

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TAŞÖNÜ (TRABZON-ARAKLI) KALKER OCAĞINDAKİ ŞEVLERİN  
DURAYLILIK AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeoloji Müh. Kadir KARAMAN**

**HAZİRAN 2011  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TAŞÖNÜ (TRABZON-ARAKLI) KALKER OCAĞINDAKİ ŞEVLERİN  
DURAYLILIK AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**Jeoloji Müh. Kadir KARAMAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"YÜKSEK LİSANS (MADEN MÜHENDİSLİĞİ)"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11.05.2011  
Tezin Savunma Tarihi : 03.06.2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL**

**Trabzon 2011**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Kadir KARAMAN tarafından hazırlanan**

**TAŞÖNÜ (TRABZON-ARAKLI) KALKER OCAĞINDAKİ ŞEVLERİN  
DURAYLILIK AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17/05/2011 gün ve 1405 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 03/06/2011 tarihinde yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL**

*A. Kesimal*  
.....

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Bayram ERÇİKDI**

*Bayram Erçikdi*  
.....

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Emel ABDİOĞLU**

*Emel Abdioğlu*  
.....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmış ve 2008.112.008.1 nolu K.T.Ü Bilimsel Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

Çalışmanın her aşamasında bilgi, öneri ve desteğini benden esirgemeyen ve çalışma esnasında karşılaşılan güçlüklerin üstesinden gelmemde bana yardımcı olan tez hocam Prof. Dr. Ayhan KESİMAL'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince gerek laboratuarda gerekse büroda fikir ve önerilerini benden esirgemeyen oda arkadaşım Arş. Gör. Ferdi CİHANGİR'e ve çalışma boyunca karşılaştığım güçlüklerin aşılmasında bana fikir ve görüş sunan Yrd. Doç. Dr. Bayram ERÇIKDI'ya, SSPC sistemini çözmemde bana yardımcı olan Doç. Dr. Şener CERYAN'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Aşkale Çimento'nun çalışanlarına; Genel Müdür Mümin GÜN'e ve Maden Müh. Muhammed KARA'ya teşekkür ederim. Kinematik analizleri değerlendirmemde yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY'a, mineralojik analizlerde yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Emel ABDİOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Reyhan KARA GÜLBAY'a ve paleontolojik kesitlerde fosil tayini yapan Prof. Dr. Cemil YILMAZ ve Prof. Dr. Şenol ÇAPKINOĞLU'na ve zaman zaman görüşlerinden yararlandığım Arş. Gör. Ayberk KAYA'ya teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Laboratuvarda numune öğütme konusunda bana yardımcı olan Arş. Gör. İlker ERKAN'a, Arş. Gör. Ersin Yener YAZICI'ya, tane boyu analizi konusunda yardımcı olan Arş. Gör. Emine YOĞURTÇUOĞLU'na, ince kesitleri hazırlayan Mak. Müh. Murat KAYIKÇI'ya, Arş. Gör. Tuğba EROĞLU, Arş. Gör. Seda ÇELLEK, Jeoloji Yüksek Müh. İskender KURT'a ve arazide bana yardımcı olan öğrencilerime teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında sabır gösteren ve manevi her türlü fedakârlığı için sevgili annem Fatma KARAMAN, babam Musa KARAMAN'a nişanlım Dilek KARANLIK'a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca Süleyman, Eyüp ve Mustafa abime, Melek ablama ve sevgili yeğenlerime teşekkürlerimi sunarım.

Kadir KARAMAN  
Trabzon 2011

## TEZ BEYANNAMESİ

*Yüksek Lisans Tezi* olarak sunduğum “TAŞÖNÜ (TRABZON-ARAKLI) KALKER OCAĞINDAKİ ŞEVLERİN DURAYLILIK AÇISINDAN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ayhan KESİMAL ‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03/06/2011

  
Kadir KARAMAN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	1
1.3. İnceleme Alanının Genel Özellikleri.....	2
1.3.1. İklim ve Bitki Örtüsü.....	3
1.4. Şev Yenilme Türleri.....	4
1.4.1. Düzlemsel Kayma.....	4
1.4.2. Kama Tipi Yenilme.....	5
1.4.3. Devrilme Tipi Yenilme.....	6
1.4.4. Sürtünme Konisi Kavramı.....	7
1.5. Şev Emniyet Katsayısı.....	8
1.5.1.1. Düzlemsel Kayma Analizi.....	9
1.6. Şev Durulılığ Olasılık Sınıflandırma Sistemi (SSPC).....	11
1.6.1. Süreksizlik Durum Faktörünün Hesabı.....	13
1.6.2. SSPC Sisteminde Duraylılık Analizleri.....	15
1.6.2.1. Yönelime Bağlı Duraylılık.....	15
1.6.2.2. Yönelimden Bağımsız Duraylılık.....	17
1.6.3. Süreksizliklerin Durumu ve Blok Boyutu.....	18
1.6.4. SSPC Sisteminde Kaya Kütle Kohezyonu ve Sürtünme Açısı.....	19
1.6.5. SSPC Sisteminde Ayrışma, Kazı Metodu ve Şev Kaya Kütle Hesabı.....	20
1.6.6. SSPC Sisteminde Suyun Şevlerdeki Etkisi.....	22
1.7. Açık İşletmelerde Kaya Düşmeleri ve Basamak Dizaynı.....	23
1.8. Önceki Çalışmalar.....	24

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	28
2.1.	Giriş.....	28
2.2.	Jeolojik Harita Alımı.....	29
2.3.	Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması.....	29
2.4.	Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları ve Petrografik İncelemeler.....	31
2.5.	Kaya Malzemesinin İndeks ve Dayanım Özelliklerinin Bulunması.....	31
2.5.1.	Tek Eksenli Basınç Deneyi.....	32
2.5.2.	Çekme deneyi.....	33
2.5.3.	Schmidt Çekici İle Sertlik Tayini.....	34
2.5.4.	Nokta Yükleme Deneyi.....	35
2.5.5.	Eğim (Tilt) Testleri.....	37
2.5.6.	Kaya Makaslama Deneyi.....	39
2.5.7.	Suda Dağılma Deneyi.....	40
2.5.8.	Yoğunluk Deneyleri.....	41
2.6.	Zemin Örnekleri Üzerinde Yapılan Laboratuvar Deneyleri.....	42
2.6.1.	İndeks Özelliklerin ve Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi.....	42
2.6.2.	Çalışma Alanındaki Birimlerde Kil ve Erimeyen Mineral Yüzdeleri.....	45
2.7.	Süreksizlik Özelliklerinin Tayini.....	46
2.7.1.	Süreksizlik Özellikleri ve Ölçüm Yöntemi.....	46
2.7.2.	Süreksizlik ve Şevin Yönelimi.....	47
2.7.3.	Süreksizlik Ara Uzaklığı.....	48
2.7.4.	Süreksizlik Yüzeyinin Pürüzlülüğü ve Dalgalılığı.....	49
2.7.5.	Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Durumu.....	50
2.7.6.	Tabaka Kalınlığı ve Kazılabilirlik.....	51
2.8.	Ayrışma Durumu.....	53
2.8.1.	Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesinin Schmidt Çekici İle Tayini....	53
2.8.2.	Ultrasonik Darbe Hızı Deneyi İle Ayrışma Tayini.....	56
2.8.3.	Ağırlıkça Su Emme Oranı İle Ayrışma Tayini.....	58
2.9.	Duraylılık Analizleri.....	59
2.9.1.	Kinematik Analiz.....	59
2.9.2.	Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflandırma Sistemi (SSPC).....	59
2.9.3.	Sınır Denge Analizi (Deterministik).....	59
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	60

3.1.	Çalışma Alanı ve Çevresinin Stratigrafisi ve Petrografisi.....	60
3.1.1.	Çayırbağ Formasyonu.....	60
3.1.2.	Kireçhane Formasyonu.....	63
3.1.3.	Üretim Sahasındaki Birimlerin Jeolojisi.....	64
3.2.	Çalışma Alanındaki Kaya Malzemelerinin İndeks ve Mekanik Özellikleri.....	69
3.3.	Jeoteknik Birimlerin Kazılabilirliklerinin Değerlendirilmesi.....	76
3.4.	Killi Dolgularının Mühendislik Özellikleri.....	78
3.4.1.	Tane Dağılım Kıvam limitleri ve Zemin Türünün Belirlenmesi.....	78
3.5.	Çalışma Alanındaki Süreksizliklerin Jeoteknik Özellikleri.....	78
3.5.1.	Süreksizlik Ara Uzaklığı.....	79
3.5.2.	Süreksizliklerin Dolgu Durumu ve Açıklığı.....	80
3.5.3.	Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Süreksizlik Durum Faktörü.....	81
3.6.	Çalışma Alanındaki Kaya Şevlerinin Duraylılık Analizi.....	82
3.6.1.	Kinematik Analizler.....	83
3.6.2.	SSPC Sistemine Göre Duraylılık Analizleri.....	91
3.6.2.1.	SSPC Sisteminde Kayma ve Devrilme Türü Yenilmeler İçin Ek Koşullar.....	91
3.6.2.2.	Kayma ve Devrilme Türü Yenilme Analizi.....	91
3.6.2.3.	SSPC Sisteminde Referans ve Şev Kaya Kütle Hesabı.....	93
3.6.2.4.	Yönelime Bağlı Olmayan Duraylılık Analizi.....	97
3.6.2.5.	SSPC Sisteminde Şev Yüksekliği ve Şev Eğimi.....	99
3.6.3.	Üretim Sahasının Limit Denge Analizleri.....	102
3.6.4.	Heyelan Sahasındaki Şevin Limit Denge Analizleri.....	106
3.6.5.	Basamak Dizaynı.....	108
4.	SONUÇLAR.....	110
5.	KAYNAKLAR.....	112
6.	EKLER.....	120

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TAŞÖNÜ (TRABZON-ARAKLI) KALKER OCAĞINDAKİ ŞEVLERİN DURAYLILIK  
AÇISINDAN İNCELENMESİ

Kadir KARAMAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Maden Müh. Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ayhan KESİMAL  
2011, 119 Sayfa, 5 Sayfa Ek

Taşönü kalker ocağı (Trabzon-Araklı) Geç Kampaniyen-Paleosen yaşlı Kireçhane Formasyonuna ait değişik fasiyesteki kireçtaşlarında açılmıştır. Bu çalışmada, kalker ocağında heyelan sahasının güneyinde açılmakta olan kaya şevlerinin (üretim sahasında) duraylılığı şev duraylılığı olasılık sınıflandırma sistemi (SSPC) ile incelenmiştir. Ayrıca şevler kinematik analizler ve limit denge analizleri ile değerlendirilerek optimum basamak tasarımı yapılmıştır. Heyelan sahasından iki adet şev seçilerek değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Üretim sahasındaki şevlerde SSPC sistemine göre kayma ve devrilme gibi yönelime bağımlı yenilme beklenmezken, yönelimden bağımsız duraylılık değerlendirmesinde artan şev açısı ve yüksekliğiyle birlikte küçük ölçekte duraysızlıklar olabileceği belirlenmiştir.

Kinematik ve limit denge analizler hem üretim hem de heyelan sahası için gerçekleştirilmiştir. Kinematik ve limit denge analizlerine göre üretim sahasındaki şevler duraylı, heyelan sahasındaki şevler duraysızdır.

Limit denge analizlerinden, güvenli bir şev tasarımı için patlatma kaynaklı açığa çıkacak ivme büyüklüğünün 0.1 g ve daha düşük değerde olması gerektiği anlaşılmıştır. Üretim sahasında emniyetli bir çalışmanın sürdürülebilmesi için çalışma anında basamak şev açısının 75°, genel şev açısının 40°, basamak genişliği ve yüksekliğinin 8 m olması gerektiği saptanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Taşönü Kalker Ocağı, SSPC, Kinematik Analiz, Limit Denge Analizi

Master Thesis

SUMMARY

Stability Analysis of Rock Slopes in the Taşönü (Trabzon-Araklı) Limestone Quarry

Kadir KARAMAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mining Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Ayhan KESİMAL  
2011, 119 Pages, 5 Pages Appendix

The Taşönü limestone quarry (Araklı-Trabzon) was mined in Late Campanien-Paleocene aged limestone of Kireçhane Formation in various facies. In this study, stability of the rock slopes which have been excavated in the south of landslide area, were examined in terms of the slope stability probability classification system (SSPC). Additionally the slopes were evaluated based on kinematic analysis and limit equilibrium analysis, and optimum bench was designed. For these studies two slopes were chosen to evaluate in the landslide area.

The slopes excavated are not at risk along discontinuities with respect to SSPC in terms of sliding or toppling in the open pit area but there may be small failure with increasing slope angle and height for the orientation-independent stability analysis.

Kinematical and limit equilibrium slope stability analysis were performed for both excavation of benches and landslide area. According to the kinematical and limit equilibrium analysis, the slopes are stable in the excavated area and unstable in the landslide area.

From the limit equilibrium analysis, for a safe slope design, the magnitude of acceleration induced by blasting should be 0.1g, and lower. Finally, the safe bench slope angle was calculated as 75° and bench width and bench height was 8 meters whereas the safe overall slope angle was 40° during the excavation of newly opened pit area.

**Key Words:** Taşönü Limestone Quarry, SSPC, Kinematical Analysis, Limit Equilibrium Analysis

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.....	3
Şekil 2. Düzlemsel yenilme oluşturan düzlemleri gösteren enine kesit.....	5
Şekil 3. Kama tipi yenilmenin genel görünümü.....	6
Şekil 4. Devrilme tipi yenilme zarfı.....	7
Şekil 5. Sürtünme konisi kullanılarak yapılan birleşik kinematik analiz. (a) Sürtünme konisi (b) Birleşik kinematik analiz için stereografik görünüm.....	8
Şekil 6. Model I için öngörülen durum.....	9
Şekil 7. Model II için öngörülen durum.....	10
Şekil 8. SSPC sisteminde şev duraylılığını değerlendirmek için oluşturulan 3 adım yaklaşımı (Hack vd. 2003).....	12
Şekil 9. Büyük ölçekli pürüzlülük profilleri (Hack, 2002).....	14
Şekil 10. Küçük ölçekli pürüzlülük profilleri (Hack, 2002).....	15
Şekil 11. SSPC sisteminde kayma kriteri.....	16
Şekil 12. SSPC sisteminde devrilme kriteri.....	17
Şekil 13. SSPC sisteminde yönelimden bağımsız duraylılık için olasılık grafiği.....	18
Şekil 14. Süreksizlik ara uzaklığı parametresi için faktör grafiği.....	19
Şekil 15. Şev eğimine bağlı kaya hareketleri (Ritchie, 1963; Dorren, 2003).....	23
Şekil 16. Taşönü (Araklı) Kalker ocağında tanımlanan jeoteknik birimler.....	30
Şekil 17. İndeks ve mekanik deneylerin yapıldığı bazı karot örnekler.....	32
Şekil 18. Tek eksenli basınç deneyine tabi tutulan bazı örnekler (a ve b).....	33
Şekil 19. Bilgisayar kontrollü deney aleti (a) ve deney örneği (b).....	33
Şekil 20. Schmidt çekicinin arazide (a) ve laboratuvarında uygulanışı (b).....	34
Şekil 21. Nokta yükü deney aleti (a) ve deneyden sonra numunelerin görünümü (b)	36
Şekil 22. Doğal sürtünme açısını belirlemede kullanılan basit tilt test aleti.....	37
Şekil 23. Örneklerin kaya makaslama deneyi için hazırlanması (a) ve kalıplara yerleştirme işlemi (b ve c).....	40
Şekil 24. Suda dağılma deneyine tabi tutulan örnekler.....	41
Şekil 25. Şekilsiz (a) ve belirli bir şekle sahip karot numuneleri (b).....	42
Şekil 26. Laboratuvarında yapılan kıvam limitleri, deney öncesi (a) ve örneklerin etüve konuluşu (b).....	43
Şekil 27. Casagrande Plastisite Kartı (Özaydın, 1997).....	44
Şekil 28. Çalışma alanındaki jeolojik birimlerde kil ve erimeyen madde tayinleri....	46

Şekil 29.	Arazide süreksizlik ara uzaklığının görünümü.....	49
Şekil 30.	Süreksizlik yüzeyinde pürüzlülük ve dalgalılık (ISRM, 1981).....	49
Şekil 31.	Arazide büyük (a) ve küçük ölçekli pürüzlülük ölçümleri (b).....	50
Şekil 32.	Süreksizlik yüzeylerinin bozunma durumlarının tespiti (Gökçeoğlu, 1997).	56
Şekil 33.	Taze (a) ve ayrılmış örnekler (b).....	57
Şekil 34.	İnceleme alanı ve çevresinin jeolojik dikme kesiti.....	61
Şekil 35.	Çayırbağ Formasyonuna ait riyolitik, riyodasitik piroklastikler (üretim sahasının güney batısında).....	62
Şekil 36.	Üretim sahasının genel görünümü ve AA' kesit hattı.....	65
Şekil 37.	AA' hattı boyunca alınan ölçülü stratigrafik kesit.....	65
Şekil 38.	İnceleme alanında tanımlanan zonların görünümü.....	66
Şekil 39.	İnceleme alanındaki jeolojik birimlerin ince kesitte görünüşleri Br* : Bryozoa, B* :Bentik foraminifer, Bi* : Bivalu parçaları, R* : Radyolarya, E* : Ekinid parçaları, P* : Pelajik ?.....	67
Şekil 40.	Üretim sahasındaki kireçtaşlarına ait erime boşlukları (E).....	68
Şekil 41.	JTB-1'in birleşik kinematik analizi.....	84
Şekil 42.	JTB-2'nin birleşik kinematik analizi.....	85
Şekil 43.	JTB-3'ün birleşik kinematik analizi.....	86
Şekil 44.	JTB-4'ün birleşik kinematik analizi.....	87
Şekil 45.	JTB-5'in birleşik kinematik analizi.....	88
Şekil 46.	JTB-6'nın birleşik kinematik analizi.....	89
Şekil 47.	JTB-7'nin birleşik kinematik analizi.....	90
Şekil 48.	Kayma türü yenilme analiz grafiği.....	92
Şekil 49.	Devrilme türü yenilme analiz grafiği.....	93
Şekil 50.	SSPC sisteminde kohezyonun farklı koşullara göre değişimi.....	96
Şekil 51.	SSPC sisteminde içsel sürtünme açısının farklı koşullara göre değişimi.....	96
Şekil 52.	Yüzeylemiş kaya kütesine göre yönelimden bağımsız duraylılık olasılığı.....	98
Şekil 53.	Şev kaya kütesine göre yönelimden bağımsız duraylılık olasılığı.....	99
Şekil 54.	Yüzeylemiş kaya kütle özelliklerine göre maksimum şev yüksekliği.....	101
Şekil 55.	Şev kaya kütle özelliklerine göre maksimum şev yüksekliği.....	102
Şekil 56.	Güvenlik katsayılarını etkileyen parametreler ( $\phi = 25^{\circ} - 30^{\circ}$ ).....	104
Şekil 57.	Güvenlik katsayılarını etkileyen parametreler ( $\phi = 30^{\circ} - 35^{\circ}$ ).....	105
Şekil 58.	JTB-7'deki kil düzleminin kinematik olarak gösterimi.....	107

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Trabzon iline ait 1974-2004 yılları arasındaki ortalama aylık meteorolojik veriler (DMİGM 2005).....	3
Tablo 2. Trabzon ilinin 2009 yılı Meteorolojik verileri (DMİGM, 2009).....	4
Tablo 3. Süreksizlik koşul faktörü için, büyük ölçekli ve küçük ölçekli pürüzlülük, dolgu malzemesi türü ve yüzeydeki erime boşluğu varlığı/yokluğu ile ilgili puanlama (Hack vd. 2003).....	14
Tablo 4. SSPC sisteminde kazı metodu için düzeltme puanları.....	21
Tablo 5. SSPC sisteminde ayrışma durumu için düzeltme puanları.....	22
Tablo 6. Schmidt çekicisine göre kaya sertliğinin sınıflandırılması (ISRM, 1978).....	35
Tablo 7. Bazı kayaların sürtünme açıları (Barton ve choubey, 1977).....	38
Tablo 8. Suda dağılma dayanım sınıflaması (Gamble, 1971).....	41
Tablo 9. IAEG (1976)'nin likit limit değerlerine göre yaptığı zemin sınıflaması.....	44
Tablo 10. Plastisite indisinin, plastisite derecesine göre sınıflaması (Burmister, 1951)..	45
Tablo 11. Plastisite indisinin, plastisite özelliğine göre sınıflaması (IAEG, 1976).....	45
Tablo 12. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).....	48
Tablo 13. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler (ISRM, 1981).....	51
Tablo 14. Tabaka kalınlığına göre değişik sınıflandırmalar.....	52
Tablo 15. Sismik hız değerleriyle kazılabilirlik sınıflaması (Weaver, 1975).....	53
Tablo 16. Kazılabilirlik ile ilgili puanlama sistemi (Müftüoğlu ve scoble, 1985).....	53
Tablo 17. Kaya kütlelerinin bozunma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981).....	54
Tablo 18. Kaya malzemesinin bozunma derecesiyle ilgili tanımlama (ISRM, 1981)..	55
Tablo 19. Sing ve Gahrooe (1989) tarafından önerilen bozunma sınıflaması.....	55
Tablo 20. Eklem yüzeylerinin bozunma sınıflaması (Gökçeoğlu, 1997).....	55
Tablo 21. Ayrışma derecesi ve elastik dalga hızına göre kayaların sınıflandırılması (Iliev,1966).....	57
Tablo 22. Ağırlıkça su emme yüzdelerine göre Afyon mermerlerinin sınıflandırılması (Güleç,1973).....	58
Tablo 23. Üretim sahasındaki jeolojik birimlerin kimyasal analizleri.....	69
Tablo 24. Jeolojik ve jeoteknik birimlere ait tek eksenli basınç ve endirekt çekme dayanım değerleri.....	69
Tablo 25. Schmidt çekici sertlik değerleri.....	70
Tablo 26. Schmidt sertlik değerlerinin ISRM, 1978 sınıflamasına göre karşılaştırılması	71
Tablo 27. Taze yüzeylerde ve ayrılmış yüzeylerde schmidt çekici değerleri.....	71

Tablo 28. Bozunma indeksine (Wd) göre süreksizlik yüzeylerinin bozunma sınıflaması (Gökçeoğlu, 1997).....	72
Tablo 29. Yoğunluk ve porozite değerleri.....	72
Tablo 30. Suda dağılma dayanım sınıflaması (Gamble, 1971).....	73
Tablo 31. Nokta yükü değerleriyle tahmini ve gerçek UCS değerleri.....	73
Tablo 32. Zonlara ait ultrasonik darbe hızı değerleri (m/s).....	74
Tablo 33. Çalışma alanındaki taze ve ayrıışmış yüzeylerde ultrasonik darbe hızı değerleri ve ayrıışma sınıflaması (k: ayrıışma derecesi) .....	74
Tablo 34. Ağırlıkça Su Emme Yüzdesine göre ayrıışma durumu Güleç, (1973)'den modifiye edilmiştir.....	75
Tablo 35. Araziden alınan bazı numuneler üzerinde tilt deneyinden elde edilen içsel sürtünme açıları.....	75
Tablo 36. Bazı örnekler üzerinde bulunan içsel sürtünme açıları.....	76
Tablo 37. Sismik hız değerleriyle Araklı Taşönü Ocağının Weaver (1975)'e göre kazılabilirlik sınıflaması .....	76
Tablo 38. Müftüoğlu ve Scoble (1985) puanlama sistemine göre kazılabilirlik sınıflaması.....	77
Tablo 39. Jeolojik birimler için kazılabilirlik puanına göre ekipman seçimi.....	77
Tablo 40. Çalışma alanındaki süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).....	80
Tablo 41. Hack vd. (2003)'a göre süreksizlik dolgu malzemesinin puanlaması.....	81
Tablo 42. Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik yüzey durumunun SSPC sistemine göre puanlaması.....	82
Tablo 43. Kinematik analizlerde kullanılan parametreler.....	83
Tablo 44. SSPC sisteminde kayma ve devrilme grafiği için ek koşullar.....	91
Tablo 45. Jeoteknik birimlerdeki her bir süreksizlik takımı için elde edilen süreksizlik koşul faktörü (TC) ve şev eğimi yönündeki görünür eğimlere (AP) bağlı olarak bulunan kayma ve devrilme türü yenilmeler (Ky ve Dv) için duraylılık olasılıkları.....	92
Tablo 46. SSPC sisteminde referans ve şev kaya kütle hesabında kullanılan parametreler.....	93
Tablo 47. Yüzeylenmiş kaya kütle hesabı.....	94
Tablo 48. Referans kaya kütle hesabı.....	94
Tablo 49. Şev kaya kütlesi.....	95
Tablo 50. Jeoteknik birimlerde SSPC yöntemiyle yapılan analizlerle bulunan yönelimden bağımsız analizler için duraylılık tanımlaması (yüzeylenmiş kaya kütlesi).....	97

Tablo 51. Jeoteknik birimlerde SSPC yöntemiyle yapılan analizlerle bulunan yönelimden bağımsız analizler için duraylılık tanımlaması (şev kaya kütlesi).....	98
Tablo 52. Yüzeylemiş Kaya kütlesi (Mevcut durum).....	100
Tablo 53. Şev Kaya kütlesi.....	101
Tablo 54. Heyelan sahasındaki şev için hesaplanan güvenlik katsayısı değerleri.....	106

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Kayma yüzeyinin alanı
AP	: Süreksizliğin yamaç eğimi yönündeki görünür eğimi
c	: Kohezyon, ton/m <sup>2</sup>
coh'	: Kaya kütlelerinin kohezyonu (SSPC)
CD	: Süreksizliklerin durumu
DS	: Süreksizlik ara uzaklığı
ERM	: Yüzeylemiş kaya kütlelerinin özellikleri
F	: Güvenlik katsayısı
H	: Ortalama Şev yüksekliği, m
H <sub>b</sub>	: Basamak yüksekliği, m
H <sub>max</sub>	: Şevin duraylı olarak kalabileceği en büyük şev yüksekliği, m
UCS	: Tek eksenli basınç dayanımı
J <sub>a</sub>	: Süreksizlik ayrışma durumu
J <sub>l</sub>	: Büyük ölçekli pürüzlülük
J <sub>n</sub>	: Süreksizlik takım sayısı
J <sub>r</sub>	: Süreksizlik pürüzlülük durumu
J <sub>m</sub>	: Dolgu materyali
J <sub>s</sub>	: Küçük ölçekli pürüzlülük
J <sub>w</sub>	: Süreksizlik suyu indirgeme değişken faktörü
Kd	: Karstik boşluk varlığı/yokluğu
ME	: Kazı metodu
RCD	: Referans kaya için süreksizliklerin durumu
RUCS	: Referans kayanın tek eksenli basınç dayanımı
RQD	: Kaya kalite belirteci
RRM	: Referans kaya kütlelerinin özellikleri
RSPA	: Referans kayanın ara uzaklık parametresi
SCD	: Şev kaya kütleleri için süreksizliklerin durumu
SME	: Şev kaya kütleleri için kazı metodu
SPA	: Süreksizlik ara uzaklığı parametresi
SRF	: Gerilme indirgeme katsayısı



- SRM : Şev kaya kütlesinin özellikleri
- SSPA : Şev kaya kütlesi için ara uzaklık parametresi
- SWE : Şev kaya kütlesi için ayrışma durumu
- SUCS : Şev kaya kütlesi için tek eksenli basınç dayanımı
- TC : Süreksizlik durum faktörü
- u : Kayma yüzeyine dik doğrultuda etki eden su basıncı
- v : Kayma yüzeyi doğrultusunda etki eden su basıncı
- W : Kayma düzlemi üzerindeki blok ağırlığı
- WE : Ayrışma durumu
- $z_w$  : Çatlaktaki su yüksekliği, m
- $\psi_f$  : Şev eğimi
- $\psi_p$  : Kayma düzleminin eğimi
- $\Phi$  : İçsel sürtünme açısı
- $\phi'_m$  : Kaya kütlesinin içsel sürtünme açısı (SSPC)
- $\sigma$  : Normal gerilme
- $\tau$  : Kesme gerilmesi
- $\gamma_w$  : Suyun birim ağırlığı, ton/m<sup>3</sup>
- $\gamma$  : Kaya birim ağırlığı, ton/m<sup>3</sup>
- $\alpha$  : İvme, g
- $\delta$  : Şevin eğim yönü- süreksizliğin eğim yönü

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

Türkiye ekonomisine önemli katkılar sağlayan Aşkale Çimento Fabrikasının (Trabzon) hammaddesinin yaklaşık %80'i Trabzon'un 40 km doğusunda, Araklı İlçesi'nin yaklaşık 5 km güney batısında, Yanbolu deresi içinde yer alan Taşönü köyü (Araklı) kireçtaşı hammadde sahasından alınmaktadır. Söz konusu ocak sahasında 2005–2007 yılları arasında, yoğun yağmurdan sonra büyük hacimli 3 ayrı düzlemsel kayma meydana gelmiştir. Oluşan kaymanın bir kil dolgu üzerinde düzlemsel kayma şeklinde gerçekleştiği ve bunun nedenleri olarak ocaktaki üretim aynalarının düzensiz ve dike yakın olması, kontrolsüz atımların yapılması ve bölgenin aşırı miktarda yağış alması gösterilmiştir (Erçikdi vd., 2006).

Ocakta üretim şu an heyelan sahasının güney ve güney-doğusunda devam etmektedir. Üretim sahasının yatay uzunluğu yaklaşık 400 metre civarında, düşey derinliği ise 10–70 metre arasında değişmektedir. Ocakta Kireçhane Formasyonuna ait jeolojik birimler bulunmaktadır. Tabanda boşluklu makro kavkı parçaları içeren kireçtaşı, üste doğru kendi içerisinde renk ve bazı özelliklerce ayrılan fakat aynı jeolojik birime ait 4 zon bulunmaktadır. Üretim sahasında baskın süreksizlik duruşlarının şev içerisinde doğru olması herhangi bir risk olasılığını düşürmesine rağmen, sahada daha önce var olan heyelanlar dikkate alındığında ayrıntılı çalışma gerekli kılınmıştır.

### **1.2. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışma 2005–2007 yılları arasında meydana gelen üç büyük hacimli düzlemsel kaymanın olumsuz etkilerinin tekrar yaşanmaması için, heyelanlı ocağın güney ve güney-doğusunda açılan aynı jeolojik birimler içinde yeni oluşturulan şevlerin duraylılıklarının değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Patlatma kaynaklı sarsıntılar heyelanları tetikleyen nedenlerden biri olduğundan açılacak ocak için patlatma gerekip gerekmeyeceği açısından kazılabilirlik tayinleri yapılmış ve optimum kazı yöntemi belirlenmiştir.

Öncelikle heyelan sahasının mevcut durumu için iki adet şev seçilmiş ve değerlendirilmiştir. Şevlerden bir tanesi (JTB–7) gerilme çatlağına sahip ve daha önce

oluşan heyelan sonrasında oluşmuş bir şevdir. Kil düzleminden örnekler alınarak mevcut durum için değerlendirmeler yapılmıştır. Üretim sahasında değişik basamak yüksekliklerine ait 5 adet şev için kinematik analizler yapılmıştır. Daha sonra deterministik analiz yöntemleri ile şevlerin güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca heyelan sahasındaki iki adet ve heyelan sahasının güney, güney-doğusunda açılmakta olan şevlerin duraylılık analizleri şev duraylılığı olasılık sınıflandırma sistemine göre (SSPC) değerlendirilmiştir. Son olarak yeni açılan ocakta basamak dizaynı yapılarak nihai maksimum şev yüksekliği ve basamak genişlikleri saptanmıştır.

### 1.3. İnceleme Alanının Genel Özellikleri

Taşönü Köyü (Trabzon-Araklı) kalker hammadde sahası, Trabzon'un 38 km doğusunda, Araklı İlçesi'nin yaklaşık 5 km güney batısında ve Yanbolu Deresi doğusunda olup deniz seviyesinden olan yüksekliği 100–190 m arasındadır (Şekil 1). Taşönü köyü 1\25000 ölçekli Trabzon G44- al paftasında bulunmaktadır.

Taşönü köyüne Trabzon-Rize sahil yolundan güneye (Yanbolu Deresi boyunca) ve Araklı merkez ilçesinde güneybatıya doğru uzanan her biri yaklaşık 5 km uzunluğundaki asfalt yollarla ulaşılabilmektedir.

İnceleme alanının batısında yer alan Yanbolu Deresi'nin ortalama debisi 10–20 m<sup>3</sup> olup, üzerinde HES projeleri uygulama aşamasına henüz geçilmiştir. İnceleme alanı civarında bulunan diğer önemli dereler Kale ve Istala dereleridir. Çalışma alanı çevresinin büyük bir kısmı fındıklık olup sarp kısımlarda kestane, karaağaç ve çam ağaçlarıyla kaplıdır.

Taşönü Köyü'nün 2000 yılı nüfus sayımına göre 537 kişilik bir nüfusu vardır. Köyde yerleşim dağınık olup Gahura, Buzluca Köyü, Samayeri ve Ganzi Köyü komşu köylerdir. Taşönü Köyü'nde geçim çoğunlukla fındıkla sağlanır. Fındığın dışında köyde çay, kivi ve mandalina da yetiştirilmektedir. Önceleri Mn ocaklarının işletildiği köydeki halktan önemli sayıda kişi Taşönü hammadde ocağında çalışmaktadır. Söz konusu köyde turizm açısından önemli tarihi eserlerin varlığı yöre ekonomisine katkı yapacak önemli olanaklardır.



Tablo 2. Trabzon ilinin 2009 yılına ait meteorolojik verileri (DMİGM, 2009).

Meteorolojik Elemanlar	AYLAR											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yağış mm	56,1	65,2	77,5	43,1	43,9	15,1	125,8	18,6	146,4	131,1	163,4	64,6
Sıcaklık ° C (Ort)	7,8	9,8	8,8	10,3	15,8	22	24,3	22,5	20,5	18,7	12,3	11,3
Maksimum sıcaklık (° C)	19,7	24	26,9	23,9	26	30,4	29,6	27,6	28,3	29,4	23	22,8
Minumum sıcaklık (° C)	-2	1,6	0	3,2	8,6	13,2	16,3	17	9,4	12	5,9	3,1

## 1.4. Şev Yenilme Türleri

### 1.4.1. Düzlemsel Kayma

Düzlemsel kayma, eğimi şev eğiminden küçük olan düşük dayanımlı zayıf bir düzlem üzerindeki kütlelerin kazı boşluğuna doğru hareket etmesidir. Diğer bir deyişle, doğadaki kayaların fay, tabaka, çatlak, fay vb. gibi süreksizlik yüzeyi boyunca, sınırlı bir şekilde aşağıya doğru hareket etmesine düzlemsel kayma denilmektedir. Yamaç topuklarında yapılan kazılar, yamaçlara fazla yük konulması, ayrışma, yüzey ve yeraltı suları, farklı litolojideki kayaların ardalanması ve yerçekimi gibi faktörler doğada düzlemsel kaymaları oluşturan başlıca nedenler arasında yer almaktadır.

Düzlemsel bir yenilme olabilmesi için bazı geometrik koşullar sağlanmalıdır (Hoek ve Bray, 1981; Piteau ve Martin, 1982). Bunlar;

- Kaymanın geliştiği düzlemin doğrultusu, şev yüzeyine paralel veya paralele çok yakın (yaklaşık  $\pm 20^\circ$  içinde) olmalıdır.
- Kayma düzlemi, şev yüzeyini kesmelidir; yani, düzlemin eğimi, şev yüzeyinin eğiminden küçük ( $\psi_f > \psi_p$ ) olmalıdır.
- Kayma düzleminin eğimi, aynı düzlemin sürtünme açısından büyük ( $\psi_p > \Phi$ ) olmalıdır.
- Kayma yüzeyinin üst ucu, ya üst şevi ya da bir çekme çatlakını keser.
- Kaymanın yanal sınırlarını belirlemek için, kaymaya karşı ihmal edilebilir direnç sergileyen salıverme yüzeylerinin bulunması gerekir. Seçenek olarak, kayma düzlemi, şevin dışbükey burnu boyunca gelişebilir.

Şekil 2’de, bir kaya bloğunun şev yüzeyini kesen bir düzlem üzerinde kaydığı düzlemsel yenilme görülmektedir.

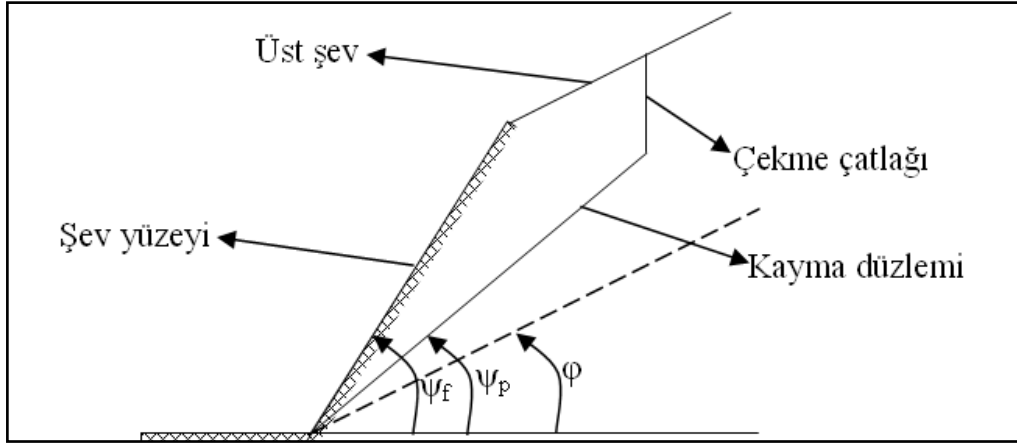
Kaymanın oluşması için aşağıdaki koşulun sağlanması gerekmektedir.

$$\psi_f > \psi_p > \Phi \quad (7)$$

Burada;  $\psi_f$ : Şevin eğim açısı

$\psi_p$ : Süreksizliğin eğim açısı

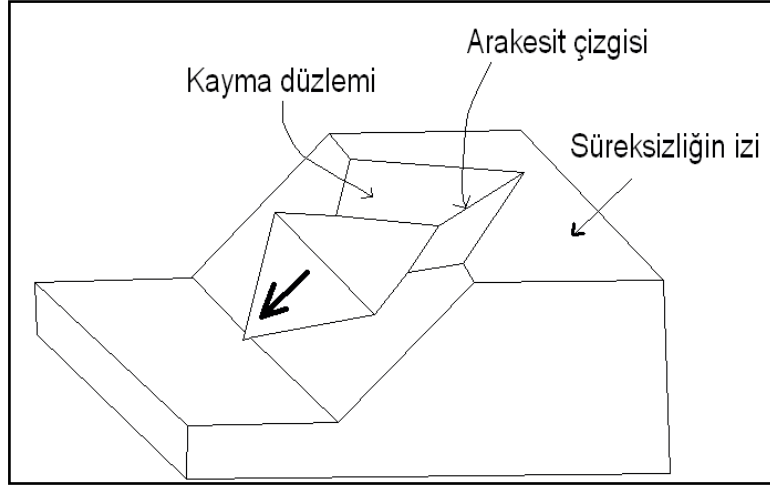
$\Phi$ : İçsel sürtünme açısı



Şekil 2. Düzlemsel yenilme oluşturan düzlemleri gösteren enine kesit

#### 1.4.2. Kama Tipi Yenilme

Kama tipi yenilme bir doğru boyunca kesişen iki süreksizliğin oluşturduğu tetrahedral bir kama bloğunun, eğimi şevinkinden daha yatık olan kesişme hattı boyunca öne doğru hareket etmesi sonucu meydana gelir. Kama tipi yenilme analizlerinde stereonetler kullanılır. Kamanın şekli, arakesit çizgisinin yönelimi ve kayma yönü stereonet ile belirlenebilmektedir. Hareketlerin yörünge, hız ve ivme v.b. açısından irdelenmesi esasına dayanan kinematik analiz yönteminin amacı, kaymaya neden olabilecek potansiyel duraysız kamaları belirlemektir. Şekil 3’de kama tipi kaymanın oluşum şekli görülmektedir.



Şekil 3. Kama tipi yenilmenin genel görünümü

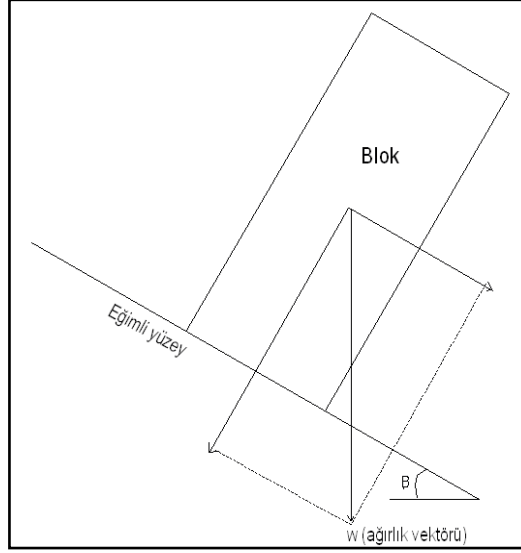
Kama tipi kayma için genel koşullar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- İki düzlemin arakesiti daima bir çizgidir. Stereonet üzerinde arakesit çizgisi, düzlemlere ait iki büyük dairenin kesiştiği nokta ile temsil edilir ve çizginin yönelimi o çizginin gidişi ve dalımı ile tanımlanır.
- Arakesit çizgisinin dalımı şev eğim açısından küçük ve iki düzlemin sürtünme açılarının ortalamasından büyük olmalıdır.
- Kaymanın oluşması için, arakesit çizgisinin şev yüzeyini kesmesi gerekir. Genelde, kinematik analizler sonucu stereonet üzerinde belirlenen alana iki süreksizliğin kesişim noktasının düşmesi halinde kayma oluşabilir. Stereonet üzerinde yapılan değerlendirmeler kama tipi yenilmenin kinematik olarak mümkün olup olmadığını göstermektedir.

### 1.4.3. Devrilme Tipi Yenilme

Kaya bloklarına ait ağırlık vektörünün taban alanı dışına düşmesi devrilme tipi yenilmeye sebebiyet vermektedir (Şekil 4). Devrilme tipi yenilmenin oluşabilmesi için, şev içine doğru eğimli süreksizliklerin eğim yönü, şev eğim yönünden en fazla  $10^\circ$  sapma göstermeli; şev yüzeyine paralel bir dizi blok oluşmalıdır. Düzlemlerin eğimi düzlem arası kayma oluşmaya yetecek kadar büyük olmalıdır. Ayrıca blokların en/yükseklik oranı da devrilme üzerinde etkili olmaktadır. Kayma, sadece uygulanan gerilmenin yönü bloğun normal ile süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısından ( $\Phi$ ) büyük olduğu zaman gerçekleşir.

Devrilme tipi yenilme analizlerinde, düzlemsel ve kama tipi kaymalara benzer şekilde, ilk olarak yapısal jeolojinin analizi yapılarak, bu koşulun mevcut olması halinde, devrilme yenilmesine özgü duraylılık analizi yapılır.



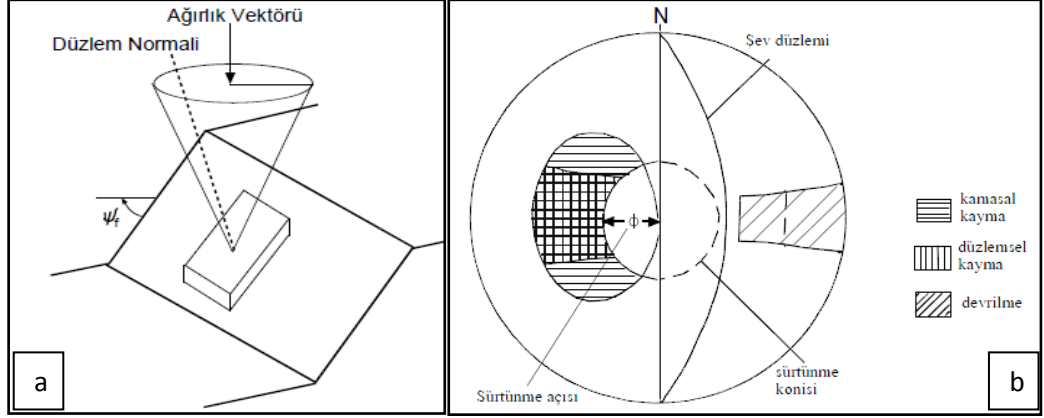
Şekil 4. Devrilme tipi yenilme zarfı

#### 1.4.4. Sürtünme Konisi Kavramı (Kinematik Analiz)

Yatay bir düzlem üzerinde bir bloğu düzleme paralel bir doğrultuda kaydırabilmek için gerekli kuvvetin iki yüzey arasındaki kohezyon ve sürtünme kuvvetini aşması gerekmektedir. Bu analiz, kayma yüzeyi kesme dayanımının sadece içsel sürtünme açısından oluştuğu ve kohezyonun sıfır olduğu varsayılarak yapılmaktadır. Kritik bir eğim açısına sahip herhangi bir süreksizlik, aynı açıyla düşeyden ( $\Phi$ ) kadar bir sapma gösterir. Bütün bu süreksizliklerin eğim yönleri ile normaleri dikkate alındığında, düşey bir ekseninde toplu olarak bir koni oluşturdukları görülmektedir (Şekil 5a). Bu koni süreksizliklerin normalerini kapsar ve eğim açısı kritik açıdan daha düşüktür (Lisle ve Leyshon, 2004). Eğer blok üzerine etkileyecek kuvvetler blok ağırlığı cinsinden ifade edilebilirse, düzlem normali ile sürtünme açısı kadar açı yapan kuvvetler, bloğu limit denge durumuna sokarlar. Bu açının büyümesi halinde blok kaymaya başlar. Yüzey üzerindeki sürtünme katsayısının homojen olduğu kabul edilirse, bu limit denge durumu üç boyutta normal ile 0 açısı yapan bir koni kavramı ortaya çıkarır. Bu koni sürtünme konisi olarak adlandırılmaktadır. Blok üzerine etkiyen tek kuvvet yerçekimi olduğunda, düzlemin



kutbu normal kuvvetinki ile aynı yönde olur; kutup sürtünme dairesi içinde kaldığı zaman blok duraylı olmaktadır (Wyllie ve Mah, 2004). Birleşik kinematik analiz için stereografik görünüm Şekil 5b’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Sürtünme konisi kullanılarak yapılan birleşik kinematik analiz (a) Sürtünme konisi (b) Birleşik kinematik analiz için stereografik görünüm

### 1.5. Şev Emniyet Katsayısı

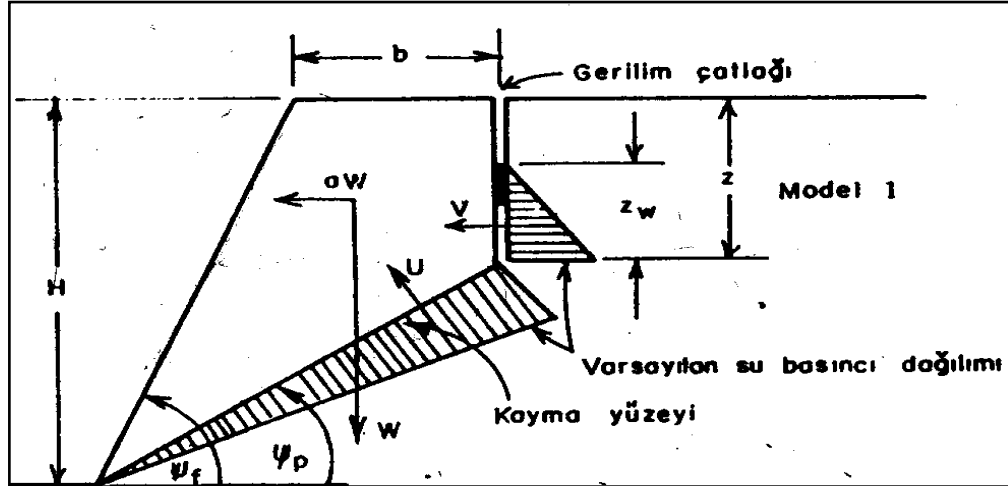
Eğimli bir düzlemin üzerinde duran bir bloğun stabilitesini tanımlayan tüm eşitlikler; kaymayı teşvik edici kuvvetlerin kaymaya karşı koyan kuvvetlerle dengelendiğini varsayan “denge sınırı” yöntemine dayandırılmaktadır. Şevlerin stabilitesini karşılaştırmak açısından, denge sınırının dışında bazı indeksler gereklidir ve en uygun olarak kullanılan indeks ise emniyet katsayısıdır. Emniyet katsayısı, (F) kaymaya karşı koyan toplam kuvvetlerin, kaymayı teşvik eden toplam kuvvetlere oranı olarak ifade edilmektedir. Şev, yenilme noktasında olduğu zaman, karşı koyan ve teşvik eden kuvvetler eşittir ve emniyet katsayısı,  $F=1$ ’dir. Şev duraylı olduğu zaman, karşı koyan kuvvetler teşvik eden kuvvetlerden daha büyüktür ve emniyet katsayısı birden büyüktür. Yapılan bilimsel çalışmalar ve pratik tecrübeler, uzun süreli duraylılık gerektirmeyen açık ocak şevlerinde emniyet katsayısının, 1.0-1.3 aralığında, uzun süre duraylılık gerektiren ve önemli yapılara ya da nakliye yollarına yakın kritik şevlerde emniyet katsayısının, minimum 1.5 olması gerektiğini göstermiştir (Hoek ve Bray, 1981).

### 1.5.1. Düzlemsel Kayma Analizi

Sınır denge analizinde kaya şevlerinin duraylılığı, kayma yüzeyi boyunca mevcut kesme dayanımına bağlıdır. Bu modelde kesme dayanımı kohezyon ( $c$ ) ve sürtünme açısı ( $\Phi$ ) ile ifade edilir. Şev yüzeyini kesen süreksizlik düzlemi üzerindeki bloğun emniyet katsayısının hesaplanması için kayma yüzeyi üzerine etkiyen kuvvetin bu yüzeye paralel ve dik olarak etkiyen bileşenlerine ayrılması gerekir. Kayma yüzeyinin eğimi  $\psi_p$ , alanı  $A$  ve kayma yüzeyi üzerindeki bloğun ağırlığı da  $W$  ise, kayma düzlemi üzerine etkiyen normal gerilme ( $\sigma$ ) ve kesme gerilmesi ( $\tau$ ) Eşitlik 8'deki gibi olur.

$$\text{Normal gerilme, } \sigma = \frac{W \cos \psi_p}{A}; \quad \text{Kesme gerilmesi, } \tau = \frac{W \sin \psi_p}{A} \quad (8)$$

Heyelan ve üretim sahasındaki kritik şevler için iki varsayım modeli ile analizler gerçekleştirilmiştir. Heyelan sahasındaki şev gerilme çatlakları içermektedir. Gerilme çatlakları varlığı bir şevdeki güvenlik katsayısı değerini düşürmektedir (Cheng ve Lau, 2008). Bu varsayımları gözönüne alan Model I'de şev emniyet katsayısı hesaplamaları Eşitlik (9) kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Model I için öngörülen durum

$$F = \frac{c * A + (W(\cos \psi_p - \alpha * \sin \psi_p) - U - V * \sin \psi_p) \tan \Phi}{W(\sin \psi_p + \alpha * \cos \psi_p) + V * \cos \psi_p} \quad (9)$$

Burada;

$$z = H(1 - \sqrt{\cot\psi_f * \tan\psi_p}),$$

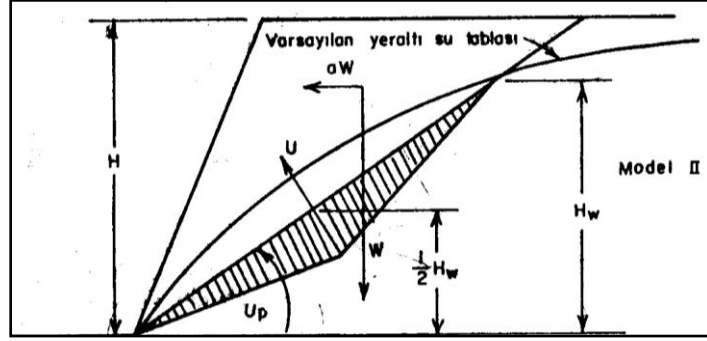
$$A = (H - z) \operatorname{Cosec}\psi_p,$$

$$W = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 ((1 - (z/H)^2) \cot\psi_p - \cot\psi_f),$$

$$U = \frac{1}{2} * \gamma_w * z_w * A$$

$$V = \frac{1}{2} * \gamma_w * z_w^2 \text{ eşitliklerini ifade etmektedir.}$$

Model II'de (Şekil 7), yeraltı suyunun varlığı ve yer sarsıntılarının oluşturacağı ivmelerin etkisi dikkate alınmaktadır. Bu durumda şev emniyet katsayısı hesaplamaları için Eşitlik (10) kullanılarak yapılmaktadır. Model II için şev emniyet katsayısı eşitliği Eşitlik (10)'da verilmiştir.



Şekil 7. Model II için öngörülen durum

$$F = \frac{c * A + (W(\cos\psi_p - \alpha * \sin\psi_p) - U)\tan\Phi}{W(\sin\psi_p + \alpha * \cos\psi_p)} \quad (10)$$

Burada;

$$A = H * \operatorname{Cosec}\psi_p,$$

$$W = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 ((1 - (1/H)^2) \cot\psi_p - \cot\psi_f),$$

$$U = \frac{1}{4} * \gamma_w * H_w^2 * \operatorname{Cosec}\psi_p \text{ eşitliklerini ifade etmektedir.}$$

Eşitlik 9 ve 10'daki simgeler aşağıdaki gibi isimlendirilir;

- u: Kayma yüzeyine dik doğrultuda etki eden su basıncı  
v: Kayma yüzeyi doğrultusunda etki eden su basıncı  
 $\psi_f$ : Genel şev açısı, °  
 $\psi_p$ : Kayma yüzeyi açısı, °  
 $\gamma_w$ : Suyun birim ağırlığı, ton/m<sup>3</sup>  
 $\gamma$ : Kaya birim ağırlığı, ton/m<sup>3</sup>  
 $z_w$ : Çatlaktaki su yüksekliği, m  
c: Kohezyon, ton/m<sup>2</sup>  
 $\phi$ : İçsel sürtünme açısı, °  
H: Ortalama Şev yüksekliği, m  
 $\alpha$ : İvme, g

### 1.6. Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflandırma Sistemi (SSPC)

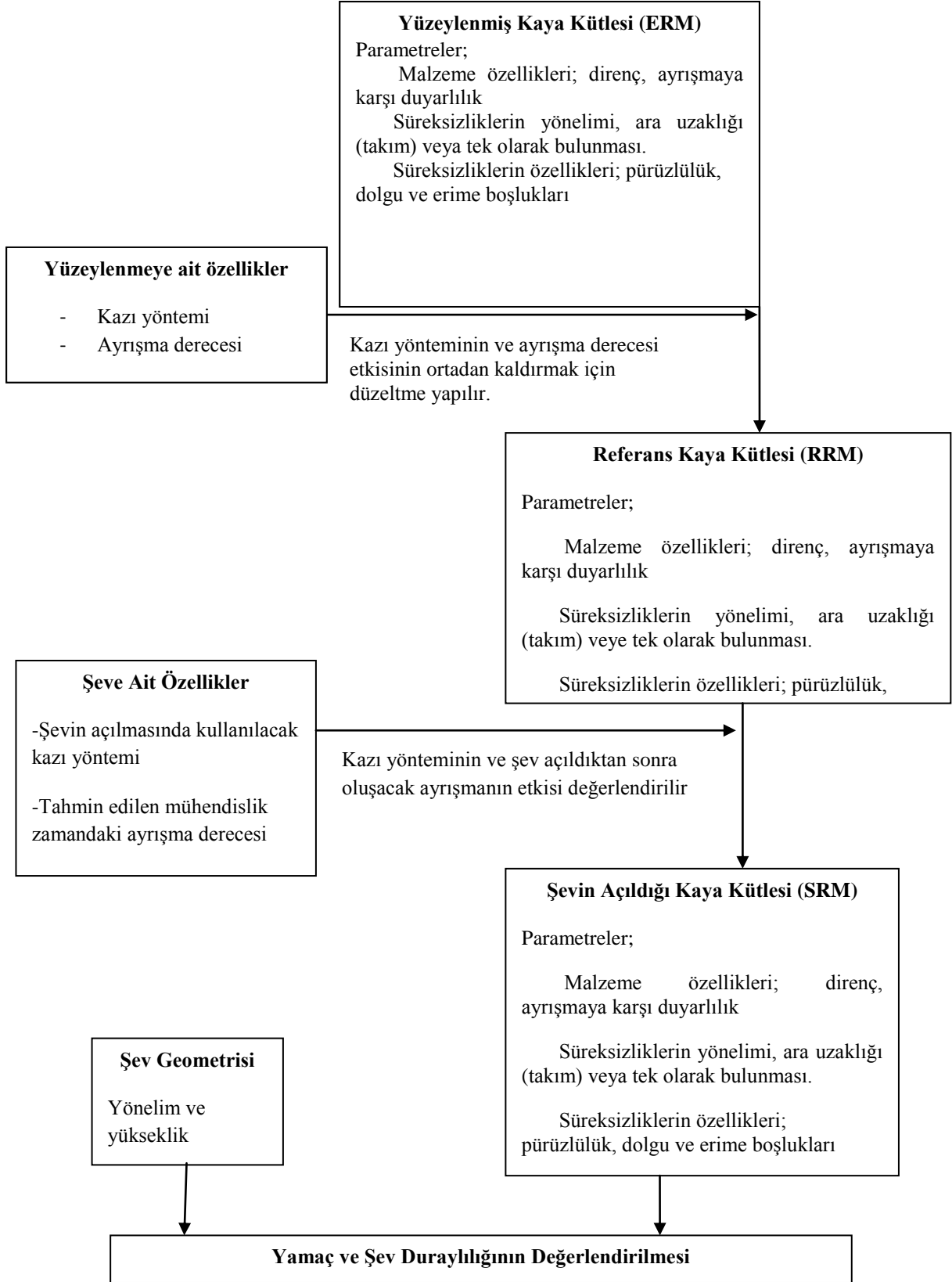
Yüzeylemiş kaya şevleri ile oluşturulacak kaya şevleri arasında bir ayırım olmaması gibi nedenlerle yeni bir sınıflandırma sistemine ihtiyaç duyulmuştur. Hack (1997, 1998) tarafından önerilen şev duraylılığı olasılık sınıflandırma (SSPC) sistemi kaya kütlelerinin sınıflandırılması, yamaçların duraysızlığının değerlendirilmesi ve kaya kütlelerinde açılan veya açılacak kazı şevlerindeki yenilme olasılığının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Hack, 1998; Lindsay vd., 2000; Hack vd., 2003). SSPC jeolojik parametrelerin ölçülmesine ve oluşan yenilme türlerinin olasılık analizlerine dayanmaktadır ve aşağıda verilen 3 ana özelliğe sahiptir.

1-Şev duraylılık olasılığı üç adımda hesaplanmaktadır (Şekil 8).

Birinci adımda ‘yüzeylemiş kaya kütlelerinin (ERM)’ karakteristikleri ölçülür. Bunlar;

- Malzeme özellikleri; dayanım ve ayrışmaya karşı duyarlılık.
- Süreksizliklerin yönelimleri (doğrultu ve eğimleri), gelişigüzel (tek) veya takım olarak bulunması.
- Süreksizliklerin özellikleri; pürüzlülük, dolgu durumu, yüzeydeki erime boşluğu varlığı/yokluğu

İkinci adımda amaç, yüzeylemiş kaya kütlelerinden yararlanarak ‘referans kaya kütlelerini (RRM)’ oluşturmaktır. Bunun için ERM de ölçülen parametre değerleri yüzeylemedeki yersel faktörler; örselenme ve ayrışma durumu kullanılarak düzeltilir. Bu şekilde elde edilen RRM ayrışmamış, kazıdan önce her hangi bir nedenle örselenmemiş taze kaya kütlelerini ifade eder.



Şekil 8. SSPC sisteminde şev duraylılığını değerlendirmek için oluşturulan 3 adım yaklaşımı (Hack vd. 2003).

Üçüncü adımda ise RRM özellikleri duraylılık değerlendirilmesi yapılacak şevdeki kaya kütle (SRM) özelliklerine dönüştürülür.

Yol kazısı şevleri gibi özellikleri ölçülen kaya kütlesi (ERM) ile duraylılığı araştırılan kaya kütlesi (SRM) aynı olduğu durumda dönüştürme işlemine gerek olmamaktadır. Fakat bir açık işletmede açılmakta olan kaya şevleri örülenmeye maruz kalacağından RRM özelliklerinin SRM özelliklerine dönüştürülmesi, işin emniyetli sürdürülmesi açısından önem arz etmektedir.

- 2- Tek bir puan vermek yerine farklı yenilme mekanizmalarının meydana gelme olasılığını belirtmek yoluyla duraylılık değerlendirilmesi.
- 3- Arazide basit ve belirli sayıda veri toplamak.

SSPC sisteminde iki ayrı bileşen vardır. Birincisi kaya kütle direnci, kohezyonu ve içsel sürtünme açısıdır. Bu duraylılık analizinin sonuç bileşenlerinden ikincisi, şev düzenlenmesinde kullanılan belli bir şev açısına göre maksimum şev yüksekliğini de içeren duraylılığın olasılık değerlendirilmesi ve yönelime bağımlı ve yönelimden bağımsız duraylılığın kinematik ve olasılık olarak değerlendirilmesidir.

### 1.6.1. Süreksizlik Durum Faktörünün Hesabı

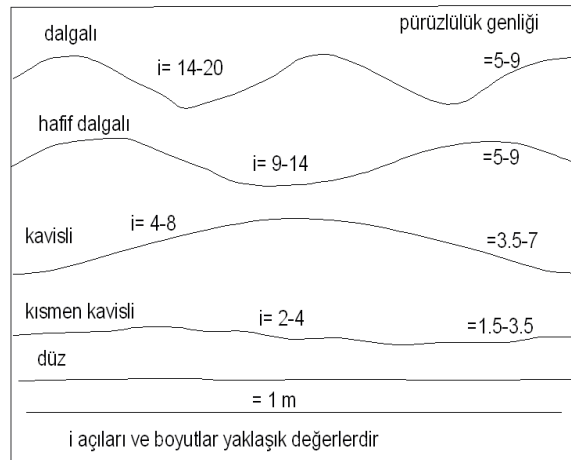
Süreksizlik durum faktörü (TC) büyük ölçekli pürüzlülüğü, küçük ölçekli pürüzlülüğü, dolgu materyalini ve karstik boşlukları dikkate alarak hesaplanmaktadır (Tablo 3). Büyük ölçekli pürüzlülük Şekil 9'daki örneklerle açıklanır. Küçük ölçekli pürüzlülük yaklaşık 20\*20 cm<sup>2</sup> alanda görünür pürüzlülük ve dokunsal pürüzlülüğün kombinasyonudur. Görünür küçük ölçekli pürüzlülük Şekil 10'da görülmektedir. Dokunsal pürüzlülük el yardımıyla yapılır. Bu şekil süreksizlik karakteristiklerinin bu dört faktör puanına göre nasıl çevrildiğini gösterir. Aşağıdaki bağıntıda süreksizlik durum faktörünün (TC) nasıl hesaplandığı belirtilmektedir.

$$TC = J_l * J_s * J_m * K_d \quad (11)$$

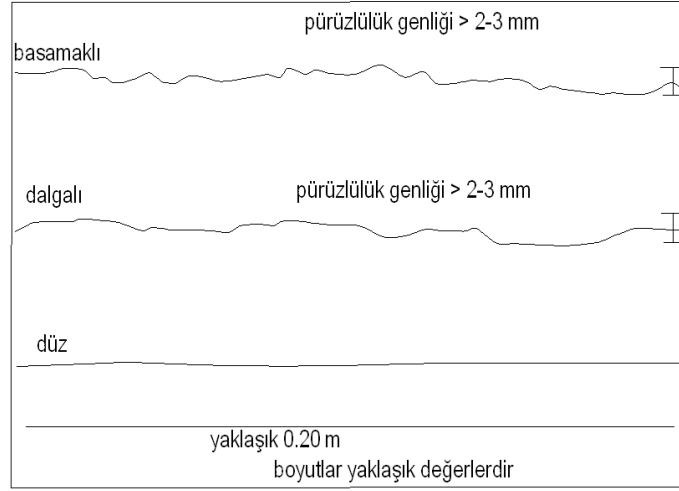
Burada  $J_l$ : büyük ölçekli pürüzlülüğü,  $J_s$ : küçük ölçekli pürüzlülüğü,  $J_m$ : dolgu materyalini ve  $K_d$ : karstik boşluk varlığı yokluğu durumunu ifade etmektedir.

Tablo 3. Süreksizlik koşul faktörü için, büyük ölçekli ve küçük ölçekli pürüzlülük, dolgu malzemesi türü ve yüzeydeki erime boşluğu varlığı/yokluğu ile ilgili puanlama (Hack vd.2003).

Büyük ölçekli pürüzlülük (Jl)	Dalgalı	1,00	
	Hafif dalgalı	0,95	
	Kavisli	0,85	
	Hafif kavisli	0,80	
	Düz	0,75	
Küçük ölçekli pürüzlülük (Js)	Pürüzlü basamaklı	0,95	
	Düz basamaklı	0,90	
	Kaygan basamaklı	0,85	
	Pürüzlü dalgalı	0,80	
	Düz dalgalı	0,75	
	Kaygan dalgalı	0,70	
	Pürüzlü düzlemsel	0,65	
	Düz düzlemsel	0,60	
	Kaygan düzlemsel	0,55	
Dolgu Malzemesi (Jm)	Çimentolu/çimentolu dolgu	1,07	
	Dolgu yok/yüzey boyanmış	1,00	
	Yumuşamayan ve makaslanmamış	İri	0,95
		Orta	0,90
		İnce	0,85
	Yumuşak veya makaslanmış	İri	0,75
		Orta	0,65
		İnce	0,55
	Dolgu kalınlığı > pürüzlülük	0,42	
	Dolgu kalınlığı < pürüzlülük	0,17	
Malzeme akıcı	0,05		
Karstik boşluk (Kd)	Yok	1,00	
	Var	0,92	



Şekil 9. Büyük ölçekli pürüzlülük profilleri (Hack, 2002).



Şekil 10. Küçük ölçekli pürüzlülük profilleri (Hack, 2002).

### 1.6.2. SSPC Sisteminde Duraylılık Analizleri

SSPC sisteminde duraylılık iki analizle belirtilir. Birincisi yöneline bağlı duraylılık analizi olup süreksizliklerin ve şevin yönelimi ile ilgilidir, ikincisi ise kaya kütesinin dayanımına bağlı olarak gelişen yönelimden bağımsız duraylılık analizi olup, şev ve süreksizliklerin yöneliminden bağımsız olarak gelişmektedir.

#### 1.6.2.1. Yöneline Bağlı Duraylılık

Kaya şevlerindeki yenilmeler genelde şev ve süreksizliklerin yönelimine bağlıdır. Bu tip yenilmeleri asıl yöneten etken süreksizliklerin kesme direncidir. Yöneline bağlı şev duraylılığını tahmin etmek için SSPC sisteminde iki kriter geliştirilmiştir: kayma ve devrilme kriteri.

Kayma kriterinde süreksizliklerin durum değeri (TC) ve süreksizliğin yamaç eğimi yönündeki görünür eğimi (AP) arasında bir ilişki bulunmuştur. Eşitlik (12)'de kaymanın oluşabileceği ön koşul yer almaktadır. Eşitlik (13)'de AP'nin hesap edildiği eşitlik verilmiştir.

$$TC < 0.0113 * AP \quad (12)$$

$$AP = \arctan(\cos \delta * \tan \text{eğim}_{\text{süreksizlik}}) \quad (13)$$



Burada;  $\delta = \text{eğim yönü}_{\text{şev}} - \text{eğim yönü}_{\text{süreksizlik}}$

eğer  $AP > 0$   $AP = \text{görünür süreksizlik eğimi} - \text{şevin eğim yönünde}$ ,

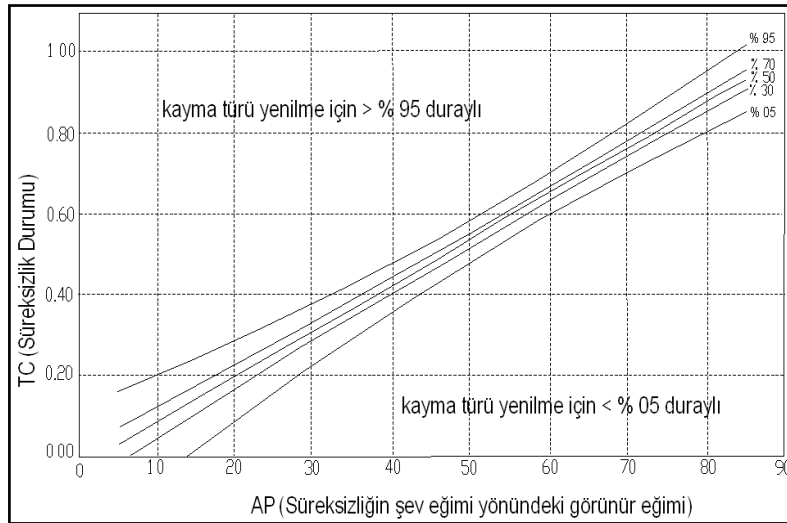
eğer  $AP < 0$   $|AP| = \text{görünür süreksizlik eğimi} - \text{şev eğimine zıt yöndedir}$ .

Kayma kriteri süreksizliklerin sürtünme açısını elde etmek için uygulanan laboratuvar ve arazi deneyleriyle ve literatürde verilen süreksizlik sürtünme açısı değerleriyle kanıtlanmıştır (Hack ve Price, 1995).

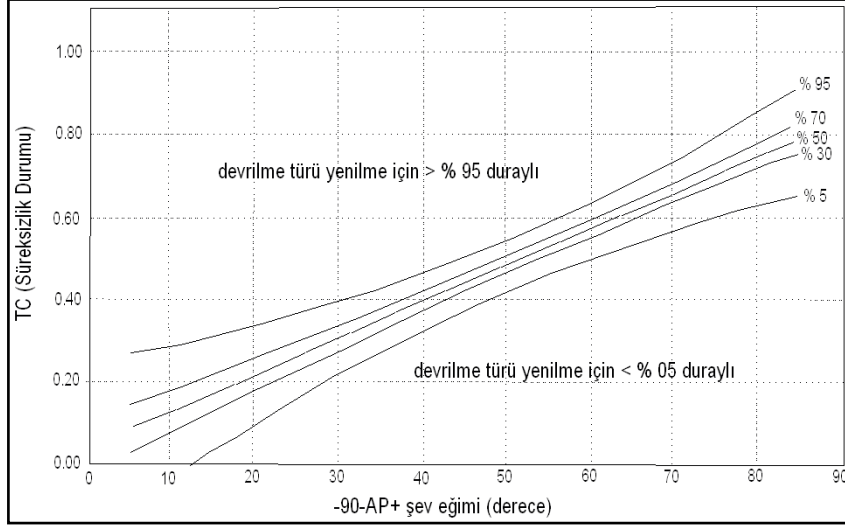
Devrilme kriterinde ise kayma kriterine benzer olarak devrilme kriteri Goodman (1989)'nın belirttiği gibi bloklar arasındaki kayma olarak düşünülür. SSPC devrilme kriteri için önkoşul Eşitlik (14)'de yer almaktadır.

$$TC < 0.0087x(-90 - AP + \text{eğim}_{\text{süreksizlik}}) \quad (14)$$

Ek koşullar kayma kriteri için süreksizlik düzlemleri ile şev arasında minimum fark olup;  $\text{eğim}_{\text{şev}} > AP + 5$  şeklindedir. Bu gereklidir çünkü yamaç eğimi boyunca yamaç eğimiyle aynı görünür eğimli süreksizlikler şev yüzeyinde oluşur ve kaymaya neden olmaz. İkinci durum ise süreksizlik düzlemi dik veya dike yakın olduğunda bu düzlemlerde kayma meydana gelmez. Ancak bu durum devrilme nedeni olabilmektedir. Kayma meydana gelmesi için  $AP < 85$  ve devrilme olabilmesi için ise  $AP > -85$  olmalıdır.  $5^\circ$  arazide ölçüm hatası veya hassasiyeti olduğu anlamına gelir. Şekil 11 ve 12 sırasıyla süreksizlik durumuna ilişkin görünür süreksizlik eğiminin fonksiyonu olarak kayma ve devrilme olasılığını vermektedir.



Şekil 11. SSPC sisteminde kayma kriteri



Şekil 12. SSPC sisteminde devrilme kriteri

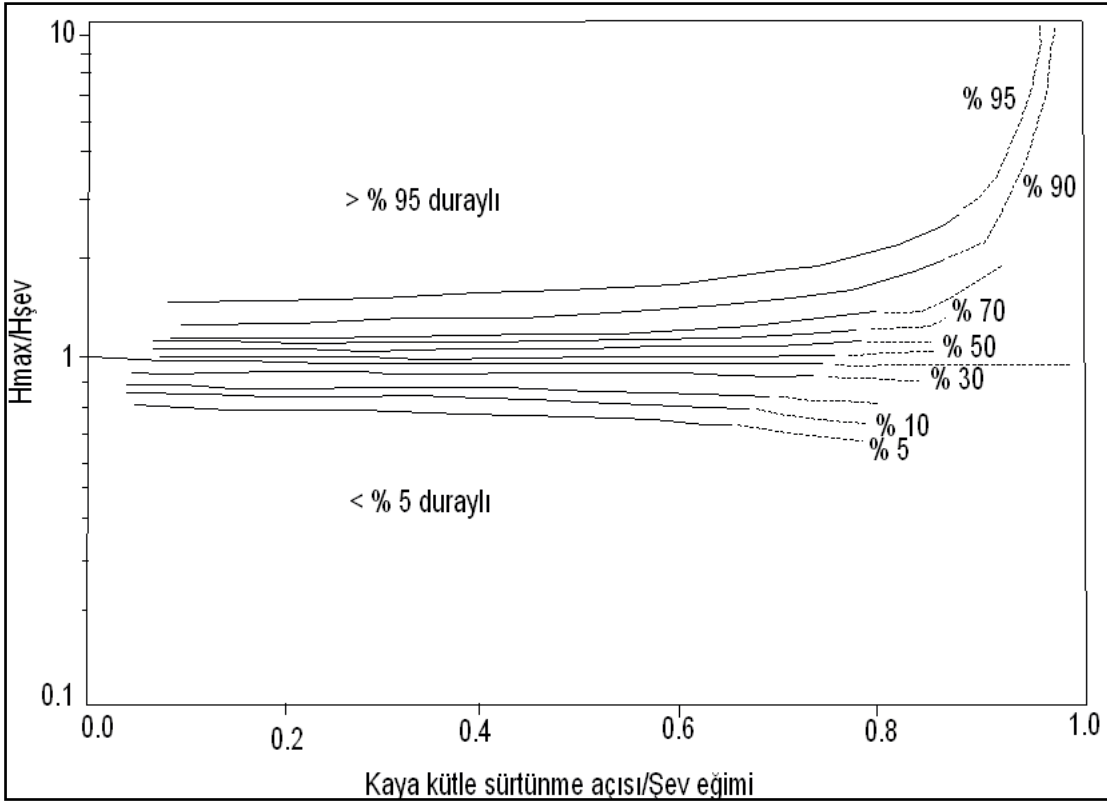
### 1.6.2.2. Yönelimden Bağımsız Duraylılık

Arazide bazı şevler duraysız gibi görünmesine rağmen kayma ve devrilme kriteri kullanılarak bu şevlerin duraysız olmadığı görülmektedir. Genellikle şevin büyüklüğüne göre küçük mesafede kaya malzemesinin kırılması kısmen var olan süreksizliklerden kısmen de kaya malzemesinden geçen lineer (düzlemsel) yenilme düzlemlerini oluşturur. Bu etki küçük blok boyutuna sahip kaya kütlelerinde daha egemendir. Bu yüzden kaya malzemesi direnci, blok büyüklüğü ve süreksizliklerin kesme direnci tek bir süreksizliğe bağlı olmayan yenilme düzlemlerinin gelişmesi üzerinde etkiye sahiptir. Böyle şevlerin yönelimden bağımsız duraylılığı Mohr-Coulomb yenilme kriterini baz alan lineer kayma düzlemi modeli ile şekillenir (Hack, 1998). Kaya kütlesi kohezyon ve içsel sürtünme açısı kaya malzemesi direnci, blok büyüklüğü, süreksizlik ara uzaklığı ve süreksizliklerin kesme dayanımına (süreksizlik durumu) bağlıdır. Mohr-Coulomb yenilme kriterini izleyen bir lineer kayma düzlemi modeli eğer şev kaya kütlelerinin sürtünme açısından daha az bir eğim açısına sahipse bir şevin duraylılığının şev yüksekliğinden bağımsız olduğunu göstermiştir. Bununla beraber eğer eğim açısı sürtünme açısından daha yüksekse maksimum şev yüksekliği şevdeki gerilmeyle belirtilir.

Süreksizliklerin yönelimine bağlı olmayan duraysızlık analizi için ( $H_{\max}/H_{\text{şev}}$ ) oranı ile ( $\varphi'_m / \beta_s$ ) oranı karşılaştırılmaktadır. Burada  $H_{\max}$ , şevin duraylı olarak kalabileceği en büyük şev yüksekliğini,  $\beta_s$ , şev eğimini ve  $\varphi'_m$ , kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısını göstermektedir ve Eşitlik (15)'de yer almaktadır.

$$H_{\max} = 1.6 \times 10^{-4} x c o h'_{kaya} x \frac{\sin(\beta_s) x \cos(\varphi'_m)}{1 - \cos(\beta_s - \varphi'_m)} \quad (15)$$

Olasılık açısından bakıldığında yönelimden bağımsız duraylılık Şekil 13'de yer almaktadır. Yatay ekseninde kaya kütle sürtünmesinin şev eğimine oranı düşey ekseninde ise olası maksimum şev yüksekliğinin gerçek şev yüksekliğine oranı olarak gösterilir ( $H_{\max}/H_{\text{gerçek}}$ ).

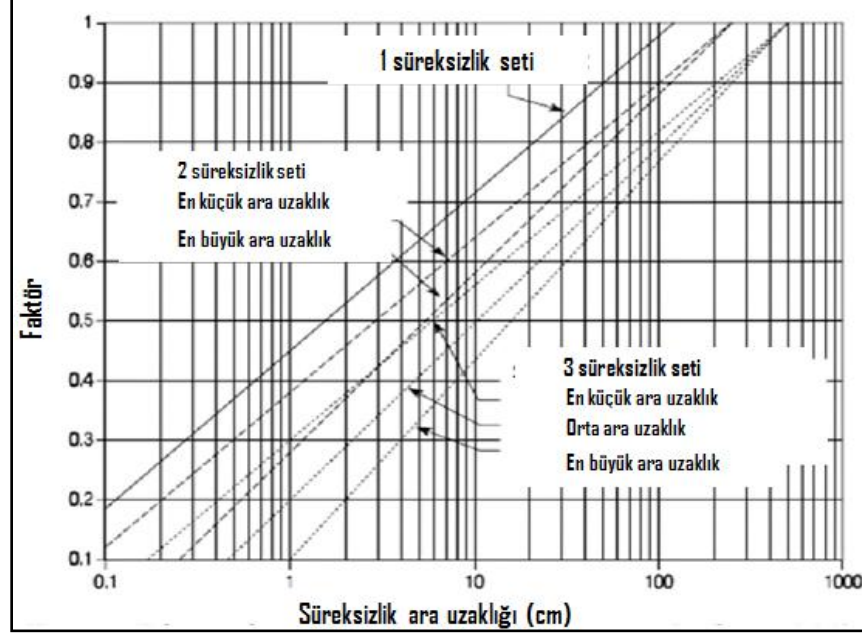


Şekil 13. SSPC sisteminde yönelimden bağımsız duraylılık için olasılık grafiği

### 1.6.3. Süreksizliklerin Durumu ve Blok Boyutu

Kayma düzlem modeli kapsamında kaya malzemesi dayanımı, blok büyüklüğü ve süreksizliklerin durumu faktörlerinin birleştirilmesi çeşitli seçeneklerle yapılabilmektedir. Kapsamlı analizler Taylor faktörüne bağlı olarak blok büyüklüğü, süreksizlik ara uzaklığı parametresi (SPA) için en iyi sonuçları vermiştir (Hack, 1998). Üç süreksizlik seti için:

SPA=faktör<sub>max</sub>\* faktör<sub>orta</sub>\* faktör<sub>min</sub>, iki süreksizlik seti için SPA= faktör<sub>max</sub>\* faktör<sub>min</sub> ve bir süreksizlik seti için SPA=ara uzaklık parametresi şeklinde hesaplanmaktadır (Şekil 14).



Şekil 14. Süreksizlik ara uzaklığı parametresi için faktör grafiği

Kaya kütlelerinin süreksizliklerin durumu (CD) üç süreksizlik seti için süreksizlik seti durumunun ortalamasına bağlı olarak bulunur (Eşitlik 16).

$$CD = \frac{\frac{TC_1}{DS_1} + \frac{TC_2}{DS_2} + \frac{TC_3}{DS_3}}{\frac{1}{DS_1} + \frac{1}{DS_2} + \frac{1}{DS_3}} \quad (16)$$

Burada; TC<sub>1,2,3</sub> süreksizlik durumunu ve DS<sub>1,2,3</sub> süreksizlik setlerinin 1,2,3 ara uzaklığını ifade etmektedir.

#### 1.6.4. SSPC Sisteminde Kaya Kütle Kohezyonu ve Sürtünme Açısı

Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ile Mohr-Coulomb yenilme kriterini optimize ederek, ara uzaklık parametresi (SPA) ve süreksizliklerin durumu (CD)

aşağıdaki gibi verilerek kaya kütlelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı bulunabilmektedir (Eşitlik 17 ve 18).

$$\varphi'_{\text{kaya kütle}} = \text{UCS} * 0.2417 + \text{SPA} * 52.12 + \text{CD} * 5.779 \quad (17)$$

$$\text{coh}'_{\text{kaya kütle}} = \text{UCS} * 94.27 + \text{SPA} * 28629 + \text{CD} * 3593 \quad (18)$$

Burada;

$$\varphi'_{\text{kaya kütle}} = \text{Kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı (derece)}$$

$$\text{coh}'_{\text{kaya kütle}} = \text{Kaya kütle kohezyonu (Pa)}$$

Yukarıdaki formülde kaya malzemesi dayanımı maksimumlaştırılmıştır. Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) > 132 MPa ise, UCS=132 olarak alınmalıdır. Çünkü UCS= 132 MPa değerinin üstünde olduğunda kaya malzemesinin direncinin artması şevlin duraylılığını daha fazla artırmamıştır. Bu durum +45 metre yüksekliğe kadar olan şevler için geçerlidir. Kaya malzemesi direncinin >132 MPa olması daha yüksek şevler de dolayısıyla yüksek gerilme altında olan şevler için önemlidir. Hem ara uzaklık (SPA) hem de süreksizlik durumu (CD) için daima minimum kaya kütle sürtünme açısı veren süreksizlik kombinasyonu alınır. Eğer kaya kütleleri üç veya daha fazla süreksizlik seti içerseler bile, ara uzaklık (SPA) ve durum (CD) faktörleri daha düşük sonuçlar verebilecek bir ya da iki süreksizlik setleri ile hesap yapılır (Hack, 2002).

#### 1.6.5. SSPC Sisteminde Ayrışma, Kazı Metodu ve Şev Kaya Kütle Hesabı

SSPC sisteminde üç adım yaklaşımı kazı metodu nedeniyle oluşan hasarı ve ayrışma durumu gibi yerel etkilerin düzeltilmesine olanak sağlamaktadır. Eğer şev doğal olarak veya insan eliyle oluşturulmuş ise; yüzeylenmiş kaya kütlelerinin özellikleri için puan 1.00 olmaktadır. Söz konusu şev üzerinde hidrolik ekskavatör kullanılarak kazı yapılacaksa (yeni şev) şev kaya kütleleri için kazı metodu 0.76 puanı esas alınarak hesaplanmaktadır (Tablo 4). Şev kaya kütleleri için öncelikle yüzeylenmiş kaya kütleleri özelliklerinden referans kaya kütleleri kazı metodu ve ayrışma durumu hesaplanmaktadır (Eşitlik 19). Daha sonra referans kaya kütlelerinden şev kaya kütlelerinin özellikleri tayin edilir (Eşitlik 20).

$$\begin{aligned}
 RSPA &= SPA / (WE * ME) \\
 RCD &= CD / WE \\
 RUCS &= UCS / WE
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

RSPA: Referans kayanın ara uzaklık parametresi

RCD: Referans kaya için süreksizliklerin durumu

RUCS: Referans kayanın tek eksenli basınç dayanımı

WE: Ayrışma durumu

ME: Kazı metodu

UCS: Tek eksenli basınç dayanımını ifade etmektedir.

Tablo 4. SSPC sisteminde kazı metodu için düzeltme puanları

KAZI METODU (ME)			
Geleneksel/ insan gücü ile elle kazı			1.00
Havalı/darbeli teçhizat ile manuel kazı-Hidrolik Ekskavatör)			0.76
Ön kesme/ düzgün ayna			0.99
Patlatma	Geleneksel patlatma sonucu	İyi	0.77
		Açık süreksizlikler	0.75
		Ayrılmış bloklar	0.72
		Çatlaklı sağlam kaya	0.67
		Kırılmış kaya	0.62

SSPC sisteminde ayrışma, yüzeylenmiş birim incelenerek tahmin edilir. Ayrışmaya; yüzeylenmenin yönelimi, rüzgârın yönü, çiftçiler tarafından kullanılan gübrelerin mineral duraylılığına etkisi gibi bazı yerel faktörler neden olabilmektedir. Ayrışmayı belirlemek bazen zor olmasına rağmen, yeterli bilgi ile (ayrışmaya neden olan faktörler) jeoteknik birimlerdeki ayrışma durumu hakkında tahminde bulunulabilir (Hack vd., 2003). Ayrışma puanı Eşitlik 19 ve 20'deki formüller ile kullanılır (Tablo 5). Şev kaya kütlesi için hesaplanan değerler kullanılarak kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı, kohezyonu ve yeni açılacak şevin maksimum duraylı kalabileceği yükseklik hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 SSPA &= RSPA * SWE * SME \\
 SCD &= RCD * SWE \\
 SUCS &= RUCS * SWE
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

SSPA: Şev kaya kütlesi için ara uzaklık parametresi

SCD: Şev kaya kütlesi için süreksizliklerin durumu

SUCS: Şev kaya kütlesi için tek eksenli basınç dayanımını ifade etmektedir.

Tablo 5. SSPC sisteminde ayrışma durumu için düzeltme puanları

AYRIŞMA (WE)	
Ayrılmamış	1.00
Az ayrılmış	0.95
Orta derecede ayrılmış	0.90
Oldukça ayrılmış	0.62
Tamamen ayrılmış	0.35

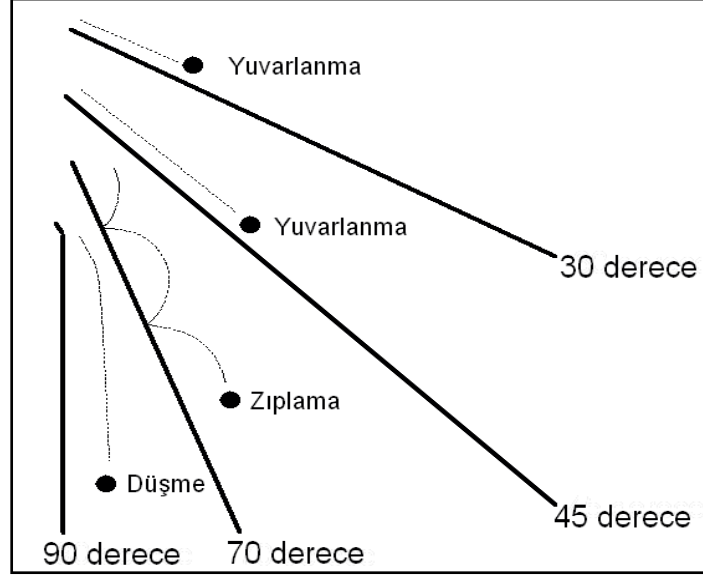
#### 1.6.6. SSPC Sisteminde Suyun Şevlerdeki Etkisi

Süreksizliklerdeki su basıncının etkisi geleneksel olarak kaya şev duraylılığı için en önemli etkenlerden biri olduğuna inanılır. Bununla beraber daha detaylı çalışmalarla suyun kaya kütlelerine etkisi şüpheli olarak görülmüştür. Yüzeyde veya yüzeye yakın birçok kaya kütlesi birçok süreksizlik içerir ve bunlar kazı yüzeylerinde serbest su akışına izin verirler. Bu şevlerin üstünde yer alan toprak tabakası suyun sızmasını engeller ve bu zon genellikle kaya kütlelerinin permeabilitesinden daha düşük permeabiliteye sahiptir. Bu su basıncının oluşmasını engeller.

Su basıncının daha küçük veya hiç olmamasının bir diğer nedeni şev yüzeyine yakın kısımlardaki gerilme değerinin daha derinlere göre düşük olmasıdır. Küçük gerilme süreksizliklerin daha çok açılmasına neden olur. Bu nedenle şev yüzeyinde akan su basıncı azalır. Eğer şev yeraltı su tablasını keserse su basıncı çok önemli olabilmektedir. Birçok kaya kütle sınıflandırma sistemlerinde suyun etkisi %3–15 arasında değişim gösterir. Fakat günümüzdeki kaya kütle sınıflandırma sistemlerinde daha düşük su basıncı değerleri alınır. Örneğin RMR sisteminde %15, SMR sisteminde %13, Selby sisteminde ise %6 ve Haines ve Terbrugge nin sisteminde ise yalnızca %3 alınır. SSPC sistemi açıkça su basıncının varlığı ile ilgili hiçbir bir faktör içermez. Bununla beraber suyun varlığı eğer su varsa süreksizliklerdeki dolgu materyali için ve düşük dayanımlı materyaller için ele alınır.

### 1.7. Açık İşletmelerde Kaya Düşmeleri ve Basamak Dizayını

Kaya düşmesi, bir şev veya yamaçtan eğim aşağıya doğru bir kayacın hareketidir. Bu hareket serbest düşme, zıplama, yuvarlanma ve kayma şeklinde olabilmektedir (Şekil 15).



Şekil 15. Şev eğimine bağlı kaya hareketleri (Ritchie, 1963; Dorren, 2003).

Dağlık bölgelerde kaya düşmeleri günlük (sıradan) bir olaydır. Fakat kaya düşmelerinin sıklığı ve büyüklüğünün tahmin edilememesi alt yapıları ve insan yaşamını olumsuz etkilemektedir (Dorren, 2003).

Kaya düşmesine neden olan birçok faktör vardır. Bunlar; uygun olmayan kaya yapıları (süreksizlikler), kaya kütlelerindeki ayrışma ve bozunmalar, iklim değişiklikleri, yer altı suyu durumları ve gelişigüzel patlatmalardır (Brawner, 1994).

Kaya şevlerinde gerekli duraylılık koşulları yenilme türü ve projenin tipine göre değişmektedir. Yoğun trafiğe sahip olan bir kara yolunun üzerinde açılan şevlerde, taş ocakları ve açık işletme madenciliğinde meydana gelen kaya düşmeleri yola ulaşır ve büyük sorunlara ulaşabilir. Bu durum üretim süresince hem dikkatli patlatmayı hem de duraylılığı artırıcı çalışmalarını gerektirebilir. Duraylılık artırıcı yöntemler iklim ve kayaların bozunmasına bağlı olarak ancak 10–30 yıl arasında duraylılık sağlamakta ve uzun süre güvenli kalabilmeleri için periyodik bakım gerekmektedir. Diğer yandan açık işletmedeki



şevler genellikle güvenlik faktörleri 1.2–1.4 olacak şekilde tasarlanır ve üretim boyunca kısmi şev yenilmeleri kabul edilir (Wyllie ve Mah, 2004).

Basamak duraylılığı başlıca yerel jeolojik yapılar tarafından kontrol edilir, ara rampa ise hem yerel küçük ölçekli hem de fay gibi bölgesel jeolojik özellikler tarafından kontrol edilmektedir. Genel şev duraylılığı ise büyük ölçekli jeolojik özellikler ve kaya kütle özellikleri tarafından kontrol edilmektedir. Basamak şev yüksekliğini etkileyecek faktörlerden biri baskın süreksizlik setinin şev dışına doğru eğimli olması diğeri ise kazı ekipmanının erişebileceği düşey mesafedir (Grenon ve Hadjigeorgiou, 2010; Wyllie ve Mah, 2004 ).

Basamak duraylılıkları genellikle çok düşük şev eğimlerini gösterir, bu durum çoğunlukla karlı olmayan madenciliğin uygulanmasına yol açmaktadır. Bu nedenle madencilikte genel şev duraylılığından emin olmak gerekmektedir (Alejano vd., 2007). Basamak dizaynı her bir zonun jeolojisine, jeomekanik ve geometrik özelliklerine bağlı olarak tasarlanmaktadır. Basamak ayna açısı kinematik analizlerden yararlanarak madencilik gereksinimleri dikkate alınarak olabildiğince dik açılmaktadır.

Basamak genişliği ile ilgili çalışmalar literatürde yaygın olmasına karşın her ocağın kendine özgü duraylılık koşulları olabilmektedir. Bununla birlikte Ritchie (1963) madencilikte basamak yüksekliğinden basamak genişliğini önermiştir (Eşitlik 21).

$$\text{Minimum basamak genişliği (m)} = 4.5 + 0.2H_b \quad (21)$$

Yukarıdaki eşitlik bazı tartışmalara neden olduğundan, Ryan ve Prior (2001) aşağıdaki eşitliği önermişlerdir. Eşitliklerde  $H_b$  basamak yüksekliğini ifade etmektedir.

$$\text{Minimum basamak genişliği (m)} = 3.5 + 0.17H_b \quad (22)$$

### 1.8. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı olan Taşönü kireçtaşı hammadde ocağının (Araklı, Trabzon) yer aldığı bölgenin ve bu ocak çevresinin jeolojisini konu alan önemli jeolojik çalışmalar ile bu ocağındaki kazı şevlerinin duraylılığı ile ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Erguvanlı (1975) Araklı kalker ocağındaki rezervi araştırmak için yaptığı çalışmada, marnlı kalker, killi kireçtaşı, killi marn, traverten ve kalkerlerin değişik sıralarda

ardalanmasından oluşan birimin bazalt, andezit ve piroklastikleri üzerine geldiğini belirtmiştir. Bu çalışma kapsamında 16 sondaj yapmış ve bunları deneştirmiştir. Ocakta, şu anki heyelan bölgesinde yapılan sondajda söz konusu birimlerde kalınlığı 110 cm'ye varan kil tabakalarına rastlamıştır. Ocağın mevcut rezervinin 10 667 573 ton olduğunu belirten yazar, sondajdan elde edilen karotların kimyasal analizlerini ve birimlerin yatay ve düşeydeki değişimleriyle birlikte değerlendirerek bir işletme planı sunmuştur.

Güven (1993) Doğu Pontidler'in 1/100000'lik haritalanması için yaptığı çalışmada söz konusu bölgede volkanik birimler arasında yer alan ve Doğu Pontidler'in hem Güney hem de Kuzey Zonu'nda yüzeylenen ve kalınlığı 100–200 metre arasında değişen platform karbonatlarının Kuzey Zon'da daha masif yapıllı killi, çörtlü ve kumlu kireçtaşları ile temsil edilirken, Güney Zon'da ise orta-kalın tabakalı çökellerle karakteristik olduğunu belirtmektedir. Üst Jura-Senomaniyen yaşlı bu kireçtaşları Doğu Pontidler'in Güney Zonu'nda Geç Kretase yaşlı flişlere geçiş yapmakta, Kuzey Zon'da yine Geç Kretase yaşlı volkano-tortul bir istif tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Doğu Pontidler'in Güney Zonu içinde yüzeylenen flişler Kuzey Zon'daki beş formasyonun yanal karşılığı olarak kabul edilmektedir ve bu birimin kalınlığı 600–800 metre arasında değişmektedir. Üst Kretase boyunca Doğu Pontidler'de gelişen volkanik aktivitenin etkisi dışında kalan ve derin deniz ortamında çökelmiş olan birim, Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir. Üst Kretase dönemi boyunca Doğu Pontid'lerin Kuzey zonu'nda gelişen volkanizma sonucu kalın bir volkanik istif gelişmiştir. Bu istifin ilk evreleri bazik ve asidik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bazik karakterli genellikle kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kireçtaşı ara katkılı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan yaklaşık 900 metre kalınlığındaki serinin yaşı fosil bulgularına göre Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen olarak kabul edilmiştir. Asidik karakterli riyodasit, dasit ve proklastitlerden oluşan birim ise yer yer tuf, aglomera ve breş ara katkıları içermektedir. Yaklaşık 150-200 metre kalınlığında olan birim, Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen yaşlı birincil evre bazik nitelikli seri üzerine uyumlu olarak geldiği için, Santoniyen yaşlı kabul edilmiştir. İkinci evreli bazik ve asidik volkanik kayalar bu birimlerden sonra oluşmuştur. Kumtaşı, marn ve kırmızı renkli kireçtaşı ara katkılı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan ikincil evreli bazik kayalar yaklaşık 800 metre kalınlığındadır. Kırmızı renkli kireçtaşları içinde bulunan fosillerden yararlanarak birimin yaşı, Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993). Bazik karakterli volkano-tortul seri üzerine uyumlu olarak gelen ikincil evreli asidik

kayaçlar, riyodasit, dasit, trakiandezit ve proklastitlerinden oluşmaktadır. 100–200 metre kalınlığında olan birimin yası, stratigrafik konumuna göre Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir. Güven (1993). Araklı (Trabzon) kıyı şeridinde yakın kısımlarda Eosen yaşlı andezitik-bazaltik volkanitlerin yayılım gösterdiği, belirtmiştir. Yazara göre; kıydan güneye gidildikçe (Taşönü hammadde ocağı ve güneyine doğru), Geç Kretase yaşlı birimlerin (en altta bazaltik andezitik volkanitlerin üste doğru dasitik ve riyodasitik volkanitler, kumtaşı marn, resifal kireçtaşının) bulunduğunu ve en üste de (söz konusu ocağın bulunduğu alan civarında) marn, killi kireçtaşı ve şeylden oluşan birimin yer aldığını belirtmektedir.

Erçıkıdı (2004) yaptığı yüksek lisans tezinde Araklı-Taşönü kalker ocağının üretiminde patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin çevredeki okul, cami, tarihi eser ve evlere olan hasar etkilerini araştırmıştır. Bu kapsamda, mevcut durumda uygulanan basamaklı düşey delik patlatma kazı modelini incelenmiş ve gerçekleştirilen basamaklı atımlara eşlik edilerek yersarsıntısı değerleri ölçülmüştür. Yapılan atımların okul, cami, yerleşim birimleri ve tarihi eserlere zarar vermemesi için yeni patlatma tasarımları geliştirilerek ocak sahasının çalışma sınırları da belirlenmiştir.

Cihangir (2006) yaptığı yüksek lisans çalışmasında öncelikle kalker ocağında ve çevresinde inceleme ve gözlemler yapılmış, ocak çevresindeki yapılaşma durumu ile yapıların ocak sınırına olan uzaklıkları belirlemiştir. Ölçülen 73 veriye ait parçacık hızı, ölçekli mesafe, titreşim frekansları, öz yapısal frekanslar, ivme ve yer değiştirme parametreleri arasındaki ilişkileri incelenmiş ve uluslararası standartlarla karşılaştırılarak hasar normları içindeki yerlerini belirlemeye çalışmıştır. Ayrıca patlatmaların hava şoku unsurlarının da ayrıntılı analizi yapılmış ve sonuçları sınıflandırılmıştır.

Erçıkıdı vd. (2006) Araklı Taşönü kireçtaşı sahasında 19 Ekim 2006'da meydana gelen heyelan sonucu oluşan şevin duraylılığını deterministik yöntemle araştırmışlardır. Bu araştırmada yeraltı su durumu için iki farklı model kurulmuş, yapılan analizlerden elde ettikleri güvenlik katsayısı değerlerinin genel itibarıyla şevlerin uzun dönemde duraylı kalması için güvenlik sınırı olarak kalması kabul edilen 1.2 limit değerinin genelde altında olduğunu, bu nedenle incelenen şevin uzun dönemde duraylı kalmayacağını ve risk taşıdığını belirtmişlerdir.

Ceryan (2009) yaptığı doktora çalışmasında Araklı Taşönü kireçtaşı ocağında heyelanlar sonucu oluşmuş şevlerin duraylılıklarını olasılık yöntemiyle incelemiştir. Heyelanlar sonucu şevlerin arkasındaki yamaçlarda gerilme çatlakları oluşmuştur. Bu

şevlerin yamaç duraylılığı Monte Carlo metodu ile analiz yapmış ve duraysız olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca heyelanlı bölgedeki jeoteknik birimlerin süreksizlik özelliklerini ölçmüş ve kazılabilirlik değerlendirmesinin Kazılabilirlik İndeksi ile yapılabileceğini ifade etmiştir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Giriş

Doğu Karadeniz Bölgesinin en büyük çimento hammadde ocağı olan Taşönü (Trabzon-Araklı) Kireçtaşı Ocağında 2005- 2007 tarihleri arasında 3 kez düzlemsel yenilme gelişmiştir. Bu yenilmeler nedeniyle ocaktan malzeme alımı büyük miktarda azalmıştır. Söz konusu yenilmeler yaklaşık 15–110 cm kalınlığındaki kil tabakaları üzerinde gelişmiştir (Ceryan vd., 2009). Taşönü hammadde ocağı kil, marn, kireçtaşı ve tüffit araldanmasından oluşan Üst Kretase yaşlı Taşönü formasyonu içinde açılmıştır. Heyelanlı bölgenin güney-güneydoğu tarafında 2010 yılı başlarında yeni bir ocak aynı jeolojik birimler içerisinde açılmaya başlanmıştır. Yukarıda bahsi geçen heyelanlar Taşönü formasyonu içerisinde gerçekleştiğinden, bu nedenle yeni açılan ocakta herhangi bir duraysızlık veya heyelan olup olmayacağına dair çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada ilk olarak, söz konusu ocakta yüzeyleyen değişik fasiyeste gelişmiş kayalar tanımlanarak 1/1000 ölçekli jeoloji haritası oluşturulmuştur. Ayrıca çalışma alanındaki birimler litolojisine, rengine, ayrışma durumlarına, süreksizlik sıklığına vb. göre jeoteknik birimlere (homojen bölgelere) ayrılmıştır. Kaya kütlelerinin mühendislik davranışı önemli ölçüde kaya malzemesinin özelliklerine, içerdiği süreksizliklerin özelliklerine, kaya kütle yapısına ve ayrışma durumuna bağlıdır. İncelenen ocakta haritalanan jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesinin tanımlanması ve kaya kütlelerinin mühendislik davranışını belirlemek için kaya malzemesinin indeks özelliklerinin (fiziksel özellikler, elastik dalga hızı, suda dayanımı, ayrışma durumu, Schimidt çekici geri tepme sayısı) bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca indeks özellikler kaya malzemesinin dayanım özelliklerinin (nokta yük dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımının) tahmininde de kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada arazide tanımlanan jeoteknik birimlerdeki kaya malzemesinin indeks özellikleri bulunmuştur.

Kaya kütlelerinin mühendislik davranışını etkileyen önemli parametrelerden biri de süreksizlik özellikleridir. Arazi incelemelerinde kazı şevlerindeki olası yenilmelerin süreksizliklere bağlı olarak gelişeceği tahmin edilmiştir. Ayrıca ocaktaki uygulanan kazı yönteminin belirlenmesi ve kazının güvenli ve ekonomik yapılabilmesi için süreksizlik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, ocaktaki kaya

kütlelerinin süreksizlik özellikleri ayrıntılı incelenmiştir. Süreksizlikler şev duraylılığı olasılık sınıflandırma (SSPC) sistemine göre değerlendirilerek yönelime bağlı ve yönelimden bağımsız duraylılık değerlendirilmeleri yapılmıştır. Ayrıca jeolog pusulası yardımıyla duruşları (eğim yönü/eğim açısı) bulunan süreksizliklerin kinematik analizleri değerlendirilerek SSPC yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra limit denge analizleri RockPlane (V.2.0) paket programı kullanılarak üretim ve heyelan sahası için test edilmiştir.

Kayaçların mühendislik davranışını etkileyen önemli parametrelerden biri ayrışma olduğundan bu çalışmada ayrışma indeksi birkaç farklı duruma göre (ağırlıkça su emme oranı, schmidt çekici ile ayrışma tayini, ultrasonik darbe hızı deneyi ile ayrışma tayini ve suda dağılma dayanımı deneyi ile dayanım tayini) yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, incelenen ocakta haritalanan jeoteknik birimlerin kaya kütle özellikleri belirlendikten sonra bu jeoteknik birimlerin kazılabilirliği iki ayrı yöntemle değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında Taşönü malzeme ocağındaki şevler 5 farklı karbonatlı birimler içerisinde açıldığından bu birimler zonlara ayrılmıştır. Beş zona ait kaya blokları laboratuara getirilerek karot ve deneyler için uygun örnekler alınmıştır. Söz konusu zonlara ait örnekler üzerinde yoğunluk deneyleri ile ayrışma ve su içeriği tayinleri, tek eksenli basınç deneyleri, schmidt çekici ile kazılabilirlik, sertlik ve ayrışma tayinleri, ultrasonik darbe hızı deneyi ile kazılabilirlik ve ayrışma tayinleri, suda dağılma deneyleri, değişik süreksizlik yüzeylerine ait eğim (tilt) deneyleri ve kaya makaslama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

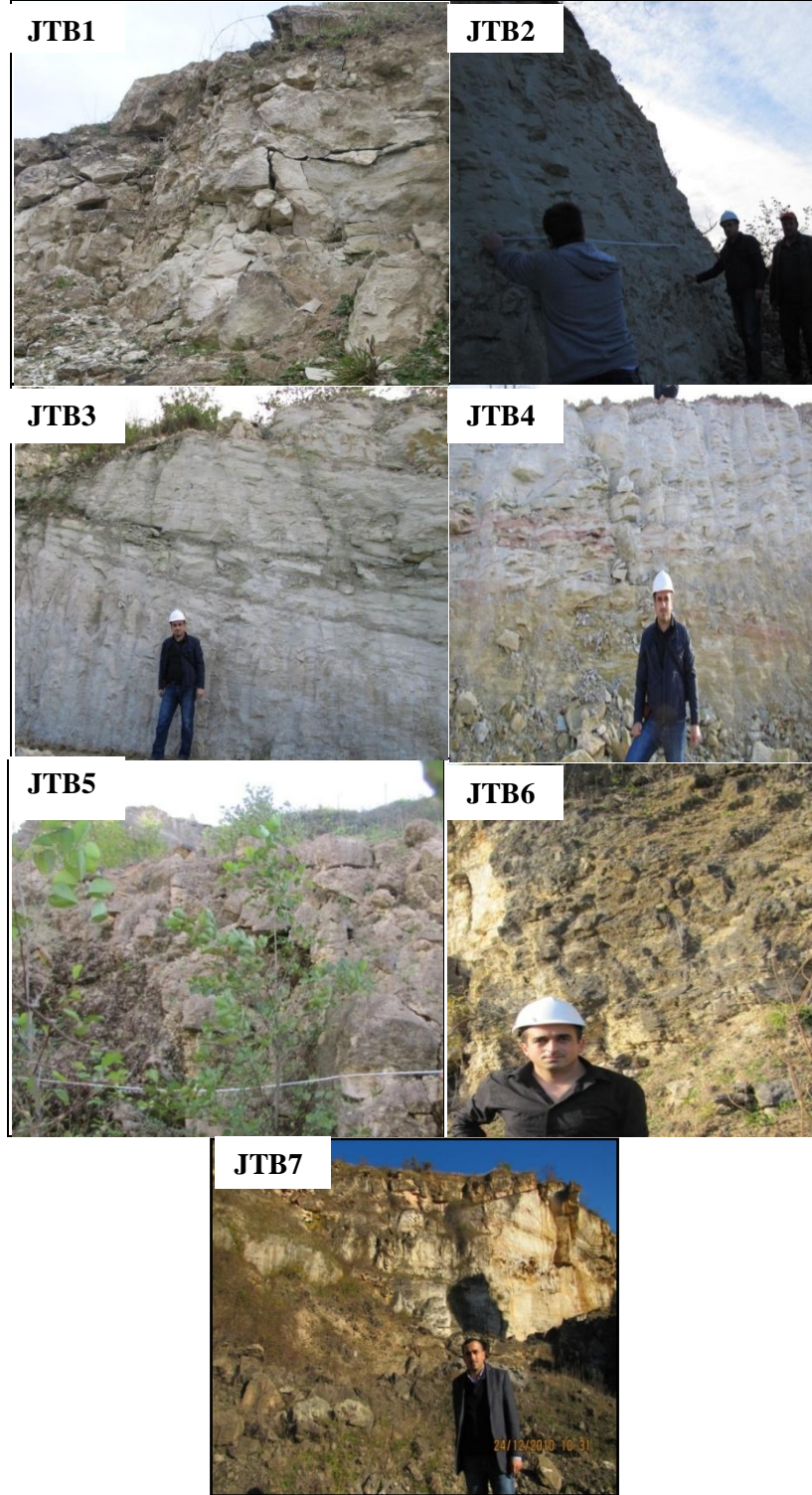
## **2.2. Jeolojik Harita Alımı**

Kireçhane Formasyonu içerisinde açılan üretim sahasında topoğraflar eşliğinde topoğrafik harita hazırlanmıştır (Ek Şekil-1). Basamak tasarımı yapılırken söz konusu haritadan yararlanılmıştır.

## **2.3. Jeoteknik Birimlerin Tanımlanması**

Bu çalışmada jeoteknik birimlerin tanımlanmasında; şev geometrisi, fasiyes değişimi, ayrışma durumu, kaya mekaniği deney sonuçları ve süreksizlik sıklığı esas

alınmıştır. Arazide tanımlanan her jeoteknik birimde söz konusu bu özelliklerin değişiminin en az olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Taşönü (Araklı) Kalker ocağında tanımlanan jeoteknik birimler

Teorik olarak kaya kütlesini davranışını belirtmek için uygun bir değerlendirme kaya kütlesinin tüm özelliklerini ve onların yersel değişimlerini içermelidir. Bu gerçek dışıdır ve kaya kütlesini tahrip etmeden mümkün değildir. Bu yüzden standart süreç kaya kütlelerini standart homojen jeoteknik birimlere ayırmaktır. Pratikte böylesi bir homojenlik çok nadiren bulunur ve malzeme özellikleri ile süreksizlik özellikleri ayrıtılan her bir jeoteknik birimde seçilmiş bir aralıkta değişir. Bir jeoteknikte parametreler ne kadar az değişime izin veriyorsa değerlendirmede o ölçüde daha tutarlı yapılmış olur. Jeoteknik birimlerdeki özelliklerin değişebilirliğinin sınırları toplanan veri sayısına da bağlıdır ve dolayısıyla daha da fazla maliyete neden olacaktır. Tutarlılık için ne kadar veri toplanacağı mühendislik yapısının ekonomik, sosyal ve çevre değerleriyle bu yapının çevre ve insan yaşamı için oluşturacağı riskle bağlantılı olmalıdır (Hack vd., 2003).

#### **2.4. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları ve Petrografik İncelemeler**

İnceleme alanında yer alan kaya şevleri üç aşamada değerlendirilerek duraylılık çalışmaları yapılmıştır. Bunlardan birincisi arazide yapılan çalışmalar, ikincisi laboratuvarında yapılan çalışmalar, üçüncüsü ise büro ortamında gerçekleştirilen çalışmalardır.

Çalışma alanından alınmış kayaç örnekleri Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Hazırlama Laboratuvarında yaptırılmıştır. İnce kesitler ve paleontolojik kesitler ise polarizan mikroskopda incelenmiş ve kayaçların mineralojik, fosil ve petrografik analizleri yapılarak kayaç adlandırmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca paleontolojik tayin amaçlı hazırlanan kesitlerde mikrofosil tayini yapılmıştır.

#### **2.5. Kaya Malzemesinin İndeks ve Dayanım Özelliklerinin Bulunması**

İndeks özelliklerin bulunması için yapılan ölçümler, araziden laboratuvara getirilen blok örneklerden alınmış NX (54,7 mm) çaplı karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 17). İndeks ve mekanik deneyler KTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. İncelenen örneklerin indeks özelliklerinin bulunması için yapılan deneylerde ISRM standartları (ISRM, 2007a, b, c, d) esas alınmıştır. Bu çalışmada,



indeks özellikler kaya malzemesini tanımlamak ve kaya tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılmıştır.



Şekil 17. İndeks ve mekanik deneylerin yapıldığı bazı karot örnekler

### 2.5.1. Tek Eksenli Basınç Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) silindirik ya da küp şekilli numunelerin tek eksenli sıkışma dayanımının tayini amacıyla yapılmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı jeoteknik uygulamaların birçoğunda ve kaya kütle sınıflandırma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneyler yapılırken L/D oranı 2.5–3.0 arasında değişkenlik göstermiştir. Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) için her bir zondan 10 adet toplamda 50 karot deneye tabi tutulmuştur.

Araziden laboratuara getirilen kaya blokları üzerinde alınan NX çaplı silindirik örnekler üzerinde ISRM standartları (ISRM, 2007a) esas alınarak tek eksenli basınç deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 18). Deney sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak (Eşitlik 23), referans çapa yani 50 mm'ye göre düzeltilmiştir (Hoek ve Brown, 1980).

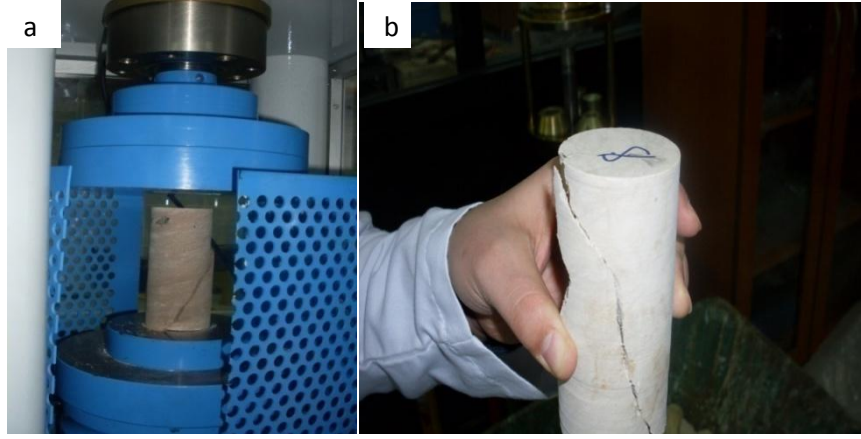
$$\sigma'_c = \sigma_c \left(\frac{50}{D}\right)^{0.18} \quad (23)$$

Eşitlikte;

$\sigma'_c$ : Deneyde bulunan örneğin tek eksenli basınç dayanımını (MPa),

$\sigma_c$ : 50 mm çaplı karota göre düzeltilmiş tek eksenli basınç dayanımını (MPa),

D ise örneğin çapını (mm) gösterir.



Şekil 18. Tek eksenli basınç deneyine tabi tutulan bazı örnekler (a ve b)

### 2.5.2. Çekme Deneyi

Çekme dayanımı; kayaçların kazılabilirliğinde, yeraltı kazılarında, patlayıcı madde kullanımında, sökülebilirlik gibi mühendislik çalışmalarında bilinmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, kaya malzemenin çekme dayanımı Brezilyan deneyi (endirekt çekme) ile belirlenmiştir (Şekil 19). Çekme dayanımı aşağıda verilen eşitlikle bulunmaktadır.

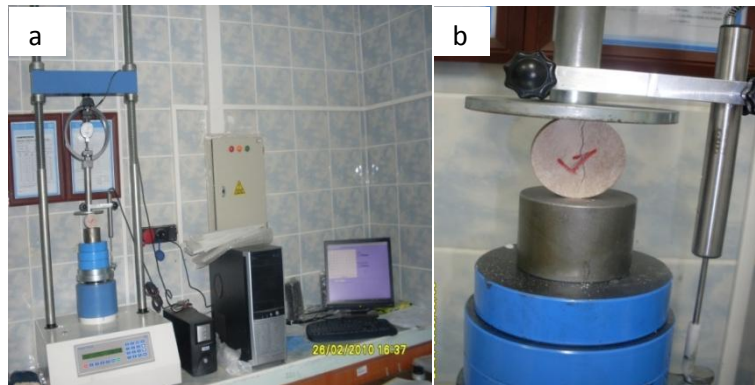
$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DL} \times 0,1 \quad (24)$$

Eşitlikte;

$\sigma_t$  (MPa) çekme dayanımı,

P (kg) örneği kıran kuvvet

D (cm) örnek çapı ve L (cm) örnek boyudur.



Şekil 19. Bilgisayar kontrollü deney aleti (a) ve deney örneği (b)

### 2.5.3. Schmidt Çekici ile Sertlik Tayini

Schmidt çekici beton sertliğini test etmek için ilk olarak 1948 yılında geliştirilmiştir (Schmidt, 1951). Daha sonra ise kaya dayanımını test etmede kullanılmaya başlanmıştır (Katz vd, 2000). Ucuz, kolay, pratik, hasarsız bir deney yöntemi olan Schmidt çekici ile sertlik tayini kaya ve betonların sertlik dayanımlarının tayininde ve tek eksenli basınç dayanımlarını dolaylı yoldan tahmin etmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Schmidt çekici hem arazide hem laboratuarda uygulanabilmektedir (Şekil 20). Literatürde birbirinden oldukça farklı ölçme ve değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır (Deere ve Miller, 1966; Poole ve Farmer, 1980; ISRM, 1981; Hucka, 1965; USBR, 1998; Gökten ve Ayday, 1993; ASTM, 2001; Haramy ve De Marco, 1985). Schmidt çekici sertlik tayini değerlendirme yöntemlerinden ISRM ve ASTM standartları aşağıda verilmiştir.

ISRM, 1981 -Bu yöntemde numune üzerine yapılan schmidt çekici ile 20 farklı noktaya tek vuruş yapılır, en büyük 10 vuruş değerinin ortalaması alınır.

ASTM, 5873–2001- Bu yöntemde numune üzerine yapılan schmidt çekici ile on farklı noktaya tek vuruş yapılarak bu vuruşların ortalaması alınarak ortalamanın 7 birim altındaki ve üstündeki değerler iptal edilerek geriye kalanların ortalaması schmidt sertlik değeri olarak alınır.



Şekil 20. Schmidt çekicinin arazide (a) ve laboratuarda uygulaması (b)

Bu çalışmada, schmidt çekici sertliğinin ölçümünden önce teste tabi tutulacak yüzeyler dolgudan arındırılarak temizlenmiştir. ISRM (1981)'e göre test edilen örnekler ayrıca ASTM standartına göre de test edilmiştir. Tablo 6'da ISRM (1978)'e göre Schmidt çekici değerlerine göre kayaç sınıflaması yer almaktadır.

Tablo 6. Schmidt çekicine göre kaya sertliğinin sınıflandırılması (ISRM, 1978).

Schmidt Çekici Değeri	Sınıflandırılması
0-10	Yumuşak
10-20	Az Yumuşak
20-40	Az Sert
40-50	Sert
50-60	Oldukça Sert
> 60	Çok Sert

#### 2.5.4. Nokta Yükleme Deneyi

İki konik uç arasına yerleştirilen kayaç örneklerinin kırılma esasına dayanan nokta yükleme deneyi yaygın olarak pratikte kullanılmaktadır (Topal, 2000). Bununla beraber kaya mühendisleri yeraltı ve yerüstü yapılarının dizaynında kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarını (UCS) yaygın olarak kullanmaktadırlar (Akram ve Bakar, 2007). Çalışma alanında UCS için her koşulda örnek alımı zor ya da bazı durumlarda (kayacın aşırı çatlaklı olması gibi) olduğundan nokta yükü deneyi yapılarak UCS değeri tahmin edilebilmektedir. Bununla ilgili literatürde mevcut çalışmalar vardır (Bieniawski, 1975; Broch ve Franklin, 1972; Akram ve Bakar, 2007; Öztürk vd, 2004).

Bu çalışmada nokta yükleme deneyi için ISRM (1985) esas alınmıştır. Deney örnekleri arazide yüzeylemelerden alınan şekilsiz örnekler üzerinde ve laboratuarda alınan karot örnekleri üzerinde eksenel ve çapsal deney yapılmış ve sonuçları aynı jeolojik birimlere ait UCS değerleriyle karşılaştırılmıştır. Örnek boyutları çapsal deney için (L/D (boy/çap) >1; tercihen L/D=1.0–1.4) iken, eksenel deney için L/D (boy/çap) oranı 0.3–1.0 arasında olan karot örnekleri kullanılmaktadır. Şekilsiz örnekler için ise 50 ± 35 mm boyutundaki örnekler bu tür deney için uygun olup kalınlık (D) ve genişlik (W) oranı 0.3 ile 1.0 arasında, tercihen 1'e yakın olacak şekilde deneylere tabi tutulmuştur (Şekil 21). Örnekler 10–60 saniye arasında kırılacak şekilde yükleme yapılmıştır. Nokta yükü dayanım indeksi aşağıdaki eşitlikle belirlenmektedir.

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (25)$$

Eşitlikte;

Is: Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi (MPa),

P: Örneği kıran kuvvet (kN),

De: Eşdeğer karot çapı (cm)'dir.

Karot örneklerde çapsal yükleme için  $D_e^2 = D^2$ , aksenal ve şekilsiz örnekler üzerinde yapılan deneylerde ise  $D_e^2 = 4A/\pi$  olarak alınmaktadır. Burada; ( $A=WxD$ ; konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanıdır. Eğer konik uçların örneğin içine girmesi durumu söz konusu ise;  $A=WD$  olarak alınır. Bu eşitliklerde, W Genişlik (cm), D ve  $D$  ise yükleme noktaları arasındaki uzaklıktır.

Yukarıda ifade edilen düzeltilmemiş nokta yük dayanımı değeri referans çapa ( $D=50$  mm) göre düzeltmek için ISRM (1985) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

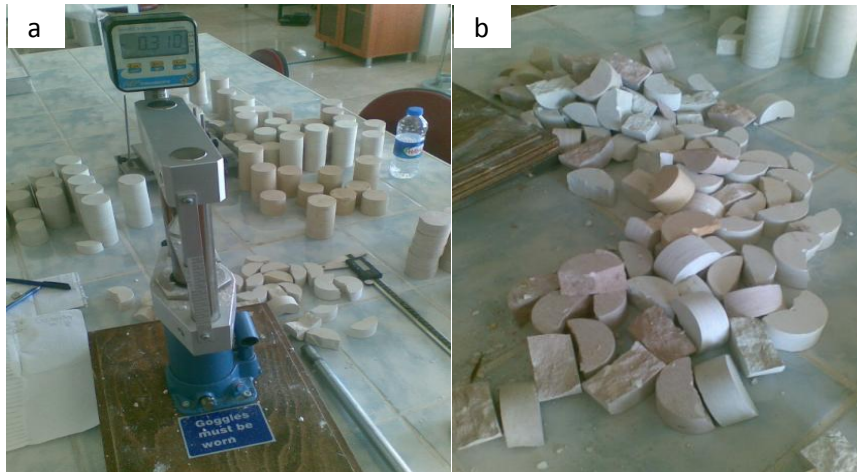
$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (26)$$

$$F = (D_e/A)^{0,45} \quad (27)$$

Eşitlikte;

$I_{s(50)}$ : 50 mm çaplı karota göre düzeltilmiş nokta yük dayanımı (MPa),

F: Boyut düzeltme faktörüdür.



Şekil 21. Nokta yükü deney aleti (a) ve deneyden sonra numunelerin görünümü (b)

### 2.5.5. Eğim (Tilt) Testleri

Bir süreksizliğin makaslama dayanımını tahmin etmedeki basit bir yol süreksizlik içeren kaya örneğini almak ve daha sonra süreksizliğin eğim açısını (pik içsel sürtünme açısını) bulmak için örneği yataydan süreksizliğin üzerindeki kayaç kayıncaya kadar kaldırma esasına dayanmaktadır (Barton vd., 1985). Şekil 22’de tilt testinin bir düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 22. Doğal sürtünme açısını belirlemede kullanılan basit tilt test aleti

Aynı kaya malzemesindeki pürüzlü bir süreksizlik yüzeyi düzgün bir süreksizlik yüzeyinden daha büyük bir sürtünme açısı sergileyecektir. Bu problem 2 açı bileşeninden oluşan içsel sürtünme açısını simgeleyen  $\varphi$ 'de çözülür. Birincisi  $\varphi_b$ = Kaya malzemesinin açıkça görünen düzgün süreksizlik yüzeyinin temel sürtünme açısıdır. İkinci bileşen  $i$ = görünür pürüzlülük ve diğer yüzey düzensizlikleri yüzünden etkili pürüzlülük açısı olarak adlandırılan  $i$  açısı, Barton ve Choubey (1977) tarafından Tablo 7’de listelenen ve birçok yazar tarafından deneysel olarak belirlenen  $\varphi_b$ ’nin toplamından  $\varphi$  içsel sürtünme açısı belirlenebilmektedir (Eşitlik 28).

$$\varphi = \varphi_b + i \quad (28)$$

Islak yüzey örnekleri için gözenek suyu basınçları makaslama hareketi boyunca normal kontak basınçlarını azaltabilmektedir. Bu nedenle sürtünme açıları bir azalma gözlenmektedir. Bununla beraber bu olgu için diğer açıklamalarda vardır. Kaya malzemeleri nem içeriklerindeki artıştan dolayı önemli ölçüde zayıflayabilir (Colback ve Wiid, 1965).

Çalışma alanında incelenen şevlere ait süreksizlik içeren kayaçlar üzerinde eğim deneyleri, her biri beşer adet olmak üzere gerçekleştirilmiş ve not edilmiştir. Eğim (Tilt) deneyleri eğim yönleri arazide işaretlenen örnekler araziden laboratuara getirildiği gün gerçekleştirilerek doğal durum sağlanmıştır. Doğal halde deneyler yapıldıktan sonra ipe her bir örnek dikkatlice bağlanmış ve su içerisine dikkatlice konularak 24 saat beklenmiştir. Doygun hale gelen örnekler üzerinde eğim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numunelerin süreksizlik yüzeyleri zedelenmeden bir ipe bağlanmış ve 24 saat 105 derecede etüve atılmıştır. Etüvden kuru halde çıkarılan numuneler üzerinde eğim deneyleri yapılarak kuru durumdaki içsel sürtünme açısındaki değişim not edilmiştir.

Tablo 7. Bazı kayaların sürtünme açıları (Barton ve Choubey, 1977).

Kaya Tipi	$\phi_b$	$\phi_b$
	$\phi$ kuru	$\phi$ ıslak
Kumtaşı	26–35	25–34
Silttaşı	31–33	27–31
Kireçtaşı	31–37	27–35
Bazalt	35–38	31–36
İnce taneli granit	31–35	29–31
İri taneli granit	31–35	31–33
Gnays	26–29	23–26
Sleyt	25–30	21

Bu çalışmada eğim (tilt) deneyleri ve kaya makaslama deneyleri ile içsel sürtünme açıları bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Eğim testleri uygulanırken süreksizlik yüzeylerinin nem içeriklerine göre nasıl bir içsel sürtünme açısına sahip olabilecekleri de ayrıca çalışılmıştır.

### 2.5.6. Kaya Makaslama Deneyi

Kaya örneğinin makaslama dayanımının belirlenmesi kaya şevleri, tüneller, baraj temelleri, atık depoları gibi yapıların tasarımında önemli bir bakış açısı sunmaktadır (ASTM, 2008).

Bir süreksizlik yüzeyinin sürtünme açısı laboratuarda uygulanan kaya makaslama deneyi ile yapılmaktadır. Kaya numunelerinin veya zayıflık düzlemlerinin en yüksek (pik) ve kalıcı (rezidüel) makaslama dayanımı, makaslama düzlemine dik etki eden gerilmelerin fonksiyonu olarak belirlenmektedir (ISRM, 2007b).

Bu çalışmada doğrudan kesme (makaslama) deneyine geçilmeden önce örneklerin deney düzeneği içerisine yerleştirilebilmesi için çimento kalıplar dökülmüştür. Kaya malzemesi çimentolu harç içerisine iki aşamalı olarak yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminden önce kaya malzemesinin süreksizlik düzleminden ayrılmaması amacıyla bant ile sarılmış ve ilk olarak alt yarı kalıp hazırlanarak bu kalıbın donması beklenmiştir. Kaya örneği alt kalıp içine yerleştirilirken en önemli husus süreksizlik düzleminin kesme yönüne paralel olması gerekmektedir. Bu nedenle örnek harç malzeme içersine yerleştirilirken kalıbın yan tarafındaki açıklıktan süreksizlik düzleminin konumu ayarlanmalıdır. Örnek kalıp içerisine yerleştirilirken süreksizlik düzleminin en az 5 mm'lik bir kısmı açıkta kalacak şekilde harç içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 23).

Araziden alınan süreksizlik içeren kaya blokları laboratuvar ortamına getirilerek, mermer kesme makinesinde ASTM (2008) ve ISRM (2007) standartlarına uygun bir şekilde kesilmiş ve beton kalıplar içerisnde birkaç gün bekletildikten sonra deneyler taşınabilir kaya makaslama deney aletiyle gerçekleştirilmiştir. Deneyler uygulanırken eğim (tilt) deneylerinde kullanılan numunelerle aynı özellikte olmalarına özen gösterilmiş ve uygun koşullar elverdiğinde kaya bloğu iki parçaya ayrılarak bir parçasıyla kaya makaslama deneyi, diğer parçasıyla eğim deneyi gerçekleştirilmiştir.

En az üç örnek üzerinde yapılan deneyler farklı normal yükler altında (5,10,...25 kN) gerçekleştirilmiş ve sonuçlar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (ISRM, 2007b; Kesimal vd., 2010).

$$\text{Normal gerilme} \quad \sigma_n = P_n / A \quad (29)$$

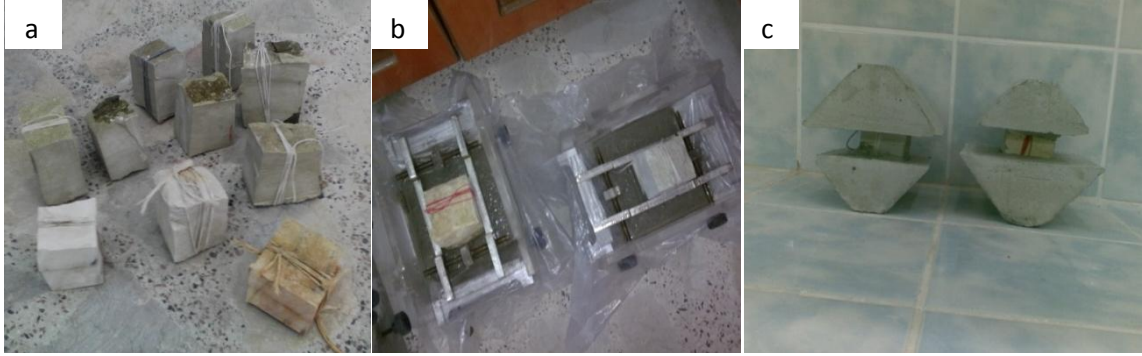


$$\text{Makaslama gerilmesi } \tau = P_s/A \quad (30)$$

$P_s$ = toplam makaslama dayanımı, kN

$P_n$ = toplam normal yük, kN

$A$ = makaslama yüzeyinin bindirme alanı,  $\text{cm}^2$



Şekil 23. Örneklerin kaya makaslama deneyi için hazırlanması (a) ve kalıplara yerleştirme işlemi (b ve c)

### 2.5.7. Suda Dağılma Deneyi

Genellikle kil içeren kayalar, ayrıışmış kayalar ve zayıf kayalar için uygulanan indeks deneylerden biri olan suda dağılma dayanımı deneyi, ilk kez Franklin ve Chandra (1972) tarafından, çamur taşlarının kısa süreli ıslanma-kuruma şeklindeki fiziksel etkilerle parçalanma durumunu belirlemek amacıyla geliştirilmiş olup, daha sonra ISRM tarafından standart hale getirilmiştir.

Bu test metodu şeyl ya da diğer benzer kayaların iki standart ıslanma-kuruma devrine tabi tutulması durumunda, suda dağılma dayanım indeksinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır (ASTM, 2004). Atmosferde ya da yeraltında yapı elemanı olarak kullanılan malzemeler üzerinde (her türlü yapı ve dolgu) zaman, donma-çözünme, ıslanma-kuruma, sıcaklık etkisi, kimyasal ataklar vb. iç ve dış etkenler dolayısıyla meydana gelecek yapısal bozulmaların/kötüleşmelerin derecelerinin önceden tahmin edilmesinde yardımcı olur.

Bu deneyde kullanılacak numunelerin her biri 40–60 gr ve toplam ağırlığı 450–550 gr olan 10 adet kaya örneği olmalıdır (Şekil 24). Deneye tabi tutulacak kayaların tane boylarının 3 mm'yi geçmemesi ve her bir parçanın yaklaşık küre şeklinde olması ve köşeleri numune hazırlanması sırasında yuvarlatılmalıdır (ISRM, 2007c).



Şekil 24. Suda dağılma deneyine tabi tutulan örnekler

Dağılma dayanım değerleri Tablo 8’de gösterildiği şekilde sınıflandırılmaktadır (Gamble, 1971).

Tablo 8. Suda dağılma dayanım sınıflaması (Gamble, 1971).

İndeks Değeri ( $I_{d-1}$ ) (%)	İndeks Değeri ( $I_{d-2}$ ) (%)	Dağılma Dayanım Sınıflaması
<60	0–30	Çok düşük
60–85	30–60	Düşük
85–95	60–85	Orta derecede
95–98	85–95	Orta – Yüksek
98–99	95–98	Yüksek
>99	>98	Çok yüksek

### 2.5.8. Yoğunluk Deneyleri

Bu deney, kuru, doymuş ve doğal kaya numunelerinin gözeneklilik, yoğunluk, birim hacim ağırlık ve su içeriklerini saptamak amacıyla yapılmaktadır (ASTM, D 2216-05). Çoğu kayaç benzer tane yoğunluğuna sahip olduklarından aralarındaki korelasyon oldukça

iyidir. Düşük yoğunluğa sahip kayalar genellikle yüksek porozite içermektedirler (ISRM, 2007d).

Kayaçların yoğunluğunu belirleyen başlıca üç etmen vardır;

- Kayacı oluşturan mineralin yoğunluğu,
- Kayacın porozitesi,
- Kayaç içindeki boşlukları dolduran sıvının miktarı.

Bu çalışma kapsamında her zon için 5'er yoğunluk deneyi şekilsiz ve şekilli karot üzerinde yapılmış ve karşılaştırılmıştır (Şekil 25). Değerlendirme aşamasında verilerin ortalaması alınmıştır. Bu deneylere ilave olarak ayrılmış numuneler üzerinde de yoğunluk deneyleri yapılarak her bir zonun ayrışma özellikleri irdelenmiştir.



Şekil 25. Şekilsiz (a) ve belirli bir şekle sahip karot numuneleri (b)

## 2.6. Zemin Örnekleri Üzerinde Yapılan Laboratuvar Deneyleri

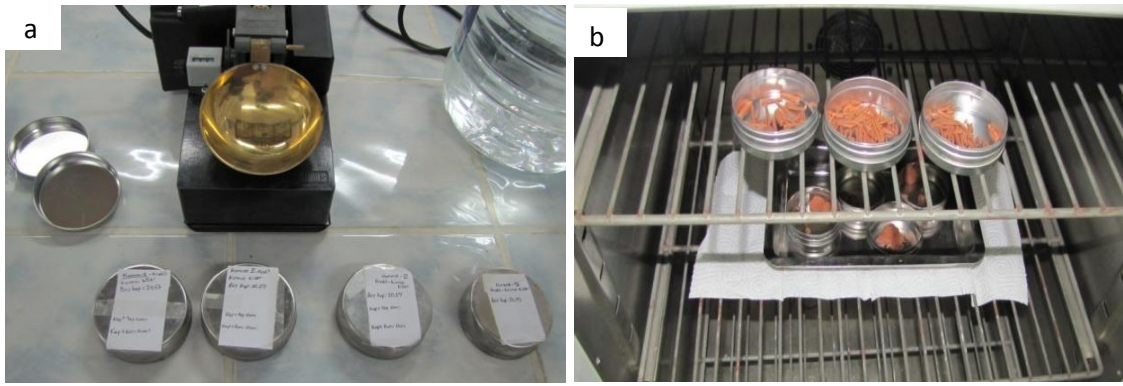
### 2.6.1. İndeks Özelliklerin ve Kıvam Limitlerinin Belirlenmesi

Bir zeminin plastiklik özelliğinin düşük veya yüksek oluşu ile killerin yağlı ve yağsız oluşu Atterberg (kıvam) limitleri ile belirlenebilir (Şekil 26). Bu çalışmada Atterberg (Kıvam) limitleri; likit limit (LL) ve plastik limit (PL) üretim sahasında bazı şevlerde küçük ölçekte rastlanılan süreksizlik dolgularından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Likit Limit (LL): Zeminin kayma direnci azalarak, akmaya başladığı andaki su muhtevasıdır (Uzuner, 1998). Deney, değişik su içeriklerinde hazırlanan zemin numunelerinin şekilde gösterilen kaba doldurulması, bu numune içinde standart boyutlarda bir yarık açılması ve aletin kolu çevrilerek kabın 1.0 cm yükseklikten düşürülmesi yolu ile yapılmaktadır. Açılan yarığın 1–3 cm'lik kısmının kapanmasına yol açan düşüş sayısı ile

zeminin su içeriği arasındaki ilişki deneysel olarak saptanmakta ve 25 düşüşte yarığın kapanmasına karşılık gelen su içeriği değeri zeminin likit limiti olarak kabul edilmektedir. Uluslararası Jeoloji Komisyonunun (IAEG, 1976) likit limit değerlerini kullanılarak yaptığı sınıflama Tablo 9’da görülmektedir.

Plastik Limit (PL): Zemin numunesinin cam tabla üzerinde avuç içi ile yuvarlanırken 3 mm çapında 8 mm boyunda silindirik numuneler haline getirildiği ve bu silindirik numuneler üzerinde çatlakların oluştuğu andaki su içeriği olup % olarak ifade edilmektedir (Uzuner, 1998).



Şekil 26. Laboratuvarında yapılan kıvam limitleri, deney öncesi (a) ve örneklerin etüve konuluşu (b)

Plastisite İndisi (PI): Zemini plastik limitinden likit limitine ulaştıracak su miktarının yüzde olarak değeridir ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$PI = LL - PL \quad (31)$$

Burada;

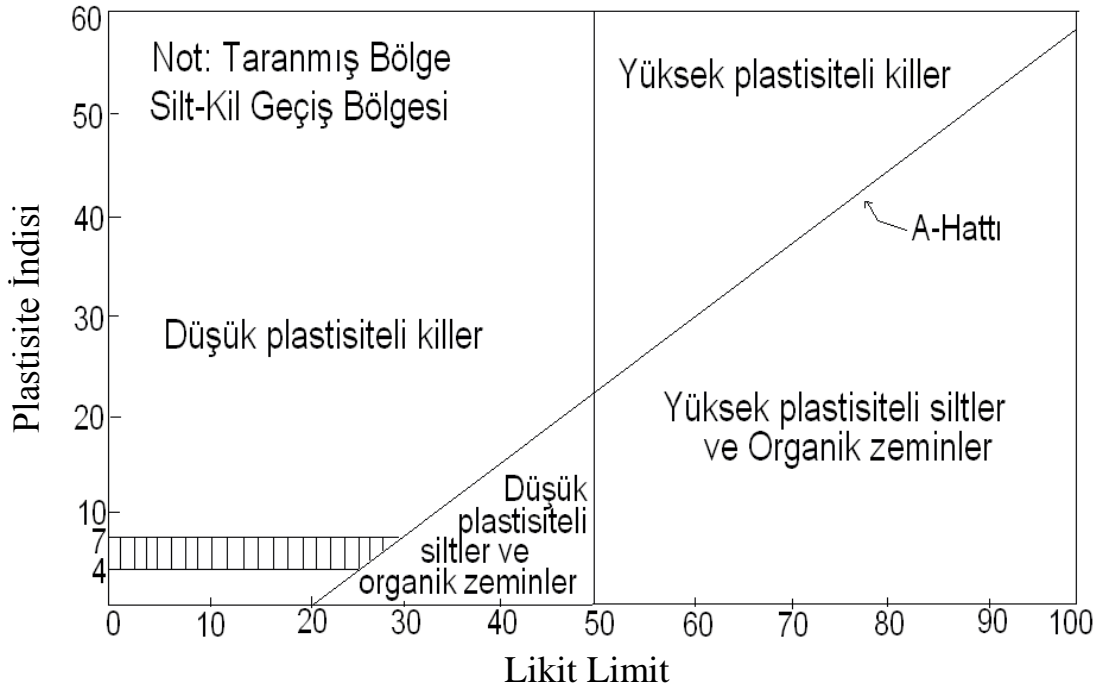
PI=Plastisite indisi (%)

LL= Likit limit (%)

PL= Plastik limit (%)

Likit limit ve plastisite indisinin birlikte değerlendirilmesi zeminin plastisitesinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Şekil 27’de gösterilen Casagrande plastisite kartında,  $W_L = \% 50$ 'den geçen düşey doğru ile A-hattı olarak bilinen eğik doğrunun (bu doğrunun denklemi  $I_p = 0.73 (LL - 20)$  olmaktadır), ayırdığı dört bölge tanımlanmaktadır. Yüksek

plastisiteli zeminlerin  $W_L = \% 50$  doğrusunun sağında, düşük plastisiteli zeminlerin ise bu doğrunun solunda yer aldığı kabul edilirken, A hattının üstündeki zeminler killeri, altındaki zeminler ise siltleri oluşturmaktadır. Casagrande plastisite kartı olarak bilinen bu şekildeki taranmış alana düşen zeminlerin ise düşük plastisiteli siltler ile killer arasında geçiş bölgesi oluşturduğu kabul edilmektedir.



Şekil 27. Casagrande Plastisite Kartı (Özaydın, 1997).

Tablo 9. IAEG (1976)'nin likit limit değerlerine göre yaptığı zemin sınıflaması

Plastisite Özelliği	Likit limit Değeri (%)
Düşük plastisiteli	<35
Orta plastisiteli	35–50
Yüksek plastisiteli	50–70
Çok yüksek plastisiteli	70–90
Çok daha yüksek plastisiteli	>90

İnce taneli zeminlerde, plastisite indisine göre Burmister (1951) ve IAEG (1976) tarafından önerilen sınıflamalar sırasıyla Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10. Plastisite indisinin, plastisite derecesine göre sınıflaması (Burmister, 1951).

Plastisite İndisi (%)	Plastisite Derecesi	Tanım
0	Plastik değil	Silt
0–5	Önemsiz derecede plastisiteye sahip	Killi Silt
5–10	Düşük plastisiteli	Silt ve Kil
10–20	Orta plastisiteli	Kil ve Silt
20–40	Yüksek plastisiteli	Siltli Kil
>40	Çok yüksek plastisiteli	Kil

Tablo 11. Plastisite indisinin, plastisite özelliğine göre sınıflaması (IAEG, 1976).

Plastisite Özelliği	Plastisite İndisi (%)
Plastik olmayan	<1
Az plastisiteli	1–7
Orta plastisiteli	7–17
Yüksek plastisiteli	17–35
Çok yüksek plastisiteli	>35

### 2.6.2. Çalışma Alanındaki Birimlerde Kil ve Erimeyen Mineral Yüzdeleri

Çalışma alanındaki jeolojik birimler belli oranlarda kil ve kuvars gibi asitle erimeyen mineral içeriklerine sahiptirler. Kalsit minerali %10'luk HCl asitle eritilerek geriye kalan minerallerin yüzde içerikleri hesaplanmıştır. Bu analiz hassas bir çalışma gerektirdiğinden her bir zondan ikişer deney yapılarak ortalaması alınmıştır (Şekil 28). Asitle eritilen numuneler yıkanıp ve bir süspansiyon içinde bekletilmiştir. Bekleme süresi 24 saat olarak dikkate alınmıştır. İnce tanelerin bu şekilde dibe tamamen çökmesi sağlanmış olur. Daha sonra beherlerdeki su süzülüp etüve konulmuş ve kuruyan numuneler ağırlığı belli olan beherlerle birlikte tartılmıştır. Suyu süzerken malzeme kaybı olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca çalışma yapılırken asit miktarının çok az olması kalsit mineralini yeterli miktarda eritmeye yetmeyecektir. Dolayısıyla optimum asit miktarı her bir deney için kullanılmalıdır.



Şekil 28. Çalışma alanındaki jeolojik birimlerde kil ve erimeyen madde tayinleri

## 2.7. Süreksizlik Özelliklerinin Tayini

### 2.7.1. Süreksizlik Özellikleri ve Ölçüm Yöntemi

Süreksizlik, kaya kütlelerinde çekme dayanımına sahip olmayan veya çok düşük çekme dayanımına sahip tabakalanma düzlemi, fay, eklem, şistozite, makaslama zonu gibi jeolojik anlamda zayıflık düzlemlerinin bütününe içeren genel bir kavram olup, kaya şevlerinde veya kaya bloklarında sıkça gözlenen bir durumdur.

Birçok şev, birkaç yüz metre yükseklikte ve dik açılarda duraylı olduğu halde bir kısmı da çok az yükseklikte ve dik olmadıkları halde duraylı değildir. Duraylılıktaki bu fark, kaymanın gerçekleşebileceği faylar, eklemler ve tabakalanma düzlemleri gibi kaya kütlelerinde bulunan süreksizlik düzlemlerinin konumlarından meydana gelmektedir. Bu nedenle kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin özellikleri iyi araştırılmalı, yenilmeye yol açabilecek süreksizlik seti/setleri tespit edilmelidir. Bazı durumlarda ölçümün yapıldığı yüzlekte veya kazı aynasındaki bazı süreksizliklerin doğal süreksizlik mi, yoksa kazı sonrası oluşmuş veya patlatma kaynaklı kırıklar olup olmadığı konusunda kuşku olabilir. Hat etütlerinde yapay kırıklar dikkatli bir şekilde ayırtlanmalı ve değerlendirilmeye alınmamalıdır. Süreksizlik ölçümleri genellikle; hat etüdü, pencere haritası, sondaj karotlarının jeoteknik amaçlı loglanması, yönlendirilmiş karot ve sondaj kamerası veya tarayıcısının kullanılmasını içermektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Her bir süreksizlik takımı için ölçümler yapılarak, farklı süreksizlik takımları üzerinde çalışırken, o süreksizlik takımı doğrultusuna dik ölçüm hatları üzerinde süreksizliklerin özellikleri tespit edilebilmektedir (Karşlı, 2009). Bu çalışmada hat etüdü

yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle geniş bir alanda kaya kütlesi incelenebilmekte ve süreksizlikler doğrudan ölçülebilmektedir. Bu yöntem Jennings (1970) tarafından önerilmiş ve daha sonra Piteau (1970) tarafından biraz değiştirilmiş olup, Fookes ve Denness (1969), Attewel ve Farmer (1976) ve Priest ve Hudson (1981) gibi araştırmacılar ile ISRM (1978) tarafından da ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır.

Bu çalışmada süreksizlikler santimetre bölmeli şerit metre yardımıyla ölçülmüş olup, yöntem Ulusay ve Sönmez (2007) tarafından önerilen aşağıda belirtilen yola göre uygulanmıştır.

-Süreksizlik aralığına ve devamlılığına bağlı olarak, uygun uzunlukta (2–30 m) bir kaya yüzeylenmesi seçilmiştir.

-Ölçüm alınacak yüzeylenmenin üzerine şerit metre serilmiş, hattın başlangıç-bitiş noktaları birer ahşap veya metal kazıkla işaretlenmiş ve hattın uzunluğu kaydedilmiştir. Şerit metre merkezde olmak üzere, bunun 0.5 m üstünde ve altında kalan kısım esas alınarak şerit metreyi kesen tüm süreksizliklerin özellikleri ölçülmüştür.

Hat etüdü tanımlanmadan önce, ölçümü alınacak kaya yüzleğinin ve hattın fotoğrafları çekilmiştir (Hudson ve Priest, 1979). Kaya yüzleğinin tamamının görüntülenmesi amacıyla değişik noktalardan fotoğraflar çekilmiştir. Ölçüm yapılırken patlatma kaynaklı yapay kırıklar ayırtlanmış ve ölçümlere dahil edilmemiştir.

### **2.7.2. Süreksizlik ve Şev Yönelimi**

Süreksizliklere bağlı kaya şev stabilitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri süreksizliklerin uzaydaki konumları (eğim ve doğrultuları) ile şev ya da yamacın eğim ve doğrultusu arasındaki ilişkidir.

Süreksizlik setlerinin ortalama doğrultu ve eğimleri matematiksel olarak veya stereografik projeksiyonla kontur diyagramı hazırlanarak belirlenebilmektedir. Bu diyagramların kullanılmasındaki amaç, benzer özelliklere sahip süreksizliklerin dağılımından, dolayısıyla kutup noktalarının gruplaşmasından hareketle süreksizlik seti sayılarının ve bu setlerin hakim olduğu yönelimlerinin belirlenmesidir.

Bu çalışmada öncelikle süreksizlik setleri belirlenmiş, her bir süreksizlik setinde yer alan süreksizliklerin duruşları tek tek ölçülmüş ve ortalama yönelimleri (doğrultu ve eğimleri) stereografik projeksiyonla kontur diyagramları hazırlanarak belirlenmiştir.



### 2.7.3. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Bir süreksizlik takımında birbirine komşu iki süreksizlik arasındaki dik uzaklık olarak tanımlanan süreksizlik ara uzaklığı kaya şev duraylılık analizlerinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir (Şekil 29).

Bu çalışmada her bir şev için süreksizlik setindeki süreksizliklere dik yönde birkaç defa şerit metre serilerek gerçek ara uzaklık değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada kaya kütleleri için süreksizlik ara uzaklığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır (Tablo 12).

Tablo 12. Süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

Aralık (mm)	Tanımlama
< 20	Çok dar ara uzaklıklı
20–60	Dar ara uzaklıklı
60–200	Yakın ara uzaklıklı
200–600	Orta derecede ara uzaklıklı
600–2000	Geniş ara uzaklıklı
2000–6000	Çok geniş ara uzaklıklı
> 6000	İleri derecede geniş ara uzaklıklı

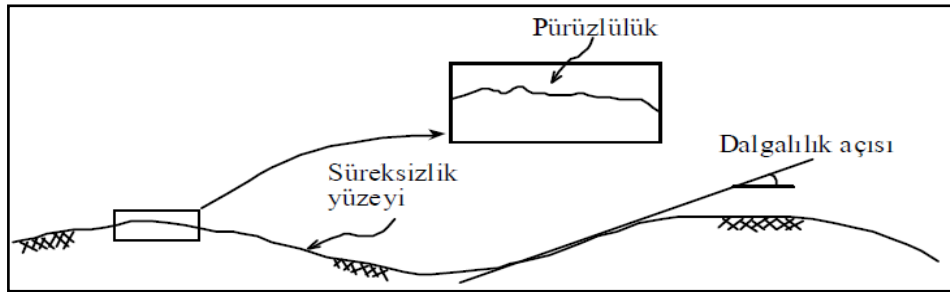
Süreksizlik ara uzaklığını, mostra yüzeyinde süreksizlik doğrultusuna dik yönde serilen bir şerit metre boyunca gözlenen süreksizliklerin sayılması ile ve sondaj karotlarından yararlanılarak belirlemek mümkündür. Ölçüm hattı veya sondaj eksenini boyunca iki süreksizlik arasında ölçülen uzaklık “görünür ara uzaklık” değerini vermektedir. Bir süreksizlik setindeki süreksizliklerin birbirine paralel olduğu nadiren görüldüğü için gerçek aralık parametresi ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı mostranın konumundan etkilenmektedir. Bundan dolayı süreksizlik sıklığının değerlendirilmesinde görünür ara uzaklık değerinin ölçülmesi uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).



Şekil 29. Arazide süreksizlik ara uzaklığının görünümü

#### 2.7.4. Süreksizlik Yüzeyinin Pürüzlülüğü ve Dalgallığı

Pürüzlülük, süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda), dalgallık ise büyük ölçekte (metre boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçütüdür (ISRM, 1981). Süreksizliklerin özellikleri, karot veya arazide görünen yüzeyler üzerinde belirlenmektedir. Bu belirlemede küçük ölçekli yüzey pürüzlülükleri ile büyük ölçekteki ondülasyon veya yüzey dalgallığını ayırt etmek gerekmektedir (Şekil 30).

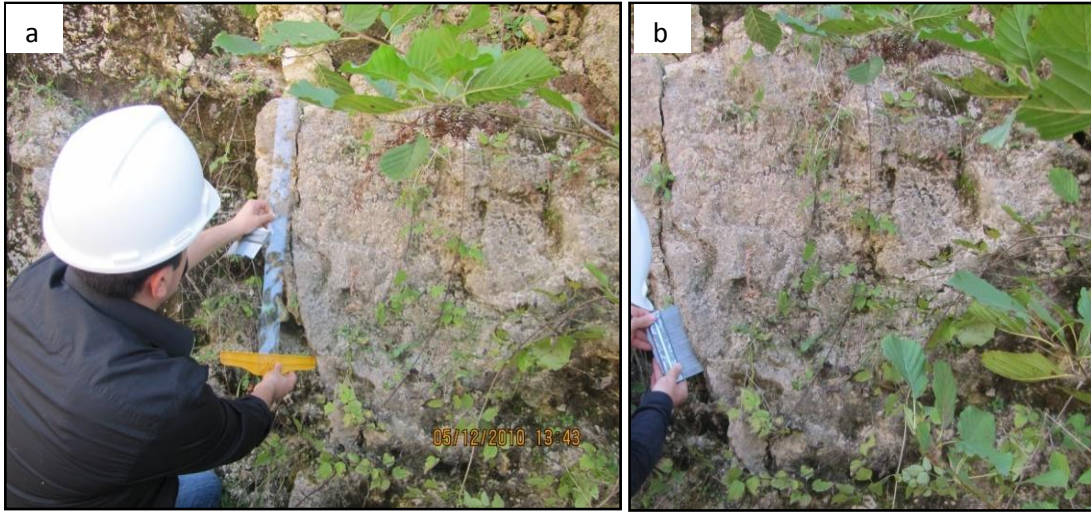


Şekil 30. Süreksizlik yüzeyinde pürüzlülük ve dalgallık (ISRM, 1981).

Süreksizlik pürüzlülüğünün belirlenmesine ilişkin değişik yöntemler önerilmiştir (ISRM, 1981). Bunlar doğrusal profil alma yöntemi, pusula ve disk şeklindeki klinometre ile yapılan ölçümler ve mekanik profilometreler ile yapılan ölçümler şeklinde sıralanmaktadır. Profilometreler, arazide veya laboratuvar ölçeğinde süreksizliklerin pürüzlülük profillerinin sayısallaştırılması amacıyla kullanılan

mekanik gereçlerdir (Wissbach, 1978; Swan, 1981; Aydan vd, 1995). Bu yazarların dışında Hack (1997)'de önerdiği şev stabilitesi olasılık sınıflandırma (SSPC) sisteminde pürüzlülüğü; büyük ölçekli pürüzlülük, küçük ölçekli pürüzlülük şeklinde tanımlamaktadır. Görünür küçük ölçekli pürüzlülüğü basamaklı, ondülasyonlu ve düzlemsel olarak tanımlamaktadır.

Yukarıda bahsi geçen tüm veriler yorumlanmış ve bu çalışmada pürüzlülük ölçümünde, Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen küçük ölçekli pürüzlülüğü tanımlamak için telli profilometre ile süreksizlik pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. Hack (1997)'de SSPC sistemini anlatırken bahsettiği pürüzlülük ölçümleri kullanılmıştır. Büyük ölçekli pürüzlülük yaklaşık bir metre uzunluğundaki metrenin pürüzlülük yüzeylerine yaklaştırılarak kağıt üzerine aktarımı ve SSPC sistemindeki pürüzlülük değerleriyle karşılaştırılması şeklinde yapılmıştır (Şekil 31). Pürüzlülük konusunda ayrıntılı bilgi genel bilgiler kısmında yer almaktadır.



Şekil 31. Arazide büyük (a) ve küçük ölçekli pürüzlülük ölçümleri (b)

### 2.7.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Durumu

Açıklık, bir süreksizlik yüzeyinin karşılıklı iki yüzeyinin arasındaki dik mesafe olup, boş olabileceği gibi her hangi bir dolgu malzemesi veya su ile de doldurulmuş olabilmektedir (ISRM, 1981). Eğer süreksizlik yüzeyi temiz ve kapalı ise, diğer süreksizlik parametreleri tanımlama amacıyla yeterli olabilmektedir. Fakat süreksizlik yüzeyi açık ise, bu açıklığın ölçülmesi ve kaydedilmesi gerekmektedir. Açıklığın

ölçülebilmesi amacıyla yüzlelerde floranslı boya Snow (1970), sondajlarda iz bırakan Pakker ve benzeri yöntemler kullanılmakla birlikte Barr ve Hocking (1976), açıklığın ölçümünde milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanılacağı gibi daha hassas mikrometrelerden de yararlanılabilir. Süreksizlikler çok düz yüzeylere sahip olmadıkları sürece, 0.1 mm veya 1.0 mm genişliğindeki açıklıkların süreksizliklerin makaslama dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Dolgu malzemesi, süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kayaç malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. Kum, silt, kil, breş, kalsit, kuvars ve milonit tipik dolgu malzemeleridir.

Bu çalışmada milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanarak, her süreksizlik takımı için açıklıklar ayrı ayrı ölçülmüş ve ortalama açıklık değeri belirlenmiştir. Ortalamanın üzerinde olan değerler ayrıca kaydedilmiştir. Çalışmada süreksizliklerin açıklığı ISRM (1981) tarafından önerilen süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 13). Ayrıca Süreksizlik koşul faktörü için, büyük ölçekli ve küçük ölçekli pürüzlülük, dolgu malzemesi türü ve yüzeydeki erime boşluğu varlığı/yokluğu ile ilgili puanlama Hack vd. (2003)'ün önerdiği SSPC sistemine göre de her bir süreksizlik takımının dolgu durumu da incelenmiştir.

Tablo 13. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler (ISRM, 1981).

Açıklık	Tanımlama	
<0.1 mm	Çok sıkı	
0.1–0.25 mm	Sıkı	'Kapalı' yapılar
0.25–0,5 mm	Kısmen açık	
0.5–2,5 mm	Açık	
2.5–10 mm	Orta derecede geniş	'Boşluklu' yapılar
> 10 mm	Geniş	
1–10 cm	Çok geniş	
10–100 cm	Aşırı geniş	'Açık' yapılar
>100 cm	Boşluklu	

#### 2.7.6. Tabaka Kalınlığı ve Kazılabilirlik

Tabaka kalınlığı, değişik amaçlı kazılar, temel açma, malzeme sağlama gibi mühendislik işlevini maliyet, emniyet ve zamanlama açısından önemli ölçüde etkilemektedir. Tabaka kalınlığının ince ya da kalın olması, kayaçların fiziksel ve mekanik

özellikler üzerinde etkilidir. Tabaka kalınlığı pek çok ülkede sınıflandırma parametresi olarak araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır.

Günümüzde tabaka kalınlığına göre yapılan sınıflandırmaların yaygın olarak kullanılanları Deere (1963) ve Londra mühendislik jeolojisi grubunun önermiş oldukları sınıflamalardır. Tabaka kalınlığına göre yapılan sınıflamalar Tablo 14’de verilmiştir.

Kazı yöntemi projenin güvenliği ve ekonomikliğı açısından önemli bir faktör olduğundan mühendislik projelerinin birçoğunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kayaların kazılabilirliğı, kaya malzemesinin jeoteknik özelliklerine bağıdır. Ayrıca uygulanan kazı yöntemi ve türüne ve kullanılan makinenin (araç ve gereçlerin) büyüklüğüne de bağıdır (Pettifer ve Fookes, 1994). Literatürde araştırmacılar kayalara yönelik kazılabilirliğı değerlendirmek için birçok yöntem önermişlerdir.

Kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan ilk kazılabilirlik indeksi, kaya kütle sınıflamaları kullanılarak geliştirilmiş, bununla ilişkili olarak kazılabilirlik durumunu belirleyebilmek için bir kılavuz görevi yapan sökülebilirlik puan kartı Weaver (1975) tarafından ortaya atılmıştır.

Tablo 14. Tabaka kalınlığına göre değışik sınıflandırmalar

Kayaç Tanımı	Tabaka Kalınlığı (cm)	
	Deere (1963)	Londra Müh. Jeo. Grubu
Çok kalın tabakalı	>300	>200
Kalın tabakalı	300–100	200–60
Orta tabakalı	100–30	60–20
İnce tabakalı	30–5	20–2
Çok ince tabakalı	<5	6–2
Laminalı (tortul)	-	2–0,6
İnce laminalı (tortul)	-	<0.6

Bu çalışmada tabaka kalınlığı kazılabilirlik puanlamalarında kullanılmıştır. Sismik hıza bağı kazılabilirlik sınıflaması Weaver (1975)’e göre değerlendirilmiştir (Tablo 15). Kazılabilirlik ile ilgili sınıflamalar Müftüoğlu ve Scoble (1985) esas alınarak oluşturulmuştur (Tablo 16).

Tablo 15. Sismik hız değerleriyle kazılabilirlik sınıflaması (Weaver, 1975).

Zon Adı	Sismik Hız Değeri (m/sn)	Sökülebilirlik
1	300–600	Çok kolay
2	600–900	Kolay
3	900–1500	Orta
4	1500–2100	Zor
5	2100–2400	Çok zor
6	2400–2700	Son derece zor

Tablo 16. Kazılabilirlik ile ilgili puanlama sistemi (Müftüoğlu ve Scoble, 1985).

Parametre, Sınıf	I	II	III	IV	V
Ayrışma Derecesi	Tümüyle	Oldukça	Orta Derecede	Hafifçe	Ayrışmamış
Puanlama (AD)	0	5	15	20	25
T.E.B.D. (MP <sub>a</sub> )	20	20–40	40–60	60–100	100
Puanlama (Dn)	0	10	15	20	25
Nokta Yük İndeksi I <sub>s</sub> (50) (MPa)	0.5	0.5–1.5	1.5–2	2–3.5	3.5
Puanlama (Dn)	0	10	15	20	25
Çatlaklar Arası Mesafe(m)	0.3	0.3–0.6	0.6–1.6	1.5–2	2
Puanlama (Ç)	5	15	30	45	50
Katmanlaşma Kalınlığı (m)	0.1	0.1–0.3	0.3–0.6	0.6–1.5	1.5
Puanlama (K)	0	5	10	20	30
Toplam Puan:	5–40 Kazı çok kolay; 40–50 Kolay, 50–60 Biraz zor, 60–70 Zor, 70–95 Oldukça zor				

## 2.8. Ayrışma Durumu

### 2.8.1. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesinin Schmidt Çekici ile Tayini

Kaya kütleleri yüzeyde ve yüzeye yakın kesimlerde kayacın litolojisine göre ayrışma göstermektedir. Daha derinlerde ise hidrotermal süreçlere bağlı olarak alterasyona uğramış olabilirler. Bu nedenle süreksizlik yüzeylerinin dayanımı, bu yüzeylerin ve yakın civardaki kaya malzemesinin bozunma derecesiyle yakından ilişkili olabilmektedir. Bozunmanın derecesine bağlı olarak, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı kaya malzemesinin

dayanımından daha düşük olabilir. Bu nedenle kaya kütlelerinin ve kaya malzemesinin bozunma durumunun tanımlanması, süreksizlik yüzeylerinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır (Ulusay ve Sönmez, 2007). Kaya kütlelerinin ve kaya malzemesinin bozunma derecesine ilişkin sınıflamalar ISRM (1981)' e göre mevcut olmasına karşın bazı durumlarda öznel değerlendirmelere neden olabilmektedir (Tablo 17 ve Tablo 18). Bu tür hataları giderebilmek için Singh ve Gahrooe (1989) bozunma derecesini aşağıda verilen sayısal indeksle tanımlamışlardır (Tablo 19).

$$W_d = \sigma_{cf} / JCS \quad (32)$$

Eşitlikte,  $W_d$ : Bozunma katsayısı,  $\sigma_{cf}$ : Ayrışmamış (taze) kaya malzemesinin dayanımı, JCS: Süreksizlik yüzey malzemesinin dayanımını ifade etmektedir.

Tablo 17. Kaya kütlelerinin bozunma derecesiyle ilgili sınıflama (ISRM, 1981).

Tanım	Tanımlama ölçütü	Bozunma derecesi
Bozunmamış (taze)	Kayanın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla beraber, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözlenebilir.	W1
Az bozunmuş	Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiş ve kaya taze halinden daha zayıf olabilir.	W2
Orta derecede bozunmuş	Kayanın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Kaya; taze, ya da renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	W3
Tamamen bozunmuş	Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	W4
Artık zemin	Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmakla beraber, zemin taşınmamıştır.	W5

Tablo 18. Kaya malzemesinin bozunma derecesiyle ilgili tanımlama (ISRM, 1981).

Tanım	Tanımlama ölçütü
Taze (bozunmamış)	Kaya malzemesinin bozunduğuna ilişkin belirgin bir gösterge yoktur.
Rengi değişmiş	Kaya malzemesinin rengi değişmiş olup, renkteki değişimin derecesi belirgindir. Renk değişimi sadece bazı mineral taneleriyle sınırlı ise, bu durum kayıtlarda belirtilmelidir.
Bozunmuş	Kaya malzemesi orijinal dokusunu korumakla birlikte, toprak zemine dönüşmüştür. Ancak minerallerin bir kısmı veya tamamı bozunmuştur.
Bozunmuş-dağılmış	Kayanın dokusu korunmakla birlikte, kaya malzemesi tamamen bozunarak toprak zemine dönüşmüş olup, kırılığandır.

Tablo 19. Sing ve Gahrooe (1989) tarafından önerilen bozunma sınıflaması

Bozunma Derecesi	$(\sigma_{cf}/JCS)$ oranı
Taze az bozunmuş	<1.2
Orta derecede bozunmuş	1.2-2
Bozunmuş	$\geq 2$

Yukarıda verilen bozunma sınıflamasının sadece 3 gruptan oluşması ve Schmidt çekici ile dayanımın bulunmasındaki sakıncaları belirten Gökçeoğlu (1997) aşağıda verilen bozunma indeksini ( $W_d$ ) önermiştir (Tablo 20 ve Şekil 32). Bu çalışmada süreksizlik yüzeyi ayrışma durumu tayini Gökçeoğlu (1997) esas alınarak yapılmıştır (Eşitlik 33).

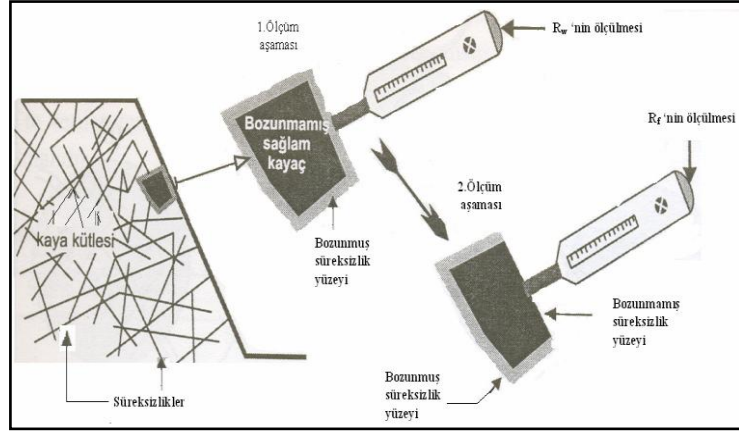
$$W_d = R_f/R_w \quad (33)$$

Burada,  $R_f$ : taze yüzeyin Schmith çekici geri tepme sayısı,  $R_w$ : bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin Schmith çekici geri tepme sayısıdır.

Tablo 20. Eklem yüzeylerinin bozunma sınıflaması (Gökçeoğlu, 1997).

$W_d$	Sınıf	Tanım (ISRM,1981)
<1.1	1	Bozunmamış (Taze)
1.1–1.5	2	Az bozunmuş
1.5–2.0	3	Orta derecede bozunmuş
>2.0	4	Tamamen bozunmuş





Şekil 32. Süreksizlik yüzeylerinin bozunma durumlarının tespiti (Gökçeoğlu, 1997).

### 2.8.2. Ultrasonik Darbe Hızı Deneyi İle Ayrışma Tayini

Ultrasonik darbe hızı deneyi hasarsız bir test yöntemi olup, beton ve kayanın uniformluğunu ölçmede, boşluk, çatlak ve diğer kusurları belirlemede kullanılmaktadır. Bu metot hem anizotropik hem de izotropik kayalardan dalga hızı ölçümleri için geçerlidir. Anizotropik kayalarda dalga hızı yön, geçiş mesafesi ve jeofonların çapları gibi faktörlerden etkilenebilmektedir (ASTM, D 2845–2005).

Ultrasonik darbe hızı deneyine tabi tutmak üzere laboratuara getirilen blok örneklerden her bir jeolojik birim için NX çapında ve 7.5, 10 ve 12.5 cm uzunluğunda (L/D oranları sırasıyla 1.37, 1.83 ve 2.29) 5'er adet karot numunesi hazırlanmıştır. Deney sonuçları doymuş ve kuru durum için 3 farklı boyut için hesaplanmıştır.

Cihazın göstergesinden gerekli menü takip edilerek sinyal gönderilir ve numunenin içinden sinyalin geçiş süresi mikro saniye olarak okunur. Daha sonra numunenin boyu ölçülür ve geçiş hızı aşağıdaki formül vasıtası ile hesaplanır.

$$V_p = S / t ; (m / sn) \quad (34)$$

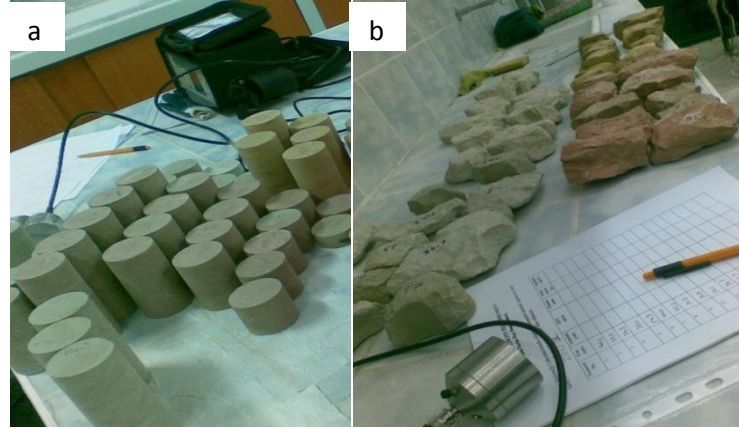
$V_p$ : Basınç dalgası hızı (m/sn)

S: Numunenin boyu (m)

t: Sinyalin numunenin içinden geçiş süresi (sn).

Bu çalışmada ultrasonik P dalga hızı kuru, doğal ve doymuş numuneler üzerinde test edilmiştir. Ayrıca ayrılmış örneklerin de P dalga hızları da Iliev (1966) esas alınarak

hesaplanmış olup, her bir jeoteknik birimin ayrışma durumları tespit edilmiştir (Tablo 21). Taze örneklerde deney, karot numuneler üzerinde, ayrışmış örneklerde deney ise araziden ayrışmış yüzeylerden alınan ortalama 4–5 cm kalınlığındaki şekilsiz örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 33). Ayrışmış örneklerde yapılan deney Iliev (1966)'e göre hesaplanmıştır (Eşitlik 35).



Şekil 33. Taze (a) ve ayrışmış örnekler (b)

Tablo 21. Ayrışma derecesi ve elastik dalga hızına göre kayaçların sınıflandırılması (Iliev,1966).

Ayrışma Derecesi (K)	Boyuna Dalga Hızı m/sn	Kayaç Sınıfı
0	>5000	Ayrışmamış
0–0,2	5000–4000	Az ayrışmış
0,2–0,4	4000–3000	Orta ayrışmış
0,4–0,6	3000–2000	Ayrışmış
0,6–1,0	<2000	Çok ayrışmış

$$K = \frac{V_0 - V_w}{V_0} \quad (35)$$

K: Ayrışma derecesi

Vo: Taze kayaçta boyuna dalga hızı (m/sn)

Vw: Ayrışmış kayaçta boyuna dalga hızı (m/sn)

### 2.8.3. Ağırlıkça Su Emme Oranı İle Ayırışma Tayini

Ayırışma sonucunda kayaçlarda fiziksel, mekanik, elastik ve petrografik özelliklerde değişimler olabilmektedir. Geçirimli, yüksek direnç ve yüksek boşluk oranlı bir kayaç ayırışma sonucunda geçirimsiz, düşük dirençli ve boşluksuz olabilir. Bu nedenle kayaların ayırışma özelliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir (Tarhan, 2002).

Güleç (1973), Afyon mermerleri üzerinde yaptığı çalışmalarda, mermerlerin ağırlıkça su emme yüzdelerini sınıflandırma parametresi olarak almış ve ayırışma derecesinin saptanması için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir (Tablo 22).

$$D_w = \frac{W_n - W_0}{W_0} \quad (36)$$

Eşitlikte;  $D_w$ : Ayırışma derecesi,  $W_n$ : Ayırışmış kayacın ağırlıkça su emme yüzdesi,  $W_0$ : Ayırışmamış kayacın ağırlıkça su emme yüzdesi

Bu çalışmada ağırlıkça su emme oranını bulabilmek için yoğunluk deneylerinin standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi gerektiğinden yoğunluk deneyleri yapılmıştır. Deneyler 4 farklı jeolojik birim için üçer defa tekrar edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ağırlıkça su emme oranı ile ayırışma tayini yapabilmek için bu 4 birime ait ayırışmış numuneler kullanılarak yoğunluk deneyleri yapılmıştır.

Tablo 22. Ağırlıkça su emme yüzdelerine göre Afyon mermerlerinin sınıflandırılması (Güleç, 1973).

Ayırışma Derecesi $D_w$	Kaya Sınıfı
0	Ayırışmamış
0-4	Az ayırışmış
4-8	Orta ayırışmış
8-12	Ayırışmış
>12	Çok ayırışmış

## **2.9. Duraylılık Analizleri**

### **2.9.1. Kinematik Analiz**

Bu çalışmada her bir jeoteknik birim (JTB) için süreksizlik ölçümleri yapılarak kinematik analizlerde kullanılacak süreksizlik özellikleri belirlenmiştir. Süreksizliklerin duruşları Dips paket programı yardımıyla bilgisayar ortamına girilmiş ve hakim süreksizlik setleri belirlenmiştir. Düzlemsel kayma, kama tipi kayma ve devrilme türü yenilmelerin analiz edildiği kinematik analiz yönteminde veri olarak süreksizliklerin yönelimi, şev geometrisi ve kaya makaslama deneyinden elde edilen süreksizliklerin içsel sürtünme açıları kullanılmıştır.

### **2.9.2. Şev Duraylılığı Olasılık Sınıflandırma Sistemi (SSPC)**

SSPC sisteminde duraylılık analizi iki farklı yönteme göre yapılmıştır. Birincisi yönelime bağlı duraylılık analizi olup süreksizliklerin ve şevin yönelimi ile ilgilidir. Yönelime bağlı duraylılık analizleri kayma ve devrilme türü yenilme analizleri için yapılmıştır. İkincisi ise kaya kütlelerinin dayanımına bağlı olarak gelişen yönelimden bağımsız duraylılık analizi olup, şev ve süreksizliklerin yöneliminden bağımsız olarak gelişmektedir.

### **2.9.3. Sınır Denge Analizi (Deterministik)**

Heyelan sahasında şevlerin mevcut durumları kinematik analiz yöntemi ile incelenmiştir. Sahada risk taşıyan şevler için sınır denge analizleri gerçekleştirilmiştir. Üretim sahasındaki şevler yenilme olasılığı taşımamasına rağmen üretim devam ederken ve nihai durum için, işin emniyetli yürütülmesi açısından limit denge analizleri yapılmıştır.

Gerilme çatlağının çok kritik bir konumda ve şevin susuz olduğu bir zamanda oluştuğu ve bölgedeki fazla yağış nedeni ile  $z_w$  seviyesine kadar su ile dolduğu varsayılmaktadır. Şevlerin oluşan deprem veya patlatmalı kazılar nedeni ile değişik büyüklüklerdeki ivmelere maruz kalacağı düşünülmektedir. RockPlane (V.2.0) paket programı kullanılarak üretim sahasındaki şevlere ve gerilme çatlağına sahip heyelan sahasındaki şeve ait güvenlik katsayıları hesaplanmıştır.

### **3. BULGULAR VE İRDELEME**

#### **3.1. Çalışma Alanı ve Çevresinin Stratigrafisi ve Petrografisi**

Çalışma alanının tabanını Geç Santomiyen Erken Kampaniyen yaşlı Çayırbağ Formasyonu oluşturmaktadır. Riyolitik, riyodasitik piroklastikler ve az oranda bazaltik volkanit içeren formasyon uyumlu olarak Geç Kampaniyen Erken Paleosen yaşlı karbonat kayaçlarından oluşan Kireçhane Formasyonu tarafından üzerlenir (Şekil 34).

##### **3.1.1. Çayırbağ Formasyonu**

Tanım ve Ad: Çalışma alanında riyolitik, riyodasitik proklastitler ve az miktarda bazaltik piroklastitlerle temsil edilen birim Güven (1993) tarafından Çayırbağ Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Tip Kesit ve Yayılım: Çalışma alanının kuzey ve doğusunda yüzeyleyen birim Kireçhane Formasyonunu uyumlu olarak üstlenmektedir.



ayrışıp kile dönüşmüşlerdir. Riyolitik, riyodasitik tüfler, çalışma alanında, güney doğuya doğru  $15^{\circ}$  eğimli olarak bulunmaktadır (Şekil 35).



Şekil 35. Çayırbağ Formasyonuna ait riyolitik, riyodasitik tüfler (üretim sahasının güney batısında)

Riyolitik tüfler tabakalanmalı bir yapı gösterip, makroskobik olarak bol biyotit içerir ve riyolitik-riyodasitik breşler üzerine gelirler. Riyolitik tüflerden alınan örneklerin mikroskobik incelemeleri sonucunda, kristal tuf olarak tanımlanmışlardır. Kristal bileşenler şekilsiz plajiyoklas, kuvars, biyotit parçaları ile temsil edilmektedir ve kül boyutundaki malzemeye tutturulmuşlardır. Boşluklar ise çoğunlukla kalsit bazen kille dolguludur. Bağlayıcı yer yer ayrışarak kalsit, kil ve limonit minerallerine dönüşmüştür. Kuvars genellikle çok küçük kristaller halinde belirli seviyelerde yoğunlaşmıştır. Plajiyoklas çok küçük boyutlu kristaller halinde olup genellikle killeşmiş ve serisitleşmişlerdir. Plajiyoklasların anortit içeriği yaklaşık %12–40 arasında değişmekte olup bu anortit içeriği ile plajiyoklaslar oligoklaz ve andezin bileşimine sahiptir. Biyotit, kayaç içerisinde bol miktarda iri kristaller halinde bulunmaktadır. Biyotitlerin çoğunluğunda volkanik cam, opak mineral tanecikleri ve zirkon mineralleri yer almaktadır. Opak mineral bol miktarda dağınık düzensiz taneler halindedir. Bazaltik breş inceleme alanında yüzeylenme vermemekte olup ocağın merkezinde, heyelanlı alanın hemen güneyinde yapılan sondajlarda kesilmiştir. Bu birim genellikle koyu gri ve yeşilimsi gri renklerde olup, özellikle kloritlesmenin yoğun olduğu kesimlerde ise yeşile yakın renklindedirler. Bazaltik

breş çakıllarından alınan ince kesitlerin mikroskopik incelemesinde, mikrolitik porfirik dokuda oldukları, hamurun çoğunlukla plajiyoklas latalarından meydana geldiği görülmektedir. Plajiyoklaslar hem iri taneler hem de hamurda küçük latalar halinde bulunur. İri plajiyoklas kristalleri kloritlesmiş, killeşmiş ve serisitleşmiştir. Plajiyoklasların cins tayininde albit ( $An_{8-10}$ ) oldukları belirlenmiştir. Ojitler hamur içerisinde, bazen ayrıışmış olarak, çok küçük ve yuvarlağımsı taneler halinde bulunmakta olup kendilerine özgü yeşil renkleriyle karakteristiktirler. Klorit çoğunlukla plajiyoklasların ayrıışma ürünü yer yer de boşluk dolgusu olarak bulunmakta olup yeşilimsi renkleriyle kayaç içerisindeki diğer minerallerden kolaylıkla ayırt edilmektedir. Kalsit plajiyoklasların ayrıışma ürünü, yer yer de boşluk ve çatlak dolgusu olarak bulunmaktadır. Opak mineral kayaç içerisinde az miktarda dağınmık düzensiz taneler halinde yer yerde kümeleşmiş olarak bulunmaktadır.

Stratigrafik ilişkiler ve Kalınlık: Çalışma alanında birimin tabanı görülmez. Üzerine ise Kireçhane Formasyonuna ait karbonatlar uyumlu olarak gelmektedir.

Fosil Kapsamı ve Yaş: Birimde çalışma sahası içerisinde yaş verebilecek herhangi bir fosil bulguya rastlanmamıştır. Güven (2003)'e göre birim Geç Santoniyen-Erken Kampaniyen yaşındadır.

Ortamsal Yorum: Birimin proklastikleri üzerine gelen tüflü seviyelerin tabanında karadan taşınmış çakılların bulunması ortamın sığılaştığını ve küçük bir havza dışında kalan bölgenin kara haline geldiğini gösterir. Ortamda sedimanter manganez ve demir çökellerinin olması da buna işarettir (Ceryan, 2009).

### 3.1.2. Kireçhane Formasyonu

Tanım ve Ad: Güven (1993) tarafından tanımlanan birim Trabzon-Düzköy (G42-b2) Kireçhane Mezrası mevkiinde tipik kesit veren, yer yer kalın ve masif olan başlıca kırmızı, gri renkli kireçtaşı, kumtaşı, kiltası, silttaşı ve marn aralanmasından oluşmuş ve Çayırbağ Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelmiştir.

Tip Kesit ve Yayılım: Çimento fabrikasına hammadde olarak alınan birim teknesel bir yapı şeklinde tüm çalışma alanında yaygın olarak gözlenebilmektedir.

Kaya türü Özellikleri: Ocak ve çevresinde genel olarak birim kırmızı renkli, volkanik çakılları içeren tüf seviyesi ile başlamakta, üste doğru bol makro kavkı parçaları içeren boşluklu kireçtaşı ile devam etmektedir. Bol makro kavkı kireçtaşları üzerine inceleme alanının batısında killi kireçtaşı, marn ara tabakalı biyotitli tüf kırıntılı karbonatlı kumtaşı-



kumlu kireçtaşı, kuzeyinde ise ince kırıntılı erime boşluklu karbonat çamurtaşları gelmektedir. Kırıntılı karbonat çamurlu kireçtaşları üzerinde makro fosil içermeyen kumlu kireçtaşı-killi kireçtaşı-marn tabakaları gelmekte, en üstte ise killi kireçtaşı ve marn ara tabakaları içeren epiklastik kumtaşı- kumlu kireçtaşları bulunmaktadır. Epiklastik kumtaşı kumlu kireçtaşları inceleme alanının batısında volkanik küllerin ve bunların üzerinde merccekler seklinde duran ters derecelenmeli kumlu çakıllı kireçtaşlarının üstünde yer almaktadır. Bu birimin en üst seviyesi tabakalanmanın iyi gelişmediği, makro fosil ve kırmızı renkli çakıl içeren, biyotit tuf parçalı, epiklastik, karbonatlı kumtaşı-kumlu kireçtaşından oluşmaktadır.

Volkanik Çakıllı Kırmızı Tüfler: Riyolitik piroklastiklerin yerleşiminden sonra oldukça sığlaşmış, bazen kara haline gelmiş bir ortamda çökelmişlerdir. Volkanizmanın şiddetini azalttığı dönemlerde kara durumuna gelmiş bölgelerden taşınan volkanik çakıllar çökme ortamına düşmüş ve üstlerine yeni bir tuf püskürmesi olmuştur. Çakılların tüflerin taban seviyesinde olması buna işaret etmektedir. Çakıllar genellikle yuvarlaklaşmışlardır. Kırmızı renkleri, bol çakıl, Mn ve Fe karbonat içermeleri ortamın sığ olmasından kaynaklanmaktadır. İyi tabakalanma gösteren, orta katmanlı asitik tüflerden oluşan birim alt kısımlarda karbonat içermemekte üste doğru karbonatlı fasiyese geçmektedirler (Ceryan, 2009).

### **3.1.3. Üretim Sahasındaki Birimlerin Jeolojisi**

Çalışma alanındaki birimler arazideki makro rengine, ayrışma durumlarına ve kaya mekaniği deney sonuçlarına göre 5 ayrı zona (jeolojik birim) bölünerek ayrıntılı olarak ele alınmıştır (Şekil 36). Üretim sahasında tabanda bol makro kavkı içeren boşluklu kireçtaşı ve üzerinde renkleri farklı fakat kayaç isimlendirmesi aynı olan 4 zon bulunmaktadır. Şekil 36'dan AA' kesiti için ölçekli stratigrafik kesit hazırlanmıştır (Şekil 37).



Şekil 36. Üretim sahasının genel görünümü ve AA' kesit hattı

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	KALINLIK	LİTOLOJİ	JEOLOJİK BİRİM	AÇIKLAMALAR
MESOZYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	GEÇ KAMPANYEN- ERKEN PALEOSEN	KIREÇHANE	1	[Litojiği]	Z4	Sarı renkli, karbonat kırıntılı
					1.5-2	[Litojiği]	Z3	Kırmızımsı renk, mikritik matrisli çok yoğun
					2-3	[Litojiği]	Z1	Açık gri renkli, makro fosil içermeyen, tane boyları eşit, mikritik yer yer sparitik matrisli
					3-3.5	[Litojiği]	Z2	Koyu gri renkli, yoğun bioplastlar içermektedir
					4-5	[Litojiği]	Z1	Açık gri renkli, makro fosil içermeyen, tane boyları eşit, mikritik matrisli, yer yer sparitik matrisli
					1-1.5	[Litojiği]	Z4	Sarı renkli, karbonat kırıntılı
					4-5	[Litojiği]	Z5	Beyaz renkli, makro fosil içeren tek zon karbonat oranı diğer zonlardan fazla tabanda bulunmaktadır

Şekil 37. AA' hattı boyunca alınan ölçülü stratigrafik kesit

Zon 1: Arazide birimin rengi açık gridir (Şekil 38-a). İnce kesit incelemelerinde; İlksel dokusunu kaybetmiş yer yer mikritik yapısı var. Kayaç adı Biyomikritik kireçtaşıdır. Fosil gözlenmemiştir.

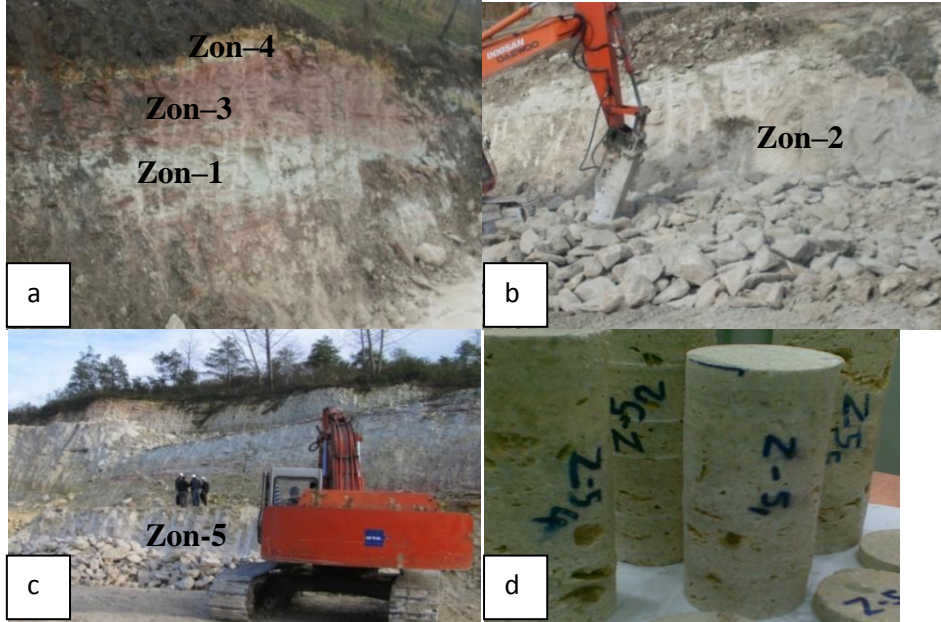
Zon 2: Arazide koyu gri olarak bulunan kayacın (Şekil 38-b) ince kesit incelemelerine göre; ilksel dokusu bozulmamış, kesit içerisinde bioplast çok yoğun bir şekilde bulunmaktadır ve baskın fosil olarak Ekinit plakası içerir. Taneler diğer zonlardan daha iridir. Kayaç adı biyomikritik kireçtaşıdır.

Zon 3: Makroskopik olarak arazide veya bir el örneğinde kırmızımsı renkte görülen birim (Şekil 38-a), ince kesit tanımlamalarında bioplastların çok yoğun bir şekilde bulunduğu ve baskın fosil olarak Ekinit plakaları içerdiği tespit edilmiştir. Mikritik yapısı diğer zonların hepsinden daha yoğundur. Kayaç ismi biyomikritik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır.

Zon 4: Makroskopik olarak sarı renkte görülen birim (Şekil 38-a), ince kesitte oldukça ayrıışmış ve bol bioplast içerdiği tespit edilmiştir. Yer yer mikritik bir yapıya sahip olan birimin adı biyomikritik kireçtaşı olarak tanımlanmıştır.

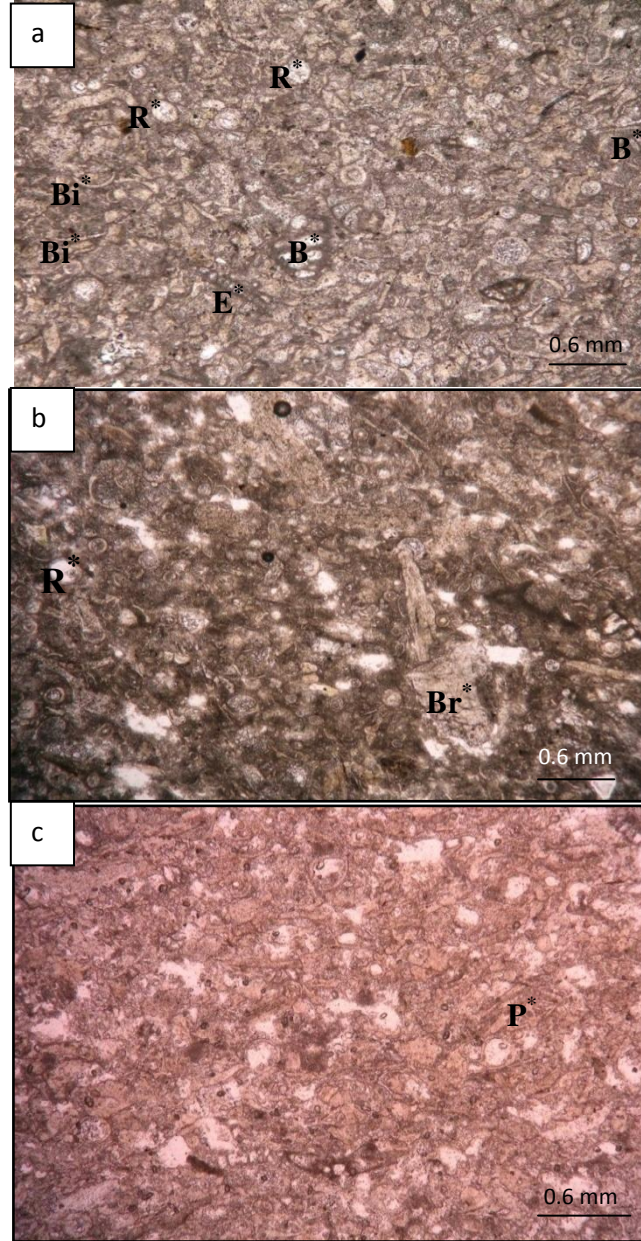
Zon 5: Makroskopik olarak beyaz renkte görülen birim, bol makro kavkı parçaları içermektedir (Şekil 38-c ve d). Üretim sahasında en fazla kalsit içeriğine sahip birim olduğu kimyasal analiz sonuçlarından anlaşılmıştır. Kayaç adı boşluklu kireçtaşı olarak düşünülmüştür.

Çalışma alanındaki birimlerin ince kesitte incelenmesi sonucunda kayaçların oluştuğu ortamın çalkantılı bir ortam olduğu ve Pelajik- Bentik fosillerin varlığı kireçtaşı çökellerinin bulunduğu ortamda değil taşınarak oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca Zon 1 hariç diğer birimlerin hepsinde bol fosil kavkıları yer almaktadır. Tüm zonlarda da hakim mineral kalsittir.



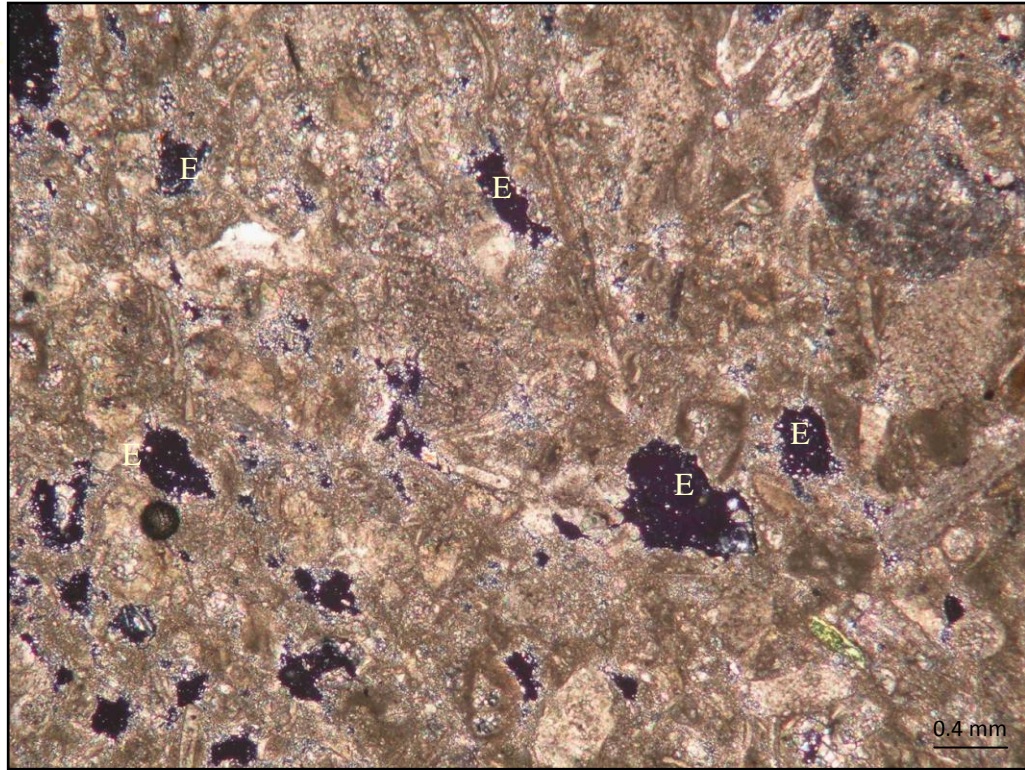
Şekil 38. İnceleme alanında tanımlanan zonların görünümü, a) açık gri renkli Zon-1, kırmızımsı Zon-3 ve sarı renkli Zon-4, b) koyu gri renkli Zon-2, c) beyaz renkli Zon-5, d) Zon-5'e ait karot örnekleri

Üretim sahasındaki jeolojik birimlerden ince kesitlerin yanı sıra paleontolojik kesitler hazırlanarak fosil içerikleri belirlenmiştir. Zon-2, 3 ve 4'te yoğun biyoklastlar bulunmaktadır. Biyoklastlar; Bentik foraminifer, değişik tip ve boyutlarda bivalu parçaları, Radiolarya, Ekinid parçaları ve spinleri, bryozoa ve pelajik ? fosillerden oluşmaktadır (Şekil 39).



Şekil 39. İnceleme alanındaki jeolojik birimlerin ince kesitte görünümleri Br\*:Bryozoa, B\*:Bentic foraminifer, Bi\*: Bivalu parçaları, R\*: Radyolarya, E\*: Ekinid parçaları, P\*: Pelajik ?

Kil ve kuvars mineralleri içeren kireçtaşlarının erimesi ile, kil ve kuvars mineralleri (rezidüel) artık toprakları oluşturmaktadır (Tarhan, 2002). Üretim sahasında 5 farklı jeolojik birime ve iki farklı süreksizlik dolgusuna ait numunelerin kimyasal analizleri Acme Laboratuvarında yaptırılmıştır (Tablo 23). Üretim sahasındaki süreksizlik dolguları çok nadir olup en önemlisi 5-6 cm kalınlığa ve 1-2 metre uzunluğa sahiptir. Özellikle yağmur sularında bol miktarda bulunan karbonik asitin kalsit minerallerini eritmesi ve diğer ayrışma prosesleri sonucunda, yukarıda bahsedildiği gibi erimeye karşı duraylı olan kil ve kuvars minerallerinin ortamdaki yoğunluğu artmaktadır. Bunun en iyi göstergesi ‘süreksizlik dolgusu’ olarak ifade edilen SD-1 ve SD-2 nolu örneklerin kimyasal analizinde  $\text{SiO}_2$  içeriğinin artması kuvars minerallerinin,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  içeriklerinin artması ise özellikle kil veya ayrışmaya karşı duraylı minerallerin ortamda kaldığını göstermektedir (Tablo 23). Kalsit mineralini oluşturan  $\text{CaO}$  içeriğinin ise azalması, ortamda erime varlığını işaret etmektedir (Şekil 40).



Şekil 40. Üretim sahasındaki kireçtaşlarına ait erime boşlukları (E) Çapraz Nikol

Tablo 23. Üretim sahasındaki jeolojik birimlerin kimyasal analizleri

JB No	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	MnO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
1	4.05	0.97	0.31	0.50	52.33	0.06	0.45	0.03	0.03	0.06	<0.002
2	8.76	1.87	1.08	0.93	47.37	0.08	0.54	0.07	0.08	0.08	<0.002
3	8.15	1.86	1.19	0.87	47.34	0.08	0.72	0.06	0.15	0.08	<0.002
4	5.02	1.11	2.48	1.34	48.60	0.10	0.29	0.05	1.27	0.12	<0.002
5	0.57	0.15	<0.04	0.26	55.79	0.03	0.10	<0.01	0.02	0.03	<0.002
Sd-1	17.31	4.66	1.63	1.55	38.58	0.19	1.08	0.16	0.13	0.04	0.002
Sd-2	18.16	5.20	2.41	1.02	37.64	0.15	2.37	0.19	0.10	0.05	<0.002

JB No	Ba ppm	Ni ppm	Sr ppm	Zr ppm	Y ppm	Nb ppm	Sc ppm	LOI (%)	Top (%)
1	27	<20	336	29	<3	<5	<1	41.1	99.97
2	44	<20	323	9	5	<5	2	39.1	99.96
3	65	<20	348	9	5	<5	2	39.4	99.97
4	38	24	418	20	27	<5	2	39.5	99.95
5	8	<20	233	<5	<3	<5	<1	43.0	99.98
Sd-1	299	40	481	89	5	<5	5	34.5	99.94
Sd-2	106	<20	487	34	7	<5	5	32.6	99.95

### 3.2. Çalışma Alanındaki Kaya Malzemelerinin İndeks ve Mekanik Özellikleri

Kaya kütlelerinin mühendislik amaçlı tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında kaya malzemesinin indeks ve mekanik özellikleri sıkça kullanılmaktadır.

Tek eksenli basınç deneyleri Tablo 24’de gösterilmiştir. Her bir zonun tek eksenli basınç dayanımı ve ayrıca inceleme yapılan jeoteknik birimlere ait tek eksenli basınç dayanımları tabloda yer almaktadır.

Tablo 24. Jeolojik ve jeoteknik birimlere ait tek eksenli basınç ve indirekt çekme dayanım değerleri

Jeolojik Zon	UCS <sub>Ort</sub> (MPa)	Std.Spm	$\sigma_{t, ort}$ (MPa)	Std.Spm
Z <sub>1</sub>	11.62	1.91	0.87	0.17
Z <sub>2</sub>	18.85	1.12	1.56	0.33
Z <sub>3</sub>	8.19	1.16	0.98	0.21
Z <sub>4</sub>	7.65	1.17	0.77	0.11
Z <sub>5</sub>	10.67	2.46	0.86	0.04

Jeoteknik birimler her zaman tek bir jeolojik birimden oluşmamaktadır. Bunun yerine jeolojik birimler ardalanmalı olarak jeoteknik birimlerde yer aldığından değerlendirmede en düşük basınç dayanımı olan zonun özellikleri dikkate alınmıştır. Kayaçların çekme dayanımı endirekt çekme deneyi ile belirlenmiştir.

Tablo 24'deki UCS değerlerine bakıldığında değerlerin 7.65–18.85 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Standart sapma değeri Zon-5'te daha fazladır. Çünkü Zon-5 makro fosiller içerir ve erime boşluğu diğer zonlara nazaran çok daha fazladır. Boşlukların olması karotlar üzerinde gerçekleştirilen mekanik deneylerin değer aralıklarını artırmaktadır. Endirekt çekme deneyi sonuçlarında ise 0.77-1.56 MPa arasında değişkenlik arz etmektedir.

Schmidt çekici ile sertlik tayini ISRM (1981) ve ASTM, 5873–2001 standartlarına uygun bir şekilde uygulanmıştır (Tablo 25). Schmidt çekici 4 zon için yapılmıştır. Zon–5'in aşırı erime boşluğuna sahip olması nedeniyle sağlıklı sonuç elde edilemeyeceği düşünülmüş ve bu zon için Schmidt sertlik deneyi yapılmamıştır.

Tablo 25. Schmidt çekici sertlik değerleri

Jeolojik birimler	ISRM (1981)	ASTM (2001)
Z-1	15.5±2.87	11.4±2.87
Z-2	17.2±2.04	15.6±3.13
Z-3	15.4±2.83	12.1±3.51
Z-4	13.5±1.26	11.1±3.07

Yöntemler incelendiğinde sertlik değerleri genelde birbirlerine yakın çıkmakla birlikte, ASTM yöntemi ile elde edilen sertlik değerleri ISRM yöntemine göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni, ISRM yönteminde okunan değerlerden en yüksek %50'nin hesaplamalara katılmasıdır. Doğadaki Kayaçlar %100 homojen olmadıkları için kayaç üzerinde farklı noktalarda sertlik değerleri birbirlerine yakın çıkmakla beraber tamamen aynı çıkmamaktadır. Dolayısıyla düşük değerlerin iptal edilerek yalnızca yüksek değerlerin değerlendirilmede kullanılması kayaçları tam olarak temsil etmeye yetmeyecektir. Değerlerin birbirlerine yakın olması mühendislik hesaplamalarını etkileyebilecek düzeyde olduğu düşünülmemiştir (Tablo 26).

Tablo 26. Yedi farklı yöntemle elde edilmiş Schmidt sertlik değerlerinin ISRM, 1978 sınıflamasına göre karşılaştırılması

Yöntem	Z-1	ISRM,1978 tanımlaması	Z-2	ISRM,1978 tanımlaması	Z-3	ISRM,1978 tanımlaması	Z-4	ISRM,1978 tanımlaması
ISRM (1981)	15.5	Az yumuşak	17.2	Az yumuşak	15.4	Az yumuşak	13.5	Az yumuşak
ASTM(2001)	11.4	Az yumuşak	15.6	Az yumuşak	12.1	Az yumuşak	11.1	Az yumuşak

Schmidt çekici ile sertlik belirlemenin yanı sıra süreksizlik yüzeylerine ait bozunma durumları da tespit edilmiştir. Ayrışma durumları ISRM (1981) esas alınarak yapılmıştır (Tablo 27). Tabloda koyu renkli rakamlar hesaplamalarda kullanılmıştır. Bozunma indeksine (Wd) göre süreksizlik yüzeylerinin bozunma sınıflaması Gökçeoğlu (1997)'e göre yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 28). Zon-5 ocağın en alt kotunu oluşturduğu için süreksizlik yüzeylerine ulaşma noktasında karşılaşılan güçlükler nedeniyle bozunma sınıflaması yapılamamıştır.

Tablo 27. Taze yüzeylerde ve ayrıışmış yüzeylerde schmidt çekici değerleri

Deney Sayısı	Zon 1 Taze	Zon 1 Ayrıışmış	Zon 2 Taze	Zon 2 Ayrıışmış	Zon 3 Taze	Zon 3 Ayrıışmış	Zon 4 Taze	Zon 4 Ayrıışmış
1	<b>13</b>	<b>14</b>	12	<b>17</b>	10	6	6	<b>11</b>
2	<b>16</b>	10	14	<b>14</b>	9	4	10	<b>10</b>
3	11	8	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	8	6
4	9	6	14	<b>17</b>	10	<b>10</b>	9	<b>12</b>
5	11	<b>11</b>	<b>19</b>	9	<b>16</b>	<b>11</b>	10	7
6	<b>13</b>	5	<b>20</b>	12	<b>12</b>	7	<b>15</b>	<b>12</b>
7	6	<b>11</b>	14	<b>14</b>	10	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
8	9	6	14	<b>18</b>	8	<b>11</b>	11	4
9	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	13	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	5
10	<b>14</b>	9	12	10	<b>19</b>	4	<b>14</b>	5
11	<b>20</b>	<b>12</b>	13	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>
12	<b>18</b>	9	<b>18</b>	8	<b>13</b>	5	11	<b>13</b>
13	11	8	<b>16</b>	12	<b>15</b>	<b>9</b>	10	<b>10</b>
14	9	<b>20</b>	<b>14</b>	12	<b>18</b>	7	<b>15</b>	<b>10</b>
15	11	<b>18</b>	10	8	11	9	<b>13</b>	3
16	<b>17</b>	<b>18</b>	12	<b>17</b>	9	7	11	4
17	10	<b>10</b>	<b>16</b>	13	10	9	<b>12</b>	4
18	<b>13</b>	9	12	<b>16</b>	10	<b>10</b>	<b>12</b>	6
19	10	8	<b>17</b>	8	11	7	<b>14</b>	<b>8</b>
20	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	9	7
Ortalama± standart sp.	<b>15,5±2.87</b>	<b>13,8±3.58</b>	<b>17,2±2.04</b>	<b>15,9±1.73</b>	<b>15,4±2.83</b>	<b>10,1±0.99</b>	<b>13,5±1.26</b>	<b>11,4±1.95</b>



Tablo 28. Bozunma indeksine (Wd) göre süreksizlik yüzeylerinin bozunma sınıflaması (Gökçeoğlu, 1997).

Wd=Rf/Rw (Gökçeoğlu, 1997)	Zon 1	$Zon\ 1 = \frac{15,5}{13,8} = 1,12$	Az Bozunmuş
	Zon 2	$Zon\ 2 = \frac{17,2}{15,9} = 1,08$	Bozunmamış Taze
	Zon 3	$Zon\ 3 = \frac{15,4}{10,1} = 1,52$	Orta Derece Bozunmuş
	Zon 4	$Zon\ 4 = \frac{13,5}{11,4} = 1,18$	Az Bozunmuş

Yukarıdaki tabloda her bir zon için bozunma durumları yer almaktadır. Zon-1 ve Zon-4 az bozunmuş, Zon-2 bozunmamış ve Zon-3 orta derece bozunmuş sınıfına girmektedir. Arazi gözlemleri de bu sonucu desteklemektedir. Schmidt sertliği ile tek eksenli basınç dayanımı arasında doğru orantı vardır. Özellikle magmatik kayalarda tek eksenli basınç dayanımı arttıkça Schmidt sertlik değerinde de artış gözlenmektedir (Karaman vd., 2010).

Deney sonuçlarına göre Zon-4 ve Zon-5'in boşluk oranı ve porozite değerleri diğer zonlardan yüksek çıkmıştır (Tablo 29). Zon- 2, diğer zonlara nazaran daha düşük porozite ve boşluk oranına sahiptir.

Tablo 29. Yoğunluk ve porozite değerleri

Parametreler	Z1 <sub>Ort</sub>	Z2 <sub>Ort</sub>	Z3 <sub>Ort</sub>	Z4 <sub>Ort</sub>	Z5 <sub>Ort</sub>
Kuru yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	2.01	2.16	2.19	2.05	2.10
Doymuş yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	2.23	2.34	2.38	2.27	2.32
Porozite %	19.74	14.92	18.06	23.76	22.4
Boşluk oranı (e)	0.24	0.17	0.22	0.31	0.29
Doğal durumda su içeriği %	9.23	5.67	7.67	10.90	8.30

Suda dağılma dayanımı deneyi de diğer deneyler gibi beş zon için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve sonuçların değerlendirilmesinde Gamble (1971) sınıflaması esas alınmıştır (Tablo 30 ). Tabloya bakıldığında Zon 2'nin diğer zonlara göre suda dağılmaya karşı dayanımının daha iyi olduğu görülmüştür. Zon 2 diğer mekanik deneylerin neredeyse hepsinde de yüksek değerlere sahip olmuştur. Bunun nedeni içsel ve mineralojik özellikler olduğu düşünülmektedir. Bunun bir nedeni de, Z-2'nin en düşük porozite ve boşluk oranına sahip olmasıdır.

Tablo 30. Suda dağılıma dayanım sınıflaması (Gamble, 1971).

Kayaç	Numune (gr) (kuru)	Numune 1. çevrimden sonra (kuru) (gr)	Numune 2. çevrimden sonra (kuru) (gr)	Dağılıma Dayanım Sınıflaması
Zon 1	525.11	495.62	483.48	<b>Orta-Yüksek</b>
Zon 2	510.82	496.93	493.73	<b>Yüksek</b>
Zon 3	526.58	500.59	492.79	<b>Orta-Yüksek</b>
Zon 4	511.65	473.32	466.41	<b>Orta-Yüksek</b>
Zon 5	508.54	481.26	462.87	<b>Orta-Yüksek</b>

Nokta yükleme deneyi eksenel (E), çapsal (Ç) ve şekilsiz (Ş) numuneler üzerinde yapılmıştır. Her üç durumdan elde edilen değerlerle tahmini tek eksenli basınç değeri bulunmuş (T-UCS) ve gerçek tek eksenli basınç değerleriyle karşılaştırılmıştır (Tablo 31). Tek eksenli basınç değerlerinin tahmini için optimum k katsayısının 12 olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 31. Nokta yükü değerleriyle tahmini ve gerçek UCS değerleri

JTB No	$I_{s(50)}$ (MPa) Çapsal <sub>Ort</sub>	$I_{s(50)}$ (MPa) Eksenel <sub>Ort</sub>	$I_{s(50)}$ (MPa) Şekilsiz <sub>Ort</sub>	k	Gerçek UCS	T- UCS <sub>E</sub>	T- UCS <sub>Ç</sub>	T- UCS <sub>Ş</sub>
Z-1	0.74±0.1	1.02±0.1	0.94±0.2	12	11.62±1.9	8.88±0.6	12.24±0.7	11.28±2.5
Z-2	0.78±0.1	1.97±0.1	1.19±0.2	12	18.85±1.1	9.36±1.8	23.64±0.6	14.28±2.8
Z-3	0.55±0.2	1.54±0.1	1.08±0.2	12	8.45±0.9	6.62±2.4	18.48±0.6	12.96±2.1
Z-4	0.67±0.2	0.92±0.2	0.73±0.1	12	7.65±1.2	8.04±2.5	11.04±2.5	8.76±0.8
Z-5	0.62±0.3	0.87±0.2	0.68±0.2	12	10.67±2.5	7.44±2.7	10.44±2.2	8.16±2.9

Ultrasonik P dalga hızı deneyinde doymun durumda L/D oranının 2.29 olduğu örneklerde hesaplanan P dalga hızları diğer boyutlara göre daha düşük çıkmıştır (Tablo 32). Bu durum numune boyutu arttıkça doymun killi kireçtaşlarında P dalga hızının azaldığına işaret etmektedir. Kuru örneklerde de kendi içerisinde poroziteden dolayı L/D oranı arttıkça P dalga hızında bir azalma söz konusu olmaktadır. Kuru halde Zon-2 ve 3'te L/D oranı arttıkça UPV değerlerinde bir azalma olduğu görülmüştür. Çalışma alanındaki birimlerin su karşısında yumuşama özelliği göstermesi kuru halde ölçülen UPV değerlerinin doymun halde ölçülen değerlerden yüksek çıkmasına neden olmaktadır (Karaman vd., 2010).

Tablo 32. Zonlara ait ultrasonik darbe hızı değerleri (m/s)

Jeolojik birimler	Karot numunelerinin L/D oranları		
	1,37	1,83	2,29
Z-1 doyun	2026.34±57.5	2061.5±97.9	2030.5±105.7
Z-1 kuru	2528.7±74.5	2543.0±129.0	2527.9±126.5
Z-2 doyun	2078.6±102.5	1939.9±127.8	1866.8±123.1
Z-2 kuru	2215.4±38.5	2192.4±31.8	2161.2±61.8
Z-3 doyun	2139.7±84.7	2076.9±27.7	1986.8±64.5
Z-3 kuru	2200.8±63.8	2179.2±39.5	2152.9±51.4
Z-4 doyun	1324.8±78.6	1309.3±67.8	1291.0±48.2
Z-4 kuru	1855.4±50.2	1899.5±61.2	1887.3±64.4

Ayrışmış örneklerde yapılan deney Iliev (1966)'e göre hesaplanmıştır (Tablo 33). Zon-1ve Zon-2 ultrasonik darbe hızı ile ayrışma derecesi 0-0.2 arasında olduğu için az ayrışmış olarak bulunmuştur. Zon-3 ultrasonik darbe hızı ile ayrışma derecesi 0.2-0.4 arasında olduğu için orta ayrışmış olarak bulunmuştur. Zon-4 kısmı ultrasonik darbe hızı ile ayrışma derecesi 0-0.2 arasında olduğu için az ayrışmış olarak bulunmuştur.

Tablo 33. Çalışma alanındaki taze ve ayrışmış yüzeylerde ultrasonik darbe hızı değerleri ve ayrışma sınıflaması (k: ayrışma derecesi)

Numune No	Zon Adı	Taze kayalarda ultrasonik darbe hızı (m/sn)	Ayrışmış kayalarda ultrasonik darbe hızı (m/sn)	$(K = \frac{V_0 - V_w}{V_0})$	Tanımlama
1	1.	1897.5	1371.19	0,27	Orta ayrışmış
2	1.	1876.8	1511.00	0.19	Az ayrışmış
3	1.	1936.1	1621.07	0.16	Az ayrışmış
4	1.	1931.5	1609.23	0.17	Az ayrışmış
5	1.	1993.7	1597.76	0.19	Az ayrışmış
6	2.	1851.5	1607.59	0.13	Az ayrışmış
7	2.	1861.9	1579.18	0.15	Az ayrışmış
8	2.	2002.8	1758.20	0.12	Az ayrışmış
9	2.	1882.5	1731.78	0.08	Az ayrışmış
10	2.	1817.4	1578.61	0.13	Az ayrışmış
11	3.	2258.9	1316.55	0.42	Fazla ayrışmış
12	3.	2306.9	1672.66	0.27	Orta ayrışmış
13	3.	2220.2	1558.36	0.29	Orta ayrışmış
14	3.	2128.0	1363.37	0.36	Orta ayrışmış
15	3.	2009.8	1428.14	0.29	Orta ayrışmış
16	4.	1214.0	1061.54	0.13	Az ayrışmış
17	4.	1368.0	1200.00	0.12	Az ayrışmış
18	4.	1349.1	1158.36	0.14	Az ayrışmış
19	4.	1322.1	1071.02	0.19	Az ayrışmış
20	4.	1396.9	1140.21	0.18	Az ayrışmış

Ağırlıkça su emme yüzdelere göre ayrışma sınıflaması Güleç (1973) esas alınarak yapılmıştır. Deney sonuçları gözlenmiş ve Güleç (1973) sınıflaması modifiye edilerek doğru sonuçlara ulaşılmıştır. Diğer ayrışma sınıflamalarındaki çalışma alanındaki jeolojik birimlere ait ayrışma sınıflamaları baz alınarak doğru ayrışma sınıflaması, Güleç (1973) sınıflamasındaki sınıf aralığı değerleri 10'a bölünerek elde edilmiştir (Tablo 34).

Tablo 34. Ağırlıkça Su Emme Yüzdesine göre ayrışma durumu Güleç, (1973)'den modifiye edilmiştir

Ayrışma Derecesi (DW)	Kaya Sınıfı	Jeolojik birim	Ayrışmış örneklerde % Ağırlıkça su emme (Ort)	Taze örneklerde % Ağırlıkça su emme (Ort)	$D_{w,ort} = \frac{W_n - W_0}{W_0}$	KAYA SINIFI
≤0	Ayrışmamış	Zon 1	12,15	11.39	0.067	Az ayrışmış
0–0.4	Az ayrışmış	Zon 2	7,97	8.14	- 0.021	Ayrışmamış
0.4–0.8	Orta ayrışmış	Zon 3	12,14	8.41	0.44	Orta ayrışmış
0.8–1.2	Ayrışmış	Zon 4	12,52	11.22	0.12	Az ayrışmış
>1.2	Çok ayrışmış					

Hem ultrasonik darbe hızı değerlerine hem de ağırlıkça su emme yüzdelere göre yapılan ayrışma sınıflamasında Zon–1 ve Zon–4'ün az ayrışmış, Zon–3'ün ise orta ayrışmış kaya sınıfına girdiği belirlenmiştir. Ayrışmanın çok olması birimlerin kazılabilirliğini kolaylaştırırken, şev duraylılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Tablo 35'te; eğim (tilt) deneyinden elde edilen doğal ve doymun haldeki içsel sürtünme açıları, kuru haldekenden genelde daha yüksek çıkmıştır. Sonuçlar literatürdekine paralel çıkmamıştır. Çünkü çalışma sahasındaki birimler kil içeriğine sahiptir ve kil mineralleriyle suyun teması, süreksizlik yüzeylerinin birbirine yapışmasına neden olmaktadır.

Tablo 35. Araziden alınan bazı numuneler üzerinde tilt deneyinden elde edilen içsel sürtünme açıları

D	Numune 1			Numune 2			Numune 3			Numune 4			Numune 5		
	Dğ	Dy	Kr	Dğ	Dy	Kr	Dğ	Dy	Kr	Dğ	Dy	Kr	Dğ	Dy	Kr
1	28	31	26	36	34	36	38	36	36	40	40	39	45	45	45
2	26	28	25	35	36	33	36	37	36	38	41	39	46	46	45
3	27	29	28	34	38	34	37	38	34	39	41	37	45	46	44
4	29	27	27	35	36	35	35	37	35	39	42	38	44	45	44
5	26	29	26	34	35	34	35	38	37	40	40	37	46	47	46
O	27,2	28,8	26,4	34,8	35,8	34,4	36,2	37,2	35,6	39,2	40,8	38	45,2	45,8	44,8

Tablo 36’da bazı örnekler için kaya makaslama ve eğim (tilt) deneylerinden elde edilen içsel sürtünme açıları verilmiştir. Tablo 36 incelendiğinde; eğim deneylerinden elde edilen değerlerin genelde (1. Örnek hariç) makaslama dayanımından elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. İçsel sürtünme açısı arttıkça şevlerin duraylılığının arttığı bilinmektedir. Bu nedenle eğim deneyi ile bulunan içsel sürtünme açısından en az 5° daha düşük bir açıyı değerlendirmeye katmak gerekmektedir.

Tablo 36. Bazı örnekler üzerinde bulunan içsel sürtünme açıları

Yöntem	1	2	3	4	5
Tilt, $\varphi$ ( $\varphi = \varphi_b + i$ )	27.2+2.55= 29.75	45.2	36.2	34.8	39.2
Kaya makaslama, $\varphi$	30.81	39.28	36.02	24.01	36

### 3.3. Jeoteknik Birimlerin Kazılabilirliklerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada öncelikle sismik hız baz alınarak kazılabilirlik tayinleri yapılmıştır (Tablo 37). Müftüoğlu ve Scoble (1985) puanlama sistemi, kullanılan bir diğer kazılabilirlik sınıflama sistemi olmuştur.

Tablo 37. Sismik hız değerleriyle Araklı Taşönü Ocağının Weaver (1975)’e göre kazılabilirlik sınıflaması

Zon Adı	Sismik Hız Değeri	Sökülebilirlik
1	1927.1	Zor sökülebilir
2	1883.2	Zor sökülebilir
3	2184.8	Çok zor sökülebilir
4	1324.2	Orta zorlukta sökülebilir

Weaver (1975) RMR sistemi içindeki kaya dayanımı ve RQD parametreleri yerine malzemenin sismik hızlarından yararlanmıştır. Ancak literatürde bazı araştırmacıların öne sürdüğü (Simith, 1986; Singh vd., 1987 ) ayrıca bu çalışmada da sadece sismik hız yoluyla yapılan kazılabilirlik tayininin her zaman doğru sonuçlar vermediği gözlenmiştir. Bu yüzden bir diğer kabul görmüş kazılabilirlik tayini sistemi olan Müftüoğlu ve Scoble (1985) kazılabilirlik puanlama sistemi incelenmiştir (Tablo 38).

Tablo 38. Müftüoğlu ve Scoble (1985) puanlama sistemine göre kazılabilirlik sınıflaması

ÖZELLİKLER	Zon-1	Zon-2	Zon-3	Zon-4	Zon-5
Ayrışma derecesi	Hafifçe	Ayrışmamış	Orta derecede	Hafifçe	Hafifçe
PUAN	(20)	(25)	(15)	(20)	(20)
UCS	≤20mpa	≤20mpa	≤20mpa	≤20mpa	≤20mpa
PUAN	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
Nokta Yük. İndeksi	0.94	1.19	1.08	0.73	0.68
PUAN	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
Çatlak arası mesafe	0.14m	0.17m	0.14m	0.14m	0.146
PUAN	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)
Katman kalınlığı	0.1–0,3 m	0.1–0,3 m	0.1–0,3 m	0.1–0,3 m	0.1–0,3 m
PUAN	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)
Toplam puan	40	45	35	40	40
	Kazı çok kolay	Kazı Kolay	Kazı çok kolay	Kazı çok kolay	Kazı çok kolay

Bu sınıflandırma sonucunda zon 1, zon 3, zon 4 ve zon 5'in çok kolaylıkla kazılabileceği sadece zon 2'nin biraz daha sert olduğu ancak genel olarak bu işletmede Müftüoğlu ve Scoble (1985) kazılabilirlik puanlama sistemine göre hidrolik ekskavatörlerin rahatlıkla çalışabileceği ve kazı yapabileceği ekonomik olarak tespit edilmiştir. Müftüoğlu ve Scoble (1985) puanlama sistemine benzer bir sınıflama sistemi de Kırmanlı ve Erçelebi'nin (2005) geliştirdiği uzman sistem adlı bilgisayar programıdır. Bu sistem aşağıdaki şekliyle modifiye edilerek çalışma alanındaki birimler için Müftüoğlu ve Scoble (1985) sistemi yardımıyla bulunan nihai puana göre basit bir şekilde ekipman seçimi yapılmıştır (Tablo 39). Yukarıdaki tabloya göre Zon-1, 3, 4 ve 5'in temsil ettiği jeolojik formasyonlar 20–40 puan arasında yer almaktadır. Buna göre hidrolik ekskavatör doğrudan kazabilirken, Zon-2'nin temsil ettiği formasyon için toplam kazılabilirlik puanı 45 olup patlatma gerekmektedir. Fakat Zon-2'nin arazide sınırlı olması ve yerinde yapılan gözlemler neticesinde bu zonun'da diğer zonlar gibi aynı ekipmanla veya kırıcı uçla kazılabilirliği görülmüştür.

Tablo 39. Jeolojik birimler için kazılabilirlik puanına göre ekipman seçimi

Kazı Sınıfı	Kazı Tanımı	Kazılabilirlik Puanı	Kazı Türü ve Aracı
			Hidrolik Ekskavatör
1	Kolay	<20	Doğrudan kazabilir
2	<b>Orta</b>	<b>20–40</b>	<b>Doğrudan kazabilir</b>
3	Orta- Zor	40–70	Patlatma gerekli
4	Zor	70–100	Patlatma gerekli
5	Çok Zor	>100	Patlatma gerekli

### 3.4. Killi Dolgularının Mühendislik Özellikleri

#### 3.4.1. Tane Dağılım Kıvam limitleri ve Zemin Türünün Belirlenmesi

İki farklı süreksizlik dolgusundan alınan numuneler üzerinde tane boyu analizleri, kıvam limitleri (likit ve plastik limit) yapılmıştır. 600 mikron altındaki malzeme Maden Mühendisliği laboratuvarında bulunan mastersizer cihazı ile analiz edilerek kil silt ayrımı yapılmıştır. 600 mikron üzerindeki taneler ise elek analizi yardımıyla sınıflandırılmıştır. JTB-1'e ait süreksizlik dolgusunun % 40.03'ü kum, % 54.56'sı silt ve % 4.41'i kildir. JTB-3'e ait süreksizlik dolgusunun % 32.17'si kum, % 62.41'i silt ve % 5.42'si kildir. Ayrıca yukarıda sözü edilen numuneler üzerinde likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmış olup JTB-1'e ait numunelerin likit limiti % 31, plastik limiti % 16.43 ve plastisite indisi % 14.57 olarak bulunmuştur. JTB-3'e ait süreksizlik dolgusunda likit limit % 35.85, plastik limit % 21,79 ve plastisite indisi % 14,06 olarak bulunmuştur. Her iki zemin örneği de Casagrande Plastisite kartına göre 'düşük plastisiteli killer' grubuna girmektedir. JTB-1'den alınan örnekler IAEG (1976) likit limit sınıflamasına göre 'düşük plastisiteli', plastisite indisine göre 'orta plastisiteli zemin' sınıfına girmekte ve Burmister (1951) plastisite indisi sınıflamasına göre 'orta plastisiteli' ve zemin tanımı olarak kil ve silt grubuna dahil olmaktadır. JTB-3'ün süreksizlik dolgusu ise; IAEG (1976) likit limit sınıflamasına göre orta plastisiteli, plastisite indisine göre 'orta plastisiteli zemin' sınıfına girmekte ve Burmister (1951) plastisite indisi sınıflamasına göre 'orta plastisiteli' ve zemin tanımı olarak kil ve silt grubuna dahil olmaktadır. Süreksizlik düzlemlerine ait dolgu tamamen ayırık malzemedan oluştuğu için zemin makaslama deneyleri yapılamamıştır.

### 3.5. Çalışma Alanındaki Süreksizliklerin Jeoteknik Özellikleri

Arazide tabaka duruşları 4–25 derece arasında değişmekte olup, heyelanlı bölgede tabakalar güneye eğimli, yeni açılan ocaktaki tabakalar GD'ya ve ocağın kuzey batısındaki tabakalar ise GB'ya doğru eğimlidirler. Tabaka düzlemlerinin konumu çökelme havzasının şekliyle ilişkilidir. Yani kireçtaşı birimleri tekne şeklinde bir ortamda çökelme sonucu geliştiğinden tabaka duruşlarının bundan etkilendiği görülmektedir.

Ölçümlere dayalı olarak yeni açılmakta olan ocaktaki şevlerde 2 adet süreksizlik takımı gözlenmekle birlikte, heyelan öncesinde ocakta patlatma yapıldığından, patlatma etkisiyle sonradan oluşmuş az sayıda gelişigüzel süreksizlikler de mevcuttur. Bu nedenle

özellikle JTB 5, 6 ve 7’de var olan patlatma kaynaklı süreksizlikler değerlendirmede dikkate alınmamışlardır. Yeni açılan şevlerde patlatma kullanılmadığı için patlatma etkisiyle oluşmuş kırıklara rastlanmamıştır. JTB–7 heyelan sahasında yer alan ve gerilme çatlağına sahip olan bir şev olup 3 adet süreksizlik takımı içermektedir.

### 3.5.1. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Bu çalışmada her bir jeoteknik birimdeki süreksizlik setleri ayrı ayrı değerlendirilerek ortalama ara uzaklıkları ve ISRM (1981) sınıflamasına göre yüzde değer aralıkları hesaplanmıştır (Tablo 40). Buna göre JTB 1; 1. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 97–2 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 17.31 cm ve standart sapması 25.87 cm’dir. 2. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 91–2 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 15.95 cm ve standart sapması 18.87 cm’dir. JTB 2; 1. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 35–2 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 6.78 cm ve standart sapması 5.34 cm’dir. 2. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 42–2 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 16.40 cm ve standart sapması 9.68 cm’dir. JTB 3; 1. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 38–1 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 12.57 cm ve standart sapması 10.44 cm’dir. 2. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 103–4 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 36.79 cm ve standart sapması 25.07 cm’dir. JTB 4; 1. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 23–3 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 8.35 cm ve standart sapması 3.98 cm’dir. 2. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 109–4 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 31.43 cm ve standart sapması 26.67 cm’dir.

Süreksizlik ara uzaklığı SSPC sisteminde kullanılan önemli parametrelerden biridir. Ayrıca süreksizlik ara uzaklığı azaldıkça şevlerin duraylılığı olumsuz yönde etkilenmektedir. Fakat süreksizliklerin yönelimi de önemli bir parametredir. Bu bağlamda çalışma sahasındaki düşük süreksizlik ara uzaklık ortalamalarına sahip şevlerin baskın süreksizlik duruşları şevin içerisine doğrudur. Süreksizlik duruşlarının şev içine doğru olması duraylılık açısından olumlu bir durumdur.



Tablo 40. Çalışma alanındaki süreksizlik ara uzaklığı tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).

JTB No	Ortalama ara uzaklık (cm)	Çok dar ara uzaklıklı (%)	Dar ara uzaklıklı (%)	Yakın ara uzaklıklı (%)	Orta derecede ara uzaklıklı (%)	Geniş ara uzaklıklı (%)
1	S1 17.31	-	46.15	38.47	7.69	7.69
	S2 15.95	-	31.58	47.36	14.04	7.02
2	S1 6.78	-	42.88	53.03	4.09	-
	S2 16.40	-	10.39	59.74	29.87	-
3	S1 12.57	4.55	25	43.18	27.27	-
	S2 36.79	-	8.34	20.83	58.33	12.5
4	S1 8.35	-	29.55	68.18	2.27	-
	S2 31.43	-	4.76	50	30.95	14.29
5	S1 19,53	-	26.32	31.58	42.11	-
	S2 23.7	-	3.7	44.44	44.44	7.42
6	S1 16.2	-	30	40	30	-
	S2 16.55	-	38.71	38.71	16.13	6.45
	S1 35.38	-	11.54	38.46	30.77	19.23
7	S2 29.5	-	8.33	41.67	25	25
	S3 23.79	-	-	35.71	64.29	-

JTB 5; 1. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 44–3 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 19.53 cm ve standart sapması 14.26 cm'dir. 2. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 70–4 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 23.7 cm ve standart sapması 18.06 cm'dir. JTB 6; 1. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 57–2 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 16.2 cm ve standart sapması 14.33 cm'dir. 2. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 83–2 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 16.55 cm ve standart sapması 21.45 cm'dir. JTB 7; 1. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 149–3 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 35.38 cm ve standart sapması 42.02 cm'dir. 2. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 84–4 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 29.5 cm ve standart sapması 25.87 cm'dir. 3. süreksizlik takımındaki süreksizlik ara uzaklığı değerleri 49–6 cm aralığında değişmekte olup ortalama değeri 23.79 cm ve standart sapması 13.33 cm'dir.

### 3.5.2. Süreksizliklerin Dolgu Durumu ve Açıklığı

Süreksizlik yüzeyinin açıklığı, hava, su veya ayrılmış malzemelerle dolu olabilmekte ve bu mesafe süreksizliğin bitişik yüzeyleri arasındaki en kısa mesafe olarak ifade edilmektedir (Wyllie ve Mah, 2004).

Bu çalışmada her bir süreksizliğe ait açıklık değerleri mm ölçekli cetvel ile ölçülmüş ve elde edilen değerler ışığında genel olarak incelenen şevlerin 1–3 mm açıklığa sahip

oldukları görülmüştür. ISRM (1981)'e göre değerlendirildiğinde açıklıkların yaklaşık %90-95'i 'çok sıkı' ve 'sıkı' ve %5-10'u ise 'kısmen açık' sınıfına girmektedir. Açıklıkların yaklaşık %85'i dolgunsuz, %15'i dolgulu ve dolguların kalsit, kil, kil+silt, silt+kum ve yer yer Fe oksitler olduğu gözlenmiştir. Sadece JTB-1 ve 3'te yaklaşık 6-8 cm kalınlığında devamlılığı yaklaşık 1.5-2 m olan birer adet süreksizlik dolgusuna rastlanmış ve özellikleri incelenmek üzere örnekler alınmıştır. Buna göre jeoteknik birimlere göre dolgu malzemesi tayini ve puanlaması yapılmıştır (Tablo 41).

Tablo 41. Hack vd. (2003)'a göre süreksizlik dolgu malzemesinin puanlaması

JTB NO	Dolgu Malzemesi	Puan
1	S1 Dolgu yok yüzey boyanmış	1.00
	S2 Dolgu yok yüzey boyanmış	1.00
2	S1 Yumuşamayan ve makaslanmamış ince dolgu	0.85
	S2 Yumuşak veya makaslanmış iri dolgu	0.75
3	S1 Yumuşamayan ve makaslanmamış ince dolgu	0.85
	S2 Yumuşak veya makaslanmış iri dolgu	0.75
4	S1 Yumuşak veya makaslanmış iri dolgu	0.75
	S2 Yumuşak veya makaslanmış orta dolgu	0.65
5	S1 Yumuşamayan ve makaslanmamış ince dolgu	0.90
	S2 Yumuşamayan ve makaslanmamış ince dolgu	0.90
6	S1 Yumuşak veya makaslanmış orta dolgu	0.65
	S2 Yumuşak veya makaslanmış orta dolgu	0.65
	S1 Yumuşak veya makaslanmış orta dolgu	0.65
7	S2 Yumuşak veya makaslanmış iri dolgu	0.75
	S3 Yumuşak veya makaslanmış iri dolgu	0.75

Ayrıca çalışma alanı kireçtaşı birimlerinin hakim olması nedeniyle erime boşlukları içermektedir. SSPC sisteminde erime boşluğu varlığı puanı 0.92 olduğundan tüm şevlerde 0.92 sayısı esas alınarak değerlendirilmiştir. SSPC sistemine göre dolgular incelendiğinde jeoteknik birimlerde inceleme yapılırken en olumsuz durumu veren dolguya göre değerlendirmeler yapılmıştır.

### 3.5.3. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü ve Süreksizlik Durum Faktörü

Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü özellikle dolgunsuz süreksizlikler için makaslama dayanımının önemli bir bileşenidir. Pürüzlülüğün önemi, artan kırık açıklığı, dolgu maddesi kalınlığı veya daha önceden oluşan makaslama hareketleri ile azalır. Bu çalışmada süreksizliklere ait pürüzlülük profillerinin tayininde her bir süreksizlik seti için en az üçer

adet pürüzlülük ölçümleri kağıt ortamına aktarılarak i açıları (pürüzlülüğün yatayla yaptığı açı) ölçülmüştür. Daha sonra büyük ölçekli ve küçük ölçekli pürüzlülük için sayısal puanlara dönüştürülerek süreksizlik durum faktörleri hesaplanmıştır (Tablo 42).

Tablo 42. Jeoteknik birimlerdeki süreksizlik yüzey durumunun SSPC sistemine göre puanlaması

JTB No	1.Süreksizlik takımı (JS1)				2.Süreksizlik takımı (JS2)				3.Süreksizlik takımı (JS3)			
	Jlr	Jsr	Jim	Kd	Jlr	Jsr	Jim	Kd	Jlr	Jsr	Jim	Kd
1	0.80	0.75	1.00	0.92	0.95	0.95	1.00	0.92	-	-	-	-
2	0.80	0.75	0.85	0.92	0.85	0.80	0.75	0.92	-	-	-	-
3	0.80	0.75	0.85	0.92	0.80	0.80	0.75	0.92	-	-	-	-
4	0.75	0.70	0.75	0.92	0.85	0.75	0.65	0.92	-	-	-	-
5	0.95	0.95	0.90	0.92	1.00	0.95	0.90	0.92	-	-	-	-
6	0.80	0.60	0.65	0.92	0.80	0.80	0.65	0.92	-	-	-	-
7	0.80	0.70	0.65	0.92	0.80	0.80	0.75	0.92	0.80	0.75	0.75	0.92

(Jlr: Büyük ölçekli pürüzlülük, Jsr: Küçük ölçekli pürüzlülük, Jim: Dolgu malzemesi türü, Kd: Yüzeydeki erime boşluğu varlığı/yokluğu)

### 3.6. Çalışma Alanındaki Kaya Şevlerinin Duraylılık Analizi

Çalışma alanındaki jeoteknik birimlerin duraylılık değerlendirmesi için kinematik analizler, SSPC sisteminde yönelime bağımlı ve yönelimden bağımsız duraylılık analizleri ve duraysız olan veya heyelan bölgesinde olup gerilme çatlağına sahip olan şevler için limit denge analizleri yapılarak güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Son olarak heyelanlı bölgenin güneyinde yeni açılmakta olan ocak için basamaklandırma dizaynı yapılarak şev yüksekliği ve açıları hesaplanmıştır.

### 3.6.1. Kinematik Analizler

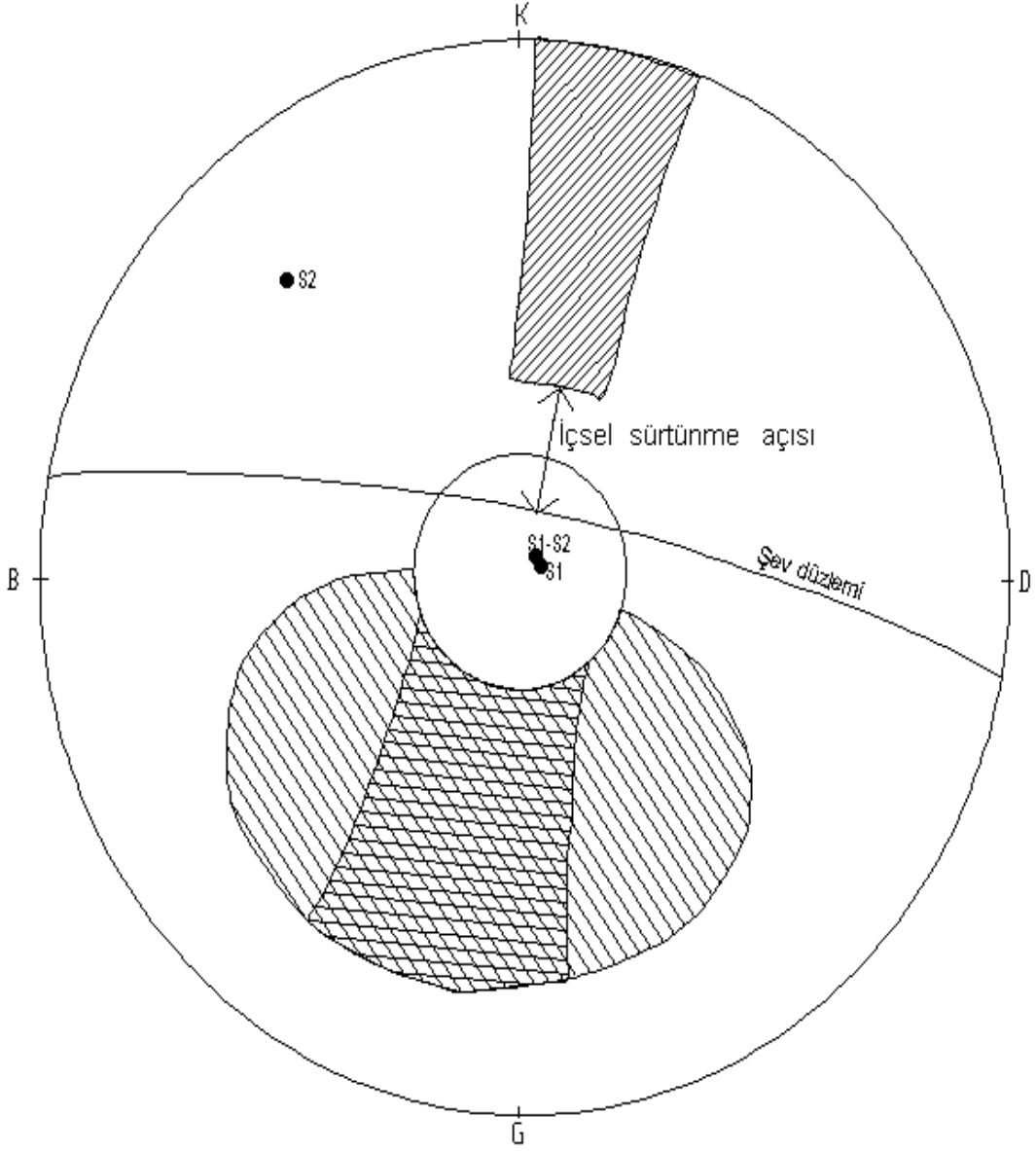
Veri olarak, şev geometrisi ve süreksizliklerin kayma direnci parametrelerinin kullanıldığı kinematik analizler, kaya şevlerindeki yenilmelerin süreksizlikler tarafından kontrol edildiği durumlarda kullanılabilir. Kinematik analizlerde kullanılan parametreler aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Tablo 43’de yer alan içsel sürtünme açısı değeri sağlam malzemenin değil süreksizlik zonlarına ait içsel sürtünme açısıdır. Kinematik analizlerde kullanılan içsel sürtünme açıları kaya makaslama deneylerinden elde edilmiştir.

Tablo 43. Kinematik analizlerde kullanılan parametreler

Jeoteknik Birimler	Şev (eğim açısı)	duruşu yönü/eğim	Süreksizlik duruşları (eğim açısı)			İçsel sürtünme açısı (derece)
			S1	S2	S3	
JTB1	012/75		243/5	140/71	-	24
JTB2	312/70		135/6	268/73	-	30
JTB3	344/69		180/12	90/49	-	36
JTB4	320/62		180/4	7/70	-	31
JTB5	340/75		116/15	43/74	-	33
JTB6	146/81		144/25	211/58	-	23
JTB7	163/85		164/21	271/61	267/23	25

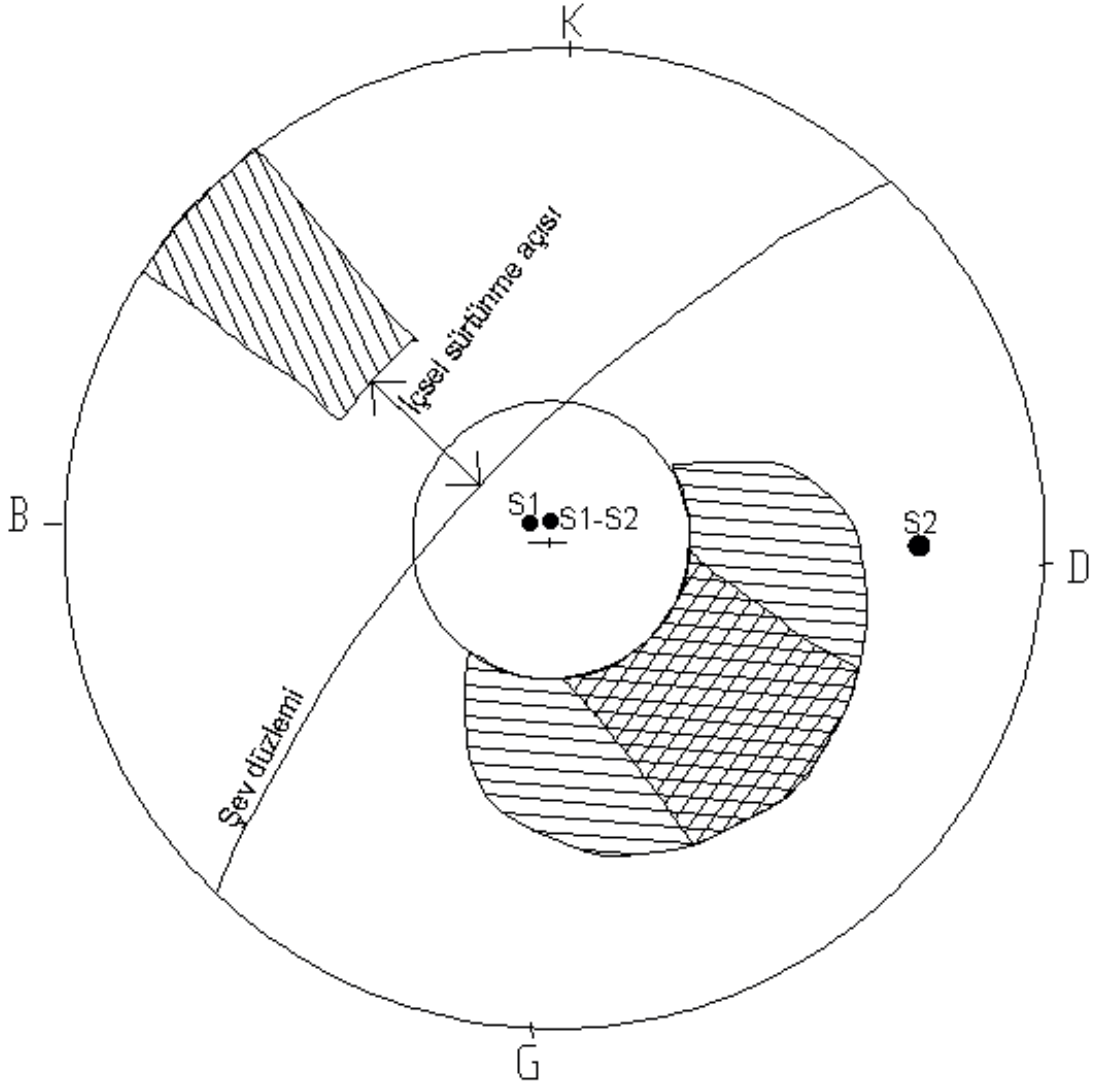
Bu çalışmada SSPC sınıflandırma sisteminde yönetime bağlı duraylılık analizine geçmeden önce kinematik analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 41–47). Kinematik analizlere göre üretim sahasındaki şevlerde herhangi bir yenilme riski (düzlemsel kayma, kamasal kayma ve devrilme) bulunmamaktadır. Heyelan sahasından seçilen JTB 6’da kamasal kayma riski gözlenmiştir (Şekil 46). JTB–7 gerilme çatlığına sahip heyelan sonunda şekillenmiş bir şev olup, süreksizliklere bağlı bir yenilme riski içermemektedir. Fakat sadece kil düzleminin duruşu ve söz konusu dolgunun içsel özelliklerine göre yapılan kinematik analize göre JTB-7’de düzlemsel kayma riski tespit edilmiştir. Dolayısıyla JTB–7 kinematik olarak duraysızdır.

### JTB-1



Şekil 41. JTB-1'in birleşik kinematik analizi

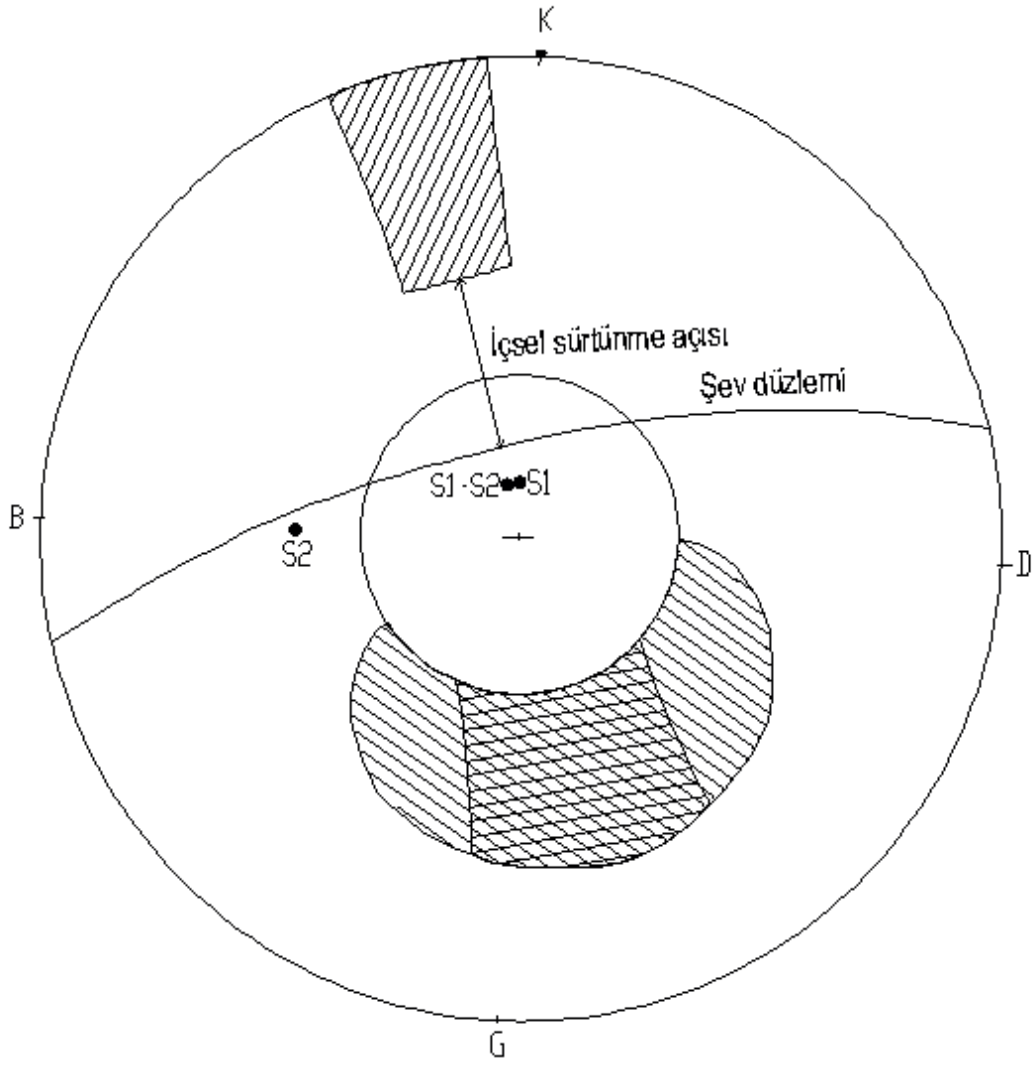
## JTB-2



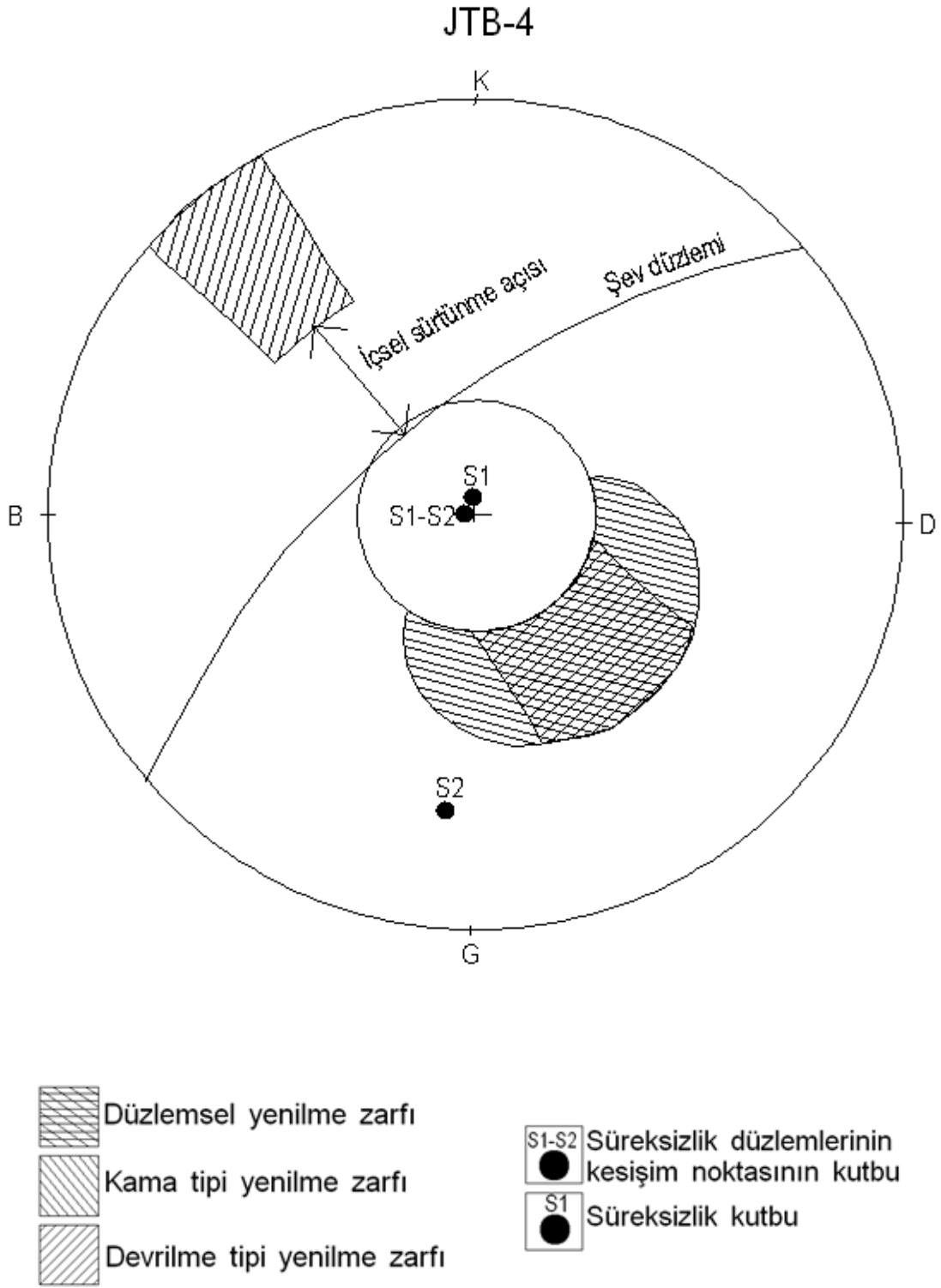
	Düzlemsel yenilme zarfı		Süreksizlik düzlemlerinin kesişim noktasının kutbu
	Kama tipi yenilme zarfı		Süreksizlik kutbu
	Devrilme tipi yenilme zarfı		

Şekil 42. JTB-2'nin birleşik kinematik analizi

## JTB-3



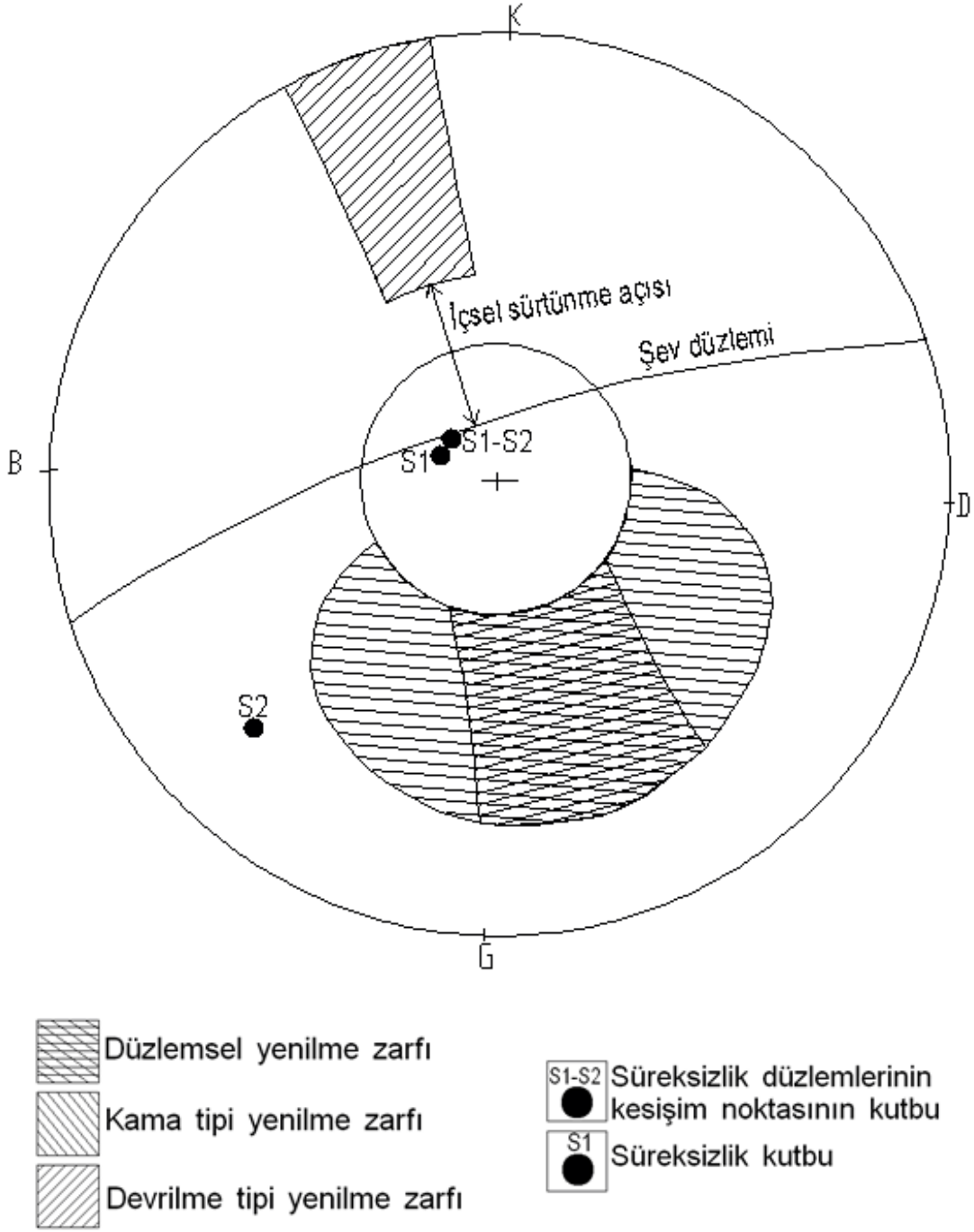
Şekil 43. JTB-3'ün birleşik kinematik analizi



Şekil 44. JTB-4'ün birleşik kinematik analizi

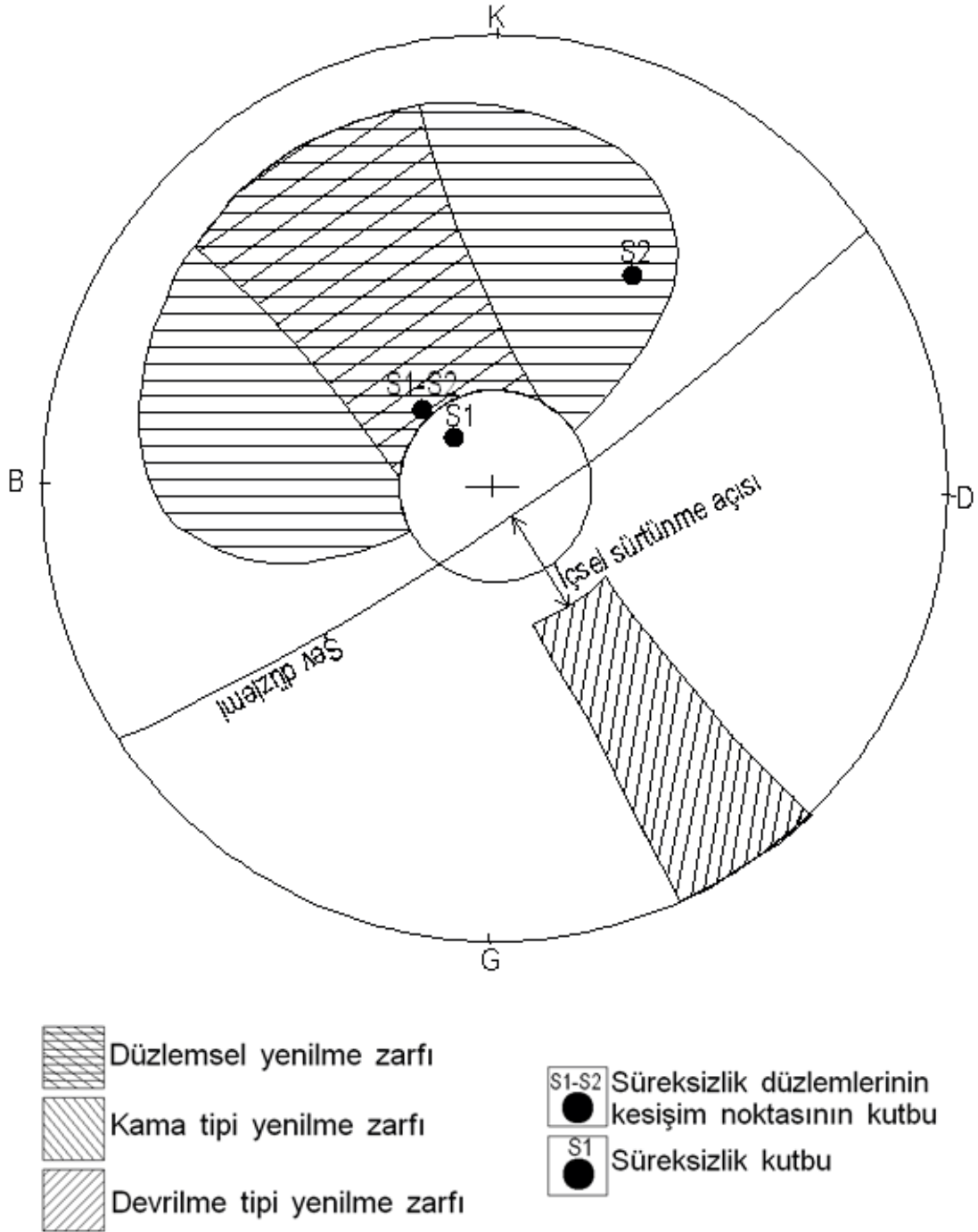


## JTB-5



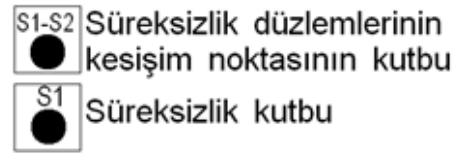
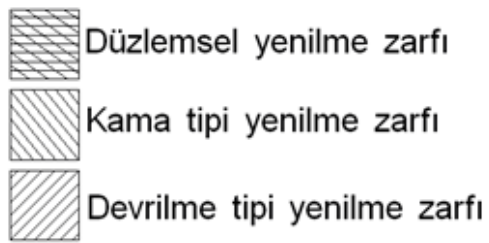
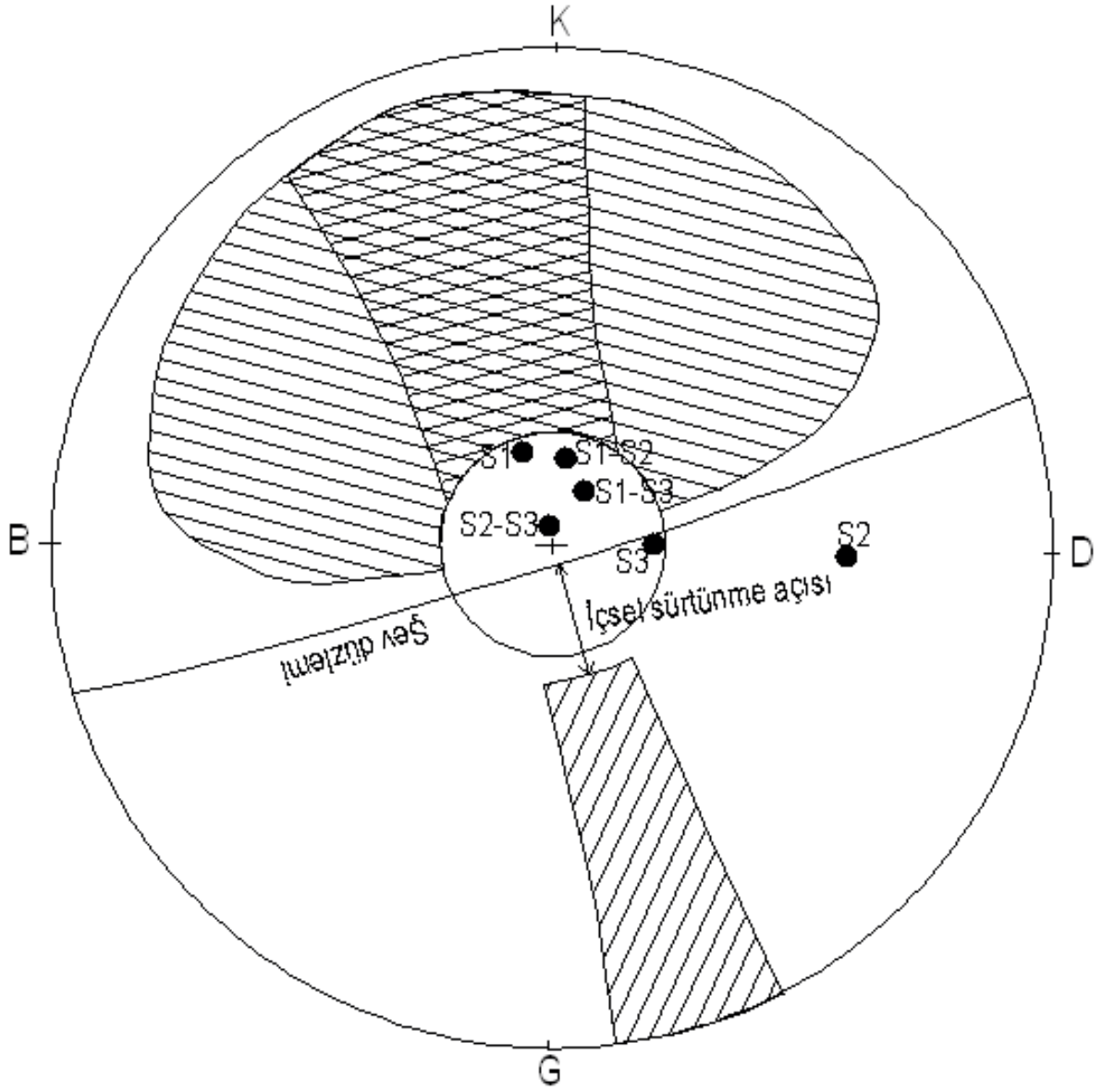
Şekil 45. JTB-5'in birleşik kinematik analizi

## JTB-6



Şekil 46. JTB-6'nın birleşik kinematik analizi

## JTB-7



Şekil 47. JTB-7'nin birleşik kinematik analizi

### 3.6.2. SSPC Sistemine Göre Duraylılık Analizleri

#### 3.6.2.1. SSPC Sisteminde Kayma ve Devrilme Türü Yenilmeler İçin Ek Koşullar

SSPC sisteminde kayma ve devrilme türü analizler için grafikler çizilmeden önce yenilmeyi sağlayacak geometrik koşulun sağlanıp sağlanmadığına bakılmıştır (Tablo 44). Buna göre; JTB 1'in 2.süreksizlik takımı için devrilme, JTB 5'in 2.süreksizlik takımı için kayma, JTB 6'nın her iki süreksizlik takımı için kayma ve JTB 7'nin 1.süreksizlik takımı için kayma, 2. ve 3. süreksizlik takımları için devrilme grafikleri çizilmiştir. Diğer tüm koşullar için (yukarıda söz edilmeyen) süreksizlik takımları %100 duraylıdır.

Tablo 44. SSPC sisteminde kayma ve devrilme grafiği için ek koşullar

Duraylılık için gerekli şartlar	Kayma (% duraylılık)	Devrilme (% duraylılık)
$AP > 84^\circ$ veya $AP < -84$	%100	%100
$\text{Şev eğimi} + 5 < AP < 84$	%100	%100
$\text{Şev eğimi} - 5 < AP < \text{şev eğimi} + 5$	%100	%100
$0^\circ < AP < (\text{şev eğimi} - 5)$	Kayma grafiği kullanılır	%100
$AP < 0$ ve $-90 - AP + \text{şev eğimi} < 0$	%100	%100
$AP < 0$ ve $-90 - AP + \text{şev eğimi} > 0$	%100	Devrilme grafiği kullanılır

#### 3.6.2.2. Kayma ve Devrilme Türü Yenilme Analizi

SSPC sisteminde kayma ve devrilme türü analizler süreksizliklere bağlı yenilme olasılıkları değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Bunun için öncelikle her bir süreksizlik takımı için ayrı ayrı süreksizlik koşul faktörü (TC) Eşitlik 11'den, süreksizliğin şev eğimi yönündeki görünür eğimi (AP) Eşitlik 13'den bulunmuştur.

Bu çalışmada Hack (2002) tarafından önerilen süreksizlik yönelimine bağlı duraylılık analizlerinden kayma türü yenilme olasılığını belirlemek amacıyla TC y ekseninde AP ise x ekseninde olacak şekilde grafik çizilmiştir (Şekil 48). Süreksizlik yönelimine bağlı duraylılık analizlerinden devrilme türü yenilme olasılığını belirlemek amacıyla TC y ekseninde  $-90 - AP + \text{ŞEV EĞİMİ}$  ise x ekseninde olacak şekilde grafik çizilmiştir (Şekil 49). Kayma ve devrilme analizleri için kullanılan parametreler ile bunların kayma ve devrilme olasılıkları her bir süreksizlik takımı için hesaplanmış ve Tablo 45'de gösterilmiştir. Tabloda ilk 5 jeoteknik birimin tabaka duruşları üzerinde ölçülen AP değerlerinin '-' işaretli olması tabaka düzlemlerinin şev içine doğru eğimli olmasından kaynaklanmaktadır.

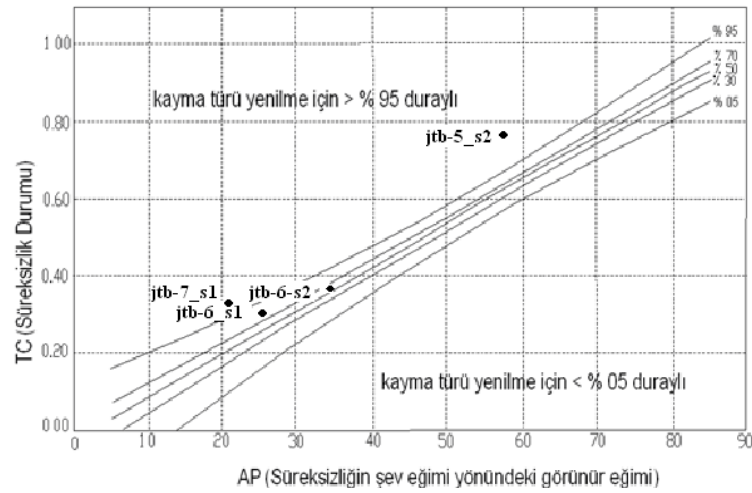
Eksi değerler mutlak değer içerisinde alınarak değerlendirilmeye alınması gerektiğinden herhangi bir işaret grafiklerde gösterilmemiştir.

Tablo 45. Jeoteknik birimlerdeki her bir süreksizlik takımı için elde edilen süreksizlik koşul faktörü (TC) ve şev eğimi yönündeki görünür eğimlere (AP) bağlı olarak bulunan kayma ve devrilme türü yenilmeler (Ky ve Dv) için duraylılık olasılıkları

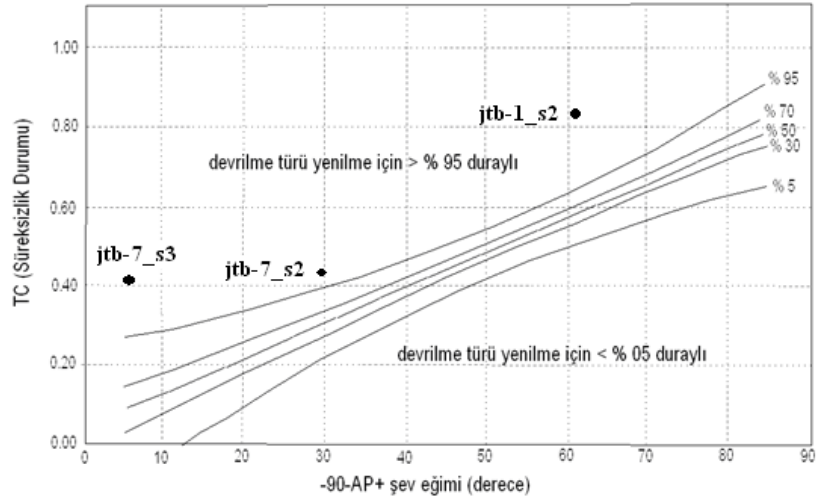
JTB No	JS1				JS2				JS3				ŞEV	
	TC	AP	Ky %	Dv %	TC	AP	Ky %	Dv %	TC	AP	Ky %	Dv %	Ky %	Dv %
1	0.55	-3.14	100	100	0.83	-60.78	100	>95	-	-	-	-	100	>95
2	0.47	-5.99	100	100	0.47	66.97	100	100	-	-	-	-	100	100
3	0.47	-11.53	100	100	0.44	-17.59	100	100	-	-	-	-	100	100
4	0.36	-3.07	100	100	0.38	61.91	100	100	-	-	-	-	100	100
5	0.75	-10.91	100	100	0.79	57.72	>95	100	-	-	-	-	>95	100
6	0.29	24.99	80.0	100	0.38	34.22	60.0	100	-	-	-	-	60	100
7	0.33	20.99	>95	100	0.44	-29.14	100	>95	0.41	-5.86	100	>95	>95	>95

Kayma ve devrilme grafiklerine göre kayma türü yenilme olasılıkları JTB-5'in 2.süreksizlik takımı ve JTB-7'nin 1.süreksizlik takımı kaymaya karşı >% 95 duraylıdır. JTB-6'nın 1.süreksizlik takımı % 80 ve 2.süreksizlik takımı % 60 duraylıdır.

Devrilme türü yenilme grafikleri çizilmiş, buna göre JTB-1'in 2.süreksizlik takımı, JTB-7'nin 2. ve 3. Süreksizlik takımları devrilmeye karşı > %95 duraylı çıkmıştır.



Şekil 48. Kayma türü yenilme analiz grafiği



Şekil 49. Devrilme türü yenilme analiz grafiği

### 3.6.2.3. SSPC Sisteminde Referans ve Şev Kaya Kütle Hesabı

SSPC sisteminde referans ve şev kaya kütle hesabında kullanılan parametreler Tablo 46'da, birinci adımda yüzeylenmiş kaya kütlelerinin karakteristikleri ölçülmüş olup Tablo 47'de yer almaktadır.

Tablo 46. SSPC sisteminde referans ve şev kaya kütle hesabında kullanılan parametreler

JTB No	UCS (MPa)	Ayrışma durumu	Puan	Kazı Metodu	Puan
1	18.85	Ayrışmamış	1.00	Hidrolik Ekskavatör	0.76
2	18.85	Ayrışmamış	1.00	Hidrolik Ekskavatör	0.76
3	11.62	Az ayrışmış	0.95	Hidrolik Ekskavatör	0.76
4	7.65	Az ayrışmış	0.95	Hidrolik Ekskavatör	0.76
5	11.62	Az ayrışmış	0.95	Hidrolik Ekskavatör	0.76
6	11.62	Az ayrışmış	0.95	Hidrolik Ekskavatör	0.76
7	8.19	Orta derecede ayrışmış	0.90	Hidrolik Ekskavatör	0.76

Tablolarda yer alan kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi parametreler yönelimden bağımsız duraylılık analizlerinde kullanılmıştır. Yüzeylenmiş kaya kütleleri için ilk beş şevde (üretim yapılan mevcut şevler) kaya kütlelerinde ölçülen içsel sürtünme açısı 26–33°

arasında, kohezyon en düşük 13772.14 ve en yüksek 18032.18 Pa arasında değişmektedir. JTB-6 ve 7 heyelan sahasından seçilen 2 şev olup, en düşük içsel sürtünme açısı 18.37 ve en yüksek 28.73 iken, kohezyon en düşük 9942.69 ve en yüksek 15468.42 pa olmuştur.

Tablo 47. Yüzeylemiş kaya kütle hesabı

JTB No	UCS (MPa)	SPA	CD	$\varphi_M$ (derece)	Coh <sub>M</sub> (pa)
JTB1	18.85	0,42	0,69	30,43	16280,34
JTB2	18.85	0,36	0,47	26,04	13772,14
JTB3	11.62	0,49	0,46	31,02	16785,03
JTB4	7.65	0,46	0,36	27,91	15183,99
JTB5	11.62	0,50	0,77	33,00	18032,18
JTB6	11.62	0,46	0,34	28,73	15468,42
JTB7	8.19	0,27	0,40	18,37	9942,69

İkinci adımda amaç, yüzeylemiş kaya kütlelerinden yararlanarak ‘referans kaya kütlelerini (RRM)’ oluşturmaktır. Bunun için ERM de ölçülen parametre değerleri yüzeylemedeki yersel faktörler; örselenme ve ayrışma durumu kullanılarak düzeltilmiştir. Bu şekilde elde edilen RRM ayrışmamış, kazıdan önce her hangi bir nedenle örselenmemiş taze kaya kütlelerini ifade etmektedir (Tablo 48). Referans kaya kütlelerinde açılmakta olan ocakta kazıdan önceki taze kayadaki en düşük içsel sürtünme açısı 31.77, en yüksek 43.3 iken, kohezyon en düşük 16921.33 ve en yüksek 23701.31 Pa olmuştur. JTB-6 ve 7 için ölçülen en düşük içsel sürtünme açısı 24.89, en yüksek 38.25 iken, kohezyon en düşük 13539.6 ve en yüksek 20711.46 Pa olmuştur.

Tablo 48.Referans kaya kütle hesabı

JTB No	RUCS (MPa)	RSPA	RCD	$\varphi_{RRM}$ (derece)	Coh <sub>RRM</sub> (pa)
JTB1	18.85	0,55	0,69	37,21	20002,11
JTB2	18.85	0,47	0,47	31,77	16921,33
JTB3	12.23	0,68	0,48	41,02	22287,78
JTB4	8.05	0,64	0,38	37,41	20409,07
JTB5	12.23	0,69	0,81	43,30	23701,31
JTB6	12.23	0,64	0,36	38,25	20711,46
JTB7	9.10	0,39	0.45	24,89	13539,60

Üçüncü adımda ise RRM özellikleri duraylılık değerlendirilmesi yapılacak şevdeki kaya kütle (SRM) özelliklerine dönüştürülmüştür (Tablo 49). Yol kazısı şevleri gibi özellikleri ölçülen kaya kütlesi (ERM) ile duraylılığı araştırılan kaya kütlesi (SRM) aynı olduğu durumda dönüştürme işlemine gerek olmamaktadır. Fakat bir açık işletmede açılmakta olan kaya şevleri örselenmeye maruz kalacağından RRM özelliklerinin SRM özelliklerine dönüştürülmesi, şevlerin zamana bağlı duraylılık olasılığının belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Şev kaya kütlesinde üretimin devam ettiği ocakta ölçülen içsel sürtünme açısı en düşük 24.65, en yüksek 31.37 iken, kohezyon en düşük 13039.09 ve en yüksek 17115.49 Pa olmuştur. JTB-6 ve 7 için en içsel sürtünme açısı en düşük 18.37, en yüksek 27.46 iken, kohezyon en düşük 9942.69 ve en yüksek 14797.86 Pa olmuştur.

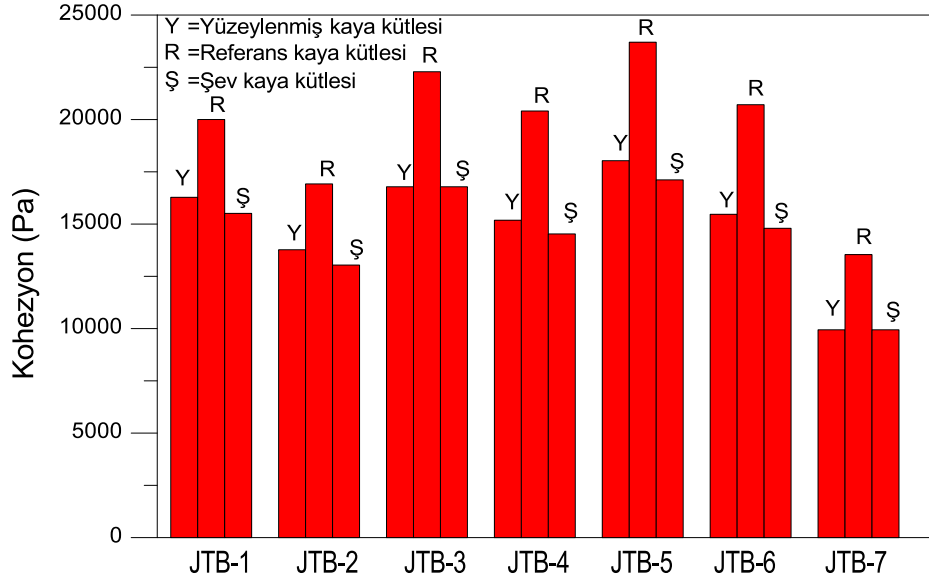
Tablo 49. Şev kaya kütlesi

JTB No	SUCS (MPa)	SSPA	SCD	$\varphi_{SRM}$ (derece)	Coh <sub>SRM</sub> (pa)
JTB1	17.91	0,40	0,66	28,99	15511,36
JTB2	17.91	0,34	0,45	24,65	13039,09
JTB3	11.62	0,49	0,46	31,02	16785,03
JTB4	7.29	0,44	0,34	26,56	14528,86
JTB5	11.00	0,47	0,73	31,37	17115,49
JTB6	11.00	0,44	0,32	27,46	14797,86
JTB7	8.19	0,27	0,40	18,37	9942,69

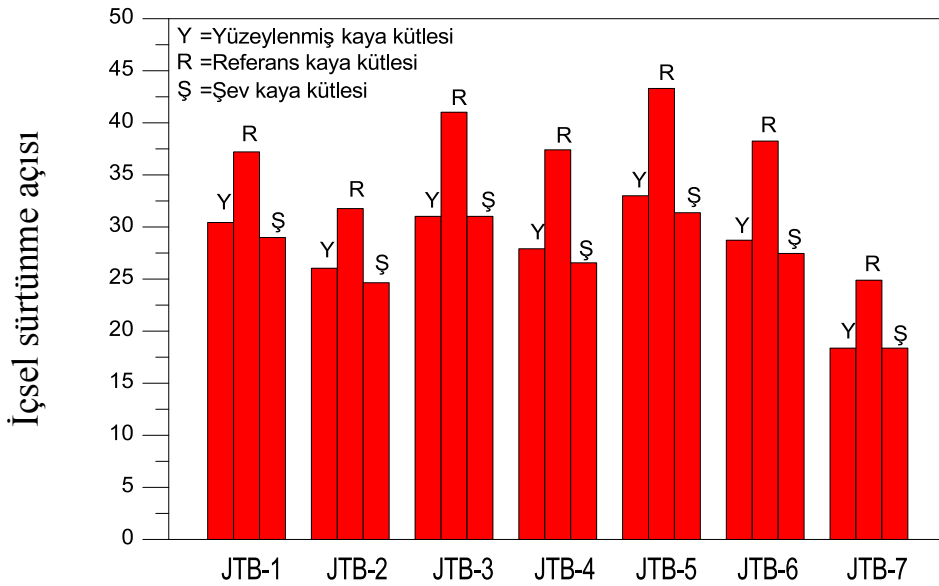
Üretim sahasında ve heyelan sahasındaki jeoteknik birimlere ait parametrelere bakıldığında, referans kaya kütlesi için hesaplanan değerlerin, yüzeylenmiş kaya kütlesi ve şev kaya kütle özelliklerine nazaran daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ayrışma durumu ve şevlere uygulanan kazı metodu düzeltmeleri yapılarak, kazıdan önce örselenmemiş taze kaya özelliklerinin bulunmuş olmasıdır. Yüzeylenmiş ve şev kaya kütlesi için hesaplanan parametreler sadece JTB-3 ve 7’de aynı değerlere sahiptir. Diğer jeoteknik birimlerde zamana bağlı ayrışma durumlarında değişim olabileceği arazi gözlem ve deneyleri sonucunda varsayılmıştır. Şev kaya kütlesi gelecek ayrışmayı göz önüne alarak hesaplanmış ve en olumsuz duruma göre üretim sonrası nihai şevlerin tasarımı için değerlendirmeye katılmıştır. Şekil 50 ve 51’de sırasıyla kaya kütlesine ait kohezyon ve içsel sürtünme açılarındaki değişim ERM, RRM ve SRM durumları için yer almaktadır. Bu değerler SSPC sisteminde bağıntılar yardımıyla bulunmuş değerler olup maksimum şev yüksekliğinin hesaplanmasında kullanılan önemli



parametrelerdir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi kohezyon ve içsel sürtünme açıları en yüksek değeri RRM durumunda, en düşük değeri SRM durumunda almaktadır. RRM kazıdan önce ayrılmamış ve örselenmemiş durumu yansıttığından en yüksek, SRM kazıdan sonra örselenmiş ve gelecek ayrışma durumunu göstereceğinden en düşük değere sahiptir.



Şekil 50. SSPC sisteminde kohezyonun farklı koşullara göre değişimi



Şekil 51. SSPC sisteminde içsel sürtünme açısının farklı koşullara göre değişimi

### 3.6.2.4. Yönelime Bağlı Olmayan Duraylılık Analizi

Şevlerdeki yenilmeler her zaman süreksizliklere bağlı olarak gelişmediğinden dolayı şevlerin yönelimden bağımsız olarak da analiz edilmesi gerekmektedir. Hack (2002)'de Mohr-Coulomb yenilme kriterini esas alarak önerdiği yönelimden bağımsız duraylılık analizi ile söz konusu şevler incelenebilmektedir.

Bu çalışmada incelenen şevlerde yönelimden bağımsız duraylılık analizleri yapılabilmesi için öncelikle şev yüksekliği ve eğimi ölçülmüş ve şevin duraylı olarak kalabileceği en büyük şev yüksekliği hesaplanmıştır. Daha sonra kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı Mohr-Coulomb yenilme kriterine dayanarak bulunmuştur. Yönelimden bağımsız duraylılık analizi için  $H_{max}/H_{şev}$  oranı grafiğin y ekseninde,  $\phi'_m/\beta_s$  oranı ise grafiğin x ekseninde olacak şekilde grafik yardımıyla yenilme olasılığı belirlenmiştir (Şekil 52). Yönelimden bağımsız duraylılık değerlendirmesi yüzeylenmiş kaya kütle özelliklerine göre ve şev kaya kütle özelliklerine göre hesaplanıp sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 53).

Kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı ve kohezyonu sırasıyla Eşitlik 17 ve 18'deki formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ve yönelimden bağımsız duraylılık olasılıkları Tablo 50'de gösterilmiştir. Tabloya göre JTB-1, 2, 4 ve 5 yönelimden bağımsız duraylılık olasılığı  $>95\%$ , JTB-3  $91\%$ , JTB-6  $52\%$  ve JTB-7  $<5\%$  duraylılık olasılığına sahiptir.

Tablo 50. Jeoteknik birimlerde SSPC yöntemiyle yapılan analizlerle bulunan yönelimden bağımsız analizler için duraylılık tanımlaması (yüzeylenmiş kaya kütleleri)

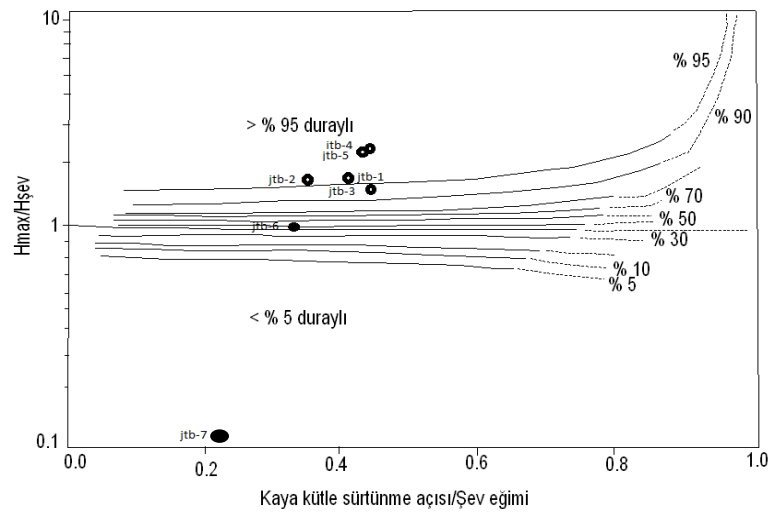
JTB NO	Şevin Geometrisi				Hmax/H	$\Phi_m/\beta_s$	Yönelimden bağımsız duraylılık (%)	Duraylılık tanımlaması
	Eğim yönü	$\beta_s$ derece	H (m)	$H_{max}$ (m)				
1	012	75	4.30	7.54	1.75	0.41	$>95$	Duraylı
2	312	70	3.80	6.64	1.75	0.37	$>95$	Duraylı
3	344	69	6.10	10.13	1.66	0.45	91	Duraylı
4	320	62	5.16	11.03	2.14	0.45	$>95$	Duraylı
5	340	75	4.30	9.09	2.11	0.44	$>95$	Duraylı
6	146	81	5.30	5.52	1.04	0.35	52	Az duraylı
7	163	85	50	2.49	0.05	0.22	$<5$	Duraysız

Şev kaya kütlesi için hesaplanan değerler Tablo 51’de yer almaktadır. Tabloya göre JTB-1; %94, JTB-2; %93, JTB-3; %91, JTB-4 ve 5; >% 95, JTB-6; %36 ve JTB-7;<% 5 yönelimden bağımsız duraylılığa sahiptir. Üretim sonrası açılacak nihai basamak şevleri, şev kaya kütlesi için bulunan değerler göz önüne alınarak açılmalıdır. Böylelikle nihai şevler en kötü koşula göre açılmış olacak ve şevlerin daha uzun süre duraylı kalmaları sağlanmış olabilecektir.

Tablo 51. Jeoteknik birimlerde SSPC yöntemiyle yapılan analizlerle bulunan yönelimden bağımsız analizler için duraylılık tanımlaması (şev kaya kütlesi)

JTB NO	Şevin Geometrisi				Hmax/H	$\Phi_m / \beta_s$	Yönelimden bağımsız duraylılık (%)	Duraylılık tanımlaması
	Eğim yönü	$\beta_s$ derece	H (m)	$H_{max}$ (m)				
1	012	75	4.30	6.86	1.59	0.39	94	Duraylı
2	312	70	3.80	5.99	1.58	0.35	93	Duraylı
3	344	69	6.10	9.68	1.59	0.45	91	Duraylı
4	320	62	5.16	9.91	1.92	0.43	>95	Duraylı
5	340	75	4.30	8.18	1.90	0.42	>95	Duraylı
6	146	81	5.30	5.11	0.96	0.34	36	Duraysız
7	163	85	50	2.47	0.05	0.22	<5	Duraysız

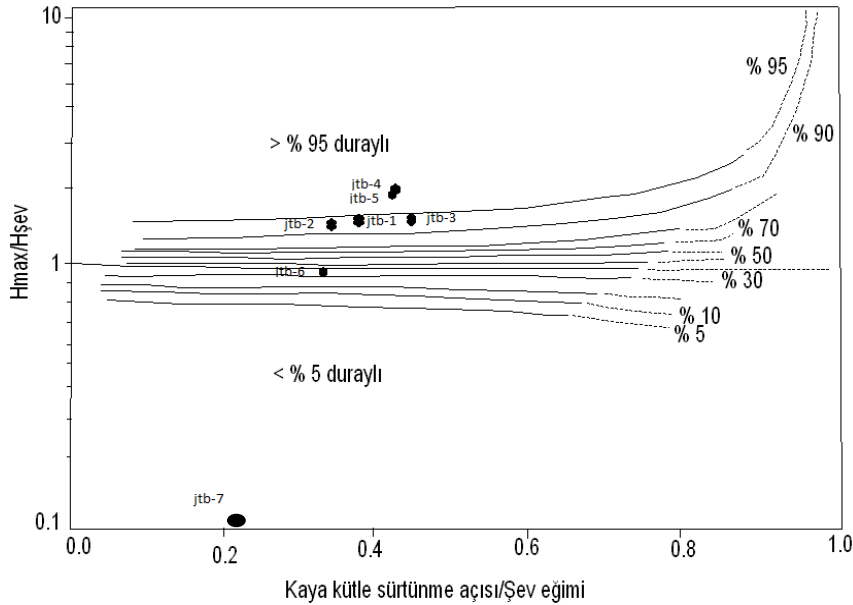
Şekil 52’de mevcut durum için (yüzeylenmiş kaya kütlesi), Şekil 53’de ise nihai durumda açılacak şevler için yönelimden bağımsız duraylılık olasılıkları yer almaktadır.



Şekil 52. Yüzeylenmiş kaya kütlesine göre yönelimden bağımsız duraylılık olasılığı

Nihai durumdaki şevler üzerinde duraylılık olasılıkları mevcut durumdaki şevlere nazaran daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni nihai şevleri etkileyecek zamana bağlı ayrışma etkisidir.

Şevlerdeki yenilmeler kazıdan hemen sonra gerçekleşmemesine rağmen, yönelimden bağımsız duraysızlıklar zamana bağlı olarak ayrışma ve/veya kaya kütlelerindeki bozunmalar nedeniyle yüksek bir olasılıkla gelişebilmektedirler (Huisman ve Hack, 2002). Bu nedenle şevlerdeki gelecek ayrışma durumunu öngörmek gerekmekte ve buna göre basamak dizaynı açık ocaklar için önerilmelidir. Çünkü ayrışmanın ayrılmaya neden olan faktörlerle birlikte zamanla geliştiği bilinmektedir. Ayrışma ile ilgili ayrıntılı bilgi bölüm 1.6.5.'te verilmiştir.



Şekil 53. Şev kaya kütlelerine göre yönelimden bağımsız duraylılık olasılığı

### 3.6.2.5. SSPC Sisteminde Şev Yüksekliği ve Şev Eğimi

SSPC sisteminde yönelimden bağımsız duraylılık değerlendirmesi yapıldıktan sonra maksimum şev yüksekliği farklı şev açlarına göre hesaplanmıştır (Tablo 52 ve 53). Yüzeylenmiş kaya kütle özellikleri mevcut şevler (kazı sonrası oluşmuş veya doğal bir şev) için belirlenmiştir. Daha sonra şevlerde yapılan gözlemler ve deneylerle yapılan gelecek ayrışma durumu tahmin edilerek puanlama yapılmıştır. Eğer yeni açılacak şev farklı bir kazı metodu ile açılacaksa ona göre puanlama yapılmalıdır. Çünkü makine kazısıyla

oluşturulan şevdeki kayaçlar, patlatma ile oluşturulan şevdeki kayaçlar kadar örselenmeye maruz kalmamaktadır. Bu nedenle her bir kazı metodu farklı bir puana sahiptir. Tablo 52 ve 53'deki veriler grafiğe aktarılmıştır (Şekil 54–55). Çalışma alanındaki birimler tek bir kazı metodu ile açıldığından, kazı puanı 0.76 olarak tüm şevlere uygulanmıştır.

Tablo 52. Yüzeylemiş Kaya kütlesi (Mevcut durum)

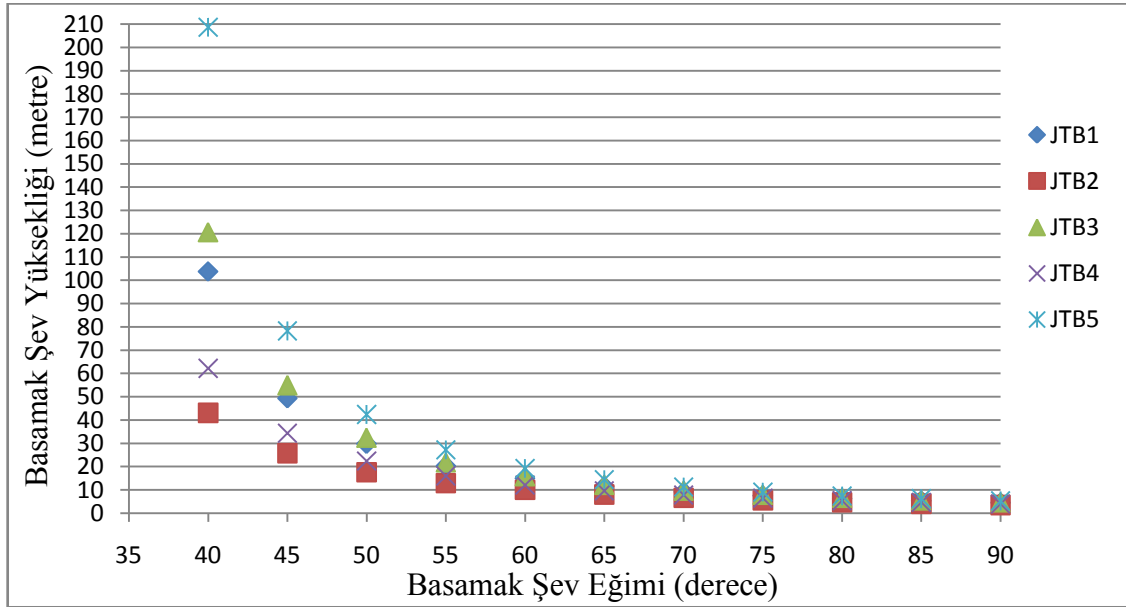
Şev Eğimi (derece)	JTB1 (H <sub>max</sub> )	JTB2 (H <sub>max</sub> )	JTB3 (H <sub>max</sub> )	JTB4 (H <sub>max</sub> )	JTB5 (H <sub>max</sub> )	JTB6 (H <sub>max</sub> )	JTB7 (H <sub>max</sub> )
40	103,74	43,09	120,7	62,22	208,66	72,34	13,78
45	49,32	25,78	54,94	34,38	78,3	38,32	10,06
50	29,79	17,64	32,49	22,4	42,42	24,41	7,79
55	20,32	12,97	21,84	16,03	27,22	17,21	6,26
60	14,93	10,05	15,92	12,17	19,23	12,94	5,18
65	11,53	8,07	12,21	9,62	14,43	10,15	4,36
70	9,21	6,64	9,71	7,82	11,29	8,21	3,74
75	7,54	5,57	7,93	6,5	9,1	6,79	3,24
80	6,29	4,73	6,6	5,48	7,49	5,46	2,83
85	5,32	4,08	5,57	4,68	6,27	4,86	2,49
90	4,55	3,53	4,75	4,04	5,31	4,18	2,20

Tabloda şev eğimleri 40–90° arasında olacak şekilde jeoteknik birimler için maksimum şev yükseklikleri hesaplanmıştır. Tüm şevler için şev eğimi azaldıkça şevlerin duraylı olarak kalabileceği yükseklik değerleri artmış, eğimler arttığında ise şevlerin duraylı kalabileceği yükseklik değerleri azalmıştır. Yüzeylemiş kaya kütle özelliklerine göre 60° eğimde JTB-3'teki maksimum şev yüksekliği 14.93 metre iken, şev kaya kütesine göre aynı birim 60° açıda 13.15 metreye kadar düşmektedir. Bu durumda nihai şevde ileriye dönük olumsuz etkiler de göz önüne alınarak duraylılık analizleri yapılmıştır. Tablolarda 7 jeoteknik birim gösterilmiştir. Bunlardan JTB–6 ve 7 heyelan sahasından iki adet şevi göstermektedir. JTB-7'nin kinematik olarak ve SSPC sisteminde yönelime bağlı kayma ve devrilme olasılığı bulunmamaktadır. JTB-7'nin kaya malzeme özelliklerinin (basınç dayanımı, içsel sürtünme açısı ve kohezyon) düşük olması nedeniyle yenilmeler kopma, çökme, oturmalar vb. şeklinde olabileceği düşünülmüştür. Şev kaya kütle özellikleri de bunu desteklemektedir. Mevcut durumda 85° olan şev eğiminde şevin duraylı kalabileceği maksimum yükseklik yaklaşık 2.5 metredir. Fakat şev yüksekliği 50 civarındadır. Bu durumda JTB–7 yönelimden bağımsız duraysızlık göstermektedir. Ayrıca söz konusu şevin yaklaşık 25–35 metre gerisinde 1–2 metre genişliğinde var olan gerilme

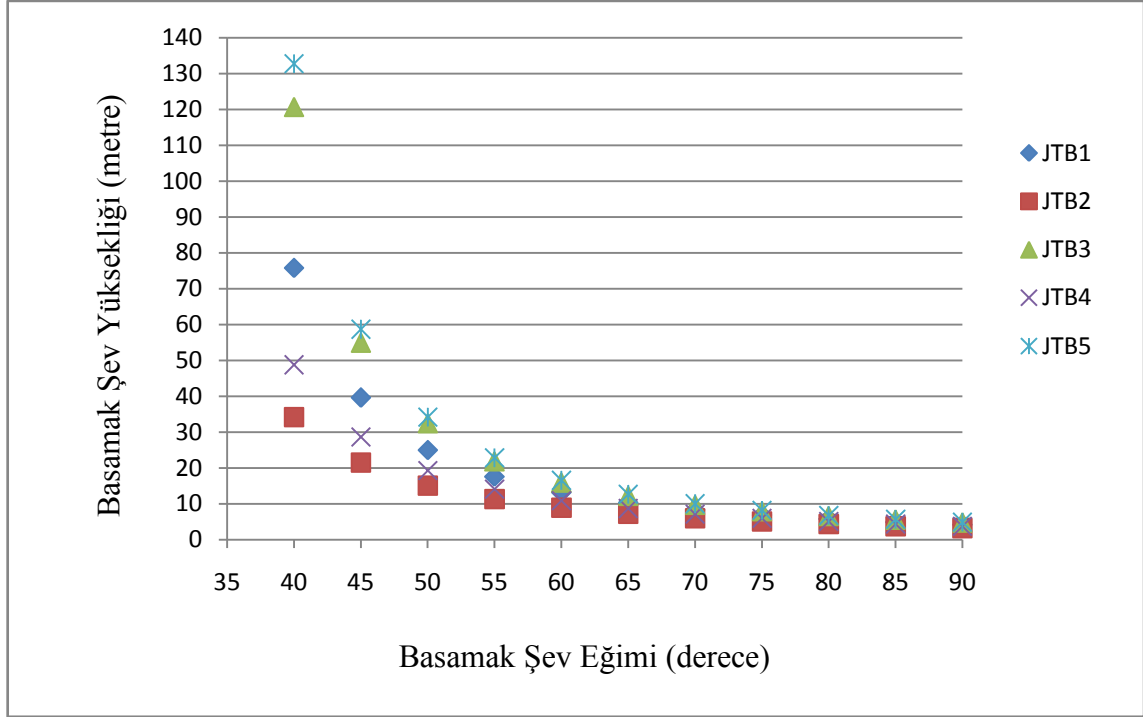
çatlağı durumuna göre limit denge analizleri yapılmıştır. Bu şevdeki yenilme muhtemelen süreksizliklere bağlı olarak gelişmeyip, daha önce kil dolguları nedeniyle meydana gelen heyelana benzer bir yenilme JT B-7’de beklenebilmektedir.

Tablo 53.Şev Kaya kütlesi

Şev Eğimi (derece)	JTB1 (H <sub>max</sub> )	JTB2 (H <sub>max</sub> )	JTB3 (H <sub>max</sub> )	JTB4 (H <sub>max</sub> )	JTB5 (H <sub>max</sub> )	JTB6 (H <sub>max</sub> )	JTB7 (H <sub>max</sub> )
40	75,81	34,17	120,7	48,80	132,75	56,61	13,78
45	39,58	21,48	54,94	28,64	58,71	31,95	10,06
50	25,01	15,08	32,49	19,30	34,18	21,07	7,79
55	17,56	11,33	21,84	14,11	22,84	15,19	6,26
60	13,15	8,91	15,92	10,88	16,56	11,60	5,18
65	10,30	7,22	12,21	8,69	12,66	9,20	4,36
70	8,31	5,99	9,71	7,13	10,04	7,50	3,74
75	6,86	5,06	7,93	5,97	8,18	6,24	3,24
80	5,77	4,33	6,6	5,06	6,79	5,28	2,83
85	4,90	3,73	5,57	4,35	5,72	4,52	2,49
90	4,21	3,25	4,75	3,76	4,88	3,90	2,20



Şekil 54. Yüzeylenmiş kaya kütle özelliklerine göre maksimum şev yüksekliği



Şekil 55. Şev kaya kütle özelliklerine göre maksimum şev yüksekliği

Şekil-54 ve 55’de JTB-6 ve 7 yer almamaktadır. Mevcut üretim heyelan sahasının karşısında devam ettiğinden sadece üretim ocağının basamaklandırma tasarımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Tez çalışması heyelan sahasına yönelik basamak tasarımını içermediğinden ve heyelan sahasında henüz bir kazı yapılmadığından dolayı yukarıdaki grafiklerde sadece üretim ocağında ölçülen jeoteknik birimler bulunmaktadır.

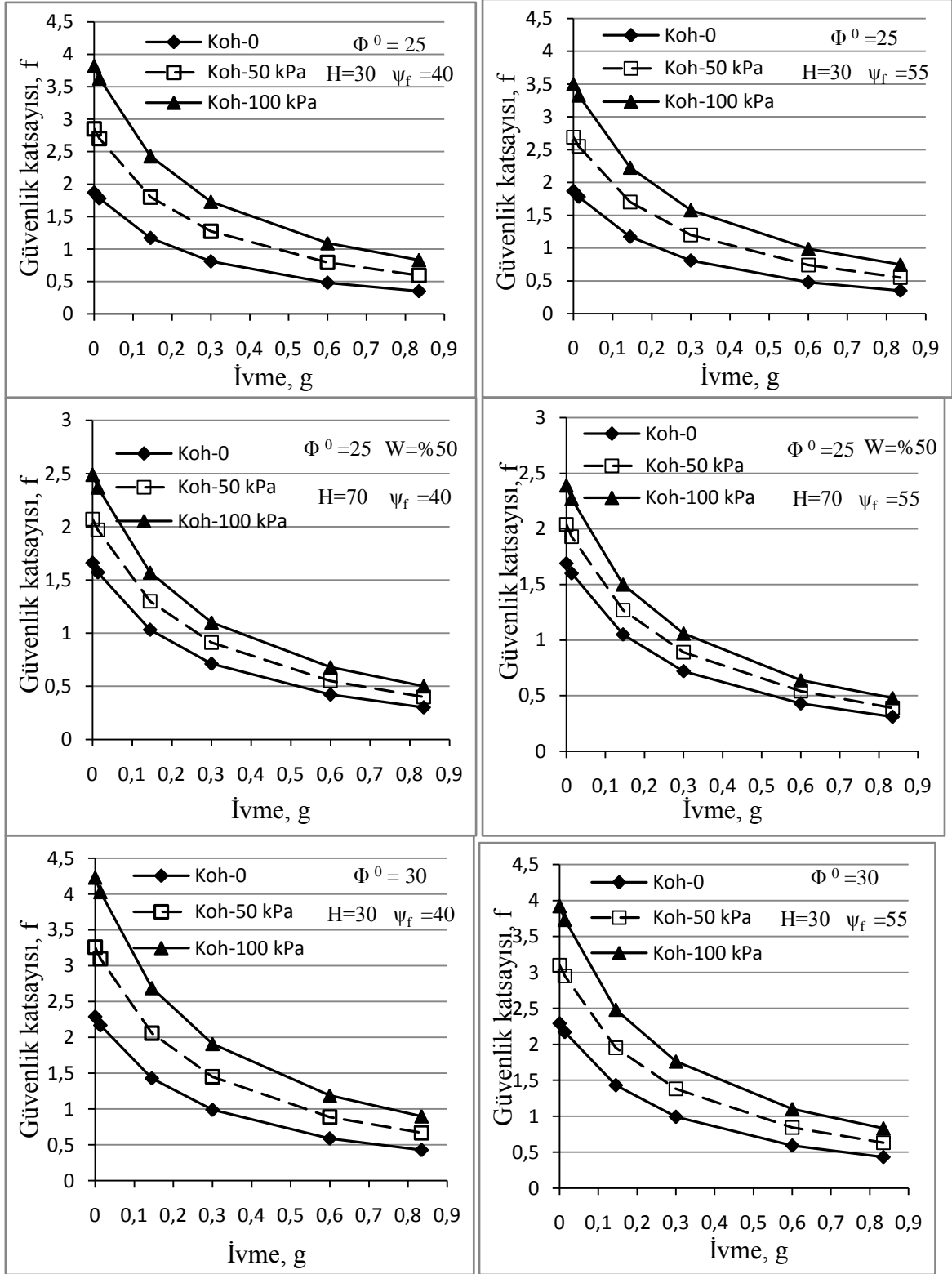
### 3.6.3. Üretim Sahasının Limit Denge Analizleri

Ocakta mevcut durumda patlatma yapılmamasına karşın, önceki kazıların patlatma ile yapılmasının heyelanları tetiklediği gözlenmiştir (Erçikdi vd, 2006; Kesimal vd, 2008). Sadece patlatma etkisiyle değil aynı zamanda deprem etkisiyle oluşabilecek sismik kuvvetin etkisi veya ileride tekrar patlatmalı kazıya geçilebilmesi durumundaki şevlerin güvenlik katsayılarındaki değişimler hesaplanmıştır. Sismik katsayı değeri için Kesimal vd. (2008)’in 12 farklı istasyonda 59 atıma ait aldıkları titreşim ölçümleri esas alınmıştır. Sismik katsayıları en düşük  $\alpha = 0.0133g$  ve en yüksek  $\alpha = 0.835g$  olarak ölçtüklerinden, bu çalışmada bu iki ivme değerleri ile birlikte ivmenin 0 olduğu durum, 0.3g ve 0.6g olduğu durum da dikkate alınarak söz konusu değerler kullanılmıştır. RockPlane (V.2.0)

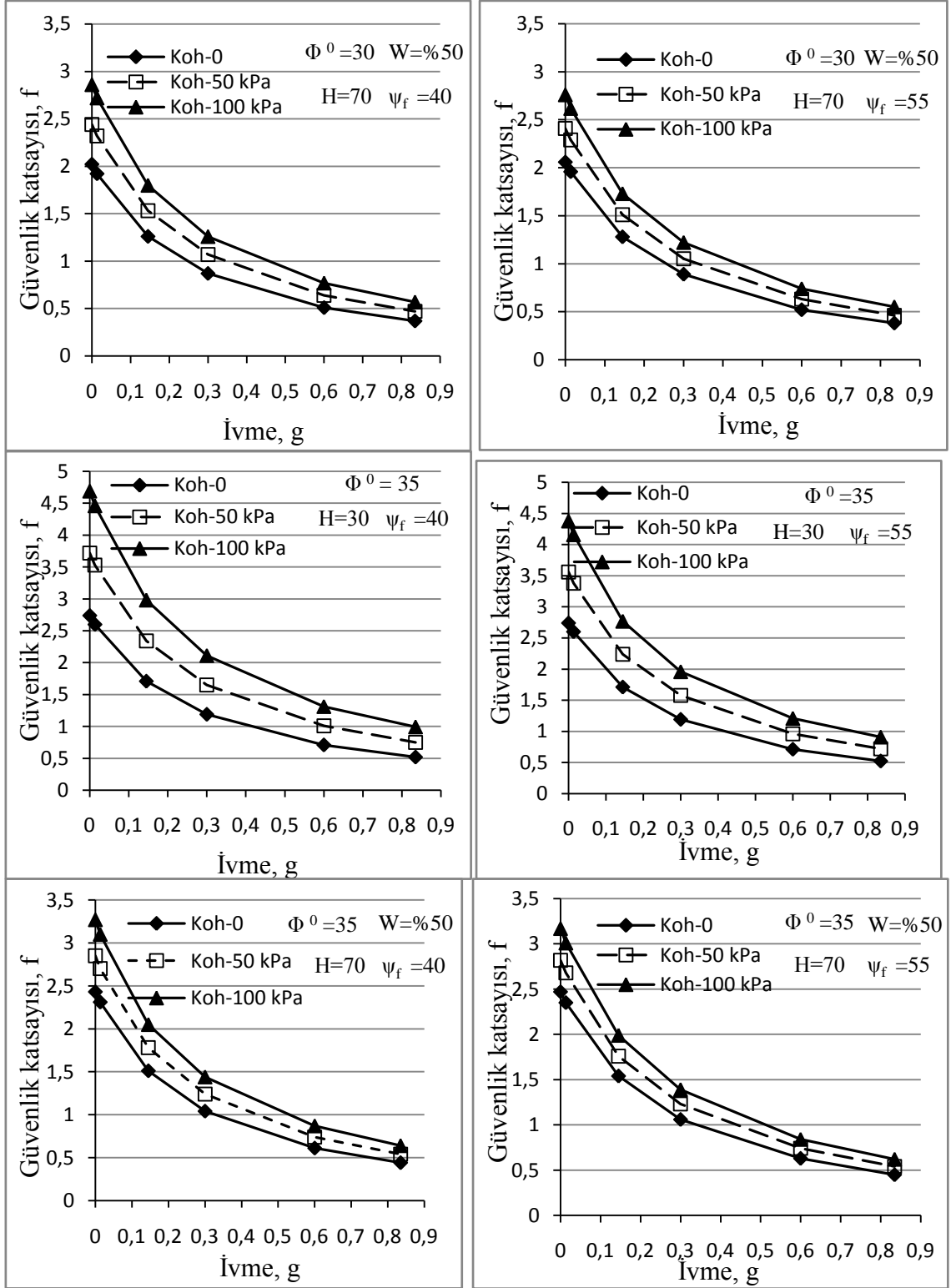
paket programı kullanılarak üretim sahasındaki şevlere ait güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Üretim sahası konum itibariyle deniz seviyesinden 60–70 metrelerden 130 metrelere kadar yüksekliğe sahiptir. Bu nedenle şev dibi ve en üst şev yüksekliği değişkenlik arz etmektedir. Kaya makaslama deney sonuçları bu analiz için kullanılmıştır. İçsel sürtünme açısı üretim sahası için en düşük  $24^{\circ}$  en büyük  $36^{\circ}$ , kohezyonun ise 0–100 kPa arasında değiştiği gözlenmiştir. Ocak arkasında veya içinde gerilme çatlama rastlanmamıştır. Yeraltı suyunun şev yüzeyinden aktığı durum ile karşılaşılmasına rağmen yağışlı bir bölgede yer alan ocak için değişik su yükseklikleri esas alınarak duraylılık değerlendirilmesi yapılmıştır. Tüm bu değişken değerler dikkate alınarak limit denge analizi yapılmıştır (Ek Tablo 1).

Güvenlik katsayıları tablodaki her bir değişkenden etkilenmektedir. Genel şev eğiminin üretim sırasında  $40^{\circ}$  civarında tutulması, nihai durumda ise  $50$ – $55^{\circ}$  bırakılması basamak dizaynı yapılırken düşünülmüştür. Bu nedenle  $40$ ,  $45$ ,  $50$  ve  $55^{\circ}$  değişkeni güvenlik katsayısı için kullanılmıştır. Ayrıca basamaklandırma dizaynı yapılan genel şevlerin yükseklikleri 70 metreye ulaşmaktadır. Bu nedenle değişik şev yükseklikleri ile değişen yeraltı su seviyesi de dikkate alınarak güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Yer altı su seviyesi mevsime göre değişim göstereceğinden her koşula göre irdeleme yapılmıştır. Arazide şevlerden su akışı gözlenmediği için kuru durum içinde güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Tüm değişkenleri grafiklere aktarmak mümkün olmayacağından farklı değişkenler için 6 adet grafik çizilmiştir (Şekil 56). İçsel sürtünme açısının  $25^{\circ}$ , şev yüksekliğinin 30 ve 70 metre olduğu, şev eğimlerinin  $40$  ve  $55^{\circ}$  ve değişen su içeriklerini yansıtan grafikler çizilmiştir. Ayrıca içsel sürtünme açısının  $30^{\circ}$  olduğu fakat susuz durumu yansıtan grafikler de çizilmiştir. Şekil 57’de ise içsel sürtünme açısının  $30^{\circ}$  olduğu %50 suya doymuş şevleri yansıtan grafikler ile içsel sürtünme açısının  $35^{\circ}$ , şev yüksekliğinin 30 ve 70 metre olduğu, şev eğimlerinin  $40$  ve  $55^{\circ}$  ve değişen su içeriklerini yansıtan grafikler çizilmiştir. Grafiklerde kohezyon değerlerinin ve içsel sürtünme açılarının azalması güvenlik katsayılarında düşüşe neden olmuştur. Genel şev eğimi arttıkça güvenlik katsayılarında bir azalma gözlenmektedir. Gerek şevlerdeki su oranları gerekse şev yükseklikleri arttığında güvenlik katsayılarında düşüş gözlenmektedir. Fakat güvenlik katsayılarında belirgin düşüş ivme değerlerindeki artışla birlikte gözlenmiştir. Güvenlik katsayılarının üretim esnasında ve nihai durumda şevi ayakta tutabilmesi için patlatmalı kazı yapılacaksa ivme değerlerinin  $0.1 g$ ’den büyük olmaması grafiklerden anlaşılmıştır.





Şekil 56. Güvenlik katsayılarını etkileyen parametreler ( $\phi = 25^\circ - 30^\circ$ )



Şekil 57. Güvenlik katsayılarını etkileyen parametreler ( $\phi = 30^0 - 35^0$ )

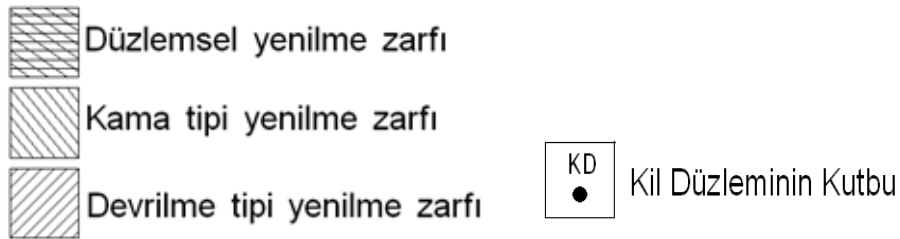
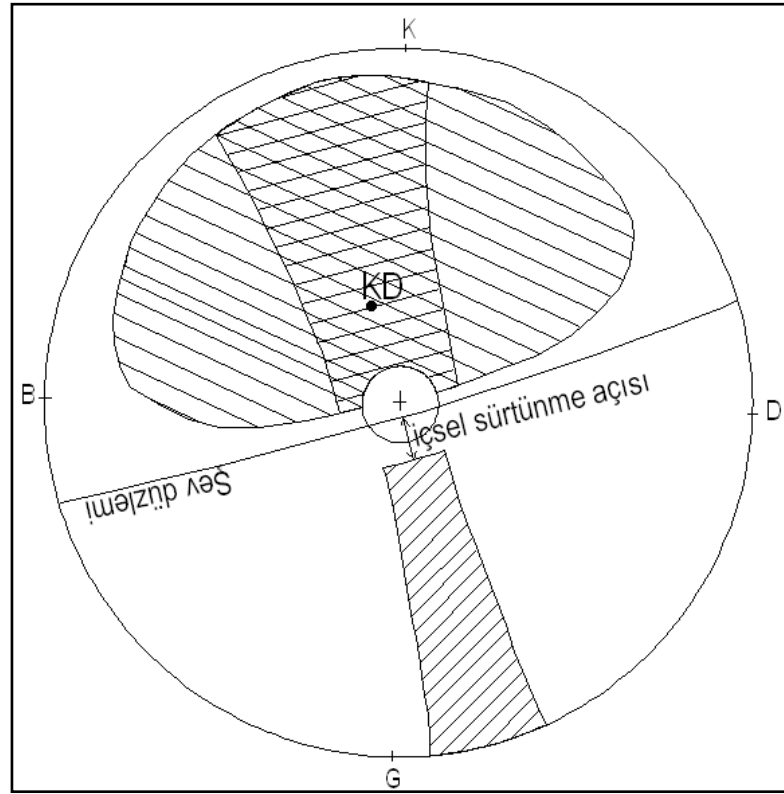
### 3.6.4. Heyelan Sahasındaki Şevin Limit Denge Analizleri

Şevin (JTB-7) öncelikle kinematik analizlerle duraylı olup olmadığı araştırılmış ve duraylı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SSPC sistemine göre de yönelime bağımlı bir yenilme söz konusu değil iken, yönelimden bağımsız analizlerde şevin duraysız olduğu ortaya çıkmıştır. Bu duraysızlık kaya kütlelerinin kendi içsel özelliklerinden kaynaklanıyor olup, şevde zamana bağlı kopmalar, oturmalar ve kaya düşmeleri gibi yenilmeler gerçekleşebilmektedir. Fakat şev arkasında şeve yakınlığı 25 ve 38 metre arasında değişen gerilme çatlakları mevcuttur. 2005–2006 yıllarında meydana gelen heyelanlardan sonra oluşan gerilme çatlakları, 2008 itibariyle düşey yönde hareket 0.4 m'ye yatay yöndeki hareket ise 0.6 m'ye ulaşmış durumdadır. Gerilme çatlaklarındaki açılmanın 2 yıl içinde fark edilebilir boyutta olması sebebiyle bu yamaçlarda tekrar yenilmelerin gerçekleşebileceği düşünülerek, üretimin bu kısımda devam etmesine yönelik teknik girişime izin verilmemektedir (Ceryan, 2009). Heyelanlar eğimi sondaj verilerine dayanarak yaklaşık 30 derece ve kalınlığı yaklaşık 15–100 cm olan kil zonları üzerinde gerçekleşmiştir. Bu nedenle kayma düzlemlerinden amaca uygun kil örnekleri alınarak laboratuarda zemin makaslama deneylerine tabi tutulmuş ve limit denge analizlerinde kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre yaklaşık ortalama kohezyon 30 kPa maksimum 50 kPa civarında ve drenajlı koşul için yaklaşık 10 kPa, içsel sürtünme açısı tüm deney koşulları için 10- 20 derece arasında değişmiştir. Bu veriler ışığında limit denge analizlerinde tüm değişkenler esas alınarak değerlendirme yapılmıştır (Tablo 54).

Tablo 54. Heyelan sahasındaki şev için hesaplanan güvenlik katsayısı değerleri

W (%)	$\Phi^0$	Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F		
		$\alpha = 0g$			$\alpha = 0.0133g$			$\alpha = 0.145g$		
C- kPa		10	30	50	10	30	50	10	30	50
0	10	0.36	0.41	0.46	0.35	0.40	0.45	0.27	0.31	0.35
	15	0.52	0.57	0.62	0.50	0.55	0.60	0.38	0.42	0.46
	20	0.69	0.74	0.79	0.67	0.71	0.76	0.50	0.54	0.58
20	10	0.35	0.40	0.45	0.34	0.39	0.44	0.26	0.30	0.34
	15	0.51	0.56	0.61	0.49	0.54	0.59	0.37	0.41	0.45
	20	0.67	0.72	0.77	0.65	0.70	0.75	0.49	0.53	0.57
40	10	0.33	0.38	0.43	0.32	0.36	0.41	0.24	0.28	0.32
	15	0.47	0.52	0.57	0.45	0.50	0.55	0.34	0.38	0.42
	20	0.62	0.67	0.72	0.60	0.65	0.69	0.45	0.49	0.53
60	10	0.28	0.33	0.38	0.28	0.32	0.37	0.21	0.25	0.28
	15	0.41	0.45	0.50	0.40	0.44	0.49	0.30	0.34	0.37
	20	0.54	0.58	0.63	0.52	0.57	0.61	0.39	0.43	0.47

Güvenlik katsayıları tüm koşullar için 1.5'in altındadır. Bu durumda şev limit denge analizlerine göre duraysız kabul edilmektedir. Kohezyon değerlerinin artması ile güvenlik katsayıları artarken, ivme değerlerinin artmasıyla belirgin bir şekilde azalmaktadır. JTB-7'nin içinde bulunduğu sahaya yönelik patlatma verilerini değerlendiren Kesimal vd. (2008) patlatma ivmesinin 0.1 g ve altında olması gerektiğini önermişlerdir. Şevde ayrıca killi kayma zonuna ait kinematik analiz sonucuna göre düzlemsel kayma riski bulunmaktadır (Şekil 58). Ayrıca şev, SSPC sistemine göre yönelimden bağımsız duraysızdır. Heyelanlı sahada mevcut durumda kazı devam etmemesine karşın, duraylılığa yönelik bir çalışma yapılmadan üretimin başlamaması gerekmektedir.



Şekil 58. JTB-7'deki kil düzleminin kinematik olarak gösterimi

### 3.6.5. Basamak Dizaynı

Araklı Taşönü kalker ocağında basamak dizaynı şev duraylılığı olasılık sınıflandırma sisteminden (SSPC), kinematik analizlerden, limit denge analizlerinden ve laboratuarda uygulanan kaya mekaniği deney sonuçlarından yararlanılarak tasarlanmıştır. Bölüm 1.7’de bahsedildiği gibi basamak şev açılarının mümkün olduğunca dik olması işletmenin ekonomikliği açısından önem arz etmektedir.

Üretimin devam ettiği ocakta baskın süreksizlik duruşları şev içine doğru olduğundan yönelime bağlı duraylılık riski yapılan kinematik analizler ile de test edilerek, süreksizliğe bağlı herhangi bir yenilmenin (düzlemsel, kamasal ve devrilme) olmayacağı belirlenmiştir. Ayrıca SSPC sistemi ile de yönelime bağlı ve yönelimden bağımsız duraylılık değerlendirilmesi yapılmıştır. Buna göre şevler yönelime bağlı duraylılık analizine göre duraylıdır. Fakat yönelimden bağımsız duraylılık değerlendirmesinde mevcut durumda şevler duraylı iken gelecek ayrışma göz önüne alındığında, şev eğimi ve yüksekliği artırıldığında şevlerde küçük çapta yenilmeler (kopmalar, kaya düşmeleri vb.) olabilmektedir. Tüm bu etkiler dikkate alındığında ocakta üretim esnasında basamak şev açılarının  $75^0$  civarında nihai durumda ise  $80^0$  olması duraylılık açısından risk içermeyecektir. Burada asıl önemli olan genel şev açısının duraylılığıdır. Bu nedenle üretim devam ederken genel şev eğiminin  $40^0$  civarında olması gerektiği düşünülmüştür. Çünkü SSPC sistemine göre mevcut şevlerin yönelimden bağımsız duraylılığı söz konusu açıda 43 metreden 208 metreye kadar duraylı kalabileceği bulunmuştur. 43 metre yüksekliğe kadar duraylı kalabilecek şev en üst basamakta yer almaktadır. Bu nedenle ilk basamak yüksekliği diğer basamaklardan genel şev yüksekliğine bağlı olarak zaman zaman daha kısa olacak şekilde tasarım yapılması düşünülmüştür. Nihai durumda ise genel şev açısının  $50-55^0$  olması durumunda herhangi bir duraysızlık oluşması beklenmemektedir. Gelecek ayrışma, yağış gibi etkilerle meydana gelebilecek küçük kopmalar veya yenilmeler olumsuzluğa neden olmayacaktır. Çünkü işletme tabanında herhangi bir alt yapı veya karayolu gibi insanların kullanım alanı mevcut değildir. Ocakta üretim devam ederken basamak genişliklerinin ve yüksekliklerinin 8’er metre olması düşünülmüştür. Burada jeolojik faktörler kadar kazıcı ekipmanın rahat kazabileceği düşey yükseklik düşünülerek basamak yükseklikleri verilmiştir. Çalışma alanında kazı hidrolik ekskavatörler ile sürdürüldüğünden, 8 metre yükseklik bu ekipman için kazı işleminin kolay yürütüleceği anlamına gelmektedir. İlk basamak ise ocak derinliğine bağlı olarak 5–8

metre olabileceği düşünölmüştür. Nihai durumda ise basamak yükseklikleri 8 metre, birinci basamağın ocak derinliğine bağlı olarak 5–8 metre olabileceği düşünölmüştür. Nihai durumda basamak genişliği 5 metre olacak şekilde üretime son verilmesi düşünölmüştür (Ek şekil–2). Çalışma sahası zaman zaman aşırı yağışlara maruz kaldığından basamaklarda su kanalları yaklaşık bir metre olacak şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca üretim devam ederken kaya düşmelerinin alt basamakta bulunan insan veya ekipmanlara zarar vermesini engellemek için her bir basamakta yığınlar bırakılmalıdır. Yığın yüksekliği yaklaşık bir metre, genişliği ise yaklaşık iki metre olacak şekilde üretimin devam etmesi durumunda kaya düşmelerinden kaynaklanan olumsuz etkiler engellenmiş veya en aza indirgenmiş olacaktır. Köye ulaşımın sağlanması için üretim sahasının yaklaşık 60–70 metre uzağında ulaşım yolu açılmalı ve kesinlikle bu yolun üretim sahasının içerisinden ve çok yakınından geçirilmemesi önerilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

1. Üretim sahasında Kireçhane Formasyonuna ait jeolojik birimler yer almaktadır. Hazırlanan jeolojik ve paleontolojik kesitler üretim sahasında iki farklı kireçtaşının (boşluklu makro fosil içeren kireçtaşı ve biyomikritik kireçtaşları) olduğunu ortaya koymuştur.
2. Üretim ve heyelan sahasındaki şevlere yönelik yapılan kinematik analizlerden; üretim sahasındaki şevlerde kinematik olarak herhangi bir yenilme riskinin söz konusu olmadığı, heyelan sahasındaki şevlerde ise kamasal kayma (JTB 6) ve düzlemsel kayma (JTB 7 - gerilme çatlacağına sahip ve tabanında yaklaşık  $30^0$  eğimli kil dolgulu zayıflık düzlemi için) riskinin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.
3. SSPC sisteminde yönelime bağımlı duraylılık analizlerinde; kayma grafiklerine göre JTB-5'in 2.süreksizlik takımı ve JTB-7'nin 1.süreksizlik takımı kaymaya karşı  $>95\%$ , JTB-6'nın 1.süreksizlik takımı  $80\%$  ve 2.süreksizlik takımı  $60\%$  duraylıdır. Diğer tüm süreksizlik takımları  $100\%$  kaymaya karşı duraylıdır. Devrilme türü yenilme grafiklerine göre JTB-1'in 2.süreksizlik takımı, JTB-7'nin 2. ve 3. süreksizlik takımları devrilmeye karşı  $>95\%$  duraylı çıkmıştır. Diğer tüm süreksizlik takımları  $100\%$  devrilmeye karşı duraylıdır.
4. SSPC sisteminde yönelimden bağımsız duraylılık analizine göre; JTB-1  $94\%$ , JTB-2  $93\%$ , JTB-3  $91\%$ , JTB-4 ve 5  $>95\%$ , JTB-6  $36\%$  ve JTB-7 ise  $<5\%$  yönelimden bağımsız duraylılığa sahiptir.
5. Üretim sahasında mevcut durumdaki en kötü koşul için limit denge analizlerine göre güvenlik katsayısı (F) 1.5'den büyük çıkmış ve herhangi bir yenilme riskinin olmadığı tespit edilmiştir. Üretim amaçlı patlatmalar yapılması durumunda açığa çıkacak ivme değerinin şevlerin duraylılığı açısından 0.1 g'yi geçmemesi gerektiği anlaşılmıştır.

6. Üretim sahasında emniyetli bir çalışmanın sürdürülebilmesi için çalışma anında basamak şev açısının  $75^0$ , genel şev açısının  $40^0$ , basamak genişliği ve yüksekliğinin 8 m olması gerektiği saptanmıştır.



## 5. KAYNAKLAR

- Akram, M. ve Bakar, M.Z.A., 2007. Correlation Between Uniaxial Compressive Strength and Point load Index for Salt-Range Rocks, Pak. J. Engg. Sci. ISSN 1995–1302, 1-8.
- Alejano, L.R., Pons. B., Bastante, F.G, Alonso, E. Stockhausen, H.W., 2007. Slope geometry design as a means for controlling rockfalls in quarries. Int J Rock Mech Min Sci, 44.903–921.
- ASTM, D 5873, 2001. Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method, ASTM Stand. 4.
- ASTM, D 4644, 2004. Standart Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks, 4.
- ASTM, D 2216, 2005. Standart Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, 7.
- ASTM, D 2845, 2005. Standart Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constans of Rock, 7.
- ASTM, D 5607, 2008. Standart Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Test of Rock Specimens Under Constant Normal Force, 8.
- Attewell, P. B. ve Farmer, I. W., 1976. Principles of Engineering Geology, Chapman&Hall, London, 1045 s.
- Aydan, Ö., Shimizu, Y. ve Kavvamato, T., 1995. A Portable System for In-situ Characterization of Surface Morphology and Frictional Properties of Rock Discontinuities. Proc. 4th Intl. Symp. Field Measurements in Geomechanics, Bergamo, Italy, 463–470.
- Barr, M. V., and Hocking, G., 1976. Borehole Structral Logging Employing a Pneumatically Inflatable Impression Packer. Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, Balkema, Rotterdam, 29–34.
- Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rock Masses for The Design of Tunnel Support. Norwegian Geotechnical Institute Publication, 4–15.
- Barton, N. ve Choubey, V., 1977. The Shear Strength of Rock and Rock Joints, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, 13, 255-279.
- Barton, N., Bandis, S. C., Bakhtar, K., 1985. Strength, deformation and conductivity coupling of rock joints. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. 22, 3, 121–140.

- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. *Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs* 15, 335–344.
- Bieniawski, Z.T., 1975. The point load test in geotechnical practice. *Eng. Geol.*, Sept, 1–11.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York, 238.
- Brawner, C. O., 1994. *Rockfall Hazard Mitigation Methods*. Publication No. FHWA-SA-93-085.
- Broch, E. ve Franklin, J.A., 1972. The point load strength test. *Int. Journal Rock Mech.Min. Sci.*, 9, 1972, 669–697.
- Burmister, D. M., 1951. *Identification and Classification of Soils-An Appraisal and Statement of Principles*.
- Ceryan, N., Çellek, S. ve Kesimal, A., 2009. Taşönü (Araklı/Trabzon) Heyelanının Kayma Düzlemindeki Killerin Mühendislik Özellikleri, 14. Ulusal Kil Sempozyumu, 1-3 Ekim, Trabzon-Türkiye.
- Ceryan, N., 2009. Taşönü Kalker Ocağındaki (Trabzon) Kaya Şevleri Duraylılığının Olasılık Yöntemle Analizi ve Kazılabilirlik, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Cheng, Y.M. ve Lau, C.K., 2008. *Slope Stability Analysis and Stabilization, New Methods and Insight*.
- Cihangir, F., 2006. Bir Kalker Ocağında Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Yer Titreşimi ve Hava Soku Etkilerinin İstatistiksel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Colback, P.S.B. ve Wiid, B.L., 1965. The Influence of Moisture Content on the Compressive Strength of Rock. – *Proc. 3rd. Canadian Rock Mech. Symp.* 65–83.
- Deere, D.U., 1963. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purpose. *Rock Mech. And Engn. Geol.* 1, 16–22.
- Deere, DU. ve Miller RP., 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock. Tech. Report No. AFWL-TR 65–116, Universty of Illinois.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM)., 2005. Ortalama Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri Bülteni, Ankara.
- Dorren, L.K.A., 2003. A review of rockfall mechanics and modelling approaches, *Progress in Physical Geography*, 27,1, 69–87.
- Erçikdi, B., 2004. Araklı-Taşönü Kalker Ocağında Yapılan Atımların Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Erçıkıdı, B., Cihangir, F. ve Kesimal, A., 2006. Düzlemsel kaymanın oluştuğu bir kireçtaşı ocağında güvenlik katsayılarının belirlenmesi, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 19, 2, 121–129.
- Erguvanlı, K., 1975. Trabzon Çimento Fabrikası Araklı-Taşönü Köyü Hammadde Raporu, 35. (Yayınlanmamış).
- Fookes, P., G. ve Denness, B., 1969. Observational Studies on Fissure Patterns Cretaceous Sediments of South- East England . Geotechnique, 19, 4, 453–477.
- Franklin, J.A. ve Chandra R., 1972. The slake durability test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9, 325–341.
- Gamble, J.C., 1971. Durability–plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks. Ph.D. thesis, University of Illinois.
- Ghose, A.K. ve Raju, N.M., 1981. Characterization of Rock Mass Vis-A-Vis Application of Rock Bolting in Indian Coal Measures, Proc. 22 nd U.S. Symp. Rock Mechanics., MIT, Cambridge, MA, 422-427.
- Goodman, RE., 1989. Introduction to Rock Mechanics. Wiley, New York, 562 pp.
- Gökten, R. M. ve Ayday C. A., 1993. Suggested improvement to the Schmidt rebound hardness ISRM suggested methods with particular reference to rock machineability. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech., 30, 321-322.
- Gökçeoğlu, C., 1997. Killi, Yoğun Süreksizlik İçeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamalarında Karşılaşılan Güçlüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Grenon, M. ve Hadjigeorgiou, J., 2010. Integrated Structural Stability Analysis for Preliminary Open Pit Design. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 47, 450-460.
- Güleç, K., 1973. Afyon Mermerlerinin Mühendislik Jeolojisi ve Fiziksel Özelliklerinin Ayrışma ile İlişkisi. Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin 1/250 000 Ölçekli Komplikasyonu, MTA , Genel Müd., Ankara (yayınlanmamış).
- Hack, R. ve Price DG., 1995. Determination of discontinuity friction by rock mass classification. Proc 8th Congr on Rock Mechanics, ISRM, Tokyo, Japan. Balkema, Rotterdam, 23–27.
- Hack, R., 1997. Rock mass strength by rock mass classification. South African Rock Engineering Congress (SARES) Johannesburg, RSA, 346–356.

- Hack, R., 1998. Slope Stability Probability Classification, SSPC, 2nd edn. ITC, Enschede, The Netherlands, 258, ISBN 90 6164 154 3.
- Hack, R., 2002. An Evaluation of Slope Stability Classification ISRM EUROCK'2002, Portugal Madeira, Frunchal, 3-32.
- Hack, R., Price, D. ve Rengers N., 2003. A new approach to rock slope stability – a probability classification (SSPC). Bulletin of Engineering Geology and the Environment. Springer Verlag. article: DOI 10.1007/s10064-002-0155-4 .
- Haramy, K.Y. ve De Marco, M.J., 1985. Use of Schmidt Hammer for Rock and Coal Testing. 26th US Symp. on Rock Mechanics, June, Rapid City. Balkema, Rotterdam, 549–555.
- Hoek, E. ve Bray, J., 1981. Rock Slope Engineering, 3rd edn, Inst. Mining and Metallurgy, London, UK.
- Hoek, E. ve Brown, E. T., 1980. Empirical Strength Criterion for Rock Masses. ASCE Journal of the Geotechnical Engineering, 106, GT9, 1013-1035.
- Hucka, V., 1965. A rapid method for determining the strength of rocks in situ. Int J Rock Mech. Min. Sci Geomech. 2, 127–134.
- Hudson, J.A., ve Priest, S.D., 1979. Discontinuities and Rock Mass Geometry. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, 16,339-362.
- Huisman, M. ve Hack, R., 2002. Quantifying slope stability decrease in engineering lifetimes using a bootstrap percentile approach. Proc Eurock 2002 - I.S.R.M. International Symposium on Rock Engineering for Mountainous Regions, Madeira, Portugal.
- IAEG, 1976. Engineering Geology Maps a Guide to Their Preparation, 1, Unesco Pres, Paris.
- Iliev, I.G., 1966. An Attempt to Estimate the Degree of Weathering of Intrusive Rocks from Their Physico-Mechanical Properties, Proc. 1 st. Cong. Int. Soc. Rock Mech., Lisbon, 109-114.
- ISRM, 1978. Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, International Rock Mechanics and Mining Science, Geomech. 15, 319–368.
- ISRM, 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 s.
- ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, 22, 53-60.

- ISRM, 2007a. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay, R., J.A. Hudson, Kozan Offset Press, Ankara, 153-154.
- ISRM, 2007b. Suggested Method for Laboratory Determination of Direct Shear Strength, 171-173.
- ISRM, 2007c. Suggested Method for Determination of the Slake-Durability Index, 96-98.
- ISRM, 2007d. Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties, 141-156.
- Jennings, J. E., 1970. A mathematical theory for the calculation of the stability of open cast mines. Proc. Symp. on the Theoretical Background to the Planning of Open Pit Mines, Johannesburg, 87-102.
- Karaman, K., Cihangir, F., Erçıkıdı, B. ve Kesimal, A., 2010. Killi-Karbonatlı birimlerde numune uzunluğunun ultrasonik P dalga hızı üzerindeki etkisi, Madencilik Dergisi, 49, 4, 37-45.
- Karaman, K., Erçıkıdı, B., K., Cihangir, F. ve Kesimal, A., 2011. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde Schmidt Çekici sertlik tayini değerlendirme yöntemlerinin incelenmesi, 22. Dünya Madencilik Kongresi, 11-13 Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı, 87-94.
- Karlı, M., 2009. Arhavi- Hopa (Artvin) arasındaki karayolu şevlerinin duraylılık açısından incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Katz, O., Reches, Z. ve Roegiers, J.C., 2000. Evaluation of Mechanical Rock Properties Using a Schmidt Hammer, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 37, 723-728.
- Kesimal, A., Erçıkıdı B. ve Cihangir F., 2008. Environmental impacts of blast-induced acceleration on slope instability at a limestone quarry. Environ. Geo., 54, 381-389.
- Kesimal, A., Cihangir, F. ve Karaman, K., 2010. Kaya Mekaniği Laboratuvar Ders Notları (Yayınlanmamış).
- Kırmanlı, C, ve Erçelebi, S.G., 2005. Açık işletmelerde optimum ekipman seçimi, itüdergisi/d mühendislik, 4, 2, 67-78.
- Kurt, İ., Özkan, M., Karlı, S. ve Çolak, T. 2006. Keşap (Giresun)-Çarşıbaşı (Trabzon) Torul (Gümüşhane) Arasının Jeolojisi MTA Rapor no.10875 Ankara (Yayınlanmamış).
- Laubscher, D.H., 1977. Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses-Mining Applications. Transactions of The Institution of Mining and Metallurgy, Section A, Mining Industry, 86 (Jan),. 1-8.

- Laubscher, D.H., 1984. Design Aspects and Effectiveness of Support Systems in Different Mining Conditions, *T. Min. Metali A.*, 93, A70-A81.
- Lindsay, P., Anderson, J., Bourke, F., Campbell, R.N., ve Clarke, L., 2000. Predicting Slope Stability in Open Pit Gold and Coal Mines. *New Zealand Minerals and Mining Conf Proc*, 29–31 Oct.
- Lisle, R. J. ve Leyshon, P. R., 2004. *Stereographic Projection Techniques for Geologists and Civil Engineers*, 2nd ed. viii + 112 pp. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press.
- Müftüoğlu, Y.V. ve Scoble, M.J., 1985. Kömür açık işletmeciliğinde kazılabilirliği belirleme yöntemleri, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi*, Ankara, Bildiriler Kitabı, 29-37.
- Olivier, H.J., 1979. Applicability of Geomechanics Classification to The Orange-Fish Tunnel Rock Masses, *Civ. Eng. S.* 21, 179–185.
- Orr, C.M., 1992. Assessment of Rock Slopes Stability Using the Rock Mass Rating (RMR) System. *The Aus. IMM. Proc.* 297, 2, 25–29.
- Özaydın, K., 1997. *Zemin Mekanigi*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 140-166s.
- Öztürk, C.A., Özbakır, A.D. ve Nasuf. E., 2004. Nokta yük ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi, *Kaya Mekanığı, VII. Bölgesel Kaya Mekanığı Sempozyumu*, Ekim 21-22, Sivas.
- Pettifer, G.S. ve Fookes, P.G., 1994. A Revision of The Graphical Method for Assessing The Excavatability of Rock, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27, 145-164.
- Piteau, D. R., 1970. Geological Factors Significant to The Stability of Slopes Cut in Rock. *Proceedings of the Symposium on Planning Open Pit Mines*, Cape Town, Balkema, 33–53.
- Piteau, D. ve Martin, D., 1982. Mechanics of rock slope failure, Chapter6, *Third International Conference on Stability of Surface Mining*, Vancouver, British Columbia, Society of Mining Engineers, 113-169.
- Poole, R.W. ve Farmer, I.W., 1980. Consistency and Repeatability of Schmidt Hammer Rebound Data During Field Testing, *International Journal Rock Mechanics Mining Science, Geomechanics*, 17, 167–171.
- Priest, S.D. ve Hudson, J. A., 1981. Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, 18, 183-97.
- Ritchie, A. M., 1963. Evaluation of rock fall and its control. *Highway Research Record 17*, Highway Research Board, NRC, Washington, DC, 13–28.

- Ritter, W., 1879. Die Statik Der Tunnelgewölbe. Berlin: Springer.
- Romana, M., 1985. New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes. International Symposium on The Role of Rock Mechanics, Zacatecas, ISRM. 49–53.
- Romana, M., 1993. A Geomechanics Classification for Slopes: Slope Mass Rating. (in Comprehensive Rock Engineering. Ed. / Hudson). Pergamon. 3, 575–600.
- Romana, M., 1995. The Geomechanical Classification SMR for Slope Correction. Proc. 8th Int. Congress Rock Mechanics, ISRM, Tokyo, 3, 1085–1092.
- Romana, M., Serön, J.B. ve Montalar, E., 2003. SMR Geomechanics Classification: Application, Experience and Validation ISRM 2003-Technology Roadmap for Rock Mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 4.
- Ryan, TM, ve Prior, PR., 2001. Designing catch benches and interramp slopes. In: Hustrulid WA, McCarter MK, Van Zyl DJA, editors. Slope stability in surface mining. Littleton, CO: Soc Min Eng.
- Schmidt, E., 1951. A non-destructive Concrete Tester. Concrete, 59, 8, 34–5.
- Selby, M.J., 1980. A Rock Mass Strength Classification for Geomorphic Purposes: with Tests from Antarctica and New Zealand, Zeitschrift für Geomorphologie., 23, 31–51.
- Smith, H.J., 1986. Estimating Rippability of Rock Mass Classification, Proc. 27th US Symp. On Rock Mechanics, University of Alabama.
- Singh, R.N., Denby, B. ve Egretli, I., 1987. Development of New Rippability Index for Coal Measures Excavation, Proc. 28th US. Symp., On Rock Mechanics, Tuscon.
- Singh, R.N. ve Gahrooe, D.R., 1989. Application of Rock Mass Weakening Coefficient for Stability Assessment of Slopes in Heavily Jointed Rock Masses., International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment 3, 207-219.
- Snow, D.T., 1970. The Frequency and Apertures of Fractures in Rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 7, 23–40.
- Swan, G., 1981. Tribology and Characterization of Rock Joints. 22nd U. S. Symp. on Rock Mechanics, Cambridge, Massachusetts, MIT, 402–407.
- Tarhan, F., 2002. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası, III. Baskı, 47–48.
- Terzaghi, K., 1946. Rock Defects and Loads on Tunnel Support, Rock Tunnelling with Steel Support, ed. R.V. Proctor ve T. Withe. Commercial Shearing Co., Youngstown, OH, 15-99.

- Topal, T., 2000. Nokta Yükleme Deneyi ile İlgili Uygulamada Karşılaşılan Problemler; Jeoloji Mühendisliği, 24,73-85.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, 2. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası, 292s., Ankara.
- USBR., 1998. Engineering geology field manual. Field Index Tests. 1, 111–2.
- Uzuner, B. A., 1998. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. Teknik Yayınevi, Ankara, 376s.
- Ünal, E., 1983. Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal Mine Roofs. Ph. D. Thesis, Pennsylvania State University, University Park, 355 p.
- Ünal, E. ve Özkan, İ., 1990. Determination of Classification Parameters for Claybearing and Stratified Rock Mass, 9th Int. Conf. on Ground Control in Mining, West Virginia University, Morgantown, 250–259.
- Weaver, J.M., 1975. Geological Factors Significant in The Assessment of Rippability, The Civil Engineer in South Africa,17, 313–316.
- Wickham, G.E., Tiedemann, H.R. ve Skinner, E.H., 1972. Support determination based on geologic predictions. In Proc. North American rapid excav. tunneling conf., Chicago, (eds K.S. Lane and L.A. Garfield), 43-64. New York: Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs.
- Wissbach, C., 1978. A New Method for The Determination of The Roughness of Rock Joints in Laboratory, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 16, 303-307.
- Wyllie, D.C. ve Mah, C.W., 2004. Rock Slope Engineering: Civil and Mining, 4th edition, Rock Slope Engineering: Civil and Mining, Spon Pres, Newyork, 456s.



## **6. EKLER**

Ek Őek. 1. Üretim sahasının topoğrafik haritası

Ek Őek. 2. Üretim sahasının basamak tasarımı

Ek Tablo 1. Üretim sahasının limit denge analiz tablosu

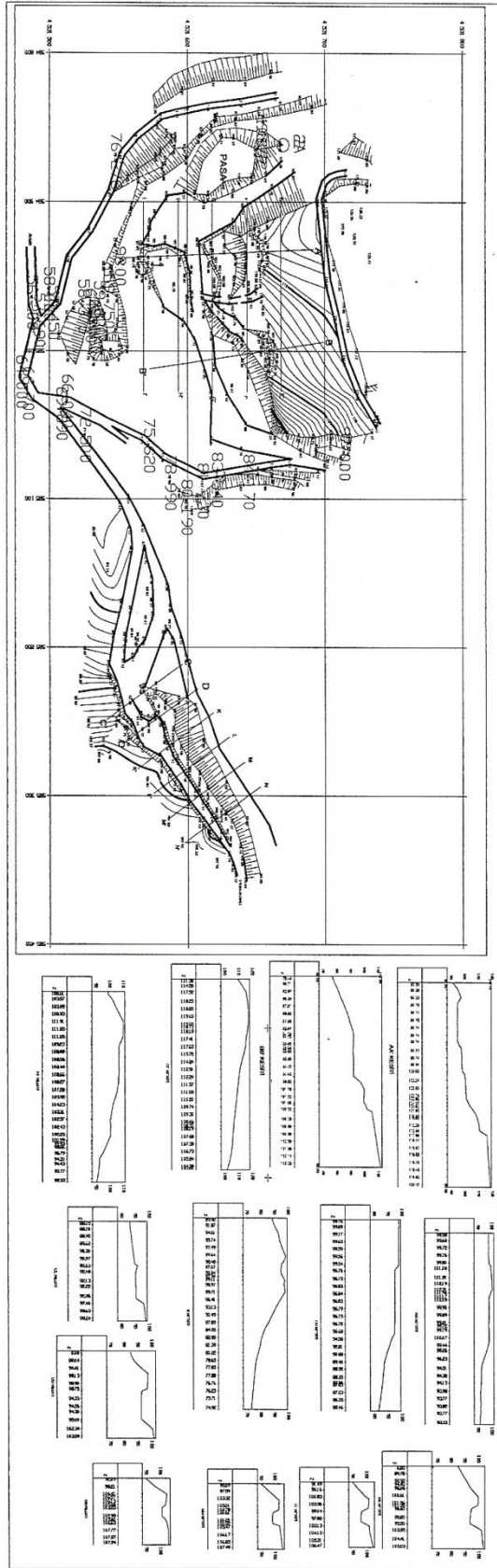
## Ek-1. Üretim sahasında hesaplanan güvenlik katsayı değerleri

H Şev (m)	W (%)	$\Phi^0$	Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F		
			$\alpha = 0g$			$\alpha = 0g$			$\alpha = 0g$			$\alpha = 0g$		
			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 40			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 45			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 50			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 55		
			c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa
30	0	25	1.87	2.85	3.82	1.87	2.78	3.68	1.87	2.73	3.58	1.87	2.69	3.50
		30	2.29	3.26	4.23	2.29	3.19	4.10	2.29	3.14	4.00	2.29	3.10	3.92
		35	2.74	3.72	4.69	2.74	3.65	4.56	2.74	3.60	4.46	2.74	3.56	4.38
50	25	25	1.82	2.40	2.99	1.82	2.36	2.91	1.82	2.34	2.85	1.82	2.31	2.80
		30	2.22	2.80	3.39	2.22	2.77	3.31	2.23	2.74	3.25	2.23	2.72	3.21
		35	2.67	3.25	3.83	2.67	3.21	3.76	2.67	3.19	3.70	2.68	3.17	3.66
70	50	25	1.66	2.07	2.49	1.67	2.06	2.45	1.68	2.05	2.41	1.69	2.04	2.39
		30	2.02	2.44	2.86	2.04	2.43	2.82	2.05	2.42	2.79	2.06	2.41	2.76
		35	2.43	2.85	3.27	2.45	2.84	3.23	2.46	2.83	3.20	2.47	2.82	3.17
H Şev (m)	W (%)	$\Phi^0$	Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F		
			$\alpha = 0.0133g$			$\alpha = 0.0133g$			$\alpha = 0.0133g$			$\alpha = 0.0133g$		
			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 40			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 45			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 50			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 55		
			c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa
30	0	25	1.78	2.70	3.63	1.78	2.64	3.50	1.78	2.59	3.41	1.78	2.55	3.33
		30	2.17	3.10	4.03	2.17	3.03	3.90	2.17	2.98	3.80	2.17	2.95	3.73
		35	2.60	3.53	4.46	2.60	3.47	4.33	2.60	3.42	4.24	2.60	3.38	4.16
50	25	25	1.72	2.28	2.84	1.73	2.25	2.76	1.73	2.22	2.71	1.73	2.20	2.67
		30	2.11	2.66	3.22	2.11	2.63	3.15	2.11	2.60	3.09	2.12	2.58	3.05
		35	2.53	3.09	3.64	2.53	3.05	3.57	2.54	3.03	3.52	2.54	3.01	3.47
70	50	25	1.57	1.97	2.37	1.58	1.95	2.32	1.59	1.94	2.29	1.60	1.93	2.27
		30	1.92	2.32	2.72	1.94	2.31	2.68	1.95	2.30	2.65	1.96	2.29	2.62
		35	2.31	2.70	3.10	2.32	2.69	3.06	2.34	2.69	3.04	2.35	2.68	3.01
H Şev (m)	W (%)	$\Phi^0$	Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F		
			$\alpha = 0.145g$			$\alpha = 0.145g$			$\alpha = 0.145g$			$\alpha = 0.145g$		
			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 40			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 45			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 50			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 55		
			c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa
30	0	25	1.17	1.80	2.43	1.17	1.75	2.34	1.17	1.72	2.28	1.17	1.70	2.23
		30	1.43	2.06	2.69	1.43	2.01	2.60	1.43	1.98	2.54	1.43	1.95	2.48
		35	1.71	2.34	2.98	1.71	2.30	2.89	1.71	2.27	2.82	1.71	2.24	2.77
50	25	25	1.13	1.51	1.89	1.13	1.49	1.84	1.14	1.47	1.80	1.14	1.45	1.77
		30	1.38	1.76	2.14	1.39	1.74	2.09	1.39	1.72	2.05	1.39	1.71	2.02
		35	1.66	2.04	2.42	1.66	2.02	2.37	1.67	2.00	2.33	1.67	1.99	2.30
70	50	25	1.03	1.30	1.57	1.04	1.29	1.54	1.04	1.28	1.52	1.05	1.27	1.50
		30	1.26	1.53	1.80	1.27	1.52	1.77	1.27	1.51	1.75	1.28	1.51	1.73
		35	1.51	1.78	2.05	1.52	1.77	2.02	1.53	1.77	2.00	1.54	1.76	1.99
H Şev (m)	W (%)	$\Phi^0$	Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F		
			$\alpha = 0.3g$			$\alpha = 0.3g$			$\alpha = 0.3g$			$\alpha = 0.3g$		
			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 40			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 45			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 50			Şev eğimi ( $\psi_i$ ) 55		
			c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa
30	0	25	0.81	1.27	1.73	0.81	1.24	1.67	0.81	1.22	1.62	0.81	1.20	1.58
		30	0.99	1.45	1.91	0.99	1.42	1.85	0.99	1.40	1.80	0.99	1.38	1.76
		35	1.19	1.65	2.11	1.19	1.62	2.05	1.19	1.59	2.00	1.19	1.58	1.96
50	25	25	0.79	1.06	1.34	0.79	1.04	1.30	0.79	1.03	1.27	0.79	1.02	1.25
		30	0.96	1.24	1.51	0.96	1.22	1.48	0.96	1.21	1.45	0.96	1.20	1.43
		35	1.15	1.43	1.71	1.16	1.41	1.67	1.16	1.40	1.64	1.16	1.39	1.62
70	50	25	0.71	0.91	1.10	0.72	0.90	1.08	0.72	0.89	1.07	0.72	0.89	1.06
		30	0.87	1.07	1.26	0.88	1.06	1.24	0.88	1.05	1.23	0.89	1.05	1.22
		35	1.04	1.24	1.44	1.05	1.23	1.42	1.06	1.23	1.40	1.06	1.23	1.39

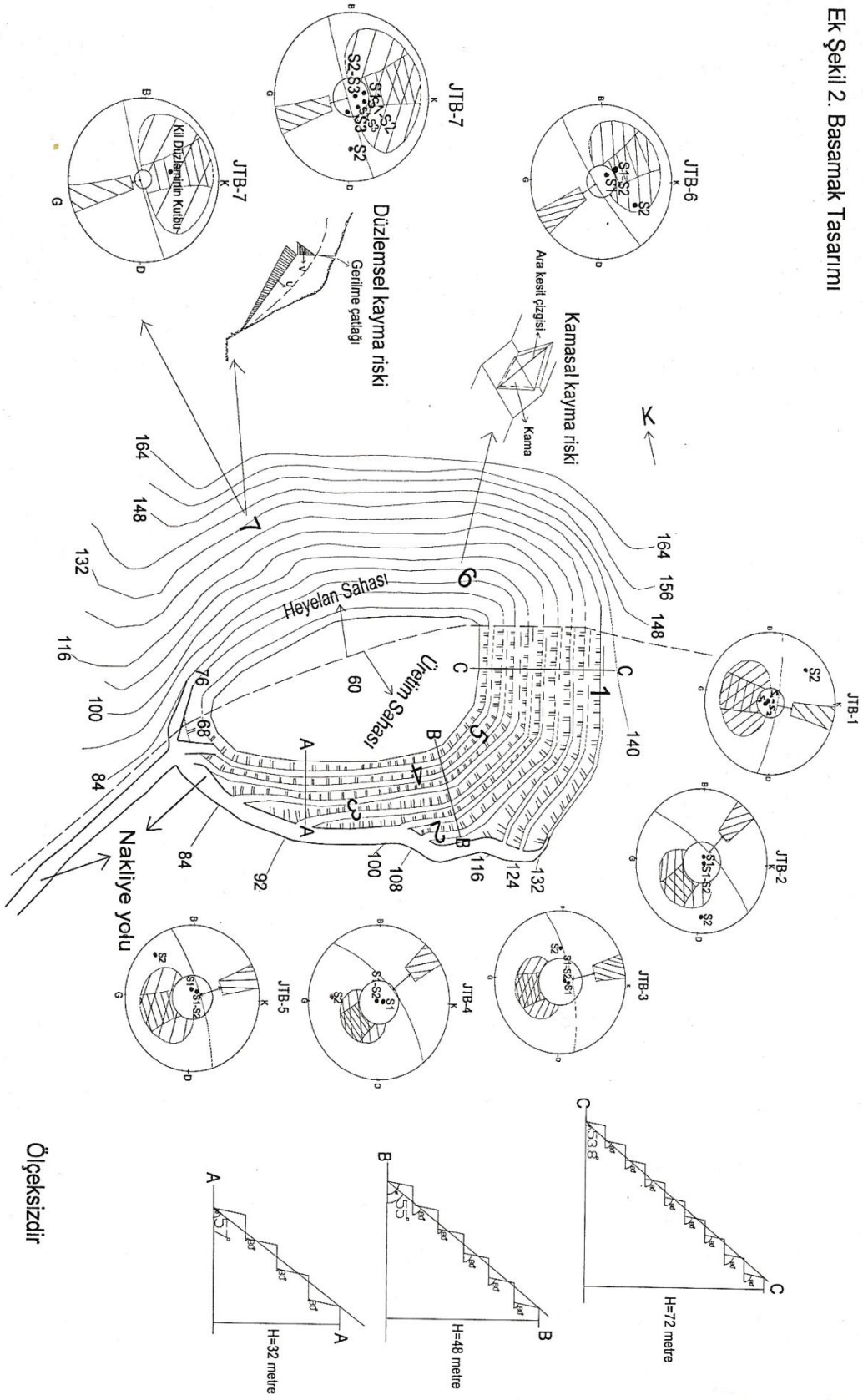
## Ek-1'in devamı. Üretim sahasında hesaplanan güvenlik katsayı değerleri

H Şev (m)	W (%)	$\Phi^0$	Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F		
			$\alpha = 0.6g$			$\alpha = 0.6g$			$\alpha = 0.6g$			$\alpha = 0.6g$		
			Şev eğimi ( $\psi_f$ ) 40			Şev eğimi ( $\psi_f$ ) 45			Şev eğimi ( $\psi_f$ ) 50			Şev eğimi ( $\psi_f$ ) 55		
			c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa
30	0	25	0.48	0.79	1.09	0.48	0.76	1.04	0.48	0.75	1.01	0.48	0.74	0.99
		30	0.59	0.89	1.19	0.59	0.87	1.15	0.59	0.86	1.12	0.59	0.84	1.10
		35	0.71	1.01	1.31	0.71	0.99	1.27	0.71	0.97	1.24	0.71	0.96	1.21
50	25	25	0.47	0.65	0.83	0.47	0.64	0.80	0.47	0.63	0.79	0.47	0.62	0.77
		30	0.57	0.75	0.93	0.57	0.74	0.91	0.57	0.73	0.89	0.57	0.73	0.88
		35	0.69	0.87	1.05	0.69	0.86	1.02	0.69	0.85	1.00	0.69	0.84	0.99
70	50	25	0.42	0.55	0.68	0.42	0.54	0.66	0.43	0.54	0.65	0.43	0.54	0.64
		30	0.51	0.64	0.77	0.52	0.63	0.76	0.52	0.63	0.75	0.52	0.63	0.74
		35	0.61	0.74	0.87	0.62	0.74	0.86	0.62	0.74	0.85	0.63	0.74	0.84
H Şev (m)	W (%)	$\Phi^0$	Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F			Güvenlik Katsayısı, F		
			$\alpha = 0.835g$			$\alpha = 0.835g$			$\alpha = 0.835g$			$\alpha = 0.835g$		
			Şev eğimi ( $\psi_f$ ) 40			Şev eğimi ( $\psi_f$ ) 45			Şev eğimi ( $\psi_f$ ) 50			Şev eğimi ( $\psi_f$ ) 55		
			c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa	c 0 kPa	c 50 kPa	c 100 kPa
30	0	25	0.35	0.59	0.83	0.35	0.57	0.79	0.35	0.56	0.77	0.35	0.55	0.75
		30	0.43	0.67	0.90	0.43	0.65	0.87	0.43	0.64	0.85	0.43	0.63	0.83
		35	0.52	0.75	0.99	0.52	0.74	0.96	0.52	0.73	0.93	0.52	0.72	0.91
50	25	25	0.34	0.48	0.62	0.34	0.47	0.60	0.34	0.47	0.59	0.34	0.46	0.58
		30	0.42	0.56	0.70	0.42	0.55	0.68	0.42	0.54	0.67	0.42	0.54	0.66
		35	0.50	0.64	0.78	0.50	0.63	0.76	0.50	0.63	0.75	0.50	0.62	0.74
70	50	25	0.30	0.40	0.50	0.30	0.40	0.49	0.31	0.40	0.48	0.31	0.39	0.48
		30	0.37	0.47	0.57	0.37	0.47	0.56	0.37	0.46	0.55	0.38	0.46	0.55
		35	0.44	0.54	0.64	0.45	0.54	0.63	0.45	0.54	0.63	0.45	0.54	0.62

Ek Şekil 1. Üretim Sahasının Topografik Haritası



Ek Şekil 2. Basamak Tasarımı



## **ÖZGEÇMİŞ**

1984 yılında Ordu/Ünye'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ünye'de tamamladı. 2003 yılında lise eğitimini bitirip aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2003–2004 tarihleri arasında bir yıl yabancı dil hazırlık okudu. 2008 yılında Jeoloji Müh. Bölümünü ikincilikle bitirdi. Aynı yıl Maden Müh. Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. 2 Şubat 2009 tarihinde Maden Müh. Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Anabilim Dalı'nda bu görevine devam eden Kadir KARAMAN iyi derecede İngilizce bilmektedir.