealand Geomechanics Conf.*, Melbourne, 314-321.
- Mc Mahon, B. K., 1975. Probability of failure and expected volume of failure in high rock slopes. *Proc. 2nd Australia- New Zealand Geomechanics*, Brisbane, 308-314.
- McPhail, G. I., and Fourie, A. B., 1980. A practical application of probabilistic slope stability analysis methods. *Proc. South African Geotechnical Conference*, Silverton, 65-77.
- Miller, S. M., 1983. Probabilistic analysis of bench stability for use in designing open pit mine slopes. *Proc. 24th U.S. Symp. on Rock Mechanics*, Texas, 621-629.
- Pine, R. J., 1992 Risk analysis design applications in mining geomechanics. *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. A: Min. industry)*, 101, A149-A158.
- Piteau, D. R., and Martin, D. C., 1977. Slope stability and design based on probability techniques at Cassier mine. *CIM Bulletin*, 70, 139-150.
- Priest, S.D., and Brown, E.T., 1983. Probabilistic stability analysis of variable rock slopes. *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. A: Min. industry)*, 92, A1-A12.
- Randot, J., 1955. Göynük yakınında Kuyupınar-Himmetoğlu-Bölücekova linyit zuhurları. *MTA Raporu*, Derleme No: 2432, (yayımlanmamış).
- Sah. N. K., Singh, V. K., and Baliga, B. D., 1989. Study of variation in strength parameters prior to slope analysis. *Mining Science and Technology*. 9, 19-22.

- Sancio, R.T., 1981. The use of back-calculations to obtain the shear and tensile strength of weathered rocks. Proc.Int. Symp. on Weak Rocks, Tokyo, 21-24 Sept. 1981, V. 2, 647-652.
- Saner, S., 1980. Mudurnu-Göynük havzasının Jura ve sonrası çökelim nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlaması. TJK Bülteni, 23 (1), 39-53.
- Sarı, A., 1985. Himmetoğlu yöresinin ekonomik jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, 34 s (yayımlanmamış).
- Sarma, S.K., 1973. Stability analysis of embankments and slopes. Geotechnique, 23 (3), 423-433.
- Sarma, S.K., 1979. Stability analysis of embankments and slopes. J. Geotech. Engng. Div. ASCE, 105, (GT 12), 1511-1524.
- Sönmez, 1996. TKİ-ELİ Soma Linyitleri Açık İşletmelerinde Eklemlili Kaya Kütlesi İçindeki Şevlerin Duraylılığının Değerlendirilmesi. H.Ü. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara, 99s (yayımlanmamış).
- Stchepinsky, V., 1940. Göynük-Mudurnu-Nallıhan'ın umumi jeolojisi hakkında. MTA Raporu, Derleme No.:975 (yayımlanmamış).
- STSC Inc., 1991. Statgraphics: Statistical Procedures Reference Manual. Vol. 5.0, 1750p.
- Şener, M., 1992. Himmetoğlu (Bolu-Göynük) Neojen baseninin jeolojik-mineralojik ve jeokimyasal incelemesi. Doktora Tezi, H.Ü. Müh. Fak., Jeoloji Müh. Böl., 145 s (yayımlanmamış).
- Taka, M., 1988. Himmetoğlu (Göynük-Bolu) sahasının bitümlü şeyl olanakları ve sondajları. MTA Raporu, Derleme No.:8533 (yayımlanmamış).
- Tuncalı, E., Gürsoy, N. ve Gürsoy, B., 1986. Bolu-Göynük-Himmetoğlu sahasının sondajlı kömür aramaları raporu. MTA Raporu, 16 s (yayımlanmamış).

- Turgut, A. ve Dümenci, S., 1980. Bolu-Göynük linyit havzasına ait jeolojik rapor. MTA Raporu, Derleme No.: 6885 (yayımlanmamış).
- Ulusay, R., 1991. Geotechnical evaluation and deterministic design considerations for pitwall slopes at Eskihisar (Yatağan-Muğla) strip coal mine. PhD Thesis, Middle East Technical University, 340 p. (yayımlanmamış).
- Ulusay, R., and Doyuran, V., 1993. Characteristics of a multiple retrogressive failure in a coal mine in southwest Turkey. *Engineering Geology*, 36 (1/2), 79 - 89.
- Ulusay, R., and Yoleri, M.F., 1993. Shear strength characteristics of discontinuities in weak, stratified, and clay-bearing coal measures encountered in Turkish surface coal mining. *Bull. of the Int. Assoc. of Engng. Geol.*, 48, 109-117.
- Ulusay, R., Yoleri, M.F., and Doyuran, V., 1993. Application of a rock buttress in the design of slopes of a strip coal mine adjacent to a highway. *Canadian Geotechnical Journal*, 20 (3), 391 - 408.
- Ulusay, R., Çağlan, D., Arıkan, F., and Yoleri, M.F., 1996, Characteristics of bi-planar wedge spoil pile instabilities with particular reference to the analysis of methods to improve stability of piles adjacent to highwalls. *Canadian Geotechnical Journal*, 33, 58-79.
- Ulusay, R., Ekmekçi, M., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Tuncay, E. ve Erdoğan, S., 1998a. TKİ Himmetoğlu (Göynük-Bolu) linyit açık işletmesi şev duraylılığı projesi (1. Aşama: A panosu şevlerinin duraylılığı). Proje No. 97-0056, 245s (yayımlanmamış).
- Ulusay, R., Ekmekçi, M., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., ve Tuncay, E., 1998b. TKİ Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesi Şev Duraylılığı Projesi (2. Aşama : Sahanın Doğu Kesiminde Yapılacak İşletme

Kazısının Şev Duraylılığı Açısından Değerlendirilmesi). Proje No. 97-0056, 76s. (yayımlanmamış).

Whittlestone, J. D., Johson, J. D., Rogers, M. E., and Pine, R. J., 1995. Probabilistic risk analysis of slope stability. Trans. Instr. Min. Metall. (Sect. A:Min. Industry), 104, A19-A24.

Wu, T. H., and Kraft, L. M., 1970. Safety analysis of slopes. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 96 (SM2), 609-630

YUVAM, 1988. Bİ Müessesesi Göynük Bölgesi hidrojeoloji ve kaya mekaniği ara raporu. YUVAM 1608-88/05, 14s (yayımlanmamış).

YUVAM, 1989. Bİ Müessesesi Göynük Bölgesi hidrojeoloji ve kaya mekaniği etüdü proje raporu. YUVAM 1608-88/05, 23s (yayımlanmamış).

Zanbak, C., 1977. Statistical interpretation of discontinuity contour diagrams. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 14, 114-120.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ergün Tuncay

Doğum Yeri ve Yılı: Eskişehir, 01.01.1973

Medeni Hali: Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1986-1990 Anadolu Meteoroloji Meslek Lisesi

Lisans 1991-1995 Karadeniz Teknik Üniversitesi

Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1995- Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi: 1990-1997 Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

(1990-1995 Teknisyen, 1995-1997 Mühendis)

1997- Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi

A) BİLDİRİLER

- 1) Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. ve Tuncay, E., 1999. Şevlerde Aktif-Pasif Kama Duraysızlık Mekanizmasının geriye dönük analiz ve izleme teknikleriyle araştırılması: Himmetoğlu Linyit İşletmesi Örneği, Heyelan' 99, Türkiye 3. Ulusal Heyelan Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Adana, Bildiri Özleri Kitabı,20-21.

B) RAPORLAR

a) Araştırma Raporu

- 1) Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Sönmez, H., and Tuncay, E., 1998. A site investigation of Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998. Turkish Earthquake Foundation, Report No.: TDV/DR 006-30,129 pp.

b) Proje Raporları

- 1) 1998: TKİ Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesi Şev Duraylılığı Projesi (1. Aşama: A Panosu Şevlerinin Duraylılığı), Proje No.: 97-0056, 245 s.
- 2) 1998: TKİ Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Linyit Açık İşletmesi Şev Duraylılığı Projesi (2. Aşama: Sahanın doğu kesiminde yapılacak işletme kazısının şev duraylılığı açısından değerlendirilmesi), Proje No.: 97-0056, 126 s.

D) ÜYESİ OLDUĞU MESLEKİ DERNEKLER

- 1) METLİS-DER (Meteoroloji Meslek Lisesi Mezunları Derneği)
- 2) TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

C) DİĞER FAALİYETLERİ:

- 1998- : MAVİ GEZEĞEN Dergisi Yayın Kurulu Üyesi

EK 2

LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI

EK 2.1: Himmetoğlu formasyonunda yeralan mamlara ait birim hacim ağırlık tayinlerinin sonuçları

Örnek No.	Yoğunluk (g/cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Örnek No.	Yoğunluk (g/cm ³)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)
BLK2-A	2.01	19.69	DIS10-D	1.88	18.43
BLK2-B	1.97	19.31	DIS10-E	1.83	17.96
BLK3-A	1.71	16.80	DIS10-G	1.82	17.90
BLK3-B	1.76	17.26	DIS10-H	1.78	17.48
BLK4-A	1.83	17.91	DIS11-A	1.96	19.2
BLK4-B	1.91	18.76	DIS11-B	2.02	19.78
BLK4-C	1.94	18.98	DIS11-C	1.90	18.68
BLK4-D	1.84	18.10	DIS11-D	1.91	18.73
BLK4-E	1.78	17.44	DIS12-A	1.87	18.38
BLK4-F	1.84	18.03	DIS12-B	1.89	18.53
BLK4-G	1.82	17.88	DIS12-C	1.88	18.45
BLK4-H	1.93	18.91	DIS12-D	1.96	19.26
BLK4-I	1.78	17.48	DIS13-A	1.88	18.50
BLK4-J	1.84	18.05	DIS13-B	1.74	17.11
DIS3-C	1.87	18.31	DIS14-A	1.97	19.35
DIS3-D	1.81	17.78	DIS14-B	1.80	17.61
DIS3-E	1.79	17.58	DIS5	1.87	18.32
DIS3-F1	1.86	18.28	DIS15-A	1.94	19.00
DIS3-F2	1.86	18.23	DIS15-B	1.99	19.50
DIS7-A	1.96	19.20	DIS16	1.87	18.35
DIS7-B	2.02	19.78			
DIS7-C	2.03	19.87			
DIS7-E	2.03	19.96			
DIS9-B1	1.83	17.94			
DIS9-B2	1.88	17.49			
DIS9-B3	1.89	18.51			
DIS9-B4	1.88	18.4			
DIS10-A	1.85	18.17			
DIS10-B	1.80	17.67			
DIS10-C	1.86	18.2			

EK 2.2: Marnlardaki kaygan-parlak tabaka yüzeylerinden hazırlanmış deney setlerinin doğrusal yenilme zarflarından tayin edilmiş makaslama dayanımı parametreleri

Örnek No.	Makaslama Dayanımı					
	Doruk			Artık		
	c (kpa)	ϕ (°)	r*	c (kPa)	ϕ (°)	r*
DİS10	3.0	17.75	0.96	1.02	10.6	0.99
DİS3-A	3.13	17.2	0.99	2.15	9.58	0.98
DİS3-B	6.49	14.95	0.99	1.50	9	0.99
DİS18-A	6.49	14.2	1	2.59	11.66	1
DİS18-B	5.31	18.7	0.99	1.91	18.68	0.94
DİS6-A	5.4	15.1	0.90	1.11	11.1	0.91
DİS6-B	4.42	17.0	0.96	3.72	8.73	0.99
DİS13-A	3.8	19.6	0.99	3.02	10.23	0.99
DİS13-B	5.0	19.2	0.97	0.77	9.85	0.97
DİS13-C	4.40	14.07	0.98	1.64	10.17	0.99
DİS14-A	7.9	14.3	0.99	2.37	9.71	0.99
DİS14-B	3.2	15.3	0.95	0.27	11	0.97
DİS15-A	7.00	15.07	0.97	2.36	9.32	0.99
DİS15-B	4.94	17.3	0.99	0.65	10.6	0.99
DİS15-C	3.12	17.19	0.96	1.70	10.5	0.99
DİS16-A	3.92	19.54	0.98	2.0	9.25	0.95
DİS16-B	3.77	14.9	0.99	1.16	12.04	1
DİS16-C	5.74	17.45	1	1.99	9.64	0.99
DİS16-D	3.27	18.34	0.99	1.39	10.49	0.97
DİS17-A	3.99	17.57	0.99	2.83	9.11	0.99
DİS17-B	3.3	18.77	1	2.83	8.27	0.99
DİS17-C	7.1	16.5	0.99	2.50	10	0.98
DİS19-A	6.5	20.0	0.98	3.40	10.5	0.96
DİS19-B	8.1	17.3	0.99	3.20	10.85	0.99
DİS19-C	3.2	15.1	0.97	2.10	10.1	0.97

* Korelasyon katsayısı

EK 2.3: Himmetoğlu açık işletmesinde gözlenen zemin türü birimlere ait örneklerin yoğunluk, birim hacim ağırlık ve nem içeriği değerleri

rnek No.	Nem içeriği (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Ortalama	
Fay killi	FK1-B	33.4	1.73	17.0	17.6
	FK1-C	29.8	1.83	17.92	
	FK2-A	32.4	1.79	17.54	
	FK2-B	41.3	1.75	17.20	
	FK2-C	41.7	1.74	17.10	
	FAY6-A	33.2	1.74	17.11	
	FAY6-B	40.7	1.73	16.94	
	FAY6-C	35.2	1.76	17.26	
	FK6-A	33.2	1.84	18.04	
	FK6-B	28.2	1.84	18.05	
	FK6-C	33.5	1.89	18.50	
	FK6-D	-	1.84	18.02	
Alvyon (İnce taneli kesim)	HEY1-A	16.0	1.76	17.22	17.92
	HEY1-B	15.0	1.7	16.68	
	HEY1-D	12.4	1.69	16.62	
	HEY1-E	14.3	1.76	17.28	
	HEY2-B	20.0	1.88	18.39	
	HEY2-C	18.6	1.84	18.08	
	HEY2-D	32.5	1.84	18.04	
	GSEV2-A	26.6	2.05	20.08	
	GSEV2-B	22.3	1.92	18.80	
	GSEV2-C	22.9	1.99	19.51	
	AL1-E	19.4	1.97	12.30	
	GSEV1-A	33.8	1.65	16.23	
	GSEV1-B	30.7	1.79	17.54	
	GSEV1-E	26.4	1.75	17.17	
	Alüvyon (İri taneli kesim)	GAL2-C1	26.1	1.95	
GAL2-C2		26.6	2.04	19.98	
GAL2-C3		26.7	1.99	19.57	
GAL2-C4		-	2.00	19.58	
GAL2-C5		-	2.04	20.00	

Örnek No.		Nem içeriği (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Ortalama
Taban killi	TBN2-A	42.4	1.77	17.39	17.4
	TBN2-B	52.1	1.76	17.27	
	TBN2-C	43.8	1.79	17.56	
	TBN2-D	47.3	1.75	17.17	
	TBN2-E	43.7	1.74	17.08	
	TBN2-F	46.2	1.82	17.81	

EK 2.4:Himmetoğlu Linyit İşletmesindeki zemin türü birimlere ait örneklerin doğrusal yenilme zarfına göre belirlenmiş makaslama dayanımı parametreleri

Zemin Türü	Örnek No	Makaslama Dayanımı					
		Doruk			Artık		
		c (Kpa)	ϕ (°)	r*	c (kPa)	ϕ (°)	r*
Fay Malzemesi	FK1	12.7	26.2	0.92	10.1	23.9	0.92
	FK2	12.3	24.8	1.00	10.7	23.3	0.99
	FK6	20.3	17.6	0.97	18.5	17.6	0.97
	FAY6	13.8	16.9	0.83	10.2	16.8	0.83
Taban Kili	TBN2(C,D,F)	12.4	20.1	0.99	12.3	16.0	0.96
	TBN2(A,B,F)	17.4	12.6	0.94	15.5	12.5	0.99
Alüvyon (İnce taneli)	HEY1	11.9	32.5	0.99	2.8	32.1	0.98
	HEY2	10.1	32.3	0.99	2.4	32.1	0.98
	GSEV2	19.1	32.1	0.83	4.3	30.1	0.99

* Korelasyon katsayısı

EK 3

**OLASILIĞA DAYALI ANALİZLERDE
KULLANILAN MAKASLAMA DAYANIMI
PARAMETRE (c, ϕ) ÇİFTLERİ VE
GÜVENLİK KATSAYISI BAZINDA
ANALİZ SONUÇLARI**

EK 3.1: Olasılığa dayalı analizlerde kullanılması amacıyla makaslama dayanımlarının kümülatif olasılık eğrilerinden belirli bir sistematikte belirlenmiş c - ϕ veri çiftleri

ϕ (°)	c (kPa)	ϕ (°)	c (kPa)
12.39	4.09	10.14	1.72
12.39	3.04	10.14	1.4
12.39	2.61	10.14	0.98
12.39	2.29	10.14	0
12.39	2	9.83	4.09
12.39	1.72	9.83	3.04
12.39	1.4	9.83	2.61
12.39	0.98	9.83	2.29
12.39	0	9.83	2
11.26	4.09	9.83	1.72
11.26	3.04	9.83	1.4
11.26	2.61	9.83	0.98
11.26	2.29	9.83	0
11.26	2	9.49	4.09
11.26	1.72	9.49	3.04
11.26	1.4	9.49	2.61
11.26	0.98	9.49	2.29
11.26	0	9.49	2
10.79	4.09	9.49	1.72
10.79	3.04	9.49	1.4
10.79	2.61	9.49	0.98
10.79	2.29	9.49	0
10.79	2	9.03	4.09
10.79	1.72	9.03	3.04
10.79	1.4	9.03	2.61
10.79	0.98	9.03	2.29
10.79	0	9.03	2
10.45	4.09	9.03	1.72
10.45	3.04	9.03	1.4
10.45	2.61	9.03	0.98
10.45	2.29	9.03	0
10.45	2	7.89	4.09
10.45	1.72	7.89	3.04
10.45	1.4	7.89	2.61
10.45	0.98	7.89	2.29
10.45	0	7.89	2
10.14	4.09	7.89	1.72
10.14	3.04	7.89	1.4
10.14	2.61	7.89	0.98
10.14	2.29	7.89	0
10.14	2		

EK 3.2: Güney şevinde kazıya devam edilmeden şevin güncel konumu için gerçekleştirilmiş olasılığa dayalı analizlerden sonrasında elde edilen güvenlik katsayısı (F) değerleri

ϕ (°)	c (kPa)	F	ϕ (°)	c (kPa)	F
12.39	4.09	1.36	10.14	1.72	1.07
12.39	3.04	1.33	10.14	1.4	1.06
12.39	2.61	1.32	10.14	0.98	1.04
12.39	2.29	1.31	10.14	0	1.02
12.39	2	1.3	9.83	4.09	1.1
12.39	1.72	1.29	9.83	3.04	1.08
12.39	1.4	1.28	9.83	2.61	1.06
12.39	0.98	1.27	9.83	2.29	1.05
12.39	0	1.25	9.83	2	1.04
11.26	4.09	1.24	9.83	1.72	1.03
11.26	3.04	1.22	9.83	1.4	1.02
11.26	2.61	1.21	9.83	0.98	1.01
11.26	2.29	1.2	9.83	0	0.99
11.26	2	1.19	9.49	4.09	1.07
11.26	1.72	1.18	9.49	3.04	1.05
11.26	1.4	1.17	9.49	2.61	1.03
11.26	0.98	1.15	9.49	2.29	1.02
11.26	0	1.13	9.49	2	1.01
10.79	4.09	1.2	9.49	1.72	1.01
10.79	3.04	1.18	9.49	1.4	1
10.79	2.61	1.16	9.49	0.98	0.98
10.79	2.29	1.15	9.49	0	0.96
10.79	2	1.14	9.03	4.09	1.02
10.79	1.72	1.13	9.03	3.04	1
10.79	1.4	1.12	9.03	2.61	0.99
10.79	0.98	1.11	9.03	2.29	0.98
10.79	0	1.09	9.03	2	0.97
10.45	4.09	1.16	9.03	1.72	0.96
10.45	3.04	1.14	9.03	1.4	0.95
10.45	2.61	1.13	9.03	0.98	0.93
10.45	2.29	1.12	9.03	0	0.91
10.45	2	1.11	7.89	4.09	0.91
10.45	1.72	1.1	7.89	3.04	0.89
10.45	1.4	1.09	7.89	2.61	0.87
10.45	0.98	1.07	7.89	2.29	0.86
10.45	0	1.05	7.89	2	0.86
10.14	4.09	1.13	7.89	1.72	0.85
10.14	3.04	1.11	7.89	1.4	0.84
10.14	2.61	1.09	7.89	0.98	0.83
10.14	2.29	1.08	7.89	0	0.8
10.14	2	1.08			

EK 3.3: Güney şevinde 1. şev geometrisi için gerçekleştirilmiş olasılığa dayalı analizlerden elde edilen güvenlik katsayısı (F) değerleri

ϕ (°)	c (kPa)	F	ϕ (°)	c (kPa)	F
12.39	4.09	1.24	10.14	1.72	0.96
12.39	3.04	1.21	10.14	1.4	0.95
12.39	2.61	1.2	10.14	0.98	0.94
12.39	2.29	1.19	10.14	0	0.91
12.39	2	1.18	9.83	4.09	1.01
12.39	1.72	1.17	9.83	3.04	0.98
12.39	1.4	1.16	9.83	2.61	0.97
12.39	0.98	1.15	9.83	2.29	0.96
12.39	0	1.12	9.83	2	0.95
11.26	4.09	1.14	9.83	1.72	0.94
11.26	3.04	1.11	9.83	1.4	0.93
11.26	2.61	1.1	9.83	0.98	0.91
11.26	2.29	1.09	9.83	0	0.88
11.26	2	1.08	9.49	4.09	0.98
11.26	1.72	1.07	9.49	3.04	0.95
11.26	1.4	1.06	9.49	2.61	0.93
11.26	0.98	1.04	9.49	2.29	0.92
11.26	0	1.01	9.49	2	0.91
10.79	4.09	1.1	9.49	1.72	0.9
10.79	3.04	1.07	9.49	1.4	0.89
10.79	2.61	1.05	9.49	0.98	0.88
10.79	2.29	1.04	9.49	0	0.85
10.79	2	1.03	9.03	4.09	0.94
10.79	1.72	1.02	9.03	3.04	0.91
10.79	1.4	1.01	9.03	2.61	0.89
10.79	0.98	1	9.03	2.29	0.88
10.79	0	0.97	9.03	2	0.87
10.45	4.09	1.07	9.03	1.72	0.86
10.45	3.04	1.03	9.03	1.4	0.85
10.45	2.61	1.02	9.03	0.98	0.84
10.45	2.29	1.01	9.03	0	0.81
10.45	2	1	7.89	4.09	0.84
10.45	1.72	0.99	7.89	3.04	0.81
10.45	1.4	0.98	7.89	2.61	0.79
10.45	0.98	0.97	7.89	2.29	0.78
10.45	0	0.94	7.89	2	0.77
10.14	4.09	1.04	7.89	1.72	0.76
10.14	3.04	1.01	7.89	1.4	0.75
10.14	2.61	0.99	7.89	0.98	0.72
10.14	2.29	0.98	7.89	0	0.71
10.14	2	0.97			

EK 3.4: Güney şevinde 2. şev geometrisi için gerçekleştirilmiş olasılığa dayalı analizlerden elde edilen güvenlik katsayısı (F) değerleri

ϕ (°)	c (kPa)	F	ϕ (°)	c (kPa)	F
12.39	4.09	1.24	10.14	1.72	0.96
12.39	3.04	1.22	10.14	1.4	0.95
12.39	2.61	1.2	10.14	0.98	0.94
12.39	2.29	1.19	10.14	0	0.91
12.39	2	1.18	9.83	4.09	1.01
12.39	1.72	1.17	9.83	3.04	0.98
12.39	1.4	1.16	9.83	2.61	0.97
12.39	0.98	1.15	9.83	2.29	0.96
12.39	0	1.12	9.83	2	0.95
11.26	4.09	1.14	9.83	1.72	0.94
11.26	3.04	1.11	9.83	1.4	0.93
11.26	2.61	1.1	9.83	0.98	0.91
11.26	2.29	1.09	9.83	0	0.88
11.26	2	1.08	9.49	4.09	0.98
11.26	1.72	1.07	9.49	3.04	0.95
11.26	1.4	1.06	9.49	2.61	0.93
11.26	0.98	1.03	9.49	2.29	0.92
11.26	0	1.01	9.49	2	0.91
10.79	4.09	1.1	9.49	1.72	0.9
10.79	3.04	1.07	9.49	1.4	0.89
10.79	2.61	1.05	9.49	0.98	0.88
10.79	2.29	1.04	9.49	0	0.85
10.79	2	1.03	9.03	4.09	0.94
10.79	1.72	1.02	9.03	3.04	0.91
10.79	1.4	1.01	9.03	2.61	0.89
10.79	0.98	1	9.03	2.29	0.88
10.79	0	0.97	9.03	2	0.87
10.45	4.09	1.07	9.03	1.72	0.86
10.45	3.04	1.04	9.03	1.4	0.85
10.45	2.61	1.02	9.03	0.98	0.84
10.45	2.29	1.01	9.03	0	0.81
10.45	2	1	7.89	4.09	0.84
10.45	1.72	0.99	7.89	3.04	0.81
10.45	1.4	0.98	7.89	2.61	0.79
10.45	0.98	0.97	7.89	2.29	0.78
10.45	0	0.94	7.89	2	0.77
10.14	4.09	1.04	7.89	1.72	0.76
10.14	3.04	1.01	7.89	1.4	0.75
10.14	2.61	0.99	7.89	0.98	0.73
10.14	2.29	0.97	7.89	0	0.71
10.14	2	0.96			

EK 3.5: Güney şevinde 3. şev geometrisi için gerçekleştirilmiş olasılığa dayalı analizlerden elde edilen güvenlik katsayısı (F) değerleri

ϕ (°)	c (kPa)	F	ϕ (°)	c (kPa)	F
12.39	4.09	1.3	10.14	1.72	1
12.39	3.04	1.27	10.14	1.4	0.99
12.39	2.61	1.25	10.14	0.98	0.97
12.39	2.29	1.24	10.14	0	0.94
12.39	2	1.23	9.83	4.09	1.06
12.39	1.72	1.22	9.83	3.04	1.03
12.39	1.4	1.21	9.83	2.61	1.01
12.39	0.98	1.19	9.83	2.29	1
12.39	0	1.16	9.83	2	0.99
11.26	4.09	1.14	9.83	1.72	0.98
11.26	3.04	1.13	9.83	1.4	0.96
11.26	2.61	1.12	9.83	0.98	0.94
11.26	2.29	1.11	9.83	0	0.91
11.26	2	1.1	9.49	4.09	1.03
11.26	1.72	1.08	9.49	3.04	1
11.26	1.4	1.05	9.49	2.61	0.98
11.26	0.98	1.15	9.49	2.29	0.96
11.26	0	1.12	9.49	2	0.95
10.79	4.09	1.1	9.49	1.72	0.94
10.79	3.04	1.09	9.49	1.4	0.93
10.79	2.61	1.08	9.49	0.98	0.91
10.79	2.29	1.07	9.49	0	0.88
10.79	2	1.06	9.03	4.09	0.98
10.79	1.72	1.04	9.03	3.04	0.95
10.79	1.4	1.01	9.03	2.61	0.93
10.79	0.98	1.12	9.03	2.29	0.92
10.79	0	1.08	9.03	2	0.91
10.45	4.09	1.12	9.03	1.72	0.9
10.45	3.04	1.08	9.03	1.4	0.89
10.45	2.61	1.06	9.03	0.98	0.87
10.45	2.29	1.05	9.03	0	0.84
10.45	2	1.04	7.89	4.09	0.88
10.45	1.72	1.03	7.89	3.04	0.85
10.45	1.4	1.02	7.89	2.61	0.83
10.45	0.98	1	7.89	2.29	0.81
10.45	0	0.97	7.89	2	0.8
10.14	4.09	1.09	7.89	1.72	0.79
10.14	3.04	1.05	7.89	1.4	0.78
10.14	2.61	1.03	7.89	0.98	0.76
10.14	2.29	1.02	7.89	0	0.73
10.14	2	1.01			

EK 3.6: Güney şevinde 4. şev geometrisi için gerçekleştirilmiş olasılığa dayalı analizlerden elde edilen güvenlik katsayısı (F) değerleri

ϕ (°)	c (kPa)	F	ϕ (°)	c (kPa)	F
12.39	4.09	1.46	10.14	1.72	1.12
12.39	3.04	1.41	10.14	1.4	1.1
12.39	2.61	1.39	10.14	0.98	1.08
12.39	2.29	1.38	10.14	0	1.04
12.39	2	1.37	9.83	4.09	1.19
12.39	1.72	1.36	9.83	3.04	1.15
12.39	1.4	1.34	9.83	2.61	1.13
12.39	0.98	1.32	9.83	2.29	1.11
12.39	0	1.28	9.83	2	1.1
11.26	4.09	1.34	9.83	1.72	1.09
11.26	3.04	1.3	9.83	1.4	1.07
11.26	2.61	1.28	9.83	0.98	1.05
11.26	2.29	1.26	9.83	0	1.01
11.26	2	1.25	9.49	4.09	1.15
11.26	1.72	1.24	9.49	3.04	1.11
11.26	1.4	1.22	9.49	2.61	1.09
11.26	0.98	1.2	9.49	2.29	1.07
11.26	0	1.16	9.49	2	1.06
10.79	4.09	1.29	9.49	1.72	1.05
10.79	3.04	1.25	9.49	1.4	1.03
10.79	2.61	1.23	9.49	0.98	1.01
10.79	2.29	1.21	9.49	0	0.97
10.79	2	1.2	9.03	4.09	1.11
10.79	1.72	1.19	9.03	3.04	1.07
10.79	1.4	1.17	9.03	2.61	1.04
10.79	0.98	1.15	9.03	2.29	1.02
10.79	0	1.11	9.03	2	1.01
10.45	4.09	1.26	9.03	1.72	1
10.45	3.04	1.21	9.03	1.4	0.98
10.45	2.61	1.19	9.03	0.98	0.96
10.45	2.29	1.17	9.03	0	0.93
10.45	2	1.16	7.89	4.09	0.99
10.45	1.72	1.14	7.89	3.04	0.95
10.45	1.4	1.12	7.89	2.61	0.93
10.45	0.98	1.1	7.89	2.29	0.91
10.45	0	1.07	7.89	2	0.9
10.14	4.09	1.22	7.89	1.72	0.89
10.14	3.04	1.18	7.89	1.4	0.87
10.14	2.61	1.16	7.89	0.98	0.85
10.14	2.29	1.14	7.89	0	0.81
10.14	2	1.13			

EK 3.7: Güney şevinde 5. şev geometrisi için gerçekleştirilmiş olasılığa dayalı analizlerden elde edilen güvenlik katsayısı (F) değerleri

ϕ (°)	c (kPa)	F	ϕ (°)	c (kPa)	F
12.39	4.09	1.7	10.14	1.72	1.29
12.39	3.04	1.64	10.14	1.4	1.27
12.39	2.61	1.62	10.14	0.98	1.24
12.39	2.29	1.6	10.14	0	1.19
12.39	2	1.58	9.83	4.09	1.39
12.39	1.72	1.56	9.83	3.04	1.34
12.39	1.4	1.55	9.83	2.61	1.31
12.39	0.98	1.52	9.83	2.29	1.29
12.39	0	1.47	9.83	2	1.27
11.26	4.09	1.56	9.83	1.72	1.25
11.26	3.04	1.5	9.83	1.4	1.23
11.26	2.61	1.48	9.83	0.98	1.2
11.26	2.29	1.46	9.83	0	1.16
11.26	2	1.44	9.49	4.09	1.35
11.26	1.72	1.42	9.49	3.04	1.3
11.26	1.4	1.4	9.49	2.61	1.27
11.26	0.98	1.38	9.49	2.29	1.25
11.26	0	1.33	9.49	2	1.23
10.79	4.09	1.5	9.49	1.72	1.21
10.79	3.04	1.45	9.49	1.4	1.19
10.79	2.61	1.43	9.49	0.98	1.16
10.79	2.29	1.41	9.49	0	1.12
10.79	2	1.39	9.03	4.09	1.29
10.79	1.72	1.37	9.03	3.04	1.24
10.79	1.4	1.35	9.03	2.61	1.21
10.79	0.98	1.32	9.03	2.29	1.19
10.79	0	1.27	9.03	2	1.17
10.45	4.09	1.46	9.03	1.72	1.15
10.45	3.04	1.41	9.03	1.4	1.13
10.45	2.61	1.38	9.03	0.98	1.11
10.45	2.29	1.36	9.03	0	1.06
10.45	2	1.34	7.89	4.09	1.16
10.45	1.72	1.32	7.89	3.04	1.11
10.45	1.4	1.3	7.89	2.61	1.08
10.45	0.98	1.27	7.89	2.29	1.06
10.45	0	1.23	7.89	2	1.04
10.14	4.09	1.43	7.89	1.72	1.02
10.14	3.04	1.38	7.89	1.4	1
10.14	2.61	1.35	7.89	0.98	0.97
10.14	2.29	1.33	7.89	0	0.93
10.14	2	1.31			

EK 3.8: Güney şevinde 3-3' kesitinde güvenli şev geometrisi için gerçekleştirilmiş olasılığa dayalı analizlerden elde edilen güvenlik katsayısı (F) değerleri

ϕ (°)	c (kPa)	F	ϕ (°)	c (kPa)	F
12.39	4.09	1.74	10.14	1.72	1.29
12.39	3.04	1.66	10.14	1.4	1.26
12.39	2.61	1.62	10.14	0.98	1.23
12.39	2.29	1.6	10.14	0	1.15
12.39	2	1.57	9.83	4.09	1.44
12.39	1.72	1.55	9.83	3.04	1.36
12.39	1.4	1.52	9.83	2.61	1.32
12.39	0.98	1.49	9.83	2.29	1.3
12.39	0	1.41	9.83	2	1.27
11.26	4.09	1.61	9.83	1.72	1.25
11.26	3.04	1.52	9.83	1.4	1.22
11.26	2.61	1.49	9.83	0.98	1.19
11.26	2.29	1.46	9.83	0	1.11
11.26	2	1.44	9.49	4.09	1.4
11.26	1.72	1.42	9.49	3.04	1.32
11.26	1.4	1.39	9.49	2.61	1.28
11.26	0.98	1.36	9.49	2.29	1.25
11.26	0	1.28	9.49	2	1.23
10.79	4.09	1.55	9.49	1.72	1.21
10.79	3.04	1.47	9.49	1.4	1.18
10.79	2.61	1.43	9.49	0.98	1.15
10.79	2.29	1.4	9.49	0	1.07
10.79	2	1.38	9.03	4.09	1.35
10.79	1.72	1.36	9.03	3.04	1.27
10.79	1.4	1.33	9.03	2.61	1.23
10.79	0.98	1.3	9.03	2.29	1.20
10.79	0	1.22	9.03	2	1.18
10.45	4.09	1.51	9.03	1.72	1.16
10.45	3.04	1.43	9.03	1.4	1.13
10.45	2.61	1.39	9.03	0.98	1.1
10.45	2.29	1.36	9.03	0	1.02
10.45	2	1.34	7.89	4.09	1.22
10.45	1.72	1.32	7.89	3.04	1.14
10.45	1.4	1.29	7.89	2.61	1.1
10.45	0.98	1.26	7.89	2.29	1.07
10.45	0	1.18	7.89	2	1.05
10.14	4.09	1.48	7.89	1.72	1.03
10.14	3.04	1.4	7.89	1.4	1
10.14	2.61	1.36	7.89	0.98	0.97
10.14	2.29	1.33	7.89	0	0.89
10.14	2	1.31			

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BOKÜ MANTARYON MERKEZİ