

**ZONGULDAK HAVZASI UZUNAYAKLARI İÇİN BİR GÖÇEBİLİRLİK
SINIFLAMASININ GELİŞTİRİLMESİ**

2013

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİN KÖKEN

**ZONGULDAK HAVZASI UZUNAYAKLARI İÇİN BİR GÖÇEBİLİRLİK
SINIFLAMASININ GELİŞTİRİLMESİ**

Ekin KÖKEN

**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Aralık 2013**

KABUL:

Ekin KÖKEN tarafından hazırlanan "ZONGULDAK HAVZASI UZUNAYAKLARI İÇİN BİR GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMASININ GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.

13/12/2013

Başkan: Prof. Dr. Hasan GERÇEK (BEÜ)


.....

Üye : Doç. Dr. İhsan ÖZKAN (SÜ)


.....

Üye : Doç. Dr. Tuğrul ÜNLÜ (BEÜ)


.....

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. /2013


Prof. Dr. Şadi ŞEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

"Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim."


Ekin KÖKEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZONGULDAK HAVZASI UZUNAYAKLARI İÇİN BİR GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMASININ GELİŞTİRİLMESİ

Ekin KÖKEN

**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan GERÇEK

Aralık 2013, 175 sayfa

Uzunayak madenciliğinde ayak arkasının göçmesi, etkin bir tabaka kontrolünün sağlanması, üretim verimliliğinin artırılması ile can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi açısından oldukça önemlidir. Yaygın olarak arına paralel ahşap tahkimatın uygulandığı Zonguldak Havzası uzunayaklarında bu konu daha da önem kazanmaktadır. Bu çalışma iki bölüm halinde hazırlanmış olup çalışmanın birinci bölümünde, öncelikle uzunayaklardaki göçme mekanizması özetlenmiş ve mevcut tavan göçebilirliği sınıflamaları gözden geçirilmiştir. Sonra, göçmede etkili olan değiştirgeler toplanmış ve bir dizin halinde sunulmuştur. Daha önceden önerilmiş tavan göçebilirlik sınıflamaları özetlenmiş ve sınıflama sistemlerinde kullanılan değiştirgeler oransal olarak irdelenmiştir. Daha önce önerilen göçebilirlik sınıflamaları ışığında Zonguldak Taşkömürü Havzası uzunayakları için bir göçebilirlik sınıflaması önerilmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Bu çalışmada önerilen göçebilirlik sınıflaması bazı seçilmiş ayaklara uygulanmış ve diğer göçebilirlik sınıflamaları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak önerilen göçebilirlik sınıflamasının diğer sınıflama sistemleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tavan göçebilirliği, Uzunayak madenciliği, Tabaka kontrolü,

Zonguldak taşkömürü havzası.

Bilim Kodu: 607.01.02

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DEVELOPMENT OF A CAVABILITY CLASSIFICATION FOR THE LONGWALLS IN ZONGULDAK HARDCOAL BASIN

Ekin KÖKEN

**Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Hasan GERÇEK

December 2013, 175 pages

Cavability of the rear side in longwall mining is rather important to satisfy an effective ground control, to minimize the loss of life and property and to increase the efficiency of production. This case becomes quite important in the longwalls of the Zonguldak Basin, where the timber support applied parallel to the coal face. This study is prepared as of two parts; in first part of the study, first, caving mechanism of the longwalls is summarized. After that; the effective parameters for caving are mentioned and presented in a sequence. The roof caving classifications previously proposed are summarized and the parameters used in those of classifications systems are proportionally examined. In the light of the caving classifications previously proposed, a roof caving classification system is proposed for the longwalls in Zonguldak Hardcoal Basin.

ABSTRACT (continued)

The classification system proposed in this study, has been applied to some selected longwalls and has been compared to the other roof caving classification systems. Consequently, the proposed classification system has been seen in conformity with the other classification systems.

Key Words: Roof cavability, Longwall mining , Ground control,
Zonguldak hardcoal basin.

Science Code: 607.01.02

TEŞEKKÜR

Yazar, tez konusunun belirlenmesi ve yürütülmesindeki değerli görüş ve katkılarından dolayı tez yöneticisi Prof. Dr. Hasan GERÇEK'e, tez izleme komitesi üyeleri Doç Dr. İhsan ÖZKAN (SÜ), Doç. Dr. Tuğrul ÜNLÜ'ye, arazi çalışmalarına büyük katkı veren TTK Üzülmez Hazırlıklar Baş Mühendisi Birol KARAÇAM (TTK), topoğraf Mehmet KUZU ve Miraç KOCA'ya, maden teknikeri Turan ZARARCI, Aydın EKİNCİ ve Turan ARIK, Erhan KEÇELİOĞLU ve Şendoğan ÖZAT'a, değerli fikir ve eleştirilerinden dolayı Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN'a, laboratuvar çalışmalarındaki katkılarından dolayı Emre GÜNAY, Salih USTA, Volkan KALKAN ve Halil Yalçın AYDINER'e, tez yazımındaki katkılarından dolayı Öğr. Gör. Dr. Cem KINCAL (DEU) ve Tugay TEMELKOR'a ve yaşamı boyunca maddi ve manevi her konudaki destek, hoşgörü ve anlayışından ötürü başta rahmetli annesi Ayşen SAVAŞ'a, babası Ahmet KÖKEN, anneannesi Naime SAVAŞ ve dayısı Mehmet Aykut SAVAŞ'a sonsuz teşekkür borçludur.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 KONUNUN ÖNEMİ	1
1.2 TEZİN AMACI	1
1.3 TEZİN KAPSAMI	2
BÖLÜM 2 UZUNAYAK MADENCİLİĞİNDE AYAK ARKASININ GÖÇMESİ	5
2.1 GENEL DÜŞÜNCELER	5
2.2 GÖÇMEDE ETKİLİ OLAN ÖNEMLİ DEĞİŞTİRGELER	12
2.2.1 Tavan Tabakalarının Dayanımı ve Katılığı	12
2.2.2 Damar Kalınlığı ve Damar Eğimi	13
2.2.3 Tavan Litolojisi	14
2.2.4 Yalancı Tavan Kalınlığı	14
2.2.5 Üretim Derinliği	16
2.2.6 Ayakiçi Tahkimat Elemanları	16
2.2.7 Göçmeye Etki Eden Değiştirgelerin Sınıflandırılması	18

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.3 TAVAN KIRILMA ŞEKİLLERİ VE TİPİK GÖÇME DAVRANIŞLARI.....	20
BÖLÜM 3 KUZEYBATI ANADOLU TAŞKÖMÜRÜ HAVZASININ	
JEOLJİK ÖZELLİKLERİ	25
3.1 ZONGULDAK VE ÇEVRESİNİN GENEL JEOLJİSİ.....	25
3.2 ZONGULDAK VE ÇEVRESİNİN TEKTONİĞİ.....	31
3.3 ZONGULDAK HAVZASI'NDAKİ TAŞKÖMÜRÜ ÇEVRE KAYAÇLARININ JEOLJİK VE JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	32
3.3.1 Kömür Çevre Kayaçlarının Jeolojik Özellikleri	32
3.3.2 Kömür Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri	35
BÖLÜM 4 TABAKA KONTROLÜ VE AYAK ARKASININ	
GÖÇMESİNDE KULLANILAN ÖNEMLİ YAKLAŞIMLAR	37
4.1 YALANCI TAVAN KALINLIĞININ BELİRLENMESİ	37
4.1.1 Doğrudan Yöntem.....	37
4.1.2 Dolaylı Yöntemler.....	38
4.2 TAVAN KATILIĞININ KESTİRİMİ.....	43
4.3 KAYA KÜTLESİNİN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KESTİRİMİ.....	45
4.3.1 Kaya Kütesinin Tek Eksenli Basınç Dayanımının Kestirimi	45
4.3.1.1 Protodyakonov Yaklaşımı.....	45
4.3.1.2 Hoek-Brown Yaklaşımı	46
4.3.1.3 Yudhbir ve Prinzl Yaklaşımı.....	47
4.3.1.4 Ramamurthy Yaklaşımı	47
4.3.1.5 Kalamaras ve Bieniawski Yaklaşımı.....	47
4.3.1.6 Sheorey Yaklaşımı.....	47
4.3.1.7 Aydan ve Dalgıç Yaklaşımı	47
4.3.1.8 Hoek et al. Yaklaşımı	48
4.3.1.9 Laubscher Yaklaşımı	48
4.3.1.10 Hoek Yaklaşımı	48

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.3.2 Kaya Kütlesinin Tek Eksenli Çekme Dayanımının Kestirimi.....	49
4.3.3 Kaya Kütlesinin Deformasyon Modülünün Kestirimi	51
4.3.3.1 Nicholson ve Bieniawski Yaklaşımı.....	51
4.3.3.2 Mitri et al. Yaklaşımı	51
4.3.3.3 Kim et al. Yaklaşımı	51
4.3.3.4 Kayabaşı vd.'nin Yaklaşımı	52
4.3.3.5 Gökçeoğlu vd.'nin Yaklaşımı	52
4.3.3.6 Carvalho Yaklaşımı	53
4.3.3.7 Ramamurthy Yaklaşımı	53
4.3.3.8 Sönmez vd.'nin Yaklaşımı	53
4.3.3.9 Zhang ve Einstein'ın Yaklaşımı.....	53
4.3.3.10 Hoek ve Diederichs'in Yaklaşımı.....	54
4.3.3.11 Sönmez vd.'nin Yaklaşımı	54
4.3.3.12 Shen et al.'un Yaklaşımı	54
4.4 AYAK ARKASININ KIRILMA MESAFESİNİN KESTİRİMİ	54

BÖLÜM 5 TAVAN DURAYLILIĞI VE AYAK ARKASI GÖÇEBİLİRLİK

SINIFLAMALARI.....	61
5.1 BILINSKI VE KONOPKO YAKLAŞIMI	61
5.2 SINGH ET AL. YAKLAŞIMI	62
5.3 MARK VE MOLINDA YAKLAŞIMI	63
5.4 LAUBSCHER YAKLAŞIMI.....	67
5.5 ÇİN TAVAN SINIFLAMASI	68
5.6 VENKATESWARLU ET AL. YAKLAŞIMI.....	71
5.7 DAS TAVAN SINIFLAMASI	73
5.8 TAVAN DURAYLILIK VE GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMA SİSTEMLERİNİN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ	75

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	77
6.1 ARAZİ ÇALIŞMALARI	77
6.1.1 TTK Üzülmez Müessesesi 1. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları	78
6.1.2 TTK Üzülmez Müessesesi 2. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları	87
6.1.3 TTK Üzülmez Müessesesi 3. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları	92
6.1.4 TTK Üzülmez Müessesesi 4. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları	96
6.1.5 TTK Kozlu Müessesesi 5. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları.....	100
6.1.6 TTK Karadon (Gelik) Müessesesi 3. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları	104
6.2 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	108
6.2.1 Kayaçların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	112
6.2.2 Nokta Yüğü Dayanımı Deneyi.....	113
6.2.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi.....	115
6.2.4 Statik Elastik Sabitler Deneyi	118
6.2.5 Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi.....	119
6.2.6 Suda Dağılma Deneyi	121
BÖLÜM 7 GÖÇEBİLİRLİK ARAŞTIRMALARI	125
7.1 ÜZÜLMEZ 1. OCAK ÇAY AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ	125
7.2 ÜZÜLMEZ 2. OCAK ÇAY AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ	126
7.3 ÜZÜLMEZ 3. OCAK ÇAY AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ	126
7.4 ÜZÜLMEZ 3. OCAK ÇAY AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ	127
7.5 KOZLU 5. OCAK KURUL AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ	128
7.6 KARADON (GELİK) 3. OCAK KURUL AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ	128
7.7 AYAK KIRILMA MESAFESİNİN ANALİTİK OLARAK KESTİRİLMESİ	129
7.8 AYAK ARKASI KIRILMA MESAFESİNİN TAVAN KATILIĞI OLGUSU İLE OLAN İLİŞKİSİ.....	131
BÖLÜM 8 GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMASININ GELİŞTİRİLMESİ	137

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 9 GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMASININ İNCELENEN AYAKALARA UYGULANMASI.....	145
9.1 SINIFLAMA SİSTEMİNİN İNCELENEN AYAKLARDAKİ UYGULAMALARI	145
9.2 GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI	153
BÖLÜM 10 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	157
KAYNAKLAR	159
BİBLİYOGRAFYA	169
EK AÇIKLAMALAR.....	171
ÖZGEÇMİŞ.....	177

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Uzunayak tavanındaki düşey ikincil gerilmelerin damar tabanında ve arına dik bir kesit doğrultusundaki dağılımı (Birön ve Arıoğlu 1999'dan değiştirilerek).....	6
2.2 Ana tavanın yalancı tavan üzerine yaptığı yükleme ve kırılmış yalancı tavanın pekleşmesi (Kratzsch 1983; Bilir'den 1994).....	7
2.3 Ayak arkasının göçebilirliğinin kavramsal olarak açıklanması için yapılmış fiziksel modeller: a) Hidrolik direk uygulaması b) Yürüyen tahkimat uygulaması (Jacobi 1981).....	9
2.4 Uzunayak madenciliğinde göçme olayı ile ilgili genel kavramlar	10
2.5 Ayak arkasında askıda bekleyen tavan tabakasının ayak ilerlemesine bağlı olarak ağırlık merkezlerindeki ötelenmesi.....	11
2.6 Klasik bir uzunayakta bulunan ayakiçi tahkimat elemanları	17
2.7 Tavan duraylılığını etkileyen önemli değişkenler (Venkateswarlu'dan 1989 değiştirilerek).....	18
2.8 Değişen yalancı tavan ve kömür damar kalınlıklarına göre tavan kırılma şekilleri ve göçme davranışı (Kuzyniazou 1954, Peng ve Chiang 1984'ten).....	22
2.9 Ana ve yalancı tavan tabakalarının eğilme durumlarına göre tavan kırılma şekilleri ve göçme davranışları (Singh'den 1999 değiştirilerek).....	23
3.1 Kuzeybatı Anadolu Taşkömürü Havzası kömür işletmeleri yer buldur haritası (Kılıç 1977).....	26
3.2 Kozlu Formasyonu kaya birimlerine ait el numuneleri; a) Silttaşı b) İnce taneli kumtaşı c) Konglomera d) Orta taneli kumtaşı.....	28
3.3 Zonguldak ve çevresinin basitleştirilmiş tektonik haritası (TTK 2013'ten düzenlenerek).....	32
3.4 Zonguldak Taşkömürü Havzası kömür çevre kayaçlarının oransal dağılımı	33
3.5 Zonguldak Havzası'nda yer alan önemli kömür çevre kayaçlarının mineralojik bileşimleri (Paşamehmetoğlu vd. 1989 verileri kullanılarak oluşturulmuştur.)	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.6 Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndaki kumtaşlarının Folk'a (1962) göre sınıflandırılması (Paşamehmetoğlu vd. 1989 verileri kullanılarak oluşturulmuştur.)	34
4.1 Yük ölçüm aletlerinin ayak içindeki konumları (Paşamehmetoğlu vd. 1989a).....	39
4.2 Farklı tavan koşullarında yalancı tavan katılığının belirlenmesi a) Yekpare yalancı tavan b) Tabakalı yalancı tavan (Özel'den 1995 Değiştirilerek).....	45
4.3 Kendi ağırlığı altında dikdörtgen şeklindeki bir kirişe etkiyen en yüksek gerilmenin belirlenmesi: a) Kirişin uniform olarak yükleme yapması b) Uniform yüklemenin toplamının etki ettiği nokta ve bu noktadaki en yüksek moment c) Kirişin mukavemet momentinin belirlenmesi d) Kiriş üzerindeki en yüksek gerilmenin tahmini ve kırılma sınır koşulu	58
4.4 Farklı tavan katılıklarına göre tavan sürtünme katsayı değerlerinin değişimi	59
5.1 Tavan sınıflamasında dayanım puanı değişim cetveli (Rusnak ve Mark 2000)	64
5.2 Farklı J_{im} ve h_b değerleri için c_1 ve c_2 katsayılarının değişimi	69
5.3 Tavan ve göçebilirlik sınıflamalarında kullanılan değişkenlerin dağılımı ve genel değerlendirilmesi.....	76
6.1 Üzülmez 1. Ocak Çay ayağın genel görünümü (Ölçeksiz).....	79
6.2 Üzülmez 1. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek).....	81
6.3 Yeraltında Schmidt Çekici deneyinin uygulanması (Ölçeksizdir.).....	82
6.4 Üzülmez 1. Ocak tavan taşları parlatma kesit görüntüleri; a) İnce taneli kumtaşı b) Kuvars damarı içeren ince taneli kumtaşı c) Orta taneli kumtaşı.....	83
6.5 Üzülmez 1. Ocak Çay ayak boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar	84
6.6 Üzülmez 1. Ocak Çay ayak boyuca RQD ve JCS'nin değişimi	84
6.7 Süreksizlik Pürüzlülük katsayıları (Barton ve Choubey 1977).....	86
6.8 Üzülmez 2. Ocak Piriç ayağın genel görünümü (Ölçeksiz).....	87
6.9 Üzülmez 2. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek).....	89
6.10 Üzülmez 2. Ocak tavantaşları parlatma kesit görüntüleri (Paranın çapı 17 mm'dir.)....	90
6.11 Üzülmez 2. Ocak Piriç Çay ayak boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar	90
6.12 Üzülmez 2. Ocak Piriç ayak boyuca RQD ve JCS'nin değişimi	91
6.13 Üzülmez 3. Ocak Çay Piçi ayağının genel görünümü (Ölçeksiz).....	92
6.14 Üzülmez 3. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek).....	93

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.15	Üzülmöz 3. Ocak tavantaşları parlatma kesit görüntüleri (Paranın çapı 17 mm'dir.)... 94
6.16	Üzülmöz 3. Ocak Piriç Çay Piçi ayağı boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar 95
6.17	Üzülmöz 3. Ocak Çay Piçi ayağı boyuca RQD ve JCS'nin değışimi..... 95
6.18	Üzülmöz 4. Ocak Sulu ayağın genel görünümü (Ölçeksiz) 96
6.19	Üzülmöz 4. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek)..... 97
6.20	Üzülmöz 4. Ocak tavantaşları parlatma kesit görüntüleri 98
6.21	Üzülmöz 4. Ocak Sulu ayağı boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar..... 99
6.22	Üzülmöz 4. Ocak Sulu ayağı boyuca RQD ve JCS'nin değışimi..... 99
6.23	Kozlu 5. Ocak Kurul ayağın genel görünümü (Ölçeksiz)..... 100
6.24	Kozlu 5. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek) 101
6.25	Kozlu 5. Ocak tavantaşları parlatma kesit görüntüleri 102
6.26	Kozlu 5. Ocak Kurul ayağı boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar 103
6.27	Kozlu 5. Ocak Sulu ayağı boyuca RQD ve JCS'nin değışimi 103
6.28	Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul ayağın genel görünümü (Ölçeksiz)..... 104
6.29	Karadon (Gelik) 3. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek) 105
6.30	Karadon (Gelik) 3. Ocak tavantaşları parlatma kesit görüntüleri 106
6.31	Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul ayağı boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar 107
6.32	Karadon (Gelik) 3. Ocak Sulu ayağı boyuca RQD ve JCS'nin değışimi 107
6.33	Numune hazırlama işlemleri 109
6.34	Birinci seri kaboratuvar deneylerinde kullanılan numuneler 110
6.35	İkinci seri laboratuvar deneylerinde kullanılan numuneler..... 111
6.36	Nokta yükü deneyi yükleme koşulları: a) Eksenel yükleme b) Çapsal yükleme 113
6.37	Nokta yükü dayanım deneyi sonucunda kırılmış bazı numuneler 113
6.38	Tek eksenli basınç dayanımı deneylerinden bazı görüntüler 115
6.39	Statik elastik sabitler deneylerinden bazı görüntüler..... 119
6.40	Dolaylı çekme dayanım deneylerinden bazı görüntüler 120
6.41	Suda dağılma deneyinden bir görüntü 121
6.42	Suda dağılma deneyi numune hazırlama ve numunelerin kurutulması işlemleri..... 122
6.43	Altıncı çevrim sonunda bazı tavan kayaçlarının durumu 123

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
7.1	Kestirilen ve arazide ölçülen l_{im} değerleri.....	131
7.1	İncelenen ayaklarda K_{im} ile l_{im} arasındaki ilişki.....	136
9.1	Sınıflama sistemleri arasındaki niceliksel ilişkiler	155
A.1	Farklı tavan kayaçları için σ_{ci} ile σ_{tB} arasındaki ilişkiler	173

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 σ_{cm} ve E_m 'nin kestiriminde kullanılan yaygın görgül bağıntılar.....	13
2.2 Ayak arkasının göçmesinde etkili olan en genel değiştirgeler.....	20
3.1 Kozlu formasyonlarında yer alan kömür damarları (TÜSTAŞ 1989).....	29
3.2 Zonguldak Havzası kömür ve çevre kayaçlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Paşamehmetoğlu vd. 1989a-e).....	35
4.1 Farklı litolojilere göre hacimsel kabarma katsayıları (Unrug 1983).....	41
4.2 α çarpanının farklı tavan koşullarına göre değişimi (Everling, 1985'ten düzenlenerek).....	41
4.3 a, b ve c sabitlerinin farklı tavan koşulları için değişimi (Zhou, 1991'den düzenlenerek).....	42
4.4 Zhou (1991) yaklaşımına göre farklı damar kalınlıklarına göre yalancı tavan kalınlığının değişimi.....	42
4.5 Kaya kütesinin ayrışma - bozunma derecesi çarpanları (Protodyakonov 1964; Zhang'den 2010).....	47
4.6 Kaya kütesinin yorulma sabitleri (Protodyakonov 1964; Zhang'den 2010).....	47
4.7 Zonguldak Taşkömürü Havzası için η değerleri.....	51
4.8 Farklı tavan koşullarına göre, tavan sürtünme açıları ve sürtünme katsayıları, (Jacobi, 1981).....	57
5.1 K_1 , K_2 ve K_3 çarpanlarının çeşitli kayaçlar için aldıkları değerler (Unrug 1983).....	62
5.2 Tavan indeks puanına göre tavan taşlarının göçebilirlik sınıflandırılması (Bilinski ve Konopko 1973'ten değiştirilerek).....	62
5.3 Göçebilirlik indeks puanına göre tavan göçebilirlik sınıflaması (Singh vd. 1999).....	63
5.4 Süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımı puanlaması (Mark ve Molinda'dan değiştirilerek 2003).....	64
5.5 Süreksizlik sıklığı puanlaması (Mark ve Molinda 2005).....	66
5.6 Kayaçların suya olan hassasiyeti ile ilgili ceza puanları (Mark ve Molinda'dan değiştirilerek 2005).....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.7 Kömür madenciliğinde tavan puanı sınıflaması (Mark ve Molinda 2004).....	67
5.8 Laubscher Tavan Göçebilirliği Sınıflaması (Laubscher'dan düzenlenerek 1990)	68
5.9 Yalancı tavanın ortalama çatlak aralığı (J_{im}) ve ortalama tavan tabaka kalınlığı (h_b) göre c_1 ve c_2 katsayıları (Hongzhu, 1996).....	68
5.10 Dayanım indeks puanına göre yalancı tavanın sınıflandırılması (Hongzhu 1996)	69
5.11 Ana tavan tabakalarının sınıflaması (Hongzhu 1996)	70
5.12 Farklı damar kalınlıklarına göre ölçülen tavan sarkmaları (Korovkin 1982)	70
5.13 Venkateswarlu Tavan Sınıflaması (Venkateswarlu et al. 1989)	72
5.14 Das Tavan sınıflamasına ait girdi parametreleri ve sisteme olan etkileri	73
5.15 Das Tavan Duraylılığı Sınıflaması, (Das'dan düzenlenerek 2000)	74
6.1 Kaya kalite göstergelerinin sınıflandırılması (Deere 1968).....	80
6.2 Singh ve Gahrooe (1989) tarafından önerilen ayrışma-bozunma sınıflaması.....	82
6.3 Süreksizlik Aralığı Sınıflaması (ISRM 1981).....	85
6.4 Süreksizlik Devamlılığı Sınıflaması (ISRM 1981)	85
6.5 Fiziksel özellikler toplu sonuçlar	112
6.6 Kayaçların görünür porozitelerine göre sınıflandırılması.....	112
6.7 Nokta Yüğü Dayanım Deneyi Sonuçları	114
6.8 Nokta yüğü dayanım sınıflaması (Bieniawski 1975)	114
6.9 Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları.....	116
6.10 Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı için önerilen sınıflandırma (ISRM, 1981).....	116
6.11 Tavan tabakalarının tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması (kuru şartlar altında).....	117
6.12 Tavan tabakalarının tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması (doygun şartlar altında).....	117
6.13 Bazı kayaçların doygun şartlar altındaki tek eksenli basınç dayanımlarının kuru şartlar altındaki tek eksenli basınç dayanımlarına oranı	118
6.14 Statik elastik sabitler deney sonuçları.....	118
6.15 Dolaylı çekme deneyi sonuçları	120
6.16 Suda dağılma dayanımı indeksi için önerilen sınıflandırma (Gamble 1971).....	124
6.17 Suda dağılma deney sonuçları.....	124

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
7.1 Üzülmez 1. Ocak Çay Ayağın göçebilirlik durumu	125
7.2 Üzülmez 2. Ocağın Göçebilirlik Durumu (Tavantaşı konglomera)	126
7.3 Üzülmez 2. Ocağın Göçebilirlik Durumu (Tavantaşı Silttaşı).....	126
7.4 Üzülmez 3. Ocağın Göçebilirlik durumu	127
7.5 Üzülmez 4. Ocağın göçebilirlik durumu.....	127
7.6 Kozlu 5. Ocağın göçebilirlik durumu	128
7.7 Karadon (Gelik) 3. Ocağın göçebilirlik durumu	128
7.8 Yalancı tavan kalınlıklarının kestirilmesi	130
7.9 Görgül bağıntıda kullanılan değiştirgeler	130
7.10 Farklı araştırmacılara göre Üzülmez 1. Ocak Çay Ayağın E_m değerleri	132
7.11 Farklı araştırmacılara göre Üzülmez 2. Ocak Piriç Ayağın E_m değerleri Tavantaşı konglomera)	133
7.12 Farklı araştırmacılara göre Üzülmez 2. Ocak Piriç Ayağın E_m değerleri (Tavantaşı silttaşı)	133
7.13 Farklı araştırmacılara göre Üzülmez 3. Ocak Çay Piçi Ayağının E_m değerleri	134
7.14 Farklı araştırmacılara göre Üzülmez 4. Ocak Sulu Ayağın E_m değerleri	134
7.15 Farklı araştırmacılara göre Kozlu 5. Ocak Kurul Ayağın E_m değerleri.....	135
7.16 Farklı araştırmacılara göre Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul Ayağın E_m değerleri.....	135
7.17 İncelenen ayaklardaki K_{im} ve l_{im} değerleri.....	136
7.18 Tez çalışmasında önerilen tavan katılığı sınıflaması	136
8.1 Sınıflama sisteminde kullanılan ana değiştirgeler.....	137
8.2 Zonguldak Taş Kömürü Havzası uzunayakları için geliştirilmiş tavan göçebilirlik sınıflaması.....	141
8.3 Göçebilirlik Sınıflaması ceza puanları ve ceza çarpanı	142
8.4 Önerilen tavan göçebilirliği puanlaması	143
9.1 Üzülmez 1. Ocak Çay ayağın önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği	146
9.2 Üzülmez 2. Ocak Piriç ayağın önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği (Tavantaşı konglomera).....	147
9.3 Üzülmez 2. Ocak Piriç ayağın önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği (Tavantaşı silttaşı)	148
9.4 Üzülmez 3. Ocak Çay Piçi ayağının önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği...	149

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
9.5	Üzülmöz 4. Ocak Sulu ayağın önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği	150
9.6	Kozlu 5. Ocak Kurul ayağın önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği.....	151
9.7	Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul ayağın önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği.....	152
9.8	Önerilen göçebilirlik sınıflamasına göre incelenen ayakların göçebilirlik durumları...	153
9.9	Göçebilirlik sınıflama sistemlerinin karşılaştırılması.....	154

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
EK A Zonuldak Taşkömürü Havzası Tavan Tabakalarının Tek Eksenli Çekme Dayanımının Kestirilmesi İçin Bir Görgül Bağıntının Geliştirilmesi	169

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: Hoek Brown sabiti (üstel katsayısı)
A	: Alan
b	: Kiriş genişliği
c	: En dış lifin tarafsız eksene olan uzaklığı
c_m	: Kaya kütlesi kohezyonu
c_1	: Ortalama çatlak aralığının bir fonksiyonu
c_2	: Yalancı tavan kalınlığının bir fonksiyonu
D	: Numune çapı
d_a	: Yalancı tavan sarkma miktarı
D_e	: Eşdeğer karot çapı
D_k	: Bilinski ve Konopko yaklaşımındaki karot çapı
e	: Boşluk oranı
E_i	: Kaya malzemesi deformasyon modülü
E_m	: Kaya kütlesi deformasyon modülü
E_t	: Teğetsel deformasyon modülü
E_{ort}	: Ortalama deformasyon modülü
F	: Feldispat
f_a	: Protodtakonov kaya kütlesinin ayrışma-bozunma durumu çarpanı
F_1	: RQD hesaplamalarındaki ortalama karot parça boyu
f_s	: Protodtakonov kaya kütlesinin çatlaklılık durumu çarpanı
f_t	: Protodtakonov kaya kütlesinin zamana bağlı yorulma
g	: Üstel bir katsayı
G	: Ağırlık merkezi
h	: Kiriş yüksekliği
H	: Kömür damar kalınlığı
h_b	: Yalancı tavan tabakası kalınlığı
h_f	: Arakesme kalınlığı
h_{im}	: Yalancı tavan kalınlığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

h_m	: Ana tavan kalınlığı
I	: Dikdörtgen şeklindeki kesitin eylemsizlik momenti
I_h	: Tavan göçebilirlik indeksi puanını
I_{d2}	: İkinci çevrime karşılık gelen suda dağılmaya karşı dayanım indeksi değeri
I_{d4}	: Dördüncü çevrime karşılık gelen suda dağılmaya karşı dayanım indeksi değeri
I_{s50}	: Nokta yükü dayanımı
$I_{s50\perp}$: Tabakalanma doğrultusuna dik nokta yükü dayanımı
$I_{s50//}$: Tabakalanma doğrultusuna paralel nokta yükü dayanımı
J_s	: Eklem aralığı
KP	: Kayaç Parçası
K_0	: Orijinal kabarma katsayısı
K_r	: Kalıcı Kabarma katsayısı
K_{im}	: Yalancı tavan katılığı
K_1	: Kayacın yerinde basınç dayanımını ifade eden bir çarpan
K_2	: Kayacın zamanla yorulma özelliğini gösteren bir çarpan
K_3	: Kayacın suya olan hassasiyetini gösteren bir çarpan
L_a	: Arın ile son tahkimat ünitesi arasındaki yatay mesafe
l_1	: Gevşek göçük genişliği
l_2	: Sıkışmış göçük genişliği
l_{im}	: Yalancı tavan kırılma mesafesi
L	: Numune boyu
L_c	: Tavan indeks puanı
L_k	: Bilinski ve Konopko yaklaşımındaki karot boyu
M	: Mika
m_b	: Hoek Brown dayanım sabiti (kaya kütlesi için)
m_i	: Hoek Brown dayanım sabiti (kaya malzemesi için)
M_{max}	: En yüksek moment
MR	: Modül Oranı
n	: Görünür Porozite
N	: Ana tavan duraylılık indeks puanı
O	: Opak Mineral

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

P	: Tahkimata etkiyen yük
Q	: Kuvars
q	: Düzgün yayılı yük
R_L	: Schmidt çekici geri sıçrama sayısı
Std.s	: Standart Sapma
S	: Protodtakonov silindirik numunenin çapı
s	: Hoek Brown sabiti (kaya kütlesi çatlaklılık derecesi göstergesi)
t	: Zaman
V_t	: Tahkimat ve arın arasında kalan blok hacmi
V_a	: Askıda kalan blok hacmi
ν_t	: Teğetsel Poisson oranı
w_a	: Ağırlıkça su emme
\bar{x}	: Ortalama
θ	: Tavan kırılma açısı
α	: Everling yaklaşımı katsayısı
α_l	: Ayak eğimi
Ω	: Protodtakonov kaya malzemesinin dayanımını ifade eden bir sabit
σ_{cm}	: Kaya kütlesinin tek eksenli basınç dayanımı
σ_{ci}	: Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı
σ_{tB}	: Kaya malzemesinin dolaylı çekme dayanımı
σ_{max}	: En yüksek gerilme
σ_{tm}	: Kaya kütlesi tek eksenli çekme dayanımı
σ_c	: boy/çap oranı 1 olan kayacın tek eksenli basınç dayanımı
σ_v	: Düşey ikincil gerilme
γ_{im}	: Yalancı tavan birim hacim ağırlığı
γ_{sat}	: Doygun birim hacim ağırlık
γ_s	: Tane birim hacim ağırlığı
γ_d	: Kuru birim hacim ağırlık
μ	: Tavan sürtünme katsayısı
λ	: Metre başına düşen eklem sayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

C _Ç	: Ceza Çarpanı
CMRR	: Kömür Tavan Duraylılık İndeksi Puanı
C _P	: Ceza Puanı
D _{GB}	: Düzeltilmiş Göçebilirlik Puanı
DIR	: Eklem Sıklık Puanı
DP	: Dayanım Puanı
FS	: Eklem Aralığı
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
JCS	: Eklem Yüzey Dayanımı
JRC	: Eklem Pürüzlülük Katsayısı
RQD	: Kaya Kalite Göstergesi
RMR	: Jeomekanik Sınıflama Sistemi
OYY	: Ortalama Yük Yoğunluğu
T _{GP}	: Temel Göçebilirlik Puanı
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. KONUNUN ÖNEMİ

Uzunayak madencilğinde ayak arkasının göçmesi ve/veya göçertilmesi, etkin bir tabaka kontrolünün sağlanması, üretim verimliliği ile can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi açısından oldukça önemlidir. Yaygın olarak arına paralel ahşap tahkimatın uygulandığı Zonguldak Havzası uzunayaklarında bu konu daha da önem kazanmaktadır. Ayak arkasının göçmesi, yani yalancı tavanın son domuzdamı arkasından kırılması, arının ve tahkimat ünitelerinin aşırı yüklenmesinin önlenmesi açısından hayati önem arz etmektedir. Zor geçebilen veya geçmeyen bir yalancı tavanın ayak ilerlemesine bağlı olarak kırılmayışı, tahkimat ünitelerini aşırı tavan yüklerine ve arının yüksek ikincil gerilmelere maruz kalmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak, arın patlamaları ile göçük olaylarının bu bölgelerde sıklıkla görülmesi olasıdır. Bu açıdan bakıldığında, ayak arkasının göçmesi ve/veya göçertilmesinin etkin bir tavan kontrolü için ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Bu kapsamda, planlanan ya da çalışılan bir uzunayakta tavanın geçebilirliğinin önceden kestirilmesi ve buna bağlı olarak gereken önlemlerin alınması mühendisler için büyük kolaylık sağlayabilecektir.

1.2 TEZİN AMACI

Bu tez çalışmasının amacı yukarıda anlatılanlar doğrultusunda Zonguldak Taşkömürü Havzası için bir tavan geçebilirlik sınıflaması yapılarak farklı ayakların geçebilirlik durumları niceliksel olarak ortaya koymak, ocak mühendisleri tarafından rahatlıkla kullanılabilen bir tavan geçebilirliği sınıflamasını geliştirmektir.

1.3 TEZİN KAPSAMI

“Zonguldak Havzası Uzunayakları için bir göçebilirlik sınıflamasının geliştirilmesi” başlıklı bu tez çalışması on bölüm olarak düzenlenmiştir. Bölümlerde ayrıntılı olarak işlenen konular aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Birinci Bölümde:

- i. Tez çalışmasının önemi, amacı, kapsamı ve içeriğine ilişkin genel bilgiler yer almaktadır.

İkinci Bölümde:

- i. Göçme olayının tanımlanması
- ii. Göçmeye etki eden kavramlar
- iii. Yalancı tavan çeşitleri
- iv. Tipik göçme davranışları bulunmaktadır.

Üçüncü Bölümde:

- i. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın jeolojik ve jeomekanik özellikleri literatürden özetlenerek bu bölümde verilmiştir.

Dördüncü Bölümde:

- i. Yalancı tavan kalınlığının belirlenmesinde kullanılan doğrudan ve dolaylı yöntemler
- ii. Tavan katılığının kestirimi
- iii. Kaya kütlelerinin jeomekanik özelliklerinin kestirimi
- iv. Bir uzunayağa etkiyen kuvvetlerin tanımlanması
- v. Ayak arkasının kırılma mesafesinin belirlenmesi gibi önemli hususlara değinilmiştir.

Beşinci Bölümde:

- i. Literatürde yer alan tavan göçebilirlik sınıflamaları ve bu sınıflama sisteminde kullanılan değıştirmelerin toplu gösterimi yer almaktadır.

Altıncı Bölümde:

- i. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda farklı katlarda ve farklı özelliklerdeki ayaklarda arazi çalışmaları ve bu bölgelerden alınan örnekler kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarına yer verilmiştir.

Yedinci Bölümde:

- i. İncelenen ayakların göçebilirlik durumları araştırılmıştır.

Sekizinci Bölümde:

- i. Zonguldak Taşkömürü Havzası için bir göçebilirlik sınıflaması önerilmiş ve detayları ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Dokuzuncu Bölümde:

- i. Önerilen göçebilirlik sınıflaması ile önceki göçebilirlik sınıflamaları karşılaştırılarak, benzerlik ve farklılıklar tartışılmıştır.

Onuncu Bölümde:

- i. Önerilen geliştirilen göçebilirlik sınıflamasının uygulanabilirliğine ilişkin sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

BÖLÜM 2

UZUNAYAK MADENCİLİĞİNDE AYAK ARKASININ GÖÇMESİ

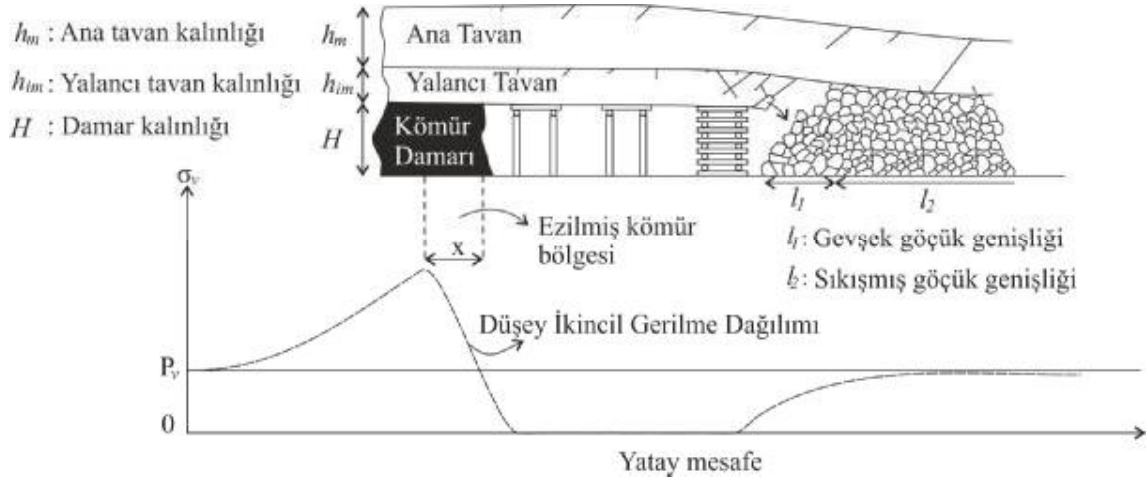
2.1 GENEL DÜŞÜNCELER

Göçertmeli bir uzunayak tasarımında göçme mekanizmasının araştırılması ve tanımlanması için yalancı tavan kalınlığının veya göçme yüksekliğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Kömür damarı üzerindeki tavan tabakalarının üst yüzeylerinin gözlemlenememesi ve göçme mekanizmasının ortamdaki ortama değişkenlik göstermesi, genel olarak göçme olayının tam olarak anlaşılmasını güçleştirmektedir. Aynı zamanda, araziden veri toplamanın zorluğu sebebiyle, göçme olayının tanımlanması genellikle yarı-kuramsal ve kuramsal yaklaşımlar ile açıklanmaktadır (Ghose 1976).

Kuramsal yaklaşıma göre; uzunayakta başyukarı sürüldüğünde, arazi basıncının dağılımı bakir bir ortamda açılmış galerideki basınç dağılımına benzetilebilir. Daha açık bir ifade ile; yeraltında, tavan ve taban tabakaları arasında yer alan kömür damarı ve çevresi üretime hazırlanmadan önce doğal arazi gerilmeleri altındadır. Kömürde sürülen alt ve üst tabanyollarının bir başyukarı ile birleştirilmesi ile birincil gerilmelerin doğrultu ve büyüklükleri değişerek ayak çevresinde ikincil gerilmeler meydana gelmektedir. Tavan çevresinde oluşan ikincil gerilmelerin etkisinden kurtulan tavan tabakalarında kendi ağırlığı altında sarkma gösteren kiriş davranışı nedeniyle eğilme ve deformasyonlar artacaktır. Ayak ilerledikçe de ayak gerisinde kalan tavan tabakaları belirli aralıklarla göçecektir (Şekil 2.1).

Şekil 2.1'de uzunayaktaki düşey ikincil gerilmelerin (σ_v) damarın tabanında yer alan noktalarda ve arına dik bir kesit doğrultusunda olan değişimi yer almaktadır. Arındaki kömürün genellikle biraz yenildiği durumlarda, arının belirli bir miktar önünde ikincil düşey gerilmeler en büyük değerini alırken, ayak içerisinde sifıra düşen düşey ikincil gerilmeler göçük bölgesinde hafifçe artmaya başlar. Nihayet, ayak gerisinde sıkışmış göçük bölgesinde düşey ikincil gerilmeler birincil gerilme değerine ulaşmaktadır.

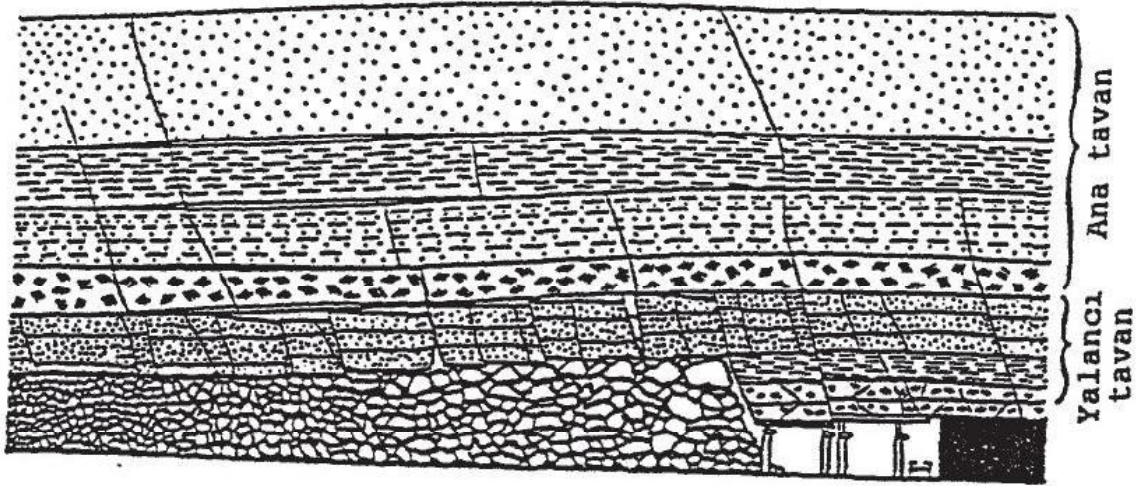
İngiltere ve Almanya kömür sahalarında yapılan yerinde gözlem ve incelemeler en yüksek düşey ikincil gerilmeler Şekil 2.1’de ifade edilen x mesafesinde; sert kömürlerde arın önünde $x = 1-3$ m, yumuşak kömürlerde ise $x = 5-10$ m olduğunu göstermiştir (Whittaker 1975). Tavan tabakalarındaki yenilmelere sebep olan etkenler farklı arazi koşulları ve kayaç türlerine göre değişmektedir. Ancak, göçme olayında tavan tabakalarının yükler altındaki davranışını genellikle tavan taşının çekme dayanımları kontrol etmektedir (Kidybinski 1974).



Şekil 2.1 Uzunayak tavanındaki düşey ikincil gerilmelerin damar tabanında ve arına dik bir kesit doğrultusundaki dağılımı (Birön ve Arıoğlu 1999’den değiştirilerek).

Farklı jeolojik şartlar ve stratigrafik olarak kömür damarı üzerinde yer alan tavan tabakaları; tabaka kalınlıkları, içerdiği süreksizlikler, bölgenin yeraltı su koşulları ile kayaçların ayrışma bozuşma durumları ve mekanik özellikleri dikkate alındığında, tavan tabakaları yalancı tavan ve ana tavan olarak iki gruba ayrılır.

Yalancı tavan aslında; ayağın ilerletilmesini takiben ayak gerisinde geçerek, buradaki üretim yapılan damar kalınlığı ile kendi kalınlığı toplamına yakın bir bölgeyi kırılmış bloklarla dolduran tavan tabakalarıdır. Yalancı tavan genellikle kırıklı, çatlaklı ve gevşemiş bir zon olarak tanımlanmakla birlikte, zaman zaman da duraylı olabilen, genellikle kömür damarının hemen üzerinde bir şerit şeklindeki kaya kütleleri olarak gözlenir. Ana tavan, kalınlığı yalancı tavadan fazla, az çatlaklı düzenli bloklar içeren genellikle sıkışmış göçük üzerinde bulunan tavan tabakalarıdır. Ana tavan genellikle, belirli aralıklarla geçerek, yalancı tavanın oluşturduğu doğal dolgunun üzerine yükleme yapar (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Ana tavanın yalancı tavan üzerine yaptığı yükleme ve kırılmış yalancı tavanın pekleşmesi (Kratzsch 1983; Bilir'den 1994).

Uzunayak kömür madenciliği, farklı kalınlıklarda ve litolojilerdeki tortul kayaçlar (kömür çevre kayaçları) içinde yapılmaktadır. Tavan tabakaları arazide düzgün bir biçimde tanımlanır ve tabaka geçişlerini gözle görmek mümkündür. Gözlemsel incelemeler ve arazide ölçülebilen büyüklükler dikkate alındığında göçme olayı farklı kapsamlar ile araştırılmalıdır.

İlerletimli veya dönümlü uzunayak madenciliğinde arın ilerlemesine bağlı olarak meydana gelen göçme olayı:

- i. Temel göçme mekanizmasının tanımlanması
- ii. Göçertme işlemleri ve uygulamaları
- iii. Fiziksel modeller ile tavan tabakalarındaki yenilme ve deformasyonların kestirimi
- iv. Göçmenin neden olacağı yeryüzü alçalmalarının (tasman) etkisi kapsamlarında incelenir (Jeremic 1985).

Göçme mekanizması, göçecek blokların geometrisi ve yalancı tavan tabakasının kalınlığı (h_{im}) dikkate alınarak tanımlanır. Tavan taşının sağlamlığı, kayaçların laboratuvar ve arazi deneyleri ile araştırılarak kaya malzemesi ve kaya kütlelerine ait fiziko-mekanik özelliklerin ortaya konması ile belirlenmektedir. Tavandan su geliri, göçmenin büyüklüğünü ve blok boyutunu etkilediğinden ayak boyunca yeraltı suyu haritalarının hazırlanması kritik yapısal bölgelerin çıkartılması konusunda yardımcı olabilir.

Yalancı tavan tabakası kalınlığının belirlenmesi, ise arazide düzenli olarak yapılan yük ölçümleri ve görgül bağıntılar ile karşılaştırarak ortaya konulmalıdır. Askıda kalan kaya blokları ile göçen kaya bloklarının hacimsel büyüklüklerinin karşılaştırılması tavan taşının kırılma mekanizmasının açıklanması hakkında bilgi verebilir (Siska 1972).

Sağlam tavan taşlarının olduğu bölgelerde (sert kumtaşı, konglomera ve kalın tabakalı kayaların olduğu bölgelerde), ayak arkasının kendiliğinden göçmesi uzun zaman alabilir ve çoğu kez ayak arkasındaki tavan tabakaları kendiliğinden göçmez. Böyle durumlarda, kontrollü patlatma ile ayak arkası göçertilerek arazideki gerilme kontrolü sağlanır. Bu sebepten göçertmeli uzunayak madenciliğinde tavan tabakalarının düzenli bir şekilde kırılması istenir (Birön ve Arıoğlu 1999).

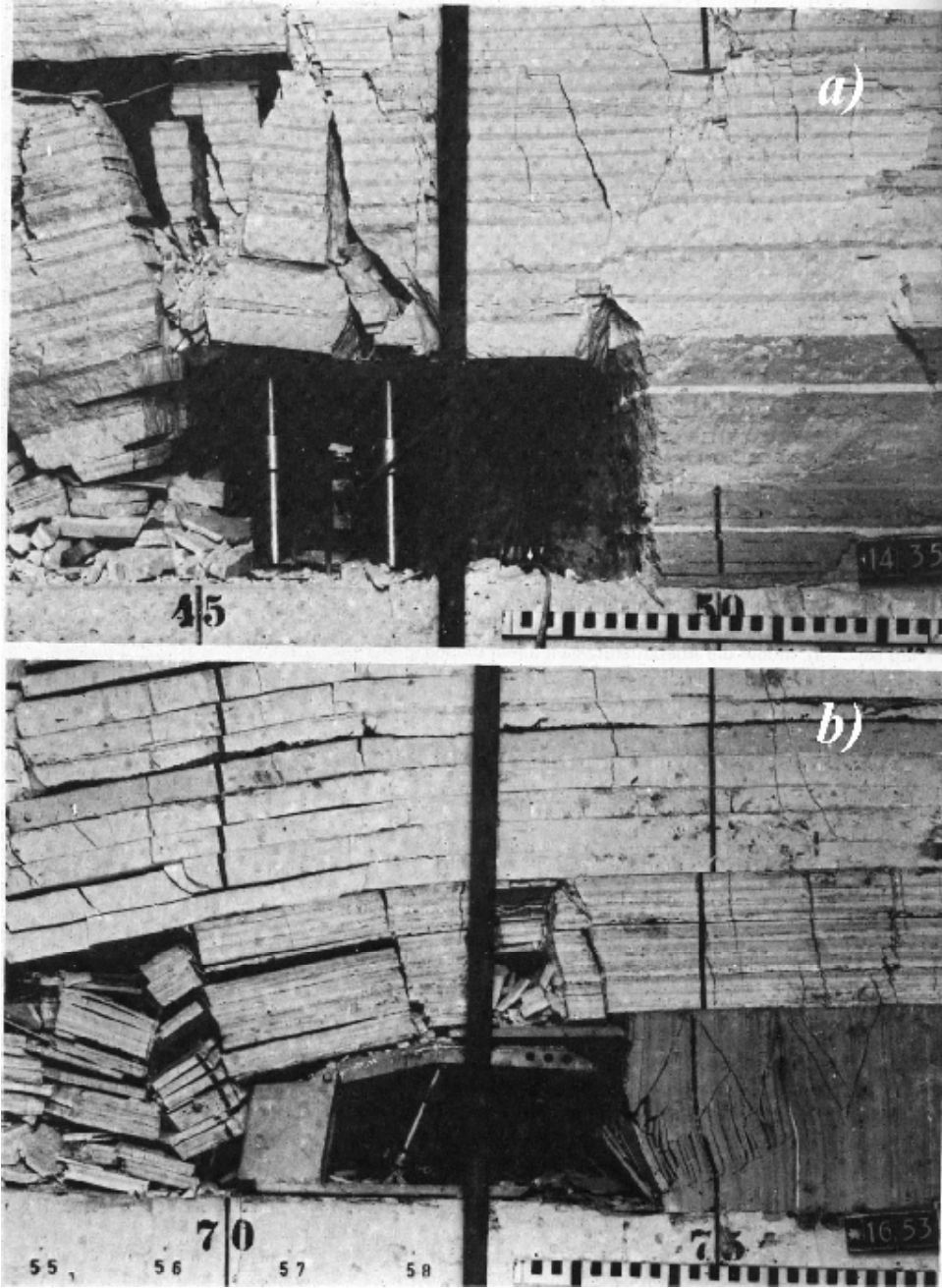
Göçme olayının laboratuvarında incelenmesinde bir başka araştırma yöntemi ise fiziksel modellerin oluşturulmasıdır. Uzunayak madenciliğinde tabaka kontrolü ve göçük araştırmalarında fiziksel modeller en çok kullanılan çalışma tekniklerinden biridir. Bu kapsamda Jacobi (1981), Jeremic (1985) ve Singh et al. (1999) göçük mekanizmasının araştırılması için ölçekli uzunayak modelleri oluşturarak farklı yüklemeler ile göçme olayını kavramsal olarak açıklamaya çalışmışlardır (Şekil 2.3).

Eğer uzunayak madenciliği yerleşim yeri altında yapılıyor ise göçüğün yüzeye etkisi ve binalarda olası hasarların belirlenmesi etraflıca araştırılmalıdır. Bu konuda Whittaker ve Jeremic (1979), Whittaker ve Breed (1977) ve Brauner (1973) uzunayak madenciliğinde göçüğün yüzeye etkisi ile ilgili ilk yaklaşımları ortaya koymuşlardır.

Jeremic'e (1985) göre göçük araştırmaları yukarıda özetlenen dört kapsamda incelenmelidir. Bu konular dışında tavan tabakalarının eğilme miktarlarının arazide ölçülmesi göçüğün boyutlarının ve yalancı tavanın kırılma mesafesinin belirlenmesinde değerlendirilebilir.

Tez çalışması kapsamında göz önünde bulundurulmuş Zonguldak Kömür Havzası'nda, klasik ahşap (arına paralel) tahkimatlı uzunayak madenciliği yapılmaktadır. Yalancı tavanın göçertilmesi için, ayak boyunca en gerideki haveye domuzdamı denilen pasif tahkimat elemanları yerleştirilmektedir (Şekil 2.4).

Domuzdamı, ayak açıklığı üzerindeki tavan tabakalarının kendi kendini tutmaya yardımcı olması ve ayak arkasındaki tavanın kırılarak göçmesini kolaylaştırması açısından önemli bir

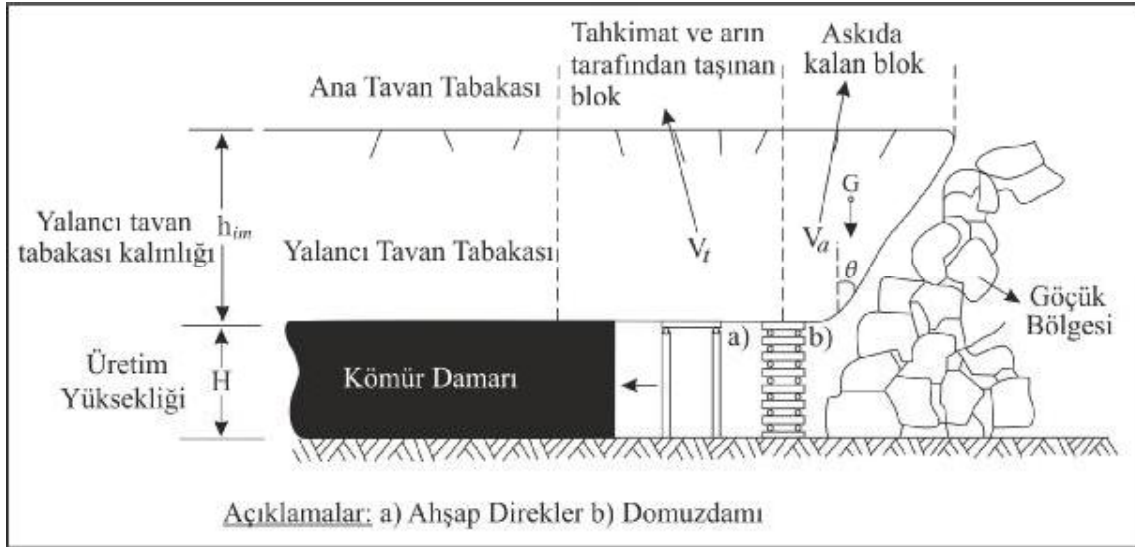


Şekil 2.3 Ayak arkasının göçebilirliğinin kavramsal olarak açıklanması için yapılmış fiziksel modeller: a) Hidrolik direk uygulaması b) Yürüyen tahkimat uygulaması (Jacobi 1981).

tahkimat elemanı olarak kullanılır. Üretim başladığında ayak arkasına yerleştirilen domuzdamı ile arın arasında çift taraflı bir mesnet oluşturularak tavan tabakaları desteklenmektedir. Ayak ilerledikçe, tahkimatın gerisine düşen tavan tabakaları tek taraflı ankastre bir kiriş gibi davranmaya başlar. Üretim devam ettikçe, domuzdamı sökülerek bir

ileriki haveye taşınır (Şekil 2.5). Böylece, ayak arkasındaki tavan tabakalarının eğilmesiyle üst yüzeylerinde çekme çatlakları oluşarak tavan taşında deformasyon ve eğilmeler artmaya devam eder.

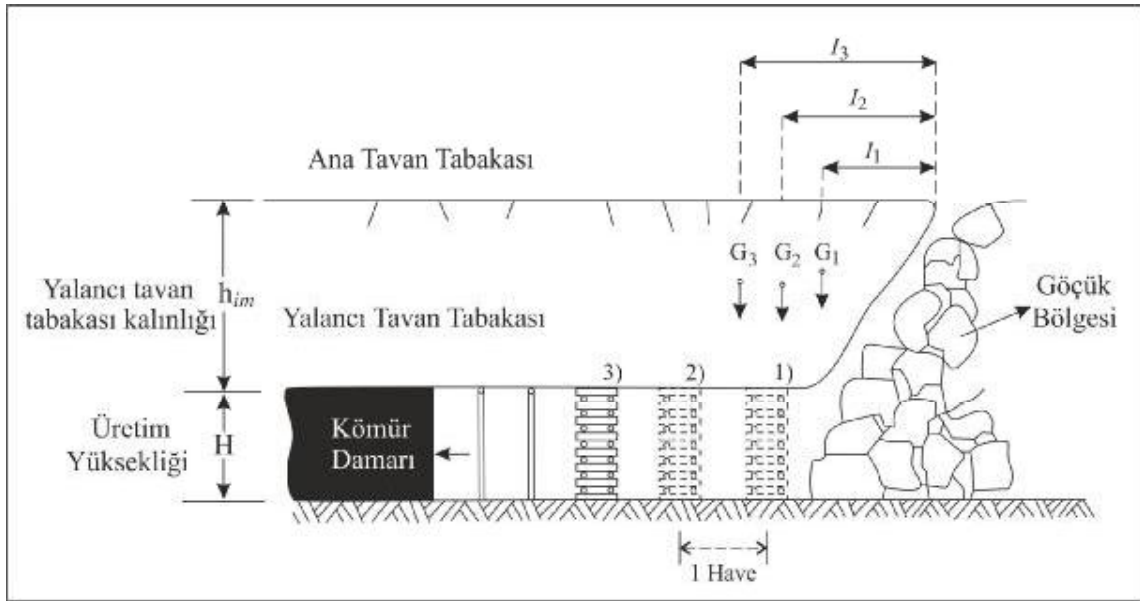
Tavan tabakalarındaki deformasyon ve eğilmeler kayacın farklı kırılma şekilleri ile göçmesi ile sonlanır. Ayak arkasında meydana gelen farklı tiplerdeki tavan kırılmalarına “**Uzunayak Madenciliğinde Göçme Olayı**” adı verilmektedir. Basit olarak, yalancı tavanın eğilerek gerçekleşen kırılma olayında; Şekil 2.4’de askıda kalan tavan bloğunun ağırlık merkezi (G noktası) görülmektedir. Ayak ilerledikçe askıda kalan, başka bir ifade ile, göçmeyen kiriş şeklindeki tavan bloğunun hacmi artmakta ve ilerleme yönüne doğru (I_1 , I_2 ve I_3 mesafelerine doğru) tavan bloğunun ağırlık merkezi sırasıyla G_1 , G_2 ve G_3 noktalarına ötelenmektedir (Şekil 2.5). Askıda kalan kaya bloğunun ağırlık merkezi domuzdamının düşey ekseninden ayrıldığında tavan bloğunda deformasyon ve eğilmeler artacak ve sonunda tavan taşı statik koşullar altında göçecektir.



Şekil 2.4 Uzunayak madenciliğinde göçme olayı ile ilgili genel kavramlar.

Söz konusu sistem tek mesnetli ankastre kiriş sistemine benzediğinden, göçmenin başka bir ifade ile tavan tabakalarının yenilmeleri inşaat mühendisliğindeki kiriş çözümlemesi ile belirli idealleştirmeler yapılarak analitik ve/veya sayısal olarak çözümlenebilir (Whittaker ve Reddish 1989, Diedrichs ve Kaiser 1999).

Göçme olayında; yalancı tavan tabakasının fiziko-mekanik özellikleri, süreksizlik durumu, yeraltı suyu durumu ve tavan tabakasının kalınlığı birinci derecede önemlidir. Yalancı tavan tabakasının kalınlığı göçmeyi zorlaştırmakta buna karşın süreksizlik içeren ve nispeten daha ince katmanlı tavan tabakalarının daha kolay göçmesi beklenmektedir. Su gelimini birinci derecede etkileyen tavan tabakasının içerdiği süreksizlikler (tabakalanma, şiztozite ve yapraklanma düzlemi, eklem takımları, fisürler vb.) göçme olayının fiziksel olarak boyutlandırılmasını belirleyen diğer bir etkidir.



Şekil 2.5 Ayak arkasında askıda bekleyen tavan tabakasının ayak ilerlemesine bağlı olarak ağırlık merkezlerindeki ötelenmesi.

Göçmeye etki eden bir başka faktör de, yalancı tavan tabakası üzerindeki ana tavan tabakasıdır. Ana tavan tabakası yalancı tavan üzerinde ölü bir yük oluşturmaktadır ve bu yüklemeye göçmeyi kolaylaştırmaktadır. Göçme olayına etki eden faktörler göçme mekanizmasını ve göçmenin boyutlarını belirlemekle kalmaz. Örneğin, göçmeyen tavanlarda tabaka kontrolü problemleri dikkate alınacağından bu dönemlerde üretim yapılamaz. Böylece işletmenin günlük üretim hızı düşer.

2.2 GÖÇMEDE ETKİLİ OLAN ÖNEMLİ DEĞİŞTİRGELER

2.2.1 Tavan Tabakalarının Dayanımı ve Katılığı

Kaya malzemesi ve kaya kütlelerinin dayanımı genellikle malzeme ve kütle boyutundaki malzemenin tek eksenli basınç dayanımları ile ifade edilmektedir. Tavan göçmesi genellikle kaya kütlelerinin çekme dayanımları ile ilişkilidir. Ancak tek eksenli basınç dayanımının, çekme dayanım değerlerine göre daha kolay belirlenebilmesi ve bu değerler ile arasında anlamlı ilişkilerin olması sebebiyle uygulamada pratik olarak tek eksenli basınç dayanımı kullanılmaktadır.

Bilindiği gibi, kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı, süreksizlik içermeyen karotlar üzerinde laboratuvar deneyleri ile belirlenirken, kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımı ise arazi deneyleri veya görgül bağıntılar yardımı ile belirlenebilmektedir. Tavanın göçebilirliğinde önemli bir değişken olan tavan dayanımı, farklı litolojik ve petrografik özelliklerdeki tavan tabakalarının içerdiği süreksizliklerin jeoteknik özellikleri ve ortamdaki su geliri ile doğrudan ilişkilidir. Göçme davranışı ve yalancı tavanın kırılma geometrilerini etkileyen bir değişken olarak tavan dayanımının yüksek olması tavan tabakalarının göçmesini zorlaştırırken, dayanımı düşük olan tavanlar ise daha kolay göçebilmektedir (Kenny 1969). Singh (1999), tavan tabakalarının göçertilebilirliği ile ilgili yaptığı çalışmalarda tavan tabakalarının tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) $\sigma_{ci} < 50$ MPa olduğu durumlarda tavanın kolayca göçebileceğini belirtmiştir.

Tavan katılığı veya rijitliği ise, tavanın süreksizlik durumu ile tavan tabakalarının deformasyon modülünün bir bileşkesi olarak tanımlanabilir. Tıpkı tavan tabakalarının dayanımı gibi göçme davranışını ve büyüklüğünü etkileyen tavan katılığı, yalancı ve ana tavanın kırılma mesafeleri üzerinde de etkilidir (Singh 1999). Süreksizlik düzlemleri boyunca genellikle eğilme ve kayma hareketlerinin bir bileşkesi olarak meydana gelen göçme olaylarında etkili olan tavan katılığının pratik uygulamalarda kullanılması gereken önemli bir değişken olduğu bilinmektedir.

Tavan katılığı özetle, kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}) ve deformasyon modülü (E_m) ile tanımlanabilir. Kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımı ve deformasyon modülü günümüzde çoğunlukla görgül bağıntılar kullanılarak tahmin edilmektedir. σ_{cm} 'nin kestiriminde Çizelge 2.1'de verilen araştırmacıların önerdikleri görgül bağıntılar

uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağıntılardan bazıları ilerleyen bölüm ve/veya bölümlerde kullanılacak ve yeri geldiğinde ilgili görgül bağıntılar detayları ile verilecektir.

Çizelge 2.1 σ_{cm} ve E_m 'nin kestiriminde kullanılan yaygın görgül bağıntılar.

Araştırmacı	Yayın Tarihi	σ_{cm}	E_m	Araştırmacı	Yayın Tarihi	σ_{cm}	E_m
Protodyakonov	1964	✓	-	Read et al.	1999	-	✓
Bieniawski	1978	-	✓	Barton	2000	✓	-
Hoek ve Brown	1980	✓	-	Barton	2002	-	✓
Serafim ve Pereira	1983	-	✓	Hoek et al.	2002	✓	✓
Yudhbir	1983	✓	-	Gökçeoğlu vd.	2003	-	✓
Laubscher	1984	✓	-	Kayabaşı vd.	2003	-	✓
Ramamurthy	1986	✓	-	Kim et al.	2003	-	✓
Nicholson ve Bieniawski	1990	-	✓	Hoek	2004	✓	-
Grimstad ve Barton	1993	-	✓	Ramamurthy	2004	-	✓
Mitri et al.	1994	-	✓	Sönmez et al.	2004	-	✓
Kalamaras ve Bieniawski	1995	✓	-	Zhang ve Einstein	2004	-	✓
Bhasin ve Grimstad	1996	✓	-	Hoek ve Diedreichs	2006	-	✓
Sheorey	1997	✓	-	Sönmez vd.	2006	✓	✓
Aydın ve Dalgıç	1998	✓	-	Beiki et al.	2012	-	✓
Hoek ve Brown	1998	-	✓	Shen et al.	2012	-	✓
Trueman	1998	✓	-				

2.2.2 Damar Kalınlığı ve Damar Eğimi

Uzunayak madenciliğinde damar kalınlığı, özellikle rezerv durumunu ve yalancı tavan kalınlığını doğrudan etkilemesi ile önemlidir. Ayrıca damar kalınlığı ve damar eğiminin tahkimata etkiyen yükleri de etkilediği bilinmektedir. Ghose ve Dutta (1987), Hindistan kömür madenlerinde yaptıkları araştırmalar sonucunda artan damar kalınlığının ayak arkasının göçmesini zorlaştırdığını ortaya koymuştur. Damar kalınlığının başka bir etkisi de, kalınlıktaki artışın bütün damarın tek seferde alınmasını ve tahkimatın sökülmesini zorlaştırmasıdır (Saltoğlu 1988). Benzer şekilde, artan damar eğimi de, yer çekimi etkisini azalttığı buna karşın birbirinden bağımsız bloklar arasındaki sürtünmeyi arttırması sebebiyle ayak arkasının göçmesini zorlaştırmaktadır (Jacobi 1981).

Çoğunlukla yalancı tavan kalınlığını etkileyen damar kalınlığı olurken, tahkimata gelen yükler ise her iki büyüklüğe (kalınlık ve eğime) göre değişmektedir (Jacobi 1981). Yalancı tavan kalınlığını ve tahkimata gelen yüklerin büyüklüklerini etkilemesi sebebiyle, söz konusu değişkenlerin (damar kalınlığı ve eğiminin) tabaka kontrolünde önemli bir yer tuttuğu

anlaşılmaktadır. Bu sebepten ayak arkasının göçmesi ile ilgili çalışmalarda bu büyüklükler de göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2.3 Tavan Litolojisi

Kömür tavan ve taban tabakalarının litolojileri göz önünde bulundurulduğunda, tavan kayacındaki litolojik değişikliklerin tabaka hareketlerini ve tahkimat tasarımını doğrudan etkilediği bilinmektedir. Kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, marn, şeyl, çamurtaşı ve zaman zaman konglomera olan kömür çevre kayaçları, gerek tane boyutları gerekse yükler altındaki malzeme davranışları açısından farklılıklar göstermektedir.

Kil içeren kayaçlar genellikle sünümlü malzeme davranışı gösterirken; kumtaşı, konglomera gibi kayaçlar ise daha ziyade gevrek malzeme davranışı sunmaktadır. Bu farklı malzeme davranışları ve kayaçların dayanımları arasındaki farklılıklar tavan tabakalarının duraylılığı ve göçme mekanizmalarını etkilemektedir. Bu tip kaya malzemelerin dayanım özellikleri de farklı olduğundan, litolojinin göçme davranışı üzerinde etkili olduğunu ileri sürmek yerinde olacaktır. Aynı litolojide ve mineralojik bileşimdeki kayaçlarda ise tane boyutu ve sedimanter kayaçlardaki çimentolanma dereceleri göçme olayında etkilidir. Başka bir ifade ile, sedimanter kayaçların tane boyutu azaldığında dayanımları genellikle artmaktadır.

Ayrıca, tavan litolojisinin tavan duraylılığı ve ayak arkasının göçmesine olan etkisini Das (2000) detaylı olarak araştırmıştır. Buna göre, zayıf ve karbonlu şeyller çok kolay göçebilen tavanlar olarak tanımlanırken, kumlu şeyler, silttaşları orta zorlukta göçebilen tavanlar ve sert kumtaşları ise zor göçebilen tavanlar olarak tanımlanmaktadır.

2.2.4 Yalancı Tavan Kalınlığı

Tabaka kontrolünde belirlenmesi gereken en önemli büyüklüklerden birisi yalancı tavan kalınlığıdır. Yalancı tavan, damarın hemen üzerinde bulunan ve tahkimatın ilettilmesini takiben göçen tabaka veya tabakalardır. Bu tabakalar kırıldığı ve göçtüğü için üretim doğrultusu boyunca yatay yükleri taşıyamazlar. Bu yüzden bunların ağırlığının tamamı ayakiçi tahkimat elemanları tarafından taşınır. Mekanik davranışları bakımından yalancı tavanlar; duraysız, yarı duraylı ve duraylı olmak üzere üç farklı grup altında incelenir (Peng ve Chiang 1984).

Duraysız yalancı tavanlar, genellikle bol çatlaklı kumlu şeyl, karbonlu şeylerden meydana gelir. Ayak ilerledikten sonra tavan hemen göçer, yani tavan sarkması genellikle gözlenmez (Peng ve Chiang 1984). Tavan çatlaklarının devamlılıkları düşük buna karşın aralıkları sıktır. Bu tip tavanlarda ayak arkası göçüğü genellikle kayaçların kabarma durumları ile ilişkilidir.

Yarı duraylı yalancı tavanlar ise genellikle sert kumlu şeyl, kumlu şeyl, düşük dayanımlı orta/iri taneli kumtaşlarından oluşur. Tavan çatlaklarını tanımlamak zordur. Ayak ilerledikçe ayak arkası belirli zamanlarda göçmektedir. Göçme davranışı genellikle irili ufaklı bloklar şeklindedir. Göçük hattı, son domuzdamının hemen ardından başlayabileceği gibi kısa mesafelerde (0,5 m-1 m arasında) kendini gösterebilir.

Duraylı yalancı tavanlar; genellikle konglomera, silttaşı ve ince taneli kumtaşlarından oluşmaktadır. Tabaka kalınlıkları diğer yalancı tavan çeşitlerine göre daha kalın olduğundan genellikle bu tip tavanlar genelde periyodik olarak kırılmaktadır. Yalancı tavan genellikle damar kalınlığından fazladır ve tavan çatlakları rahatlıkla gözlemlenebilir. Arın ilerledikçe gelişen ikincil çatlakların tektonizma ile oluşan çatlaklardan ayırt etmek zor da olsa mümkündür. Bu tavanlar, geniş açıklıklarda bile duraylılıklarını kaybetmezler ve bu tavanlar genellikle patlatma ile göçertilmektedir. Bu tip tavanlar, tabaka kontrolü açısından sorunlu olup uygulamalarda istenmeyen durumlar yaratmakta, göçertilmedikleri takdirde ayak arının ezilmesine ve tahkimatların aşırı yüklere maruz kalmasına sebep olmaktadır.

Uygulamalarda yalancı tavan kalınlığı, doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde belirlenebilmektedir. Doğrudan yalancı tavan kalınlığının belirlenmesinde hidrolik yük ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Domuzdamı, sarma ve/veya hidrolik direkler altında yerleştirilen hidrolik yük ölçerler, gevşemiş tavanın tahkimat elemanları üzerine ne kadarlık bir yükleme yaptığını göstermektedir. Dolaylı yöntemde ise daha önce yapılmış ve önerilmiş görgül bağıntılar kullanılarak tavan yükleri ve yalancı tavan kalınlığı gibi büyüklükler tahmin edilmektedir.

Süreksizliklerin jeoteknik özellikleri, bölgesel tektonik ve tavan litolojisi kontrolünde olan yalancı tavan ayak arkasının göçmesinde de değerlendirilmesi gereken bir değiştir. Yalancı tavan kalınlığının artması tahkimata gelen yükleri artırmakta, buna karşın blok kenetlenmeleri (askıda kalan irili ufaklı kaya bloklarının göçmeyi zorlaştırması) ve yalancı tavanın kırılma mesafesinin artması gibi sebeplerden dolayı ayak arkasının göçmesini

zorlaştırmaktadır. Yukarıda üç alt grupta toplanan yalancı tavan kalınlığının büyüklüğü ise, genellikle damar kalınlığının 2–8 katı arasında değişmektedir (Peng ve Chiang, 1984).

2.2.5 Üretim Derinliği

Üretim derinliğinin artması ile düşey ve yatay birincil arazi gerilmeleri genellikle artmaktadır. Bu da, dolaylı olarak artan asal ikincil gerilmelerin yalancı ve ana tavanda tabakalanma düzlemlerine dik veya dike yakın (en büyük asal ikincil gerilme doğrultusuna paralel) çatlak sistemlerinin oluşturması anlamına gelmektedir (Şekil 2.2). Tavanın çatlaklılık durumu arttıkça kaya kütle dayanımı ile katılığı azalacak ve tavan tabakaları daha kolay göçecektir.

Ghose ve Dutta (1987), Hindistan kömür madenlerinde yaptıkları çalışmalarda; 1000 m- 750 m derinliklerdeki uzunayaklar için çok kolay göçebilen, 750 - 500 m derinlikteki uzunayakların kolay göçebilen, 500 m- 250 m arasındakilerin normal göçebilen, 250 m - 80 m arasındaki uzunayaklar için zor göçebilen ve 80 m'den daha az derinlikteki uzunayak tavanlarının ise çok zor göçebilen tavanlar olduğunu belirtmiştir. Buradan da üretim derinliğinin artmasının tavanın çatlaklılık durumunu artırdığı ve sonuç olarak ta ayak arkasının göçmesini kolaylaştırdığı anlaşılmaktadır.

Benzer şekilde, Sikora ve Kidybinski'nin (1977) tabanyollarında tahkimat tasarımı için geliştirdiği “Tavan Stabilité İndeksi” yaklaşımına göre, üretim derinliğinin artmasının tavan duraylılığını azalttığı, başka bir ifade ile göçmeyi kolaylaştırdığı belirtilmektedir.

2.2.6 Ayakiçi Tahkimat Elemanları

Madencilikte tahkimat; madencilik amacıyla yeraltında açılan boşluğu, işin gerektirdiği sürece emniyetli olarak ayakta tutmak için alınan mühendislik önemlerinin tümü olarak tanımlanmaktadır (Birön ve Arıoğlu 1980). Tahkimat elemanlarının bir başka kullanım amacı ise, ayak arkasının göçmesini kolaylaştırmasıdır. Ayak arkasına kurulan domuzdamları, uygun katılıkta ve doğru kurulmuşsa ayak arkasının göçmesine yardımcı olurken, aksi durumlarda ayak arkasının göçmesini zorlaştırmaktadır.

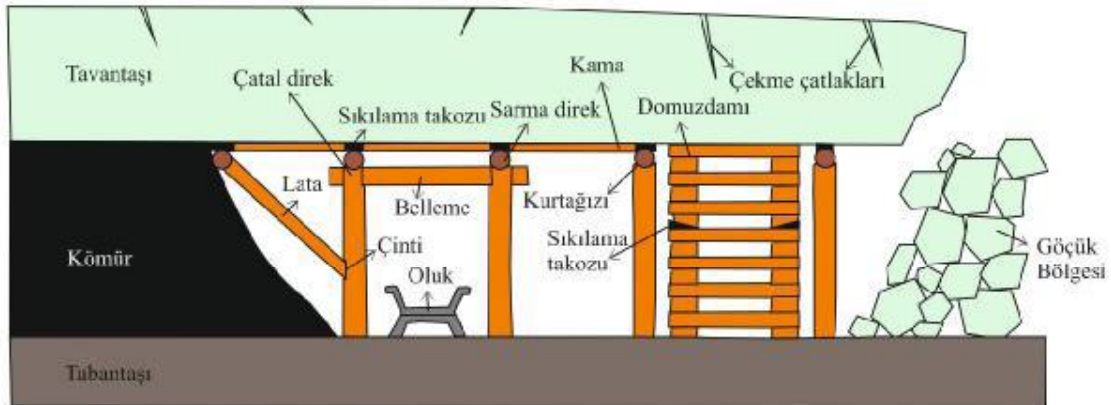
Ayak arkasının göçmesi veya göçertilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli pasif tahkimat elemanı domuzdamıdır. Domuzdamı; ayak arkasını göçertmeye yarayan, sert ağaç direklerden yapılmış, yük taşıma kapasitesi ve katılığı yüksek düzeneklerdir. Ahşap domuzdamları; genellikle 20x20 cm kesitli aynı uzunluktaki (80-150 cm, genellikle 120 cm)

ve paralel konumlu ahşap direklerin her kat birbirine dik olacak şekilde, üst üste düzenli olarak yığılmasıyla oluşturulur (Şekil 2.6). Geleneksel olarak, ülkemizde domuzdamı direkleri 30 cm çapındaki sert ağaçların (meşe, kayın, gürgen) dört taraftan 5'er cm'lik kısımlarının tıraşlanmasıyla elde edilir (Ünlü ve Gerçek, 2000). Domuzdamları, yeraltı madenciliğinde değişik uygulama alanlarına sahiptir. Bunlardan en önemlileri Ünlü ve Gerçek'e (2000) göre aşağıdaki gibi sıralanır:

- i. Ahşap tahkimatlı uzunayaklarda, ayağın gerisinde ve ayak boyunca katılığı yüksek bir tahkimat hattı oluşturulup, tavan tabakalarının kırılmasını kolaylaştırarak ayak arkasının göçertilmesinde (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5).
- ii. Uzunayakta kenar takviyesi olarak.
- iii. ABD' deki uzunayaklarda üst tabanyollarında ana tahkimat elemanı olarak ve
- iv. Galeri ve uzunayaklardaki tavan göçüklerinin oluşturduğu boşlukların doldurulmasında yardımcı tahkimat elemanı olarak kullanılmaktadırlar.

Yapılan tasarım ve uygulamalarda domuzdamının yük taşıma kapasitesinin belirlenmesi ve yük-kısalma davranışlarının ortaya konulması gerekmektedir. Ayak arkasının kontrollü olarak göçmesi, domuzdamının mekanik davranışıyla bire bir ilişkilidir. Domuzdamının yükleme koşullarında mümkün olduğunca katı olması istenir.

Burada ifade edilen domuzdamı katılığı; her sırada bulunan direk sayısı, domuzdamı yüksekliği, damın kuruluş şekli ve direk boyutlarının bir bileşkesi olarak tanımlanmaktadır. Her sıradaki direk sayısı arttıkça, damın yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Damın yüksekliği, başka bir deyişle damar kalınlığı arttıkça ise, damın kurulması zorlaşır ve aynı ölçüde bu damların duraylılığı azalır. Ancak yükseklik/genişlik oranının en uygun şekilde tasarlanması ile damın en uygun katılığı belirlenebilir.



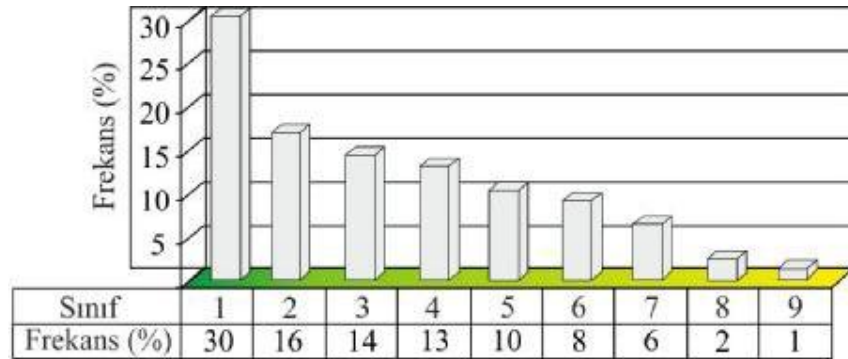
Şekil 2.6 Klasik bir uzunayakta bulunan ayakiçi tahkimat elemanları (arına dik kesit).

2.2.7 Göçmeye Etki Eden Değiştirgelerin Sınıflandırılması

Buraya kadar tavan göçmesinde etkili olan en önemli değiştirgelere değinilmişti. Ancak ayak arkasının göçmesi, çoğu kez bütün bu etkenlerin bir bileşkesine bağlıdır. Tavan kırılması ve göçme davranışında etkili olan bu değişkenlerin bu sebepten, bireysel olarak değil de bir sistem olarak değerlendirilmesinde fayda görülmektedir.

Venkateswarlu et al. (1989) bu anlamda, Hindistan kömür madenlerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda tavan duraylılığına etki eden değişkenleri dokuz temel gruba ayırmıştır (Şekil 2.7). Buna göre tavan duraylılığını etkileyen en önemli faktörlerin; tabakalanma, kayaçların ayrışma-bozunma durumları, arazinin tektonik durumu (kıvrım ve faylar), tavan dayanımı, tavan kaya kütesinin içerdiği süreksizlikler, tavan kayacının sedimanter özellikleri ile arazi gerilmeleri olduğu Şekil 2.7'den anlaşılmaktadır.

Daha geniş bir açıdan ise, ayak arkasının göçebilirliği üç ana başlık altında incelenebilir. Bunlar; bölgesel jeolojik etkenler, tavanın jeomekanik özellikleri ve kömür üretimine bağlı diğer değişkenlerdir (Çizelge 3.1).



Açıklamalar

- 1) Tabakalanma
- 2) Ayrışma-Bozunma
- 3) Kıvrım ve Faylar
- 4) Dayanım
- 5) Süreksizlikler
- 6) Sedimanter Yapılar
- 7) Yeraltı Suyu
- 8) Arazi Gerilmeleri
- 9) Kömürün Gaz İçeriği

Şekil 2.7 Tavan duraylılığını etkileyen önemli değişkenler (Venkateswarlu'dan 1989 değiştirilerek).

Jeolojik etkenler; bölgenin tektonizması, hidrojeolojik özellikleri ile kömür ve çevre kayaçların olduğu sedimanter ortam ile ifade edilir. Öncelikle kömür oluşumu için uygun bir

sedimanter ortamın (sediman taşınma hızı düşük ve sakin bir ortam) varlığı gereklidir. Uygun sedimanter ortamda çökelen organik malzemelerin taşlaşması ile farklı damar kalınlıklarına sahip kömürler oluşmaktadır.

Devam eden sedimantasyon ile de, hem kömürün kalitesi (rankı) hem de konumlandığı derinlik yani üretim derinliği gibi değişkenler kendini gösterir. Bölgenin geçirdiği tektonik hareketler ise (tektonizma, orojenez vb.), damarın eğimlenmesini ve kömür havzasındaki fayları kontrol eder. Ayrıca tavan katılık durumu ve eklemlilik derecesi de bir bakıma bölgenin tektonik hareketlerine bağlıdır. Hidrojeolojik özellikler ise, uzunayağa gelecek olan su geliri ile yeraltı suyunun akış yönü ve hızını belirlemesi açısından önemlidir.

Tavan tabakalarının jeomekanik özellikleri ise; kaya malzemesi ve kütesinin dayanım özellikleri, (tek eksenli ve üç eksenli basınç, tek eksenli veya dolaylı çekme dayanımı) ile tavan katılığı, kayaçların elastik sabitleri (deformasyon modülü ve Poisson oranı) ve kömür çevre kayaçlarının suya olan hassasiyeti olarak tanımlanabilir. Bu mekanik özellikler, göçme davranışını, yalancı ve ana tavanın kırılma mesafelerini etkilemektedir.

Teknolojik değişkenler; kömür üretimine uygun olarak belirlenen ölçütler olup genel olarak; uygun tahkimat tasarımı, domuzdamı katılığı, delme-patlatma ve üretim hızı olarak tanımlanabilir. Uygun tahkimatın tasarlanması ile ayak arkasının göçmesinin kolaylaşması amaçlanmaktadır. Ahşap tahkimat ile çalışan ayaklarda, domuzdamı katılığı bu açıdan oldukça önemli bir teknolojik ölçüt olmaktadır. Sert kömürlerin olduğu formasyonlarda kömürün kazılabilmesi ve sert tavan tabakalarının göçertilmesi için zaman zaman patlatma yapılmaktadır. Yapılan kontrollü patlatmalar ile tavan tabakalarının göçertilmesi hem tabaka kontrolünü hem de üretim hızını etkilemektedir.

Söz konusu üç ana gruptan alınan çeşitli elemanların bir bileşkesi olarak gerçekleşen ayak arkasının göçmesi, yalancı tavanın kırılma mesafesi ve göçme davranışına etki eden faktörleri bir arada sunmak, konuya bütünlük kazandırmak için gereklidir. Çizelge 2.2'de ifade edilen gruplardan jeolojik özellikler kontrol edilemez, tavan kayaçlarının jeomekanik özellikleri kısmen kontrol edilebilir ve kömür üretimine ilişkin değişkenler ise genellikle kontrol edilebilir büyüklükler olarak tanımlanabilir.

Arazide damar eğimi, doğrultusu, kalınlığı, üretim derinliği gibi değişkenler kontrol edilemeyen büyüklüklerdir. Yani üretim öncesi ve sonrasında değiştirilemez. Tavan

tabakalarının jeomekanik özellikleri ise, göçmeyen veya zor göçen tavanlarda kontrollü patlatma ile azaltılarak gerektiğinde değiştirilebilir. Bu sebepten ikinci kategoride yer alan jeomekanik özellikler yarı kontrol edilebilir büyüklükler arasında yer almaktadır. Üretim ile ilgili değişkenlerde ise tamamen insan faktörü rol oynadığından bu değişkenler kontrol edilebilir büyüklükler olarak tanımlanır.

Çizelge 2.2 Ayak arkasının göçmesinde etkili olan en genel değişirgeler.

KONTROL EDİLEMEZ	I. GRUP	JEOLJİK ÖZELLİKLER		
		SEDİMANTOLOJİK	TEKTONİK	HİDROJEOLJİK
		Kömürün çeşidi	Tektonik çatlaklar	Mümkün akiferler
		Damar kalınlığı		
		Litolojik değişkenlik	Damar eğimi	Yeraltı suyu hareketi*
		Sekans stratigrafisi	Faylar	
		Üretim derinliği	Kıvrımlar	Su geliri*
KISMEN KONTROL EDİLEBİLİR	II. GRUP	TAVAN TABAKALARININ JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ		
		KAYA KÜTLESİ		
		Dayanım ve deformasyon özellikleri kontrollü patlatma ile azaltılabilir.		
KONTROL EDİLEBİLİR	III. GRUP	KÖMÜR ÜRETİMİNE İLİŞKİN DEĞİŞKENLER		
		Tahkimat tasarımı		
		Domuzdamı katılığı		
		Üretim ile oluşan ikincil çatlaklar		
		Tahkimatın doğru ve zamanında sökülmesi		
		Üretim hızı		
* Gerektiğinde kontrol edilebilir.				

2.3 TAVAN KIRILMA ŞEKİLLERİ VE TİPİK GÖÇME DAVRANIŞLARI

Bölüm 2.2’de ayak arkasının göçmesinde rol oynayan önemli değişkenlere değinilmiştir. Bu değişkenlerin göçmeye olan etkileri bireysel olarak pek çok araştırmacı tarafından incelendiği gibi, bunlardan bazıları tavan göçme sınıflama sistemlerinde, tavan duraylılık indeksi gibi sistemlerde kendilerine yer bulmuştur.

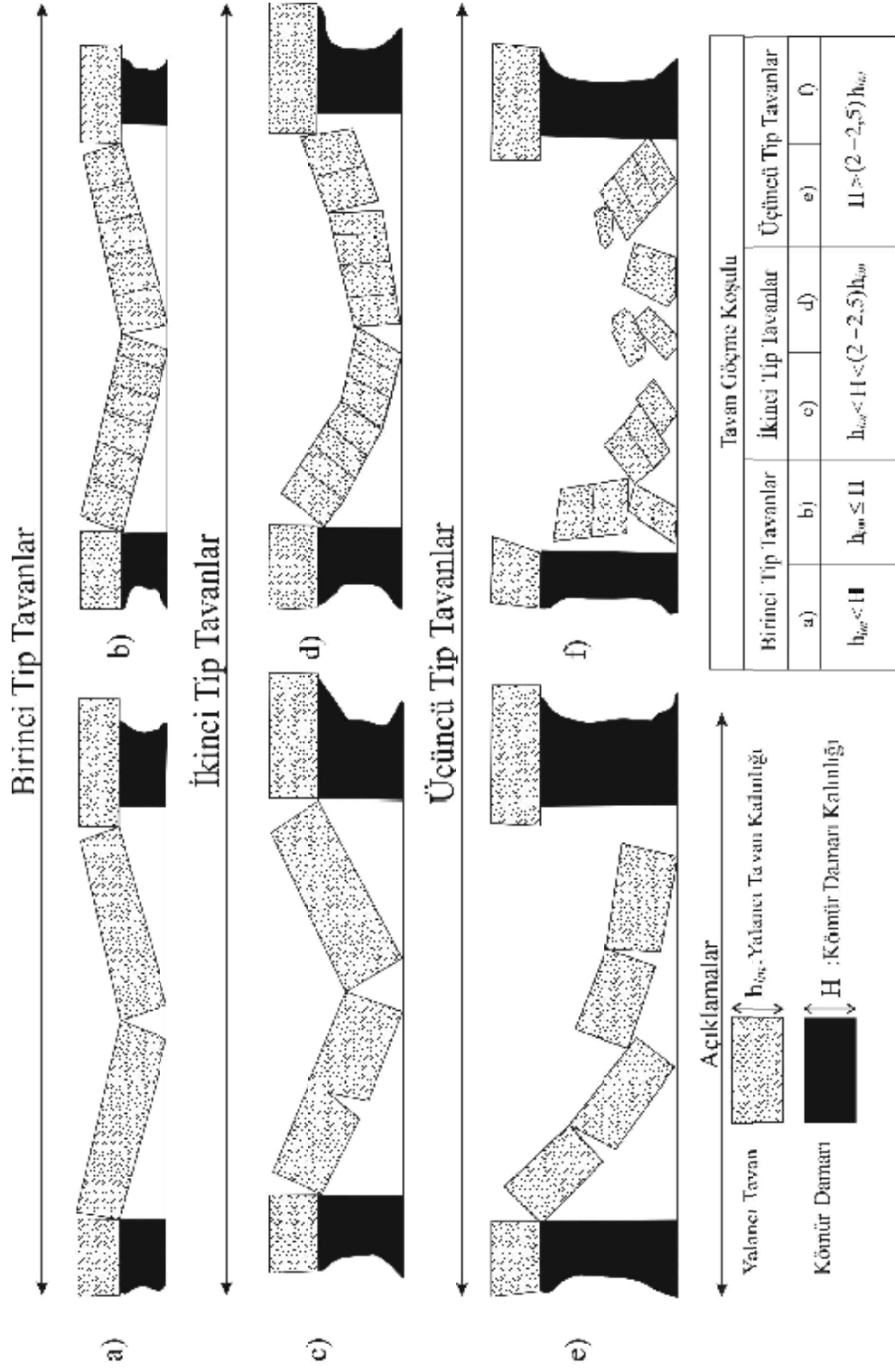
Yukarıda ifade edilen değişkenlerden tavan kırılma şeklini ve göçme davranışını etkileyen birkaç büyüklüğe ayrıca değinmek gerekmektedir. Bunlardan ilki; Kuzyniazouov’a (1954) göre yalancı tavan (h_{im}) ve kömür damarı (H) kalınlığıdır. Kuzyniazouov (1954), Rusya kömür madenlerinde yaptığı araştırmalarda, tavan kırılma şekilleri ve ayak arkasının göçme davranışlarını üç farklı sınıfta değerlendirmiştir. Değişen yalancı tavan ve kömür damar kalınlıklarına göre tavanların farklı mekanizmalar ile kırıldığını ve tavanın değişik göçme davranışlarında bulunduğunu gözlemleyen araştırmacı, bu anlamda tavanları göçebilirlik

açısından değerlendirmiştir. Çalışmanın önemi, ayak arkasının göçebilirliği konusunda sayısal büyüklüklerin yer aldığı ilk değerlendirme olmasıdır. Söz konusu çalışmanın kısa bir özeti aşağıda verilmektedir.

Birinci tip tavanlarda; yalancı tavan kalınlığının (h_{im}) kömür damarı kalınlığına (H) eşit veya küçük olduğu geometrik şartlarda ($h_{im} \leq H$), tavan genellikle göçmeden kırılır ve tavanda çatlaklı kırışe benzeyen bir yapı meydana gelir (Şekil 2.7a). Bu tip tavanlar genellikle, laminalı ve tabakalı kayalarda (kumtaşı, silttaşı vb.) görülmekte olup, askıda kalan kırış şeklindeki uzun tavan bloğu eğilerek tabaka ayrılmaları şeklinde kırılmaktadır. Tavanın çatlaklılık durumlarına göre uzun blok şeklinde kırılmalar görüleceği gibi, birbirine yapışık bloklar (henüz ayrılmamış bloklar) şeklinde de kırılmalar gözlenebilmektedir (Şekil 2.7b).

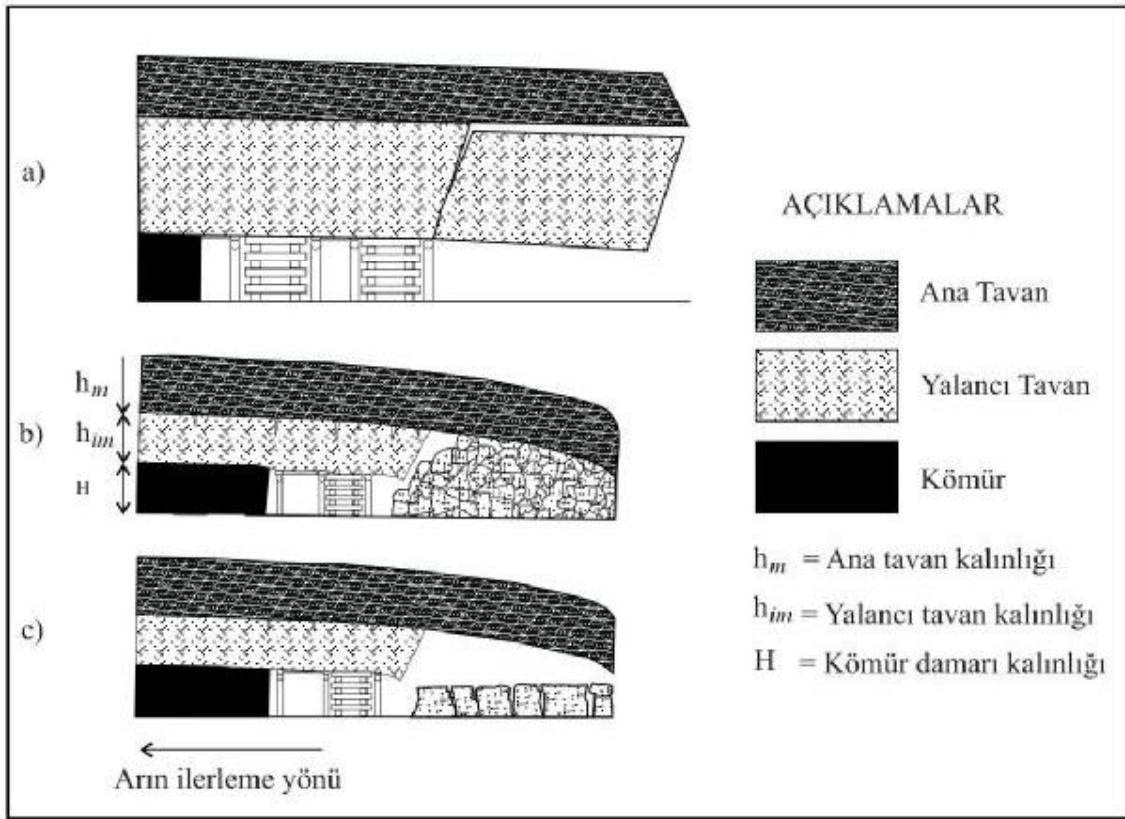
İkinci tip tavanlarda, kömür damar kalınlığının yalancı tavan kalınlığının 1 ile 2,5 katı arasında kaldığı durumlarda ($h_{im} < H < (2-2,5)h_{im}$) tavan kırılması, tavan blokları arasındaki yanal sınırlarını kaybetmeden gerçekleşir. Birbirine yakın bloklar arasındaki yanal sınırlar kayma gerilmesi oluşturacağından göçmeyi zorlaştıracak, tavan gevşemeleri ve arın ilerlemesi ile tavanda periyodik kırılmalar gözlenecektir (Şekil 2.7c ve Şekil 2.7d). Bu anlamda Şekil 2.7b ile Şekil 2.7d'de ifade edilen tavan kırılma şekilleri ve göçme davranışları çoğu kez birbirine benzetilir ve bunları birbirinden ayırt etmek zordur.

Üçüncü tip tavanlar ise, yalancı tavan kalınlığının kömür damar kalınlığına oranının 2,5 katından fazla olduğu durumlar ($H > (2-2,5)h_{im}$) için kullanılan bir ifade olup, bu tip tavanların kolaylıkla göçebilir olduğu söylenebilir. Göçme davranışının ise düzensiz bloklar şeklindedir (Şekil 2.7e ve Şekil 2.7f). Üçüncü tip tavanların göçmesinde etkili olan bir diğer faktör ise kil içeren yalancı tavanların su içeriğine bağlı olarak şişerek duraylılığını zamanla yitirmesidir (Peng ve Chiang 1984).



Şekil 2.8 Değişen yalancı tavan ve kömür damar kalınlıklarına göre tavan kırılma şekilleri ve göçme davranışı (Kuzymiazou 1954, Peng ve Chiang 1984'ten).

Tipik tavan kırılma şekilleri ve göçme davranışları Singh'e (1999) göre ise, üç farklı şekilde incelenebilir. Hindistan kömür madenlerinde yalancı ve ana tavanın eğilme durumlarını gözlemleyen Singh (1999); yalancı tavan kalınlığının kömür damar kalınlığından yüksek ve nispeten duraylı yalancı tavanlarda, tavan kırılmasının yekpare büyük bloklar şeklinde olduğunu ifade etmektedir (Şekil 2.8a). Tavan iri bloklar şeklinde ve belirli aralıklarla kırılmakta olup, periyodik kırılma şeklinde bir göçme davranışı bu tip tavanlarda izlenmektedir. Periyodik kırılmada gözlenen başka bir özellik ise, ana ve yalancı tavanlarda gözle görülebilir bir eğilme davranışının izlenememesidir.



Şekil 2.9 Ana ve yalancı tavan tabakalarının eğilme durumlarına göre tavan kırılma şekilleri ve göçme davranışları (Singh'den 1999 değiştirilerek).

Yalancı tavan kalınlığının kömür damarına kalınlıkları yakın olduğu durumlarda ise, tavan genellikle iki farklı şekilde kırılmaktadır. Eğer yalancı tavanın eğilme dayanımı ana tavanın eğilme dayanımından yüksek ise, parçalı-bloklı bir göçme davranışı gözlenir (Şekil 2.8b). Burada ifade edilen yalancı ve ana tavanın eğilme dayanımlarının farklılıkları tabakaların kalınlıkları ve litolojik farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Uzunayaklarda ayak arkasındaki en çok karşılaşılan göçme davranışı bu şekildedir. Ana ve yalancı tavan tabakalarında belirgin

bir eğilme izlenmekte olup, tavanda tabakalarındaki çekme çatlaklarını devrilmiş bloklar üzerinden gözlemek mümkündür. Gevşemiş tavan blokları; tabaka, süreksizlik veya ara kesme düzlemleri boyunca kayarak veya yalancı tavadan koparak devrilmektedir. Tavan kırılma süreleri ve ayağın kırılma mesafesi genellikle tahmin edilebilmektedir. Bu tip tavanlarda yalancı tavan süreksizliklerinin konumları da göçme davranışını etkileyen önemli bir değişken olarak ortaya çıkar.

Ana tavanın çekme dayanımı yalancı tavanınkinden yüksek ise, bu sefer de yalancı tavanda bloklu dökülmeler şeklinde bir göçme davranışı izlenir. Birbirini kesen süreksizliklerin oluşturduğu bloklar yalancı tavanda askıda beklemektedir. Arın ilerledikçe ayak arkasındaki giriş şeklinde yalancı tavadan dökülerek göçen bu bloklar genellikle eş boyutlu bir görünümde (Şekil 2.8c).

Tavan kırılma şekilleri ve göçme davranışını etkileyen diğer büyüklükler, tavan dayanımı ve damar eğimidir. Noroozi et al. (2012), yaptığı çalışmalarda tavan dayanımı ve yalancı tavan kalınlığının artmasının tavan kırılma mesafesini artırdığını belirtmiştir. Benzer şekilde artan damar eğiminin de ayağın kırılma mesafesini artırdığı bilinmektedir. Bu yaklaşım Singh et al.'nin (1999) arazi gözlemleri ile örtüşmekte ve ayak arkasının göçebilirliğini etkileyen faktörler konusunda fikir birliğine ulaşıldığını göstermektedir.

BÖLÜM 3

KUZEYBATI ANADOLU TAŞKÖMÜRÜ HAVZASININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

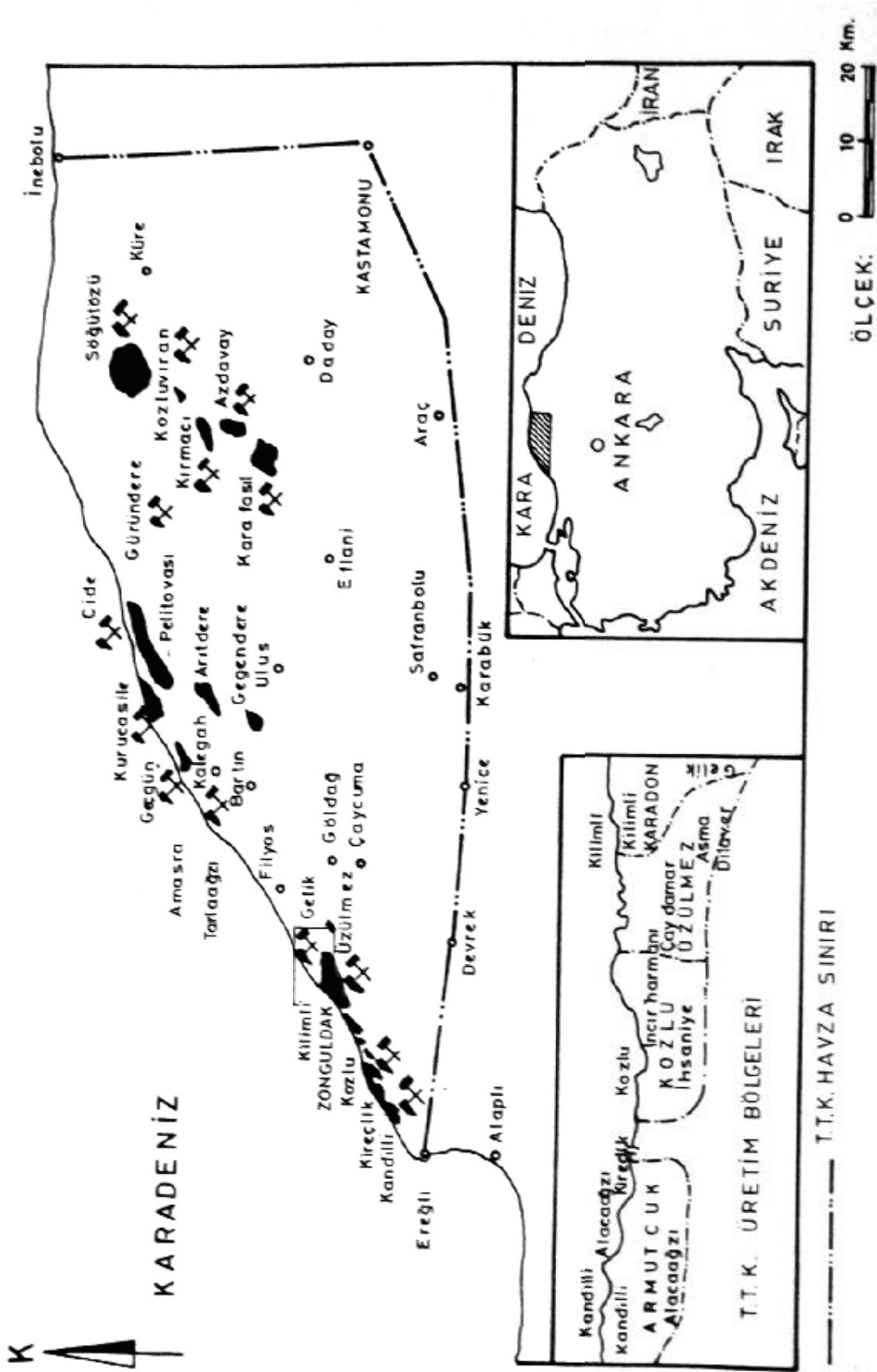
Bu bölümde tez çalışmasının yürütüldüğü Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın jeolojik özellikleri ile kömür çevre kayaçlarının önemli jeomekanik özellikleri önceki çalışmalar derlenerek bir dizin şeklinde sunulmuştur.

3.1 ZONGULDAK VE ÇEVRESİNİN GENEL JEOLJİSİ

Kuzeybatı Anadolu Taşkömürü Havzası, Batı Karadeniz sahilinde Ereğli ile İnebolu arasında yaklaşık 160 km boyunca doğu-batı yönünde yayılım göstermektedir. Taşkömürü Havzası, Amasra'nın doğusundan geçen kuzey-güney yönlü bir hatla (faylanma ve kıvrımlanmalarla) iki bölüme ayrılmaktadır. Batı kesimde; Kandilli, Kireçlik, Kozlu, Üzülmöz, Kilimli, Karadon Gelik ve Amasra Karbonifer oluşumları yer almaktadır. Doğu kesimde ise; Geçgün, Pelitovası, Güründere, Karafasıl, Kırmacı, Azdavay, Kozlucan ve Söğütözü kömür oluşumları gözlenmektedir (Şekil 3.1).

Genelde havzada gözlenen kayaçlar; temel birimleri, kömür içeren birimler ve örtü birimleri olarak üç temel gruba ayrılabilir (Köksoy vd. 1989, Kılıç 1977; TÜSTAŞ 1989'dan). Temel kayaç litolojisi; Siluriyen-Devoniyen yaşlı Hamzakafalı Formasyonu'na ait metakumtaşı ve metakonglomera olarak başlar ve Vizeen yaşlı koyu gri renkli karbonlu dolomitik kireçtaşlarından oluşan Gököl Formasyonu ile devam eder (Köksoy vd. 1989).

İstif daha sonra kömür içeren birimlerin başlangıcı olarak, Namuriyen yaşlı Alacağzı Formasyonu kumtaşı-kömür-şeyl aralanmasına geçiş gösterir. Formasyon, batıda Ereğli yöresinde Çamlı ve Çavuşağzı bölgeleri arasında izlenir ve Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın güney sınırını oluşturmaktadır. Bunun dışında, Üzülmöz senklinalinin güney kanadında ve Gelik antiklinalinin çekirdeğinde izlenen Alacağzı Formasyonu, Vizeen yaşlı Gököl Formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer almaktadır.



Şekil 3.1 Kuzeybatı Anadolu Taşkömürü Havzası kömür işletmeleri yer buldur haritası (Kılıç 1977).

Üstten ise, Kılıç ve Kozlu Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Formasyonda egemen litoloji, ince tabakalı, gri-mavi renkli şeyl ve koyu renkli kumtaşı aralanmasından oluşur. Şeyl ile kumtaşarasında ince kömür damarları bulunur.

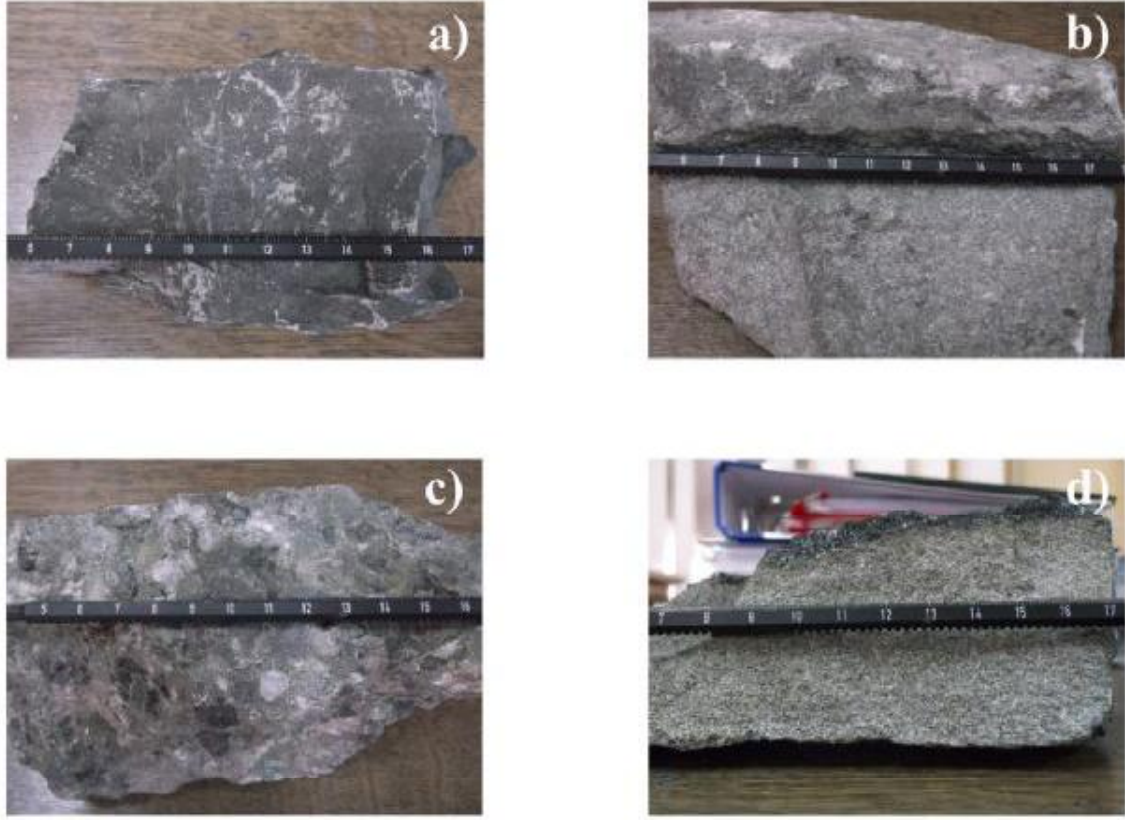
Alacağzı Formasyonu'nda yer alan birimlerin, sığ denizel ve karasal bir sedimanter ortamda çöktüğünü, kumtaşları ve şeylerde gözlenen karasal ortamı karakterize eden gastropod ve brakyopod fosillerinden anlaşılmaktadır (Tokay 1952; Nakoman 1971; Dil ve Konyalı 1978). Formasyonda yer alan önemli kömür damarları; Ali Molla, Teke ve Teke Piç'i olarak sıralanabilir. Formasyonun görünür kalınlığı ise 600-1200 m arasında olup, birimin kalınlığı havzanın batısından doğusuna doğru azalmaktadır (Dil ve Konyalı 1978).

Kömür içeren seviyeler; Erken Vestfaliyen yaşlı Kılıç Formasyonu'na ait konglomera-kömür-kumtaşı aralanması ile devam etmektedir. Formasyon genelde taban konglomerası ile başlayarak kömür ve kumtaşı aralanması ile devam etmektedir. Konglomeralar, genellikle çok kökenli (polijenik) bir yapıya sahip olup, farklı kökenlerde çakılların bir araya gelip taşlaşması (diyajenezi) sonucu oluşmuştur. Kumtaşları ise genellikle jeosenklinal bölgelerinde ve/veya karasal ortamda oluşmuştur (Saner 1980).

Kozlu mevkiinde; Büyük Kılıç, Topuz, Sülman, Civelek ve Ömerağa damarlarını, Armutçuk'ta ise Bozmaoğlu, Üçköylü, Davulcu damarları yer almaktadır. Kılıç Formasyonu'nda çalışılan ilk kömür damarı Büyük Kılıç olup, Zonguldak'ın güneyinde 80-90 cm kalınlığındadır ve bu kalınlık Kozlu mevkiine doğru artmaktadır. Birimin görünür kalınlığı 500-600 m arasında değişmektedir (Algapo 1992). Kilimli Antiklinali güney kanadında formasyonu kalınlığı 500 m civarında iken, kıvrım kuşağının kuzeydoğu kesimindeki Gelik Senklinali'ndeki kalınlık 600-650 m civarındadır (Canca 1985).

Kılıç Formasyonu üzerinde ise Geç Vestfaliyen yaşlı Kozlu Formasyonu yer almaktadır. Formasyon tabandan tavana doğru; konglomera-kumtaşı-silttaşı-kömür aralanması şeklindedir (Şekil 3.2). Konglomeralar genellikle yarı yuvarlak ve az köşeli olup, çakıl boyutları 0,3-1cm arasında olup kökeni polijeniktir. Kumtaşları ise iyi boylanmış olup, çapraz tabakalı olarak gözlenmektedir

Çapraz tabakalanma ve laminalanma gibi özelliklerin varlığı, menderesli bir akarsu ortamının bütün özelliklerini taşıdığından, kumtaşlarının akarsu ortamında oluştuğu düşünülebilir.



Şekil 3.2 Kozlu Formasyonu kaya birimlerine ait el numuneleri; a) Silttaşı b) İnce taneli kumtaşı c) Konglomera d) Orta taneli kumtaşı.

Burada oluşan kömürlerin ise, menderesli bir ortamda (akarsu debisi düşük ve düşük enerjili bir sedimanter ortam) oluştuğunu, tabandan tavana kayaçlardaki azalan tane boyu göstermektedir (Algopa 1992). Birimin görünür kalınlığı ortalama 700 m olup ekonomik kömür damarları içermektedir.

Kozlu Formasyonu; Zonguldak'ta pek çok bölgede yayılım göstermektedir (Kilimli-Karadon-Kozlu-Üzülmöz-Gelik bölgelerinde). Formasyonun bölgelerindeki geniş yayılımı sebebiyle, havzada en çok kömür üretimi yapılan formasyon özelliğine sahiptir (TÜSTAŞ 1989a). Bu damarların stratigrafik olarak alttan üste olan dizilimi ve kalınlıkları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Söz konusu damarların taban ve tavan taşları genellikle karbonlu şeyl, şeyl, kumlu şeyl, karbonlu kilitaşı, silttaşı, kumtaşı ve konglomera olarak bilinmektedir. Tavan ve taban litolojisindeki değişiklikler farklı sedimanter ortamlara işaret etmektedir. Bunun bir sonucu da, kömür damar kalınlıklarındaki farklılıklar olarak kendini göstermektedir.

Kozlu Formasyonu üzerine dereceli olarak yüzeyleyen Karadon Formasyonu, çakıl boyutları 0,5-7 cm arasında değişen bir taban konglomerası ile başlamaktadır. Birim genellikle konglomera- kumtaşı-kömür-kiltaşı ardalanması şeklinde devam etmekte olup, görünür kalınlığı 200-600 m arasında değişmektedir. Karasal bir sedimanter ortamın ürünü olan formasyonda kumtaşları çapraz tabakalanma göstermektedir. Kilttaşları ise genellikle koyu renkli olup ince tabakalar şeklindedir.

Karadon Formasyonu üzerinde ise uyumsuz olarak gelen Permiyen yaşlı Arıtdere Formasyonu yer almaktadır. Litoloji genellikle kırmızı-pembe renkli kumtaşı-konglomera-killi kumtaşı ardalanması şeklinde olup, formasyonun görünür kalınlığı 300 m civarındadır. Birim en iyi kendini Amasra'nın kuzeydoğusundaki Çakraz bölgesinde göstermektedir (TÜSTAŞ 1989a).

Kömür içeren seviyeler üzerinde ise Mezosoik yaşlı birimler yer almaktadır. Bu birimlerin en önemli özelliği kömür oluşumları içermemesidir. Birimlerin en yaşlısı Erken Jura yaşlı Himmetpaşa Formasyonu'dur. Sarı renkli kuvars-kumtaşlarından oluşan birim dereceli olarak Zonguldak Formasyonu'na geçiş göstermektedir. Erken Jura yaşlı Zonguldak Formasyonu ise, tabanda gri renkli dolomitik kireçtaşları ile başlar ve pembe kırmızı renkli kumtaşları ile devam eder. Litoloji tabandan tavana doğru taban konglomerasıyla başlar ve pembe renkli kumtaşı ve tavanda ise kireçtaşları ile son bulur. Yoğun çatlaklı olarak görülen birimlerde pirit ve kalsit dolgular mevcut olup, formasyonda kıvrımlı ve kırıklı bir yapı hakimdir (TÜSTAŞ 1989b).

Zonguldak Formasyonu üzerinde ise, kireçtaşı-marn seviyelerinden oluşan İncivez ve Kilimli Formasyonları bulunmaktadır. Bu formasyonlarda egemen litoloji gri renkli ve masif kireçtaşıdır. Görünür kalınlıkları 750-1000 m olan kireçtaşları bol kırıklı bir yapıda olup bol kalsit dolguları ihtiva etmektedir. Mezosoik'teki sedimantasyon Apsiyen (Geç Kretase) yaşlı kireçtaşlarının oluşum sırasındaki bir denizaltı volkanizma ile kesilmektedir. Volkanizma ürünü, andezit, aglomera, tüf ve yastık laflar olup, andezitler koyu gri ve benekli bir yapıdadır. Havzada volkanik kayalar, Bartın'ın kuzeydoğusunda ve Akçakoca'nın güney kesimlerinde izlenmektedir.

Volkanik kayaların kontaklarında ise neritik kireçtaşları görülmektedir. Geç Kretase'de Avrasya kıtasının güney kanadındaki (Bugünkü Karadeniz Bölgesi) göçme ve derinleşmeler ile Karadeniz'in tabanı tamamen okyanuslaşmıştır. Bölge Geç Kretase'de derin denizel bir

sedimanter ortamdadır ve derin denizel kireçtaşları (Pelajik kireçtaşları) çökelmeye başlamıştır. Kireçtaşlarının derin denizel bir ortamda çökeldiğini kireçtaşlarında gözlenen ve derin denizel ortamı karakterize eden *Globotruncana sp.* fosilleri göstermektedir.

Çizelge 3.1 Kozlu formasyonlarında yer alan kömür damarları (TÜSTAŞ 1989b).

Yaş	Yayılm Gösterdiği Bölge	Formasyon	Damar adı	Damar kalınlığı (m)
Geç Vestfaliyen	Kozlu, Üzülmöz, Karadon, Gelik, Kilimli	Kozlu	Kartal	2,6
			Yiğit	1,32
			Kesmeli	0,8
			Atalay	1,5
			Akdağ	0,68
			Akdağ Taban	3,08
			Unutulmuş	2,16
			Domuzcu Piçi	2
			Domuzcu	3,08
			Taşbaca	1,23
			Acenta	1,36
			Messoğlu	1,4
			Dibek	4,57
			Kurul	0,95
			Acun	1,3
			Hacımemiş	1,2
			Sulu	1,5
			Özkan	3,28
			Nasıfoğlu	1,07
			Acılık	1,5
Piriç	3,39			
Çay Damar	1,1			
Çay Taban	2,45			
Akalın	3,2			
Gökcan	1,6			

Geç Kretase denizaltı volkanizmasından sonra havza Paleosen-Eosen transgresyonu ile tekrar sığ denizel ve bunu takiben karasal bir ortama geçerek, Tersiyer yaşlı klastik oluşumu (Akveren Formasyonu) ile devam etmektedir. Akveren Formasyonu'na ait Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşlarında foraminifer fosil grubunda yer alan *Globigerina sp* ve *Belemnit sp.* bentik foraminifer fosilleri gözlemlendiğinden, Zonguldak güneyi ve güneydoğusunda gözlenen kireçtaşlarının (Akveren Formasyonu) sığ denizel bir sedimanter ortamda oluştuğu düşünülmektedir (Köksoy vd. 1989).

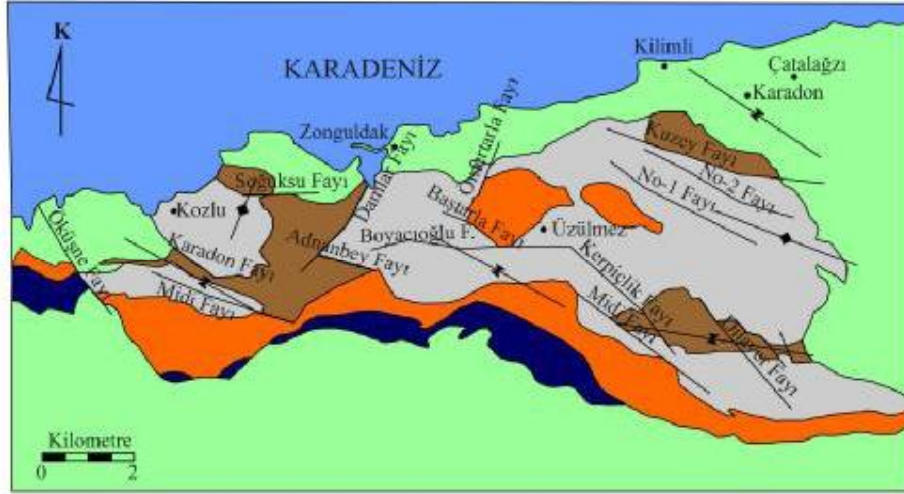
Sığ denizel ortamdan karasal ortama geçisi ise Akveren Formasyonu'nun üst kesimlerinde gözlenen mikalı kumtaşları göstermektedir. Akveren Formasyonu üzerinde ise uyumsuz olarak Paleosen-Eosen transgresyonunun son ürünleri olan Kuvaterner yaşlı gevşek karasal çökeller (kum-çakıl-kil) yer almaktadır.

3.2 ZONGULDAK VE ÇEVRESİNİN TEKTONİĞİ

Kuzeybatı Anadolu Taşkömürü Havzası'ndaki Paleozoyik yaşlı birimler Hersiniyen yaşlı orojenik hareketlerinden (Hersiniyen Orojenezi) önemli ölçüde etkilenip, şiddetli kıvrılma ve kırılmalara uğrarken, Mezozoyik-Senozoyik yaşlı birimler genellikle Alpin Orojenezi'nden etkilenmiştir. Hersiniyen Orojenezi'nden etkilenen kömür içeren birimlerde bol kıvrımlı ve kırıklı bir yapı vardır ve bu durum kömür damarlarında kendini açıkça göstermektedir. Alpin Orojenezi'nden etkilenen örtü birimleri (Mezozoyik-Senozoyik birimleri) ise kömür içeren birimlere göre daha sakin deformasyonlar geçirmiş ve geniş dalgalı (ondulasyonlu) yapılar sunmaktadır.

Pontid tektonik kuşağında (Batı Pontidler'de) yer alan Zonguldak, Pontid kuşağındaki plaka hareketlerinin son evresinde bugünkü yapısını (kıvrımlı ve kırıklı bir yapı) kazanmıştır (Ketin, 1983). Zonguldak Taş Kömürü Havzası söz konusu orojenik hareketler etkisi ile büyük kıvrımlı ve kırıklı bir yapı gösterir. Kozlu Antiklinali, ve Üzülmez Senklinali kıvrımlı yapıyı net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bölgedeki faylanmalar ise, kıvrım eksenlerine genellikle paralel, bazen de dik olarak gelişmiştir. Doğu-Batı doğrultulu Midi, Kuzey, Adnanbey, Boyacıoğlu, Baştarla, Soğuksu, Bağlık fayları bu şekilde gelişen faylara örnek olarak gösterilebilir (Şekil 3.3). Midi Fayı, havzadaki fayların en eskisidir. Midi fayının Westfaliyen katındaki çökmeler sonucunda oluştuğu kabul edilmektedir. Doğu-Batı doğrultusunda uzanan bu fay 70°-80°'lik bir açı ile kuzeye eğimlidir.

Kuzey-Güney doğrultulu faylar ise Damlar ve Ömertarla faylarıdır. Ömertarla fayı, Gelik Antiklinal eksenini kuzey-güney doğrultusunda kesen yaklaşık düşey yönlü bir faydır. Bu egemen faylar dışında da, çapraz faylar da havzada mevcuttur (Öküşne, Kerpiçlik, Dilaver fayları). Fayların yaşları ortamdaki kayaçların yaşları ile karşılaştırıldığında, faylanmaların büyük çoğunluğunun Jura-Kretase zaman aralığında olduğu söylenebilir. Faylar karakter olarak genellikle düşey ve oblik faylar olarak tanımlanabilir. Yukarıda belirtilen bu faylar dışında çok sayıda fay kömür damarlarını etkilemekte ve bu durum üretim sırasında güçlükler yaratmaktadır.



AÇIKLAMALAR

	İncivez Formasyonu (Neritik Kireçtaşı)	GEÇ JURA - ERKEN KRETASE		Antiklinal Kıvrım Ekseni
	Karadon Formasyonu (Kumtaşı, Konglomera, Kilitaşı, Kömür)		GEÇ KARBONİFER	
	Kozlu Formasyonu (Kumtaşı, Konglomera, Silttaşı, Kömür)	ERKEN KARBONİFER		
	Alacaagzi Formasyonu (Kumtaşı, Silttaşı, Kilitaşı)		DEVONİYEN	
	Yılanlı Formasyonu (Kireçtaşı, Dolomitik Kireçtaşı)			

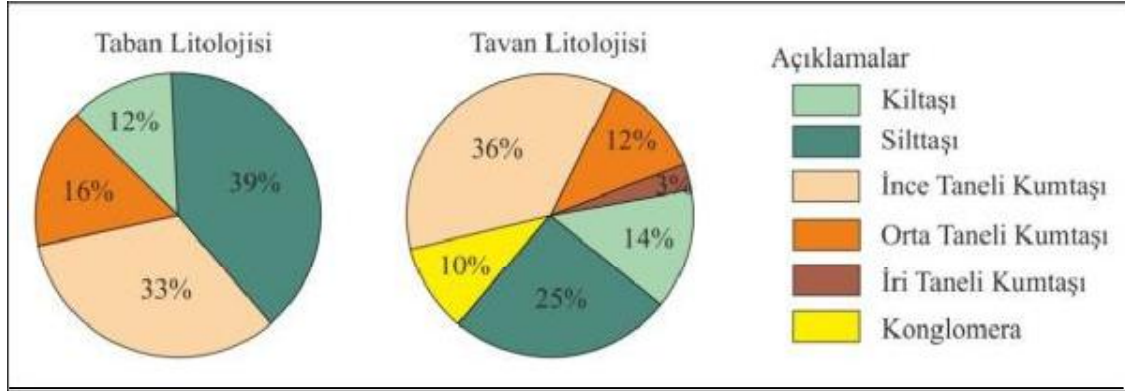
Şekil 3.3 Zonguldak ve çevresinin basitleştirilmiş tektonik haritası (TTK 2013'ten düzenlenerek).

Bölgedeki faylanmalar dışında, havzada belirgin bir şekilde kıvrım kuşakları mevcuttur. Üzülmaz mevkiinde Üzülmaz Senklinali, Zonguldak kuzeydoğusunda yer alan Karadon bölgesindeki Antiklinal ve senklinal kıvrım eksenleri bölgedeki kıvrımlı yapıyı net olarak ortaya koymaktadır.

3.3 ZONGULDAK HAVZASI'NDAKİ TAŞKÖMÜRÜ ÇEVRE KAYAÇLARININ JEOLJİK VE JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ

3.3.1 Kömür Çevre Kayaçlarının Jeolojik Özellikleri

Tavan tabakalarının jeolojik ve jeoteknik özellikleri, uzunayak tasarımı ve tezin konusu olan ayak arkasının göçebilirliğinin ortaya konulabilmesi için oldukça önemlidir. Havzada tahkimat tasarımı ve kömür çevre kayaçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla daha önce yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları dikkate alındığında (ZEDEM 1989, Paşamehmetoğlu vd. 1989a, 1989b, 1989c., Çolak 1998); Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndaki kömür çevre kayaçları, kilitaşından konglomeraya değişen sedimanter kayaçlardan oluşmaktadır (Şekil 3.4). Egemen taban ve tavan kayaçları Şekil 3.4'e göre ince



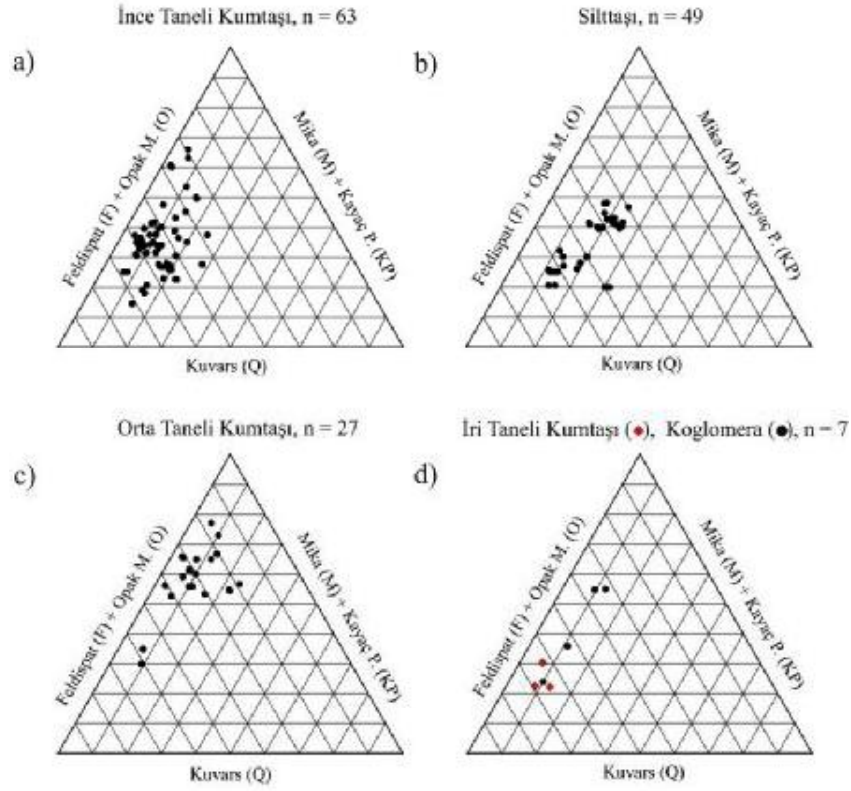
Şekil 3.4 Zonguldak Taşkömürü Havzası kömür çevre kayaçlarının oransal dağılımı.

taneli kumtaşı ve silттаşı olup, ince taneli kumtaşları laminalı, silттаşları ise genellikle ince tabakalar şeklinde gözlenmektedir.

Kömür çevre kayaçlarından silттаşları genellikle koyu gri renklerde gözlenmekte olup, ince laminalı bir yapıdadır. Silттаşlarının kuvars (Q) içeriği % 50'yi aşmazken, feldspatlar ise çoğunlukla killeşerek, kil çimento ve opak mineraller olarak görülmektedir. Bu sebepten Feldspat (F) + Opak mineral (O) oranı ince kesitlerde %30'u aşmamaktadır. Buna karşın, silттаşlarını oluşturan taneler egemen olarak kayaç parçalarından oluşmaktadır (en fazla % 70). Tavan tabakalarının yüzde olarak yaklaşık yarısını oluşturan (bkz. Şekil 3.4) kumtaşları ise ince, orta ve iri taneli olarak üç alt grup altında toplanabilir.

Kumtaşlarının kuvars içeriği % 30-70 arasında değişmektedir. Kumtaşlarındaki feldspat oranı genelde düşük olup opak mineraller ile birlikte en fazla %30'luk bir orana sahiptir. Kayaç parçası (KP) oranı ise mika mineralleri (M) ile birlikte %20-65 arasındadır (Şekil 3.5).

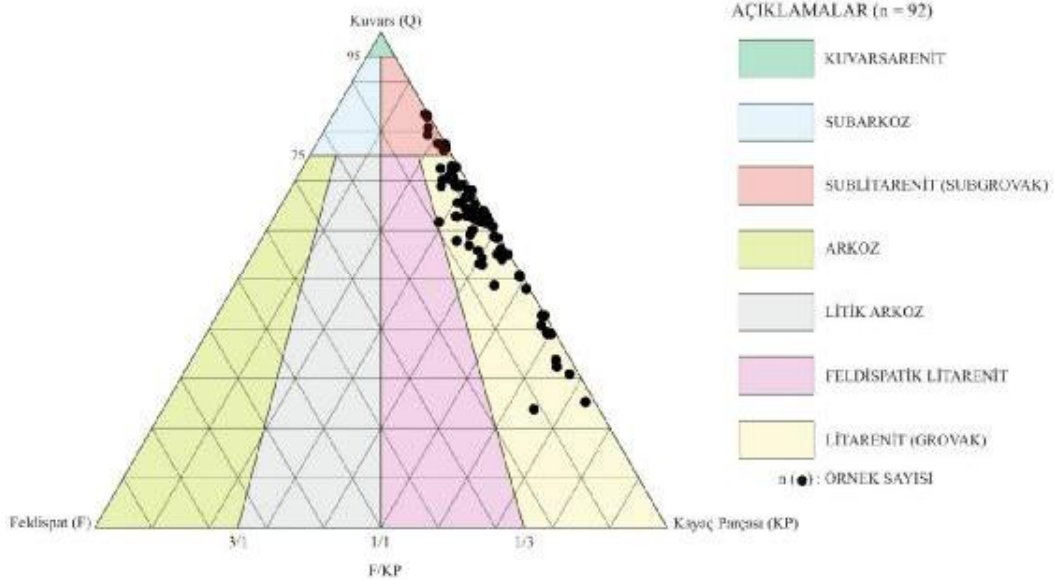
Kumtaşlarındaki F/KP oranı ortalama 0,06 civarındadır. Kumtaşlarının içerdiği mineral ve kayaç parçası içerikleri dikkate alınarak, Zonguldak Havzası'ndaki kumtaşları Folk'a (1962) göre jenetik olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre havzadaki kumtaşları *Subgrovak* ve *Grovak* olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.6). Söz konusu kumtaşlarını oluşturan taneler Hersiniyen ve daha sonra Alpin orojenik hareketler etkisi ile oluşan geniş jeosenklinal (hendek) bölgelerinde çökelediğinden bol kayaç parçası içermekte ve feldspatlar genellikle killeşerek, kil çimento ve opak mineraller olarak ince kesitlerde gözlenmektedir. Kayaç parçaları kökenleri ise volkanik ve/veya sedimanterdir.



Açıklamalar

n : Örnek sayısı

Şekil 3.5 Zonguldak Havzası'nda yer alan önemli kömür çevre kayalarlarının mineralojik bileşimleri (Paşamehmetoğlu vd. 1989a-e verileri kullanılarak oluşturulmuştur.).



Şekil 3.6 Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndaki kumtaşlarının Folk'a (1962) göre sınıflandırılması (Paşamehmetoğlu vd. 1989a-e verileri kullanılarak oluşturulmuştur).

3.3.2 Kömür Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri

Zonguldak Havzası kömür ve çevre kayaçlarının mekanik özellikleri ise detaylı olarak çalışılmıştır (Paşamehmetoğlu vd. 1989a-1989e), Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçlarının dayanım ve deformasyon anizotropisini araştırdığı çalışmada, kömür çevre kayaçlarının mekanik özelliklerini tabakalanma doğrultusuna dik, paralel ve farklı açılarla altında incelemiştir. Paşamehmetoğlu vd. (1989a-1989e), TTK adına tamamladıkları çalışma ise; Kozlu, Üzülmez ve Karadon Müesseseleri'ndeki taban yolları, galeri ve uzunayaklar için tahkimat tasarımı, kömür ve çevre kayaçları fiziksel ve mekanik özellikleri ile kayaçların kaya mekaniği ve dizayn parametrelerinin çıkarılması konularını kapsamaktadır. Bu çalışmalardan derlenen kömür ve çevre kayaçlarına ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.2 Zonguldak Havzası kömür ve çevre kayaçlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Paşamehmetoğlu vd. 1989a-e).

Kayaç Cinsi	ρ (g/cm ³)	$I_{s(50)}$ (MPa)	σ_{ci} (MPa)	σ_{tB} (MPa)	I_{d2} (%)
Kiltaşı	2,66±0,02	2,9±1,21	49±16,8	5,86±3,7	77
Silttaşı	2,68±0,03	5,82±3,26	68±32,1	6,75±1,37	95
Kumtaşı ¹	2,64±0,02	6,37±1,55	109±26	7,57±2,23	98
Kumtaşı ²	2,61±0,07	4,00±2,08	91±15,3	6,13±2,1	98
Kumtaşı ³	2,51±0,05	3,27±1,25	60±11,36	5,53±2,3	—
Konglomera	2,55±0,02	3,14±0,75	56±14,42	1,78±0,57	96
Kömür	1,34±0,04	0,12±0,07	3,68±1,32	0,38±0,12	—
Kayaç Cinsi	c_i (MPa)	Φ_i (°)	E_t (GPa)	ν_t (-)	
Kiltaşı	10,3	39,3	26,22±10,19	0,24±0,03	
Silttaşı	17,8	36,1	29,94±6,77	0,23±0,06	
Kumtaşı ¹	26,6	39,1	30,6±9,51	0,2±0,01	
Kumtaşı ²	19,4	42,1	25,41±3,18	0,19±0,07	
Kumtaşı ³	15,8	39,6	29,74±7,44	0,25±0,04	
Konglomera	11,5	46	27,03±4,72	0,37±0,08	
Kömür	1,28	44,2	2,14±0,66	0,34±0,01	
Açıklamalar	1: İnce taneli kumtaşı				
	2: Orta taneli kumtaşı				
	3: İri taneli kumtaşı				
AÇIKLAMALAR					
ρ : Yoğunluk					
$I_{s(50)}$: Nokta yükü dayanımı					
σ_{ci} : Tek eksenli basınç dayanımı					
σ_{tB} : Dolaylı çekme dayanımı					
I_{d2} : İkinci çevrime karşılık gelen suda dağılmaya karşı dayanım indeksi puanı					
c_i : kohezyon					
Φ_i : içsel sürtünme açısı					
E_t : Teğetsel Young Modülü					
ν_t : Teğetsel Poisson Oranı					

BÖLÜM 4

TABAKA KONTROLÜ VE AYAK ARKASININ GÖÇMESİNDE KULLANILAN ÖNEMLİ YAKLAŞIMLAR

Bu bölümde, tabaka kontrolü ve tez konusu olan ayak arkasının göçmesi ile ilgili yaygın olarak kullanılan önemli yaklaşımlara değinilecektir. Ayak arkasının göçmesinde önemli olgular olan yalancı tavan kalınlığının belirlenmesi, tavan katılığı kavramı, bir uzunayağa etkileyen kuvvetlerin tanımlanması ve yalancı tavanın kırılma mesafesinin belirlenmesi ile ilgili detaylı bilgiler derlenerek bu bölümde verilecektir.

4.1 YALANCI TAVAN KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

Bölüm 2’de ifade edilen ve ayak arkasının göçmesi konusunda önemli bir büyüklük olan yalancı tavan tabakasının kalınlığı ve buna bağlı olarak meydana gelen tavan yükleri doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı şekilde belirlenmektedir. Doğrudan yöntem, uzunayakta, domuzdamı, ahşap ve/veya hidrolik direkler altında yerleştirilen yük ölçüm aletleri kullanılarak yapılmaktadır. Sistemik yapılan ölçümlerin zamana bağlı olarak değişimi kayıt edilerek, ortalama yük yoğunluğu (OYY) ve yalancı tavan kalınlığı (h_{im}) belirlenmektedir.

Dolaylı yöntemler ile tavan yükleri ve yalancı tavan kalınlığının belirlenmesi ise, arazi ölçümleri ve önceki çalışmalardan elde edilen değerlerin birleştirilmesi sonucu oluşturulan görgül eşitlikler yardımı ile yapılmaktadır. Sözü edilen görgül bağıntılar Bölüm 4.1.2’de detayları ile verilmektedir.

4.1.1 Doğrudan Yöntem

Doğrudan yöntemde yalancı tavan kalınlığı ve tavan yüklerinin belirlenmesi, yük ölçerlerin çatal direk, domuzdamı veya hidrolik direkler altına yerleştirilerek tavandan gelen yüklerin tespiti ile yapılmaktadır. Zonguldak Taşkömürü Havzası’nda, doğrudan yük ölçümleri ile h_{im} ve OYY değerlerinin belirlenmesi; Ünlü (1989), Paşamehmetoğlu vd. (1989), Bilir (1994) ve Özel (1995) tarafından yapılmıştır.

Bu araştırmacılarından Paşamehmetoğlu vd.'nin (1989) T¼rkiye Tařk¼m¼r¼ Kurumu (TTK) Asma işletmesinde gerçekleştirdiği çalışması doğrudan y¼ntemin tanıtımı ve uygulanması için ¼rnek olarak Şekil 4.1 verilmiştir. Domuzdamı ve atal direkler altında yerleştirilen y¼k ¼lerler ile tavan y¼klerini ve yalancı tavan kalınlığının tespiti için, Şekil 4.1'de y¼k ¼lerlerin geometrik konumları g¼r¼lmektedir. Şekil 4.1'deki y¼k ¼lerlerin konumları ve tahkimat elemanlarının geometrik koşulları dikkate alındığında OYY Eşitlik 4.1 ile belirlenmektedir.

$$OYY = \frac{\frac{P_1}{A_1}t_1 + \frac{P_2}{A_2}t_2 + \dots + \frac{P_n}{A_n}t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (4.1)$$

Burada; OYY ortalama y¼k yoğunluğunu (MPa), P_1 ve P_2 y¼k ¼lerlerden elde edilen ortalama tavan y¼k¼n¼ (MN), A_1 ve A_2 tahkimatın kapladđı tavan alanını (m^2), t_1 ve t_2 ise tahkimat elemanlarının ayakta kaldığı zamanı (saat) ifade etmektedir.

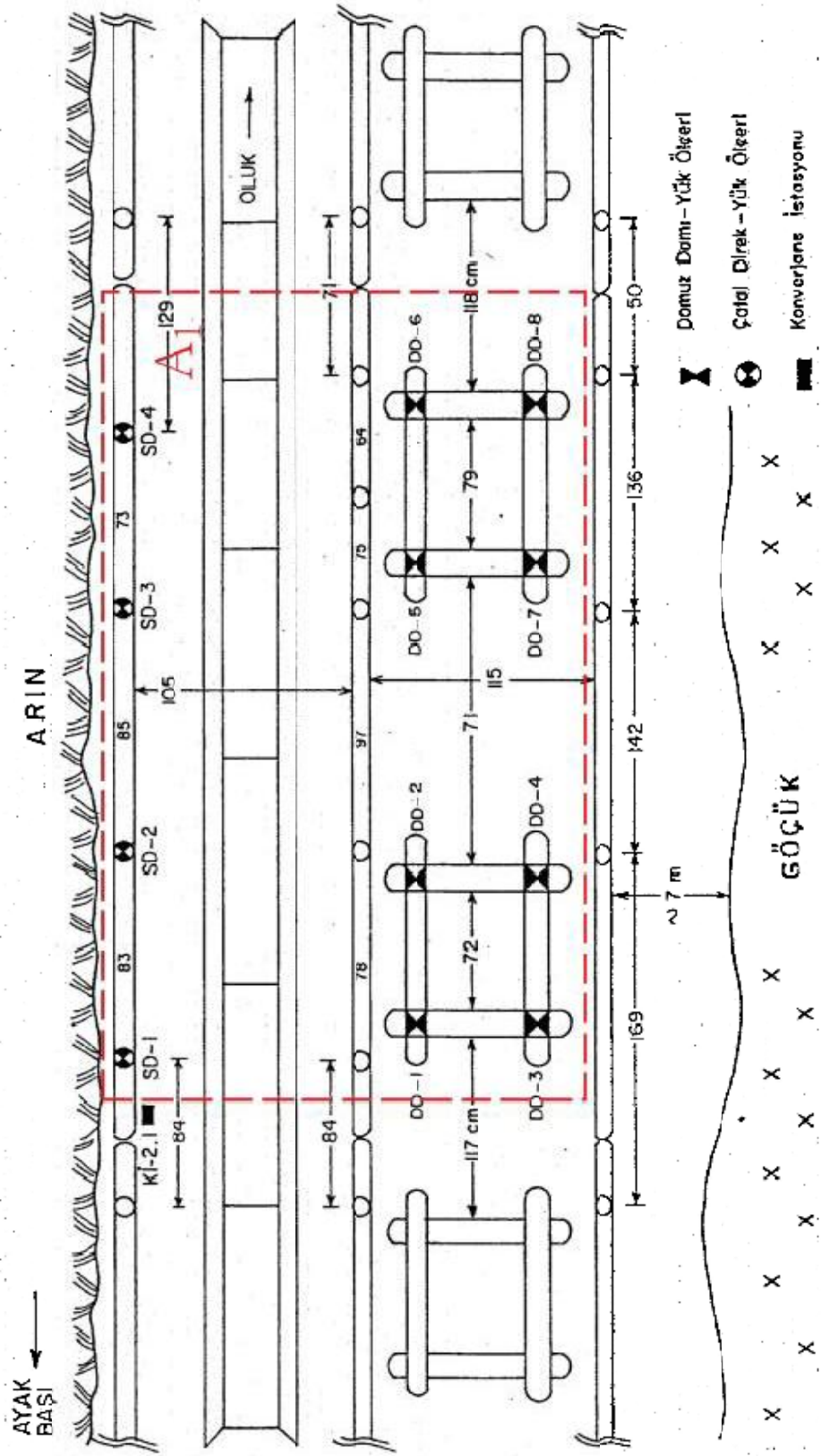
Yalancı tavan kalınlığı h_{im} ise OYY değerinin yalancı tavanın ortalama birim hacim ağırlığına (γ_{im}) oranı Şeklinde ifade edilmektedir (Eşitlik 4.2).

$$h_{im} = \frac{OYY}{\gamma_{im}} \quad (4.2)$$

Burada; h_{im} ortalama yalancı tavan kalınlığını (m), OYY (MN/m^2), γ_{im} ise (MN/m^3) birimlerindedir.

4.1.2 Dolaylı Y¼ntemler

Doğrudan y¼ntem dışında tavan y¼kleri ve yalancı tavan kalınlığı, farklı araştırmacıların yaptıkları arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda geliştirdikleri g¼rg¼l eşitlik ve/veya arpanları kullanarak belirlenmektedir. Buna g¼re, yalancı tavan kalınlığının kestirimi en basit olarak damar, yalancı tavan kalınlığının (h_{im}) k¼m¼r damarı kalınlığına (H) oranı Şeklinde yapılmaktadır.



Şekil 4.1 Yük ölçüm aletlerinin ayak içindeki konumları (Paşamehmetoğlu vd. 1989a).

Buna göre pek çok araştırmacı damar kalınlığındaki artışın yalancı tavan kalınlığını da artırdığı görüşündedir. Bu iki büyüklüğün birbirine oranı ise (h_{im}/H) bölgenin jeolojik ve tavan tabakalarının jeomekanik özelliklerine göre değiştiği bilinmektedir. Örneğin, King ve Whittaker (1974) İlgilere kömür madenlerinde yaptıkları çalışmalarda, h_{im} ile H arasında, $h_{im}/H = 2$ şeklinde bir oran olduğunu belirtmiştir. Yalancı tavan kalınlığının kestirimi için diğer yaklaşımlar ise aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Unrug (1983), yalancı tavan kalınlığını kömür damar kalınlığı ve tavanın kabarma faktörünü kullanarak tahmin etmeye çalışmış ve bu anlamda Eşitlik 4.3' önermiştir.

$$h_{im} = \frac{H}{K-1} \quad (4.3)$$

Burada K tavan tabakasının kabarma katsayısını göstermekte olup, izelge 4.1'de farklı litolojiler için orijinal ve kalıcı kabarma katsayıları verilmektedir. Orijinal kabarma katsayısı, tavanın kırılması sonucunda kaya kütlesindeki hacim artışını ifade eden bir çarpan, kalıcı kabarma katsayısı ise, ayak arkası kırılıp sıkıştıktan sonra kabarmaya olan hassasiyetini ifade eden bir çarpan olarak tanımlanabilir. Çizelge 4.1'de verilen litolojiler dışında bir kayacın kabarma katsayısı ise Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.5 kullanılarak kestirilebilir.

$$K = 1 + \theta_g \quad (4.4)$$

$$\theta_g = \frac{\rho_{in} - \rho_k}{\rho_k} \quad (4.5)$$

Burada; θ_g tavan taşındaki hacim artışını (kabarmasını) gösteren bir değer, ρ_{in} taşın yerinde yoğunluğu (ton/m^3) ve ρ_k kırılmış tavan taşının yoğunluğu (ton/m^3) olarak ifade edilmektedir. Eğer tavan taşının yerinde ve kırılmış haldeki yoğunluk değerleri biliniyorsa yalancı tavan tabakası kalınlığı Eşitlik 4.6 ile tahmin edilebilir.

$$h_{im} = H \times \frac{\rho_k}{\rho_{in} - \rho_k} \quad (4.6)$$

Çizelge 4.1 Farklı litolojilere göre hacimsel kabarma katsayıları (Unrug 1983).

Litoloji	Kabarma Katsayısı	
	Orijinal (Ko)	Kalıcı (Kr)
Kum	1,06 - 1,15	1,01 - 1,03
Kil	1,20	1,03 - 1,07
Kırılmış Kömür	1,30	1,05
Şeyl	1,40	1,10
Kumlu Şeyl	1,60 - 1,80	1,25 - 1,35
Kumtaşı	1,50 - 1,80	1,30 - 1,35

Ünal (1995), yaptığı çalışmalarda yalancı tavan kalınlığını, jeomekanik sınıflama sistemi (RMR) ve damar kalınlığını kullanarak tahmin eden iki farklı eşitlik önermiştir. Bu yaklaşıma göre, $RMR \leq 50$ için Eşitlik 4.7, $RMR > 50$ için ise Eşitlik 4.8 kullanılarak yalancı tavan kalınlığı tahmin edilmektedir.

$$h_{im} = 4 \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) H \quad ; RMR \leq 50 \text{ için} \quad (4.7)$$

$$h_{im} = 2H \quad ; RMR > 50 \text{ için} \quad (4.8)$$

Everling (1985), galeri ve tabanyollarında tahkimat tasarımı için yaptığı çalışmalarda yalancı tavan kalınlığını arından olan göçük mesafesi ile ilişkilendirerek Eşitlik 4.9'i önermiştir.

$$h_{im} = \alpha L_a \quad (4.9)$$

Burada; α , tavan yükleme çarpanı (Çizelge 4.2); L_a ise tahkimatın ünitelerinin göçük bölgesinin başladığı bölgeye kadar kapladığı yatay mesafe (m) olarak tanımlanabilir.

Çizelge 4.2 α çarpanının farklı tavan koşullarına göre değişimi (Everling, 1985'ten düzenlenerek).

Tavan Koşulu	α
Bol kırıklı	3-2
Kırıklı	2-1
Az kırıklı	1-0,5
Katı	0,5-0,25

Zhou (1991) ise arakatların yakın olduğu ve birden fazla kömür damarını içeren bölgelerde, alınamayan kömürün geri kazanımı için yaptığı çalışmada yalancı tavan kalınlığının kestirimi için görgül bir bağıntı önermiştir (Eşitlik 4.10).

$$h_{im} = \frac{100H}{(aH + b) \pm c} \quad (4.10)$$

Burada; a, b ve c sabitleri ise tavan çatlaklığı veya gevşemesine göre farklı değerler almaktadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 a, b ve c sabitlerinin farklı tavan koşulları için değişimi (Zhou, 1991'den düzenlenerek).

Tavan Durumu	a	b	c
Katı	2,134	63	3,9
Orta katılıkta	1,89	32	4,9
Gevşek	1,433	19	7,2
Aşırı gevşek	0,64	16	8,2

Çizelge 4.4'de görülen tavan koşulları arazi gözlemlerine göre belirlenmektedir ve Eşitlik 4.10'daki a, b ve c bağımsız değişkenleri buna göre belirlenir. Zhou (1991) yaklaşımı farklı damar kalınlıkları ($1 \text{ m} < H < 3,5 \text{ m}$) ve tavan koşulları için incelendiğinde ise, yalancı tavan kalınlığının alt ve üst sınırları Çizelge 4.4'deki gibi ifade edilebilir.

Çizelge 4.4 Zhou (1991) yaklaşımına göre farklı damar kalınlıklarına göre yalancı tavan kalınlığının değişimi.

Damar Kalınlığı, H (m)	Tavan Koşulu	Yalancı Tavan Kalınlığı, (h_{im} / H)		
		Üst Sınır	Ortalama	Alt Sınır
$1 \text{ m} < H < 3,5 \text{ m}$	Aşırı Gevşemiş Tavan	10.86	7.38	3.9
	Gevşemiş Tavan	6.7	5.05	3.4
	Orta Katılıkta Tavan	3.2	2.81	2.43
	Katı Tavan	1.56	1.48	1.4

Çizelge 4.4'deki farklı tavan koşullarına göre verilen yalancı tavan kalınlığının kestirimine ilişkin çarpanlar incelendiğinde, katı tavanlarda yalancı tavan kalınlığının gevşek tavanlara göre daha küçük olduğu görülmektedir. Yalancı tavan kalınlığı tavan yüklerinin bir ölçüsü olduğundan, bu kalınlığın az olması tavan yüklerinin de düşük olacağı anlamına gelecektir. Katı tavanlarda yalancı tavan kalınlığının düşük olması durumunun, tavanın kendi ağırlığı

altında göçmesine olanak sağlayamayacağı söylenebilir. Bu durumda arın ilerlemesine bağlı olarak ana tavan, yalancı tavana baskı yaparak (ana tavanın yalancı tavan üzerine oturması durumu), yalancı tavanı sıkıştırmaya başlayacaktır. Böylece yalancı tavan üzerindeki ikincil gerilmeler artacak ve arın ilerlemesini takiben tavanın göçmemesinden kaynaklanan ciddi duraylılık sorunlarına (arın kesmesi, arın patlaması, göçük v.b.) sebep olacaktır.

Buraya kadar ifade edilen yalancı tavan kalınlığına ilişkin yaklaşımlar ile çalışılan ayağa gelebilecek tavan yüklerinin aralığı tahmin edilebilir. Bu farklı yaklaşımlardan yalancı tavanın ortalama kalınlığının ($h_{im(ort)}$) tavanın ortalama birim hacim ağırlığı ($\gamma_{im(ort)}$) ile çarpılmasıyla yani, OYY Eşitlik 4.11 ile kestirilebilir. Ayağın göçmesi ortalama tavan yüklerinin tavanın tabakalarının çekme dayanımından (σ_{tm}) düşük olması durumunda gerçekleşeceği, aksi durumlarda tavanın kendiliğinden göçmesinin zor olacağı beklenmektedir.

$$OYY = \gamma_{im(ort)} \times h_{im(ort)} \quad (4.11)$$

4.2 TAVAN KATILIĞININ KESTİRİMİ

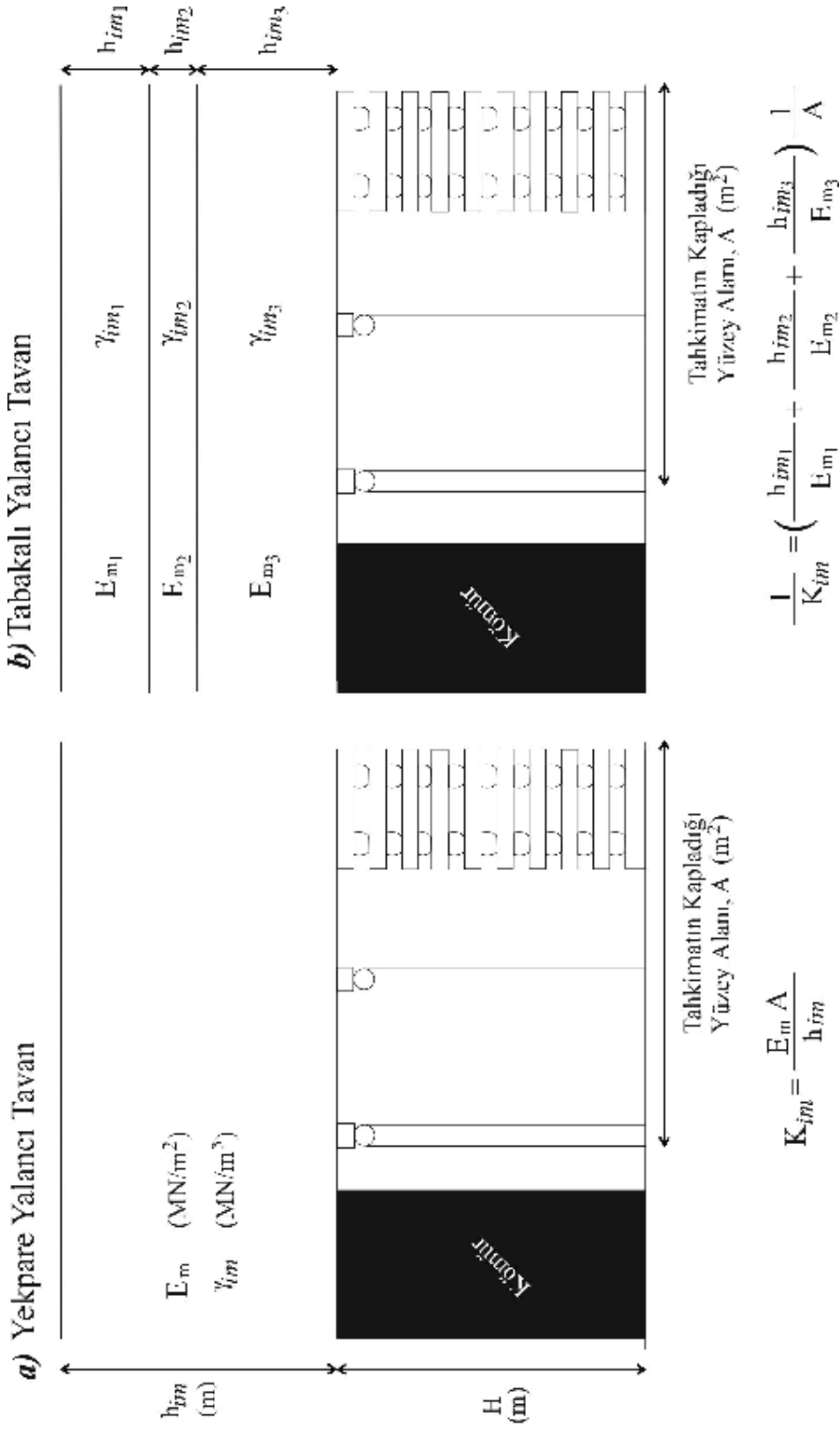
Tavan katılığı kavramı, tavanın içerdiği süreksizlikler ile tavan tabakalarının deformasyon modülünün bir bileşkesi olarak tanımlandığı daha önce ifade edilmişti. Özel (1995), uzunayaklarda yürüyen tahkimat tasarımı hakkında yaptığı çalışmalarda, yalancı tavan katılığını, tavan tabakalarının tek tabaka halinde (yekpare tabaka) ve ardalanmalı tavanlar (tabakalı tavanlar) olmak üzere iki farklı şekilde incelemiştir (Şekil 4.2).

Eğer tavan tabakaları tek tabaka halindeyse, yalancı tavan katılığı Eşitlik 4.12 ile; ardalanmalı (n tabakalı) tavanların hakim olduğu bölgelerde ise, yalancı tavan katılığı Eşitlik 4.13 ile belirlenmektedir (Şekil 4.2).

$$K_{im} = \frac{E_m A}{h_{im}} \quad (4.12)$$

$$\frac{1}{K_{im}} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \frac{h_{im(i)}}{E_{m(i)}} \quad (4.13)$$

Burada E_m tavan tabakalarının (tavan kaya kütesinin) deformasyon modülü (GPa), A tahkimat ünitelerinin kapladığı yüzey alanı (m^2) ve h_{im} yalancı tavan kalınlığı (m) olarak tanımlanmaktadır. Bu birimlere göre yalancı tavan katılığı K_{im} 'in birimi GN/m olmaktadır.



Şekil 4.2 Farklı tavan koşullarında yalancı tavan katılığının belirlenmesi a) Yekpare yalancı tavan b) Tabakalı yalancı tavan (Özel'den 1995 Değiştirilerek).

Yukarıdaki eşitlikler incelendiğinde (Bkz. Eşitlik 4.12 ve Eşitlik 4.13), tavan tabakalarının deformasyon modülü ve tahkimatın yüzey alanının artması ile yalancı tavan katılığını artırmakta, buna karşın yalancı tavan kalınlığının artması durumunda ise yalancı tavan katılığının azaldığı görülmektedir. Buradan tavan katılığının artması ile tavan duraylılığı arasında doğrusal bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Yani, Tavan katılığı ne kadar yüksek olursa tavan o kadar duraylı olacaktır. Bu sebepten yalancı tavan katılığının etkin bir tabaka kontrolü açısından belirlenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında tavan katılığı olgusu ayak arkasının kırılmasının anlatıldığı Bölüm 7'de kullanılmıştır.

4.3 KAYA KÜTLESİNİN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KESTİRİMİ

Tavan tabakalarının katılığının belirlenmesi ve bu kaya kütlelerinin jeomekanik özelliklerinin kestirimi (özellikle kaya kütlelerinin tek eksenli basınç, tek eksenli çekme dayanımı değerlerinin kestirimi) tavan tabakalarının göçme esnasındaki davranışının kestirimi, tahkimat ve topuk tasarım çalışmaları için bilinmelidir. Bu kapsamda literatürde yer bulan görgül bağıntılar derlenerek aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

4.3.1 Kaya Kütlelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımının Kestirimi

Kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}), kaya kütle sınıflama sistemleri ve kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) değerleri kullanılarak geliştirilen görgül bağıntılar kullanılarak kestirilmektedir. Bu kapsamda yaygın olarak kullanılan görgül bağıntılar derlenerek verilecektir. Aşağıda özetlenen tüm görgül bağıntılarda σ_{ci} MPa birimindedir. Görgül bağıntılardaki diğer açıklamalar ise ilgili başlık altında verilmiştir.

4.3.1.1 Protodyakonov Yaklaşımı

Protodyakonov (1964) kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımının kestirilmesi için kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı, kaya kütlelerinin çatlaklılık durumu (f_s), ayrışma-bozunma (f_a) ve kaya kütlelerinin zamana bağlı yorulma (f_t) özelliklerini dikkate alarak Eşitlik 4.14'ü önermiştir. Kaya kütlelerinin çatlaklılık durumunu ifade eden f_s çarpanı, Eşitlik 4.15 ile belirlenmektedir. Kaya kütlelerinin ayrışma-bozunma durumu ifade eden f_a çarpanı, arazi gözlemlerine dayanır ve Çizelge 4.6'da verilen değerler ışığında belirlenir. Kaya kütlelerinin zamana bağlı olarak yorulması ve buna bağlı olan dayanım değerindeki azalma miktarı olan f_t çarpanı ise, Çizelge 4.7'deki değerler kullanılarak Eşitlik 4.14'e aktarılabilir.

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = f_s \times f_a \times f_t \quad (4.14)$$

$$f_s = \frac{\left(\frac{d}{S}\right)^{+1}}{\left(\frac{d}{S}\right)^{+\Omega}} \quad (4.15)$$

Burada f_s kaya kütlesinin eklemlilik durumunu tanımlayan bir çarpan olup Eşitlik ile tanımlanmaktadır. Eşitlik 4.15'teki d kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan silindirik numunenin çapı (mm), S ise kaya kütlesinin ortalama eklem aralığını (mm), Ω ise kaya malzemesinin dayanımını ifade eden bir sabit olarak tanımlanmaktadır ($\sigma_{ci} < 75\text{MPa}$ için $\Omega = 7,5$ ve $\sigma_{ci} > 75\text{MPa}$ için $\Omega = 3,5$). Diğer çarpanlardan f_a kaya kütlesinin ayrışma-bozunma durumunu (Çizelge 4.5), f_t ise kaya kütlesinin zamana bağlı yorulmasını (Çizelge 4.6) ifade etmektedir.

Çizelge 4.5 Kaya kütlesinin ayrışma - bozunma derecesi çarpanları (Protodyakonov 1962; Zhang'den 2010).

Çarpan	Kaya kütlesinin ayrışma-bozunma durumu		
	Ayrışmamış	Az ayrışmış	İleri derece ayrışmış
f_a	1	0,4	0,2

Çizelge 4.6 Kaya kütlesinin yorulma sabitleri (Protodyakonov 1962; Zhang'den 2010).

Çarpan	Kaya kütlesinin yorulma durumu		
	Genel durum	Kısa süreli	Uzun süreli
f_t	0,6	1	0,3

4.3.1.2 Hoek-Brown Yaklaşımı

Hoek ve Brown (1980) kaya kütlesinin tek eksenli basınç dayanımının kestirimi için, Jeomekanik Sınıflama Sistemi RMR'ı ve σ_{ci} değerlerini kullanarak Eşitlik 4.16'yı önermiştir.

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = \sqrt{e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)}} \quad (4.16)$$

4.3.1.3 Yudhbir ve Prinzl Yaklaşımı

Yudhbir ve Prinzl (1983) kaya kütlelerinin görgül yenilme ölçütleri ile ilgili yaptığı çalışmada kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımı için Eşitlik 4.17'yi önermiştir.

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = e^{\left[\frac{7,65(RMR-100)}{100} \right]} \quad (4.17)$$

4.3.1.4 Ramamurthy Yaklaşımı

Ramamurthy (1985), kaya kütlelerinin duraylılığı ve jeomekanik özelliklerinin kestirilmesi için yaptığı çalışmalarda σ_{cm} 'nin kestirimi için Eşitlik 4.18'i önermiştir.

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = e^{\left(\frac{RMR-100}{18,75} \right)} \quad (4.18)$$

4.3.1.5 Kalamaras ve Bieniawski Yaklaşımı

Kalamaras ve Bieniawski (1993, 1995) kömür damarları için kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımının kestirilmesi amacıyla yaptıkları çalışmalar sonucunda Eşitlik 4.19'u önermiştir.

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = e^{\left(\frac{RMR-100}{24} \right)} \quad (4.19)$$

4.3.1.6 Sheorey Yaklaşımı

Sheorey (1997), kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımının kestirimi için Eşitlik 4.20 ile verilen bağıntıyı önermektedir.

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = e^{\left(\frac{RMR-100}{20} \right)} \quad (4.20)$$

4.3.1.7 Aydan ve Dalgıç Yaklaşımı

Aydan ve Dalgıç (1998), Bolu Tüneli'nde yaptıkları çalışmalar sonucunda kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımının kestirimi için Eşitlik 4.21'i önermektedir.

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = \left(\frac{RMR}{RMR + 6 \times (100 - RMR)} \right) \quad (4.21)$$

4.3.1.8 Hoek et al. Yaklaşımı

Kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımının kestirimi için en çok kullanılan görgül bağıntı Hoek et al (2002) tarafından önerilen görgül bağıntıdır (Eşitlik 4.22).

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = s^a \quad (4.22)$$

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right)} \quad (4.23)$$

$$a = 0,5 + \frac{1}{6} e^{\left(\frac{GSI-20}{15-\frac{20}{3}} \right)} \quad (4.24)$$

Burada s kaya kütlelerinin çatlaklılık durumunu ifade eden bir ifade, a üstel bir katsayı, GSI jeolojik dayanım indeksi ve D ise kaya kütlelerinin örülenme derecesini ifade eden bir çarpan olarak tanımlanmaktadır. GSI değerleri, Bieniawski'nin (2011) görüşleri doğrultusunda RMR₈₉ ile aynı olarak kabul edilmiştir.

4.3.1.9 Laubscher Yaklaşımı

Laubscher (1984), farklı madencilik koşullarında tahkimat sistemlerinin etkinliğini araştırdığı çalışmasında kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımının kestirimi için Eşitlik 4.25'i önermiştir.

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = \frac{29RMR - 440}{5000} \quad (4.25)$$

4.3.1.10 Hoek Yaklaşımı

Hoek et al. (2002)'den sonra Hoek (2004), kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımını ile ilgili olan görgül bağıntıyı geliştirmiş ve Eşitlik 4.26'yı (Zhang 2010'dan) önermiştir.

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{ci}} = 0,036 \times e^{\left(\frac{GSI}{30} \right)} \quad (4.26)$$

4.3.2 Kaya Kütlesinin Tek Eksenli Çekme Dayanımının Kestirimi

Ayak arkasının göçmesi tavanın tabakalarının çekme dayanımı ile ilişkili olduğu düşünüldüğünde, kaya kütlesinin tek eksenli çekme dayanımının tasarımda önemli bir yer tutacağı anlaşılmaktadır. Literatürde kaya kütlesinin tek eksenli çekme dayanımının (σ_m) kestirimi ile ilgili yaygın olarak kullanılan görgül bağıntı Hoek et al. (2002) tarafından önerilmiştir (Eşitlik 4.27). Hoek et al. (2002) tarafından önerilen Eşitlik 4.27 iki eksenli çekme dayanımını ifade etmektedir. Ancak yazarlar, iki eksenli çekme dayanımı ile tek eksenli çekme dayanım değerleri arasında pek bir fark olmadığını belirtmiş ve bu eşitliğin kaya kütlesinin tek eksenli çekme dayanımı değeri olarak kabul edilebileceğini ifade etmiştir.

$$\sigma_m = \frac{-s \times \sigma_{ci}}{m_b} \quad (4.27)$$

$$s = e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \quad (4.28)$$

$$m_b = m_i \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)} \quad (4.29)$$

Eşitlik 4.27'de ifade edilen s değeri Eşitlik 4.23 ile ifade edilen kaya kütlesinin çatlaklılık durumunu ifade etmektedir. Bieniawski'nin (2011) görüşlerine göre, GSI = RMR kabulü ışığında ve Eşitlik 4.23'teki örselenme faktörünün de D = 0 olduğu durumda Eşitlik 4.23 basitleştirilmiş ve kaya kütlesinin çatlaklılık durumunu ifade eden s değeri Eşitlik 4.28 ile ifade edilmiştir. Eşitlik 4.29'da ifade edilen m_b değeri ise, kaya kütlesinin dayanım sabitlerinden biri olarak tanımlanmakta ve kaya malzemesinin dayanım sabiti olan m_i değerinin bir fonksiyonu şeklinde ifade edilmektedir. Kaya malzemesinin dayanım sabiti olan m_i pratik olarak Eşitlik 4.30 ile belirlenebilir. Eşitlik 4.30'da ifade edilen m_i değerinin pratik olarak bulunmasını amaçlayan bir bağıntı olup, dolaylı çekme dayanımı deneyinde disk numune merkezindeki basınç gerilmesinin çekme gerilmesine olan oranı arasındaki ilişkinin ($\sigma_{max} = -3 \sigma_{min} = -3 \sigma_{tB}$) dikkate alınmasıyla elde edilmektedir.

$$m_i = \frac{16\sigma_{tB}}{\sigma_{ci}} - \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}} \quad (4.30)$$

Eşitlik 4.28, Eşitlik 4.29 ve Eşitlik 4.30'un Eşitlik 4.27'ye yazılıp düzenlenmesiyle Eşitlik 4.31 elde edilmektedir. σ_{ci} ile σ_{tB} arasındaki ilişkinin Zonguldak kömür çevre kayaları için araştırılması (Bkz. Ek A) ile belirlenen ilişkilerin Eşitlik 4.31'e yerine yazılması ile de, farklı

kömür çevre kayaçları için kaya kütleline ait çekme dayanımını kestirmeye yarayan yeni bir görgül bir bağıntı türetilmiştir.

Türetilen görgül bağıntının türetilme amacı, saha ve proje mühendislerinin kolaylıkla yapılabilen deneyler ile kaya kütleline ilişkin önemli bir parametrenin sayısal olarak değerinin verilebilmesidir.

$$\sigma_{tm} = - \frac{e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times \sigma_{ci}}{\left(\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}} - \frac{16\sigma_{tB}}{\sigma_{ci}}\right) \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} \quad (4.31)$$

Zonguldak bölgesindeki kömür çevre kayaçlarının jeomekanik özellikleri göz önüne alındığında, kaya kütleline tek eksenli çekme dayanımı için genel bir bağıntı olan Eşitlik 4.32 önerilmektedir. Görgül bağıntının çıkarılması ve görgül bağıntının türetilmesinde kullanılan deney sonuçları Ek A'da detayları ile verilmiştir.

$$\frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{tB}} = -\eta \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR-100)\right)} \quad (4.32)$$

Burada η farklı tavan litolojilerine karşılık gelen bir çarpan olarak tanımlanmış olarak ve H-B yenilme ölçütüne göre hesaplanmıştır. Çizelge 4.7 incelendiğinde farklı tavan litolojileri için η değerinin 1,11 ile 1,3 arasında değiştiği görülmektedir. Litolojinin konglomera olduğu durumlarda kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Bu durumda ortalama σ_{ci}/σ_{tB} oranı kullanılarak ($\sigma_{ci}/|\sigma_{tB}| = 21,24$) bir η çarpanı belirlenmiştir. Buna göre, tavan tabakalarının konglomera olduğu durumlarda ise $\eta = 1,04$ olarak alınabilir. σ_{ci} ve σ_{tB} değerleri ise daha önce araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiş laboratuvar deney sonuçları doğrultusunda alınmıştır (Bkz. Ek A).

Çizelge 4.7 Zonguldak Taşkömürü Havzası için η değerleri.

Litoloji	n	$\sigma_{ci}/ \sigma_{tB} ^*$	R^*	m_i	η
İnce ve orta taneli Kumtaşı	56	12,46	0,80	11,95±3,44	1,12
Kiltaşı	21	9,48	0,78	8,41±2,29	1,22
Silttaşı	34	9,89	0,82	8,9±2,75	1,20
Çamurtaşı	12	8,3	0,94	6,35±1,25	1,30
Şeyl	8	12,65	0,78	12,39±2,15	1,11

Çizelge 4.8'deki R^* ifadesi σ_{ci} - σ_{tB} arasındaki ilişkinin doğruluk katsayısı, n regresyon analizlerinde kullanılan örnek sayısını, m_i Hoek-Brown dayanım sabitini, η değerinin niceliksel olarak büyüklüğü ise $\eta = \left[1 - (4\sigma_{tB}/\sigma_{ci})^2\right]^{-1}$ olarak tanımlanmaktadır.

4.3.3 Kaya Kütlesinin Deformasyon Modülünün Kestirimi

Kaya kütlesinin deformasyon modülü (E_m), tavan katlılığının kestiriminde önemli bir büyüklük olarak öne çıkmaktadır. Literatürde en çok kullanılan görgül bağıntılar Hashemi et al. 2010'dan derlenerek aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

4.3.3.1 Nicholson ve Bieniawski Yaklaşımı

Nicholson ve Bieniawski (1990), arazi deneyleri sonucunda kaya kütlesinin deformasyon modülünün kestirilmesi için Jeomekanik sınıflama sistemi RMR ile kaya malzemesinin deformasyon modülünün (E_i) kullanıldığı Eşitlik 4.33'ü önermiştir.

$$\frac{E_m}{E_i} = 0,01 \left[0,0028RMR^2 + 0,9 \times e^{\left(\frac{RMR}{22,82}\right)} \right] \quad (4.33)$$

4.3.3.2 Mitri et al. Yaklaşımı

Mitri et al (1994), sert kayalarda yapılan madencilik uygulamaları için kablolu kaya saplamalarının sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesini konu alan çalışmasında, E_m 'nin kestirimi için Eşitlik 4.34'ü önermektedir.

$$\frac{E_m}{E_i} = 0,5 \left[1 - \left\{ \cos \left(\frac{\pi RMR}{100} \right) \right\} \right] \quad (4.34)$$

Burada π radyan cinsindedir.

4.3.3.3 Kim et al. Yaklaşımı

Kim et al (2003), E_m 'nin kestirimi için E_i ve RMR değerlerini kullanarak yaptığı istatistiksel analizlere göre Eşitlik 4.39'u önermiştir.

$$\frac{E_m}{E_i} = \left[\frac{0,668}{1 + e^{(16,55 - 0,248 RMR)}} + 0,1165 \right] \quad (4.39)$$

4.3.3.4 Kayabaşı vd.'nin Yaklaşımı

Kaya kütlelerinin deformasyon modüllerinin kestirilmesini karşılaştırmalı olarak inceleyen Kayabaşı vd. (2003) yaptığı çalışmalarda E_m 'nin kestirimi için Eşitlik 4.40'ı önermiştir.

$$\frac{E_m}{E_i} = 0,135 \left(\frac{\left(1 + \frac{RQD}{100} \right)}{W_d} \right)^{1,811} \quad (4.40)$$

Burada RQD kaya kalite göstergesi (%), W_d kaya kütlelerinin ayrışma-bozunma derecesine ilişkin bir çarpan (Ayrışmamış kaya kütlelerinde $W_d = 1$, az ayrışmış kaya kütlelerinde $W_d = 2$, ortada derecede ayrışmış kaya kütlelerinde $W_d = 3$ ve ileri derecede ayrışmış kaya kütlelerinde $W_d = 4$ olarak alınabilir.) olarak tanımlanmaktadır.

4.3.3.5 Gökçeoğlu vd.'nin Yaklaşımı

Gökçeoğlu vd. (2003) de kaya kütlelerinin deformasyon modülünün kestirilmesi için kaya malzemesinin modül oranı (MR), RQD ve kaya kütlelerinin ayrışma-bozunma (W_d) özelliklerini dikkate alan Eşitlik 4.41'i önermiştir.

$$E_m = 0,001 \left[MR \frac{\left(1 + \frac{RQD}{100} \right)}{W_d} \right]^{1,5528} \quad (4.45)$$

Burada MR kaya malzemesinin modül oranı olup Eşitlik 4.46 ile belirlenmektedir. W_d ise Kayabaşı et al.'nin kullandığı ayrışma-bozunma çarpanları ile aynıdır. W_d arazideki kaya kütlelerinin gözlemsel ayrışma-bozunma derecesini ifade eden bir çarpan olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca MR modül oranı olup aşağıdaki eşitlik ile belirlenmektedir.

$$MR = \frac{E_i}{\sigma_{ci}} \quad (4.46)$$

Burada E_i ve σ_{ci} MPa birimindedir.

4.3.3.6 Carvalho Yaklaşımı

E_m 'nin kestirimi için bir diğer görgül bağıntı ise Carvalho (2004) tarafından önerilmiştir. Hoek ve Diedrichs (2006)'da geçen görgül bağıntıda (Eşitlik 4.46) s Eşitlik 4.28 ile belirlenebilir.

$$\frac{E_m}{E_i} = s^{0,25} \quad (4.46)$$

4.3.3.7 Ramamurthy Yaklaşımı

Ramamurthy (2004) ise, E_m 'nin kestirimini E_i ve RMR değerlerini kullanmış ve Eşitlik 4.47'yi önermiştir.

$$\frac{E_m}{E_i} = e^{\left(\frac{RMR-100}{17,4}\right)} \quad (4.47)$$

4.3.3.8 Sönmez vd.'nin Yaklaşımı

Sönmez vd. (2004) E_m 'nin kestirimi için bulanık mantık yöntemini kullanmış ve Eşitlik 4.48'i önermiştir.

$$\frac{E_m}{E_i} = (s^a)^{0,4} \quad (4.48)$$

Burada s ve a değişkenleri sırasıyla Eşitlik 4.23 ve Eşitlik 4.24 ile belirlenmektedir.

4.3.3.9 Zhang ve Einstein'ın Yaklaşımı

E_m 'nin kestirimi için önerilen bir diğer görgül bağıntı ise Zhang ve Einstein'ın (2004) önerdiği bağıntıdır (Eşitlik 4.49). Bu bağıntının diğer bağıntılardan farklı yanı E_i 'nin yanı sıra RQD değerinin de görgül bağıntıya dahil edilmesidir.

$$\frac{E_m}{E_i} = 10^{(0,0186RQD-1,91)} \quad (4.49)$$

Burada RQD % cinsinden görgül bağıntıya yazılacaktır.

4.3.3.10 Hoek ve Diedrichs'in Yaklaşımı

E_m 'nin kestirimi için literatürde en çok kullanılan bağıntılardan birisi Hoek ve Diedrichs'in (2006) önerdiği görgül bağıntıdır (Eşitlik 4.50). Bu bağıntıda $GSI = RMR$ kabulü yapılacak görgül bağıntı kullanılabilir.

$$\frac{E_m}{E_i} = \left[\frac{0,02 + (1 - 0,5D)}{1 + e^{\left(\frac{60+15D-GSI}{11}\right)}} \right] \quad (4.50)$$

Burada D kaya kütlelerinin örselenme derecesini ifade eden bir çarpan olup detayları Hoek ve Diedrichs (2006)'da detayları ile bulunabilir.

4.3.3.11 Sönmez vd.'nin Yaklaşımı

Sönmez vd. (2006) Eşitlik 4.48'de önerdiği bağıntıyı detaylı analizlerle geliştirerek E_m 'nin kestirimi için yeni bir bağıntı önermiştir (Eşitlik 4.51).

$$\frac{E_m}{E_i} = 10 \left(\left[\frac{(RMR-100)^2}{4000 \times e^{\left(\frac{RMR}{100}\right)}} \right] \right) \quad (4.51)$$

4.3.3.12 Shen et al.'un Yaklaşımı

E_m 'nin kestiriminde günümüzde yapılan son çalışmalardan birisi de Shen et al. (2012) tarafından gerçekleştirilmiştir. En küçük kareler yöntemini kullanan yazarlar E_m 'nin kestirimi için Eşitlik 4.52'yi önermektedir.

$$\frac{E_m}{E_i} = 1,14 \times e^{\left(\frac{RMR-116}{41}\right)^2} \quad (4.52)$$

4.5 AYAK ARKASININ KIRILMA MESAFESİNİN KESTİRİMİ

Ayak arkasının göçebilirliği konusunda yapılan çalışmalarda geniş yer tutan ayak arkasının kırılma mesafesinin kestirimi, üretim hızını etkilemesi ve etkin bir tabaka kontrolünün sağlanması açısından oldukça önemlidir. Ayak arkasının ilk kırılma mesafesi daha önce Bilinski ve Konopko (1973) ve Hongzhu (1996) tarafından araştırılmıştır. Ancak ayak arkasının ilk kırılma mesafesinden sonraki kırılma durumları ve bu mesafenin kestirimi giriş

teorisine göre belirlenebileceği araştırmacılarca kabul görmüştür. Bu bölümde ayak ilerlemesini takiben ayağın kırılma mesafelerine ilişkin kiriş teorisini içeren bir yaklaşıma yer verilecektir.

Ayağın ilk kırılma mesafesinden sonra ayak ilerleyişini takiben ayağın kırılma durumları, kırılma şekilleri ve bu kırılmanın büyüklüğüünün kestirimi, göçebilirlilik sınıflamaları için önemli bir bulgu olarak kabul edilmektedir.

Noroozi et al. (2012) yalancı tavanın uniform (eşit dağılımlı) yükleme koşullarında (şekil 4.3a ve şekil 4.3b), yalancı tavanın bir kiriş geometrisinde ve ana tavanın kendini tutabildiği kabulleri işığında ayak arkasının kırılma mesafesini Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçüsü doğrultusunda kullanarak aşağıdaki gibi türetmiştir.

Yalancı tavanın dikdörtgen bir kiriş geometrisinde olduğu düşünöldüğünde, bu kiriş üzerindeki en yüksek gerilme Eşitlik 4.54 ile belirlenmektedir.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \quad (4.54)$$

Burada M_{\max} yalancı tavanda oluşan en yüksek momenti ($MN \times m$) ve W dikdörtgen kesitindeki kirişin mukavemet momentini (m^3) ifade etmektedir. W mukavemet momenti Eşitlik 4.55 ile hesaplanır.

$$W = \frac{I}{c} \quad (4.55)$$

Burada I dikdörtgen şeklindeki kesitin eylemsizlik momenti (m^4) Eşitlik 4.56 ile c ise en dış lifin tarafsız eksene olan uzaklığı (m) ise Eşitlik 4.57 ile belirlenir (şekil 4.3c).

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad (4.56)$$

$$c = \frac{h}{2} \quad (4.57)$$

şekil 4.3a'da kirişin kendi ağırlığı altındaki eşit yükleme koşulu gösterilmektedir. Her taraftan eşit olarak domuzdamı arkasındaki bölgeye yüklendiği kabul edilen dikdörtgen bir kiriş

şeklindeki yalancı tavanın toplam ağırlığının kirişin ağırlık merkezinden etkidiği düşünülür (Şekil 4.3b). Bu noktadaki en yüksek moment ise Şekil 4.3b'de görüldüğü gibi Eşitlik 4.58 ile belirlenmektedir.

$$M_{\max} = \frac{1}{2} \times q \times l_{\text{im}}^2 \quad (4.58)$$

Burada q eş yüklü olarak domuzdamı arkasına etkidiği kabul edilen toplam yükü ifade etmektedir ve birimi MN/m'dir, l_{im} ise ayak arkasının beklenen kırılma mesafesi (m) olarak tanımlanır. Eş yüklü olarak dam arkasına etkileyen q yükü şematik olarak Şekil 4.3c'de görülmekte ve bu büyüklük Eşitlik 4.59 ile belirlenmektedir.

$$q = b \times h \times \gamma \quad (4.59)$$

Ayak arkasının kırılma mesafesi l_{im} , Eşitlik 4.55-4.59 arasındaki eşitliklerin Eşitlik 4.54'e yazılıp düzenlenmesiyle elde edilebilir. Kiriş teorisinden faydalanarak düz ayaklar için ayak arkasının kırılma mesafesi Eşitlik 4.60 ile elde edilebilir.

$$l_{\text{im}} = \sqrt{\frac{h_{\text{im}} \times \sigma_{\text{im}}}{3 \times \gamma_{\text{im}}}} \quad (4.60)$$

Düz ayaklar için geliştirilmiş olan bu çözüm (Eşitlik 4.60), eğimli ayaklar için de uygulanabilir. Eğimli ayaklarda tavan tabakalarının birbiri üzerindeki sürtünme durumları ve ayağın ortalama eğiminin Eşitlik 4.60'a eklenmesi gerekmektedir. Bu durumda Jacobi'nin (1981) önerdiği tavan sürtünme katsayıları kullanılabilir (Çizelge 4.8). Tavan sürtünme katsayısı (μ) ile tavan sürtünme açısı arasında Eşitlik 4.61'deki gibi bir ilişki mevcuttur.

$$\mu = \tan(\varphi) \quad (4.61)$$

Çizelge 4.8 Farklı tavan koşullarına göre, tavan sürtünme açıları ve sürtünme katsayıları, (Jacobi, 1981).

Tavan Koşulu	Tavan Sürtünme Açısı, φ (°)		Tavan Sürtünme Katsayısı, μ	
	Kuru Şartlarda	Islak Şartlarda	Kuru Şartlarda	Islak Şartlarda
Katı Tavan	38,6-26,6	30,9-16,7	0,8-0,5	0,6-0,3
Orta Katlıhtaki Tavan	26,6-16,7	16,7-11,3	0,5-0,3	0,3-0,2
Gevşek Tavan	16,7	11,3-8,6	0,3	0,2-0,15

Çizelge 4.8'de tavanın ıslak ve kuru koşulları ve farklı tavan katlıklarını içeren tavan sürtünme katsayıları görülmektedir.

Tavan sürtünme katsayısının seçimi tavan katılığının kestirimi bölümünde (Bölüm 4.2'de önerilen sınıflamaya bağlı kalarak) ifade edilen tavan katılığı sınıflamasına bağlı kalarak seçilecek ve ayak arkasının kırılma mesafesi eğimli ayaklar için kestirilmeye çalışılacaktır.

Ayak ortalama eğimi (α) ve tavan sürtünme katsayısının (μ) ayak kırılma mesafesine olan etkisi Jacobi'ye (1981) göre bir F_a fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir (Eşitlik 4.62). Eşitlik 4.62'deki fonksiyonun Eşitlik 4.60'ın pay kısmına ilave edilmesi gerekmektedir. Çünkü ayak eğimi arttıkça yerçekimi etkisi azalacağından ayak kırılma mesafesi de artacaktır. Eşitlik 4.62'nin Eşitlik 4.60'a ilave edilmesiyle eğimli ayaklar için ayak kırılma mesafesi Eşitlik 4.63 ile belirlenebilir.

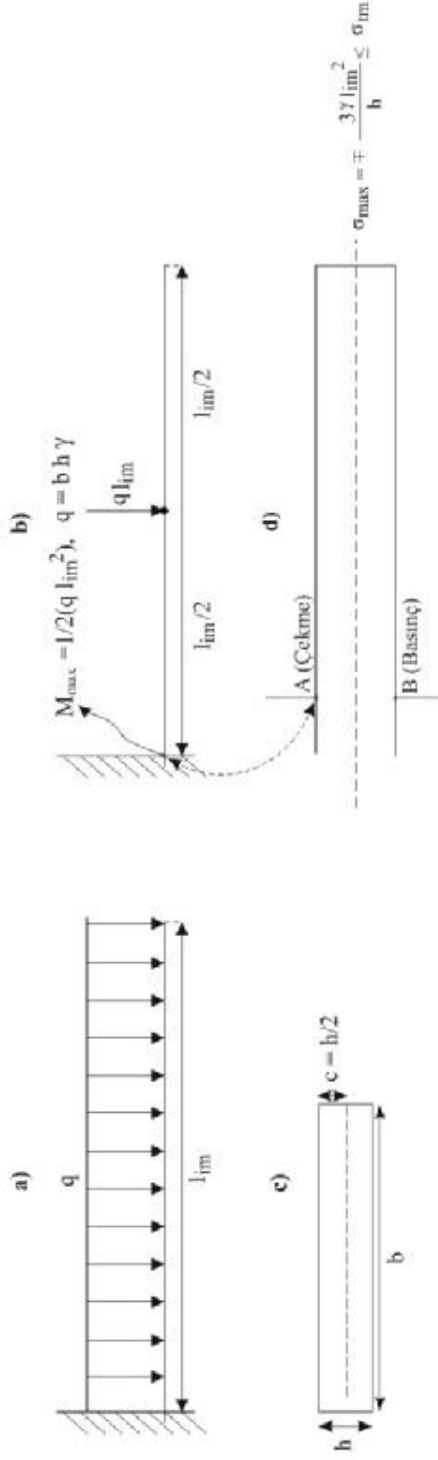
$$F_a = \cos(\alpha_i) + \frac{\sin(\alpha_i)}{\mu} \quad (4.62)$$

$$l_{im} = \sqrt{\frac{h_{im} \times \sigma_{im}}{3 \times \gamma_{im}} \times \left(\cos(\alpha_i) + \frac{\sin(\alpha_i)}{\mu} \right)} \quad (4.63)$$

Ayak kırılma mesafesinin kestirimi için sırasıyla düz ve eğimli ayaklar için geliştirilen Eşitlik 4.60 ile Eşitlik 4.63'te yer alan kaya kütlelerinin çekme dayanımını ifade eden σ_{im} ifadesi yerine daha önce H-B yenilme ölçütünü esas alan ve Zonguldak Taşkömürü Havzası için geliştirilen Eşitlik 4.32 yazılıp düzenlenirse, kaya malzemesi, kaya kütlesi ve ayağa ait önemli değişirgelerin hepsinin bulunduğu 2 önemli görgül bağıntı ortaya çıkmış olur. Böylece düz ve eğimli ayaklar için geliştirilen görgül bağıntıların son halleri, düz ayaklar için Eşitlik 4.64 ve eğimli ayaklar için ise Eşitlik 4.65 elde edilmiş olacaktır.

$$l_{im} = \sqrt{\frac{h_{im} \times \eta \times \sigma_{iB} \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR-100)\right)}}{3 \times \gamma_{im}}} \quad (4.64)$$

$$l_{im} = \sqrt{\frac{h_{im} \times \eta \times \sigma_{iB} \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR-100)\right)}}{3 \times \gamma_{im}} \times \left(\cos(\alpha_i) + \frac{\sin(\alpha_i)}{\mu} \right)} \quad (4.65)$$



AÇIKLAMALAR

- c : En dış lifin tarafsız (nötr) eksenine uzaklığı (m)
h : Kiriş kalınlığı (m)
b : Kiriş genişliği (m)
 γ : Kirişin ortalama birim hacim ağırlığı (MN/m³)
q : Kirişin toplam oluşturduğu çizgisel yük (MN/m)
 M_{max} : Toplam yükün etkidiği yerdeki en yüksek moment (MN/m)
 σ_{max} : Kirişte oluşan en yüksek gerilme (MN/m²)
 σ_{lim} : Kaya kütesinin tek eksenli çekme dayanımı (MN/ m²)
 l_{lim} : Kirişin kırılma mesafesi (m)
I : Dikdörtgen kesitin eylemsizlik momenti (m⁴)
W : Dikdörtgen kesitin mukavemet momenti (m³)

$$W = \frac{I}{c}$$

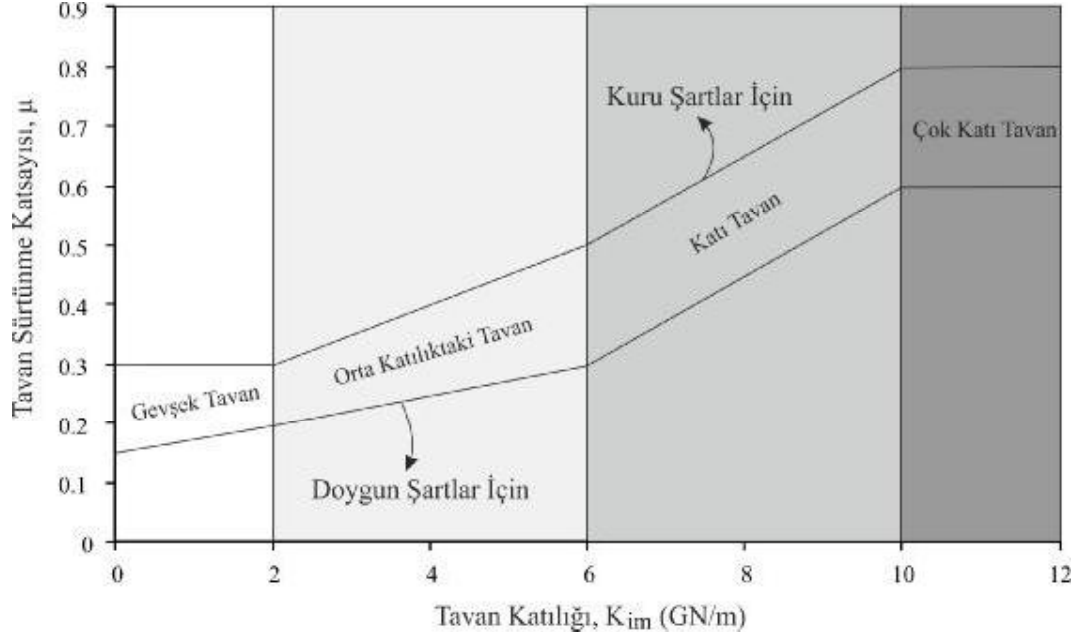
$$I = \frac{b h^3}{12}$$

$$c = \frac{h}{2}$$

$$W = \frac{b h^2}{6}$$

Şekil 4.3 Kendi ağırlığı altında dikdörtgen şeklindeki bir kirişe etkileyen en yüksek gerilmenin belirlenmesi: a) Kirişin uniform olarak yükleme yapması b) Uniform yüklemenin toplamının etkidiği nokta ve bu noktadaki en yüksek moment c) Kirişin mukavemet momentinin belirlenmesi d) Kiriş üzerindeki en yüksek gerilmenin tahmini ve kırılma sınır koşulu.

Eşitlik 4.65'te tavan sürtünme katsayısı olan μ ise Bölüm 7'de ifade edilen tavan katılığı sınıflaması uyarınca Şekil 4.4 kullanılarak kuru veya doygun tavan koşullara göre seçilebilir. Tavan su gelirinin ortalama olduğu koşullarda ise μ değeri, kuru ve doygun koşullar için elde edilen μ değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak kullanılabilir.



Şekil 4.4 Farklı tavan katılıklarına göre tavan sürtünme katsayısı değerlerinin seçimi.

BÖLÜM 5

TAVAN DURAYLILIĞI VE AYAK ARKASI GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMALARI

Bu bölümde ayak arkasının göçebilirligi konusunda literatürde yoğun olarak kullanılan sınıflama sistemlerinin tanıtılması ve bu sistemlerin kullanılmasına ilişkin önemli hususlara değinilecektir. Ayrıca açıklanan sınıflama sistemlerinde yer tutan değıştirgeler analiz edilerek kullanılan değıştirgelerin önem sıraları ortaya konulacaktır.

5.1 BILINSKI VE KONOPKO YAKLAŞIMI

Bilinski ve Konopko (1973, 1974), Polonya kömür madenlerinde yaptıkları deneysel çalışmalarda statik yükler altındaki tavan taşlarının gevşeme ve kırılma özelliklerini “Tavan İndeksi Puanlaması” olarak tanımlamışlardır (Eşitlik 5.1).

$$L_c = 0,321 \times \sigma_c^{1.7} \times (K_1 \times K_2 \times K_3) \quad (5.1)$$

Burada L_c tavan indeks puanı, σ_c boy/çap oranının 1 olduğu tavan taşının tek eksenli basınç dayanımını (MPa), K_1 , K_2 ve K_3 çarpanları da farklı litolojilerdeki bazı tavan taşlarının önemli mekanik özelliklerini ifade etmektedir. K_1 çarpanı kayacın yerinde basınç dayanımının kestirimini, K_2 çarpanı kayacın zamanla yorulma özelliğinin bir göstergesini, K_3 çarpanı ise kayacın suya olan hassasiyetinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır (Çizelge 5.1)

Boy (L_k) ve çap (D_k) oranı 1 olan kaya malzemesinin basınç dayanımı Obert ve Duvall (1967)'ye göre;

$$\sigma_c \left(\frac{L_k}{D_k} = 1 \right) = \frac{\sigma_c \left(\frac{L_k}{D_k} > 0,333 \right)}{0,778 + 0,222 \frac{D_k}{L_k}} \quad (5.2)$$

Eşitlik (5.2) ile belirlenir.

Çizelge 5.1 K₁, K₂ ve K₃ çarpanlarının çeşitli kayaçlar için aldıkları değerler (Unrug 1983).

Litoloji	K ₁	K ₂	K ₃
Kiltaş	0,5	0,6	0,5
Silttaş	0,42	0,6	0,5
Kumtaş	0,33	0,7	0,6

Ayak arkasının kırılma mesafesi (l_t) ise tavan indeksi puanı (L_c) görgül olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 5.3). Yukarıda ifade edilen tavan indeks puanına (L_c) göre beş farklı tavan koşulu ve tavanların etki alanları tanımlanmıştır (Çizelge 5.2).

$$l_{t(m)} = 4,47 \times L_c^{0,4} \quad (5.3)$$

Çizelge 5.2 Tavan indeks puanına göre tavan taşlarının göçebilirlik sınıflandırılması (Bilinski ve Konopko 1973'ten değiştirilerek).

Sınıf	Tavan İndeks Puanı, L_c	Tavan Taşı Litolojisi	Göçebilirlik	Tavanın Etki alanı (m^2)*	Arından yaklaşık uzaklık (have)**
I	0-18	Tabakalı silttaş, su içeren bol çatlaklı ayrışmış zayıf tavan	Küçük bloklar halinde kendiliğinden göçme	1	1-1,5
II	18-35	Kırıklı, parçalı silttaş, kiltaş su içeren zayıf tavan taşları	Kolay	1-2	1,5-2
III	35-60	Silttaş, çamurtaş, orta dayanımlı kumtaş ve marn	Orta	2-5	2-3
IV	60-130	Sert silttaş, iri taneli kumtaş, konglomera	Zor	5-8	3-4
V _a	130-250	İnce taneli kumtaş, pekleşmiş	Patlatma ile göçertilir.	8	>4
V _b	>250	konglomera, sağlam kireçtaş			
Açıklamalar		* Tavanın tahkimatsız durabilme alanı			
		** Göçmenin başlayacağı yaklaşık mesafe (1 have \approx 0,5-2m)			

5.2 SINGH ET AL. YAKLAŞIMI

Singh et al., 1988'den beri uygulanan Hindistan kömür madeni uzunayaklarında yürüttükleri çalışmalar sonucu tavan tabakalarını göçebilirlik açısından sınıflamışlardır (Çizelge 5.3). Araştırmacıların önerdikleri tavanın göçebilirlik indeksi puanını (I_h) belirlemede kullanılan görgül bağıntı, yalancı tavan tabakasının kaya kalite göstergesi (RQD, %), tavan tabakasının tek eksenli basınç dayanımı ve tabaka kalınlığı gibi değişirgeleri içermektedir (Bkz. Eşitlik 5.4).

$$I_h = 0,2 \times \sigma_{ci} \times F_l^g \times h_b^{0,5} \quad (5.4)$$

Burada I tavan tabakasının göçebilirlik indeksi puanı, σ_c tavan tabakasının tek eksenli basınç dayanımı (MPa), F_l RQD hesaplamalarındaki ortalama karot parça boyu (mm), n üstel bir katsayı ($RQD \geq \%80$ $g = 1,2$, $RQD < \%80$ $g = 1$) ve h_b ise ortalama tavan tabakası kalınlığını (m) ifade etmektedir.

Çizelge 5.3 Göçebilirlik indeks puanına göre tavan göçebilirlik sınıflaması (Singh vd. 1999).

Tavan Sınıfı	Göçebilirlik	Göçebilirlik İndeksi Puanı, I_h
I	Kolay	<2000
II	Normal	2001-5000
III	Zor	5001-10000
IV	Çok Zor	10001-14000
V	Patlatma ile	>14000

Ortalama karot parça boyu (F_l) ise Bikermann ve Mahtab (1986) tarafından önerilen eşitlikler yardımı ile belirlenmektedir (Bkz. Eşitlik 5.5)

$$F_l = e^{3,75+0,015(RQD)} \quad (5.6)$$

Eşitlik 5.5'teki F_l değerinin birimi mm ve RQD % cinsindedir.

5.3 MARK VE MOLINDA YAKLAŞIMI

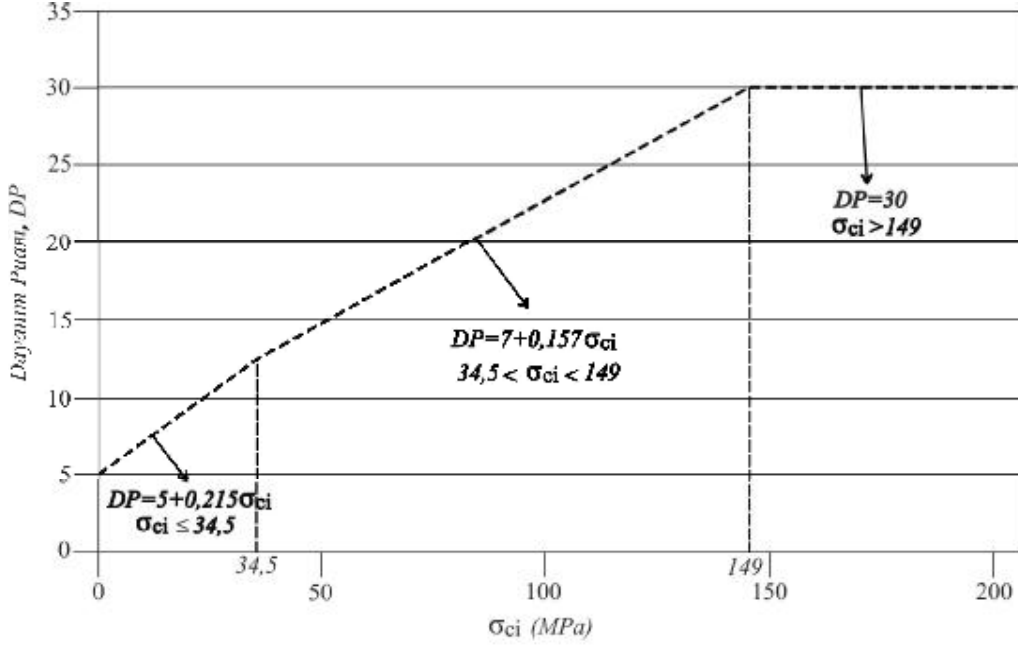
Mark ve Molinda (1993), ABD kömür madenlerinde yaptıkları çalışmalarda tavan tabakalarının jeolojik ve mühendislik özelliklerini kullanarak tavan tabakalarını sınıflamışlardır (the Coal Mine Roof Rating; CMRR). Tavan tabakalarının duraylılığının sayısal bir ölçüsü olarak geliştirilen tavan puanlama sistemi, madencilik uygulamalarında kendine önemli ölçüde yer bulmuştur (Forgeron et al. 2001). Sınıflama sistemi tavan taşlarının temel fiziksel ve mekanik özellikleri temel alınarak yapılmıştır.

Temel tavan puanlama sınıflamasında girdi parametreleri aşağıdaki gibidir.

- Tavanın tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) veya düzeltilmiş eksenel nokta yükü dayanımı ($I_{s50\perp}$),
- Tavan tabakalarının temel süreksizlik özellikleri (RQD, pürüzlülük, aralık, devamlılık ve süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımı)

Yukarıda ifade edilen beş farklı değiştirgeye ait puanlamalar sonucu tavan tabakaları duraylılık açısından sınıflandırılmaktadır. Sınıflama sisteminde kayacın dayanım puanının

belirlenmesi için tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) veya eksenel nokta yükü dayanımı ($I_{s50\perp}$) kullanılmaktadır (Şekil 5.1). Buna göre $\sigma_{ci} > 149$ MPa için en yüksek dayanım puanı 30 en düşük dayanım puanının ise 5 olduğu Şekil 5.1'den anlaşılmaktadır.



Şekil 5.1 Tavan sınıflamasında dayanım puanı değişim cetveli (Rusnak ve Mark 2000).

Bir diğer önemli girdi parametresi ise süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımıdır. Tabaka kontrolünde göz önüne alınması gereken en önemli değişkenlerden biri süreksizlik yüzeylerinin kesme dayanımıdır. Arazide meydana gelen problemlerin pek çoğunun kaya kütlelerinin kayma ve kesme davranışından kaynaklandığı düşünülürse tavan duraylılığı konusunda kesme dayanımının ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımının puanlanması, süreksizliğin pürüzlülüğü ve kohezyonu dikkate alınarak yapılmaktadır (Çizelge 5.4). Kayacın pürüzlülük durumu dikkate alınmaksızın kayacın kohezyonu yüksek ise kesme puanı en yüksek 35, en düşük kesme puanı 10'dur. Eğer araziden numune toplamak mümkün ise tabakalanma doğrultusuna paralel yapılan çapsal nokta yükü dayanımı ($I_{s50//}$) değerleri ile de süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımı puanının belirlenmesi mümkündür (Mark ve Molinda 1996).

Çizelge 5.4 Süreksizlik yüzeyinin kesme dayanımı puanlaması (Mark ve Molinda'dan değiştirilerek 2003).

Pürüzlülük	Kaya Kütleli Kohezyonu, c_m			
	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
	$c_m > 8$ MPa	$c_m = 8-4$ MPa	$c_m = 4-1$ MPa	$c_m < 1$ MPa
Pürüzlü	35	29	24	10
Dalgalı	35	27	20	10
Düzlemsel	35	25	16	10

Tavan tabakalarının süreksizlik sıklığı puanlaması (DIR: *discontinuity intensity rating*) RQD, çatlak aralığı ve süreksizlik devamlılığı cinsinden ifade edilmektedir (Çizelge 5.5) Tavan tabakalarında yapılan hat etütleri sonucu metre başına karşılık gelen çatlak sayısı (λ) kullanılarak tavan tabakalarının göreceli RQD değerleri Priest ve Hudson (1976)'ya göre;

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0,1\lambda + 1) \quad (5.7)$$

Tavan sınıflaması için süreksizlik sıklık puanı (DIR) RQD veya çatlak aralığı (*fracture spacing*) cinsinden görgül olarak;

$$DIR = 10,5 \ln(RQD) - 11,6 \quad (5.8)$$

$$DIR = 5,64 \ln(FS) + 5,8 \quad (5.9)$$

eşitlikleri ile ifade edilmektedir. FS mm cinsinden çatlak aralığıdır.

Eşitlik 5.8 dikkate alındığında en yüksek süreksizlik sıklığı puanı RQD=100 için DIR yaklaşık 36 olurken Eşitlik 5.9 dikkate alındığında ise, geniş çatlak aralığı ($FS > 1,8$ m) süreksizlik sıklığı puanı yaklaşık 48 değerini almaktadır. Süreksizlik devamlılığı ve süreksizlik aralığı dikkate alındığında ise en yüksek süreksizlik puanı 35 en düşük ise 9 değeri önerilmektedir (Çizelge 5.5).

Görüldüğü gibi tabakaların süreksizlik sıklığı puanlaması için iki farklı puanlama sistemi bulunmaktadır. Mark ve Molinda (2005) eğer araziden detaylı ölçümlerin yapılabilmesi durumunda süreksizlik sıklığı puanlaması için Tablo 2.12'nin, daha kaba ölçümler yapılması durumunda (sadece şeritmetre ile çatlak frekansı ölçümü gibi) ise Eşitlik 5.8 ve Eşitlik 5.9'un kullanılmasını önermişlerdir.

Çizelge 5.5 Süreksizlik sıklığı puanlaması (Mark ve Molinda 2005).

Süreksizlik Devamlılığı	Süreksizlik Aralığı				
	>1.8(m)	0.6-1.8(m)	0.2-0.6(m)	60-200(mm)	<60(mm)
0-1m	35	30	24	17	9
1-3m	32	27	21	15	9
>3m	30	25	20	13	9

Temel tavan sınıflama puanı ($CMRR_{basic}$) yukarıda özetlenen üç farklı değiştirmeden elde edilen puanların toplamı ile elde edilmektedir. Temel tavan sınıf puanı, kayaçların suya olan hassasiyeti, su geliri durumu, çoklu katmanlardan oluşan litolojik yapılardan kaynaklanan düzensizlikler ve tavana gelen ilave yüklerin varlıkları nedeniyle buldukları araziyi en uygun temsil edecek şekilde düzeltilmelidir. Kayaçların suya olan hassasiyetinden kaynaklanan ceza puanı, hacimce su emme testi veya suda dağılma deneyine göre belirlenmektedir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6 Kayaçların suya olan hassasiyeti ile ilgili ceza puanları (Mark ve Molinda'dan değiştirilerek 2005).

Suya Karşı Kayaçların Gösterdiği Hassasiyet	Ceza Puanı	Hacimce Su Emme (%)	Suda Dağılmaya Karşı Dayanım İndeksi (%)
Hassas Değil	0	0-1	100-98
Biraz Hassas	-3	2-4	98-92
Orta Derecede Hassas	-7	5-9	92-80
Hassas	-15	>9	<80

Kayaçların suya hassasiyeti dışında, tavan tabakasının birden çok katmandan oluşması durumunda katmanlar arası ayrılmalar (*bed separation*) sıklıkla meydana gelmektedir (Karmis ve Kane 1984). Mark ve Molinda (2005) bu yapısal problemi de sınıflama sistemine ilave ederek, dört ve daha fazla katmandan oluşan tavan sınıflamalarında en fazla 5 puan olmak üzere bir ceza puanı önermektedir. Dörtten daha az katmanlı tavanlarda ceza puanı yaklaşım yöntemleri ile belirlenebilir.

Arazide su geliri mevcut ise, bu durum için olan ceza puanı akma şeklinde su geliri varsa en fazla 10 ceza puanı kesilmektedir. Diğer durumlar için ise (sızıntı, ıslak, rutubetli ve tamamen kuru yüzey şartları) Jeomekanik sınıflama sistemi (RMR)'da yer alan yer altı suyu puanlaması

esas alınarak bir ceza puanı verilmektedir. Tavan tabakalarında tabaka ayrılmaları ve ilave yükler (*surchage loads*) için ise temel CMRR puanından 3 ceza puanı kesilmektedir.

Buna göre CMRR, UCS>149 MPa için 30, pürüzlü ve yüksek kohezyona sahip kayalar için 35 ve RQD =100 şartları için de 35 puan ve hiçbir ceza puanı olmaksızın en iyi durumlar için $CMRR=30+35+35 = 100$ puan olarak sınıflamanın en üst sınırını oluşturmaktadır. Sınıflama sisteminin en alt sınırı ise (en kötü tavan koşulunda) teorik olarak CMRR puanı 0 olmak üzere, CMRR sınıflama puan aralığı [0–100] arasında değişmektedir. Tavan duraylılığı açısından ise CMRR üç ana sınıfa ayrılmaktadır (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7 Kömür madenciliğinde tavan puanı sınıflaması (Mark ve Molinda 2004).

CMRR Sınıfı	Puan Aralığı	Tavan Litolojisi
Çok Duraylı	$CMRR \geq 65$	İnce T. Kumtaşı, Konglomera
Duraylı	$65 > CMRR \geq 55$	İnce T. Kumtaşı, Silttaşı
Orta Duraylı	$55 > CMRR \geq 45$	Orta T. Kumtaşı, Silttaşı,
Az Duraylı	$45 > CMRR \geq 35$	Çamurtaşı, Kiltası
Duraysız	$35 > CMRR$	Şeyl, Kiltası

Buraya kadar sunulan tablo ve görgül bağıntılar ışığında belirlenen CMRR değerleri, tavanın jeolojik koşullarına göre belirlenmektedir. CMRR değerlerini ikincil olarak etkileyen faktörler ise ayak genişliği (W_e) ve üretim derinliğidir (H). CMRR sınıflamasının uygulandığı 44 örnek çalışmanın istatistiksel analizi sonucu CMRR puanı ile ayak genişliği ve üretim derinliği arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir (Mark ve Molinda 1994, Mark ve Molinda 1996).

5.4 LAUBSCHER YAKLAŞIMI

Laubscher (1990), RMR_{89} sınıflama sistemini asbest madenlerindeki tavan tabakalarını göçebilirlik açısından sınıflandırmak için kullanmıştır. Beş farklı RMR sınıfı için önerilen sınıflamada çatlaklı bölge çapı ve çatlaklılık karakteristikleri ve tavan tabakalarının göçebilirlik durumları ifade edilmiştir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8 Laubscher Tavan Göçebilirliği Sınıflaması (Laubscher'dan düzenlenerek 1990).

Tavan Sınıfı	I	II	III	IV	V
RMR_{89} Puanı	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Göçebilirlik	Çok Zor	Zor	Orta	Kolay	Çok Kolay
Ayak Arkası kırılma mesafesi (m)	20-3	9-1,5	5-0,4	2-0,1	$\leq 0,3$

5.5 ÇİN TAVAN SINIFLAMASI

Çin Tavan Sınıflaması, Çin kömür havzasındaki kömürler için Hongzhu (1996) tarafından geliştirilmiştir. Çin Tavan Sınıflaması'na göre yalancı ve ana tavanı dört alt grup olmak üzere gruplandırmışlardır. Buna göre yalancı tavan kendi arasında Tip A, B, C ve Ç olmak üzere, ana tavan ise I., II., III, ve IV. tip olmak üzere gruplara ayrılmaktadır. Yalancı tavan sınıflamasında dayanım indeksi (D) puanı göz önünde bulundurulmuştur ve görgül olarak:

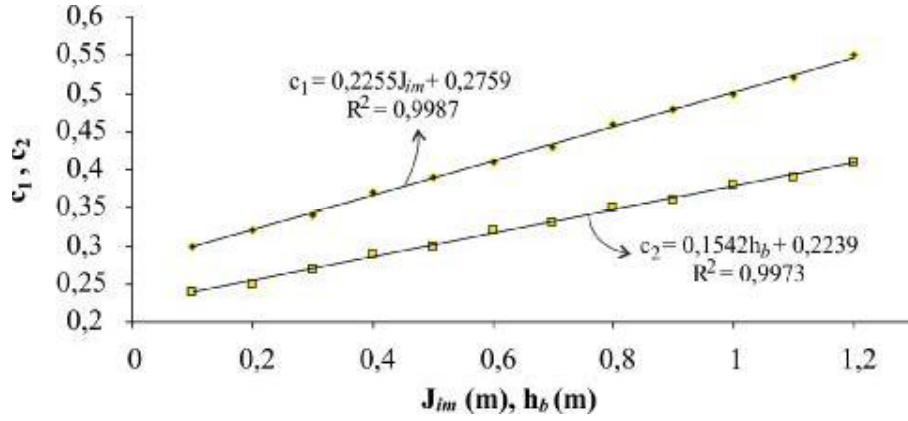
$$D = \sigma_{ci} \times c_1 \times c_2 \quad (5.13)$$

eşitliği ile belirlenmektedir. Burada σ_{ci} tavan tabakasının tek eksenli basınç dayanımını (MPa), c_1 ve c_2 değerleri ise sırasıyla çatlak aralığı puanı ve ortalama tabaka kalınlığına göre belirlenen çarpanlar olarak tanımlanmaktadır.

Tavan tabakalarının çatlaklılığı bir ölçütü olarak tanımlanan c_1 çarpanı ortalama çatlak aralığının bir fonksiyonu ve c_2 çarpanı ise yalancı tavan kalınlığını bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Çizelge 5.9). Eğer çatlak aralığı ve ortalama tavan tabakası kalınlığı Çizelge 5.9'da verilen değerler arasında kalırsa bu değerler kullanılarak ara değerler elde edilebilir (Şekil 5.2).

Çizelge 5.9 Yalancı tavanın ortalama çatlak aralığı (J_{im}) ve ortalama tavan tabaka kalınlığı (h_b) göre c_1 ve c_2 katsayıları (Hongzhu, 1996).

J_{im} (m)	c_1	h_b (m)	c_2
0,1	0,3	0,1	0,24
0,2	0,32	0,2	0,25
0,3	0,34	0,3	0,27
0,4	0,37	0,4	0,29
0,5	0,39	0,5	0,3
0,6	0,41	0,6	0,32
0,7	0,43	0,7	0,33
0,8	0,46	0,8	0,35
0,9	0,48	0,9	0,36
1	0,5	1	0,38
1,1	0,52	1,1	0,39
1,2	0,55	1,2	0,41



Şekil 5.2 Farklı J_{im} ve h_b değerleri için c₁ ve c₂ katsayılarının değişimi.

Dayanım indeksi puanına göre yalancı tavan dört gruba ayrılmaktadır. Tavan duraylılığı, geçebilirlik, tavan davranışı ve yalancı tavanın kırılma mesafesi gibi değişkenler hakkında dayanım indeksi puanı önemli bilgiler vermektedir (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10 Dayanım indeksi puanına göre yalancı tavanın sınıflandırılması (Hongzhu 1996).

Tavan Tipi	A	B	C	Ç
Tavan Duraylılığı	Duraysız	Yarı Duraylı	Duraylı	Aşırı Duraylı
Dayanım İndeksi Puanı, D	≤ 3	3,1 - 7	7 - 12	> 12
Yalancı Tavan Kırılma Mesafesi, l _{im} (m)	≤ 8	9 - 18	19 - 25	> 25
Göçebilirlik	Kolay	Orta	Zor	Çok Zor

Ana tavanın sınıflandırılması ise periyodik kırılma oranı (N) ile tanımlanmaktadır (Bkz. Eşitlik 5.14). Ana tavan ilk kırılma olayından sonra belli aralıklarla tekrar kırılmakta ve tahkimatın ilave yüklere maruz kalmasına sebep olmaktadır. Yerinde yapılan gözlem ve incelemelerde periyodik kırılma koşullarında ana tavanın kırılma aralıklarının 16-25m arasında olduğu saptanmıştır (Peng ve Chiang 1984). Yalancı tavan kalınlığının (h_{im}) damar kalınlığına (H) oranı şeklinde ifade edilen periyodik kırılma oranı ana tavanın kırılma koşulunu belirleyen bir parametre olarak rol oynamaktadır (Eşitlik 5.14).

$$N = \frac{h_{im}}{H} \quad (5.14)$$

Çizelge 5.11 Ana tavan tabakalarının sınıflaması (Hongzhu 1996)

Tavan Tipi	I	II	III	IV
Periyodik Kırılma	—	Seyrek	Sık	Çok Sık
Periyodik Kırılma Oranı	N > (3-5)	0,3 ≤ N ≤ (3-5)		N < 0,3
Ana tavan kırılma mesafesi, L _m (m)	—	25-50	25-50	> 50

Çizelge 5.11'e göre yalancı tavan kalınlığı damar kalınlığının 3-5 katı olması durumunda ($N > (3-5)$) ana tavanda kırılma meydana gelmemektedir. Bu durumda yalancı tavan aşırı gevşemeler sebebiyle ve bloklu-parçalı göçme davranışı gösterir. Ana tavanda periyodik kırılmanın meydana gelmemesi için ise Korovkin (1982) görgül bir bağıntı geliştirmiştir. Eşitlik 5.15'te en küçük yalancı tavan kalınlığının X değerinden küçük ve eşit olması durumunda periyodik kırılma teorik olarak gerçekleşmez.

$$h_{im} \leq \frac{H - d_a}{K_r - 1} = X \quad (5.15)$$

Burada H damar kalınlığını (m), d_a en yüksek tavan sarkmasını (mm/m), K_r ise kalıcı kabarma faktörünü ifade etmektedir. Farklı damar kalınlıklarına karşılık gelen tavan sarkmaları ve kalıcı kabarma faktörleri ise Çizelge 5.12'de verilmektedir.

Kritik denge durumunda Eşitlik 5.15 Eşitlik 5.14'te yerine yazılıp düzenlenirse periyodik kırılma oranı Eşitlik 5.16 ile belirlenir.

$$N = \frac{H - d_a}{(K_r - 1)H} \quad (5.16)$$

Çizelge 5.12 Farklı damar kalınlıklarına göre ölçülen tavan sarkmaları (Korovkin, 1982).

Damar kalınlığı, H (m)	<1	1	2	3	4
Tavan Sarkması, d_a (mm/m)	45	50	55	60	62,5
Kalıcı Kabarma Faktörü, K_r	1,15	1,2	1,3	1,4	1,5

Çin sınıflamasında periyodik kırılmanın olmaması için gerekli şart $N > (3-5)$ iken, Korovkin (1982) damar kalınlıkları $0,7 \text{ m} < H < 4 \text{ m}$ olan Rusya kömür madenlerinde yaptığı araştırmalarda periyodik kırılma oranının $2 < N < 4,3$ olduğu durumlarda ana tavanda periyodik kırılmaların meydana gelmediğini belirlemiştir. Çin Tavan Sınıflamasına göre III ve IV. sınıfta yer alan tavanlarda sık aralıklarla periyodik kırılmalar beklenmektedir. Söz konusu bu periyodik kırılma mesafesi ise Eşitlik 5.17 ile belirlenir.

$$L_{pm}(m) = \sqrt{\frac{10 \times \sigma_{ci} \times \sum_0^i h_{mi}}{\rho_m}} \quad (5.17)$$

Burada σ_{ci} tavan tabakasının tek eksenli basınç dayanımını (MPa), h_{mi} çok katmanlı tavanlarda toplam tavan kalınlığını (m) ve ρ_m ise tavan yoğunluğunu (ton/m^3) ifade etmektedir.

5.6 VENKATESWARLU ET AL. YAKLAŞIMI

Venkateswarlu et al. (1989) Hindistan kömür madenlerinde yaptıkları çalışmalarda, tahkimat tasarımı ve tavan tabakalarının duraylılıklarının kestirimi için bir sınıflama sistemi geliştirmiştir. Geliştirilen sınıflama sistemi jeomekanik sınıflama sisteminin (RMR) tavan duraylılığına uyarlanması olarak düşünülebilir. Önerilen tavan duraylılığı sınıflaması beş ana değiştirgenin toplamından oluşmaktadır. Bu değiştirgeler; 1) ortalama tabaka kalınlığı, 2) tavan tabakalarının yapısal özellikleri, 3) Kayaçların ayrışma-bozunma durumları, 4) tavan dayanımı, 5) yeraltı suyu durumu olarak tanımlanmakta olup, bu beş değiştirgenin sistemdeki dağılımı ve puanlaması Şekil 5.13'te verilmektedir.

Sistemde yer alan ortalama tabaka kalınlıkları tavan katılığının bir göstergesi olarak tanımlanmaktadır. Buna göre, ortalama tabaka kalınlığının (h_b) az olduğu ($h_b < 2,5 \text{ cm}$) tavanlar tabaka ayrılması olayına en hassas olan tavanlar olarak tanımlanmaktadır. Buna karşın tabaka kalınlığının artışı tavan katılığını arttırmakta ve $h_b > 50 \text{ cm}$ şartlarında tavanda tabaka ayrılmaları yerine bloklu bir göçme davranışı kendini göstermektedir.

Hindistan kömür madenlerinde yapılan arazi gözlem ve incelemelerine göre, $80 \text{ cm} > h_b > 20 \text{ cm}$ arasında kalan tavanlar genellikle duraylılıklarını muhafaza ederken, $h_b < 10 \text{ cm}$ olan tavanlar genellikle duraysız ve kolay göçebilen özelliktedir (Venkateswarlu et al. 1989).

Tavan tabakalarının yapısal özellikleri ise, tavanın kırıklı ve faylı yapısı ile kömür damarındaki dalgalı ve kıvrımlı yapıyı kapsayan bir bütün olarak ifade edilmektedir. Tavanın ayrışma-bozunma durumu ise kayaçların birinci çevrime karşılık gelen suda dağılmaya karşı dirençleri (I_{d1}) ile belirlenerek, puanlandırılmaktadır Diğer önemli bir girdi parametresi olan tavan dayanımı, sınıflama sisteminde kayaçların tek eksenli basınç dayanımları esas alınarak belirlenmiştir Yeraltı su durumunu ise arazide gözlemsel veya basit ölçümler yaparak belirlenmelidir. Belirlenen koşula göre ise tavanın yeraltı su durumuna göre olan puanlama kullanılarak yapılır (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.13 Venkateswarlu et al. Tavan Sınıflaması (Venkateswarlu et al. 1989).

1) Tavan Dayanımı

Tavan Dayanımı	σ_{ci} (MPa)	Puan Aralığı
Çok Düşük	<10	0-2
Düşük	10-30	2-6
Orta	30-60	6-10
Yüksek	60-90	10-13
Çok Yüksek	>90	13-15

2) Tavan Tabaka Kalınlığı

Ortalama Tabaka kalınlığı, h_b (cm)	Tavan Katlılığı	Tavan Davranışı	Puan Aralığı
<2,5	Çok az	Tabaka ayrılmasına çok duyarlı	0-5
2,5-7,5	Az	Tabaka ayrılmasına orta duyarlılıkta	5-12
7,5-20	Orta	Tabaka ayrılması genelde gözlenmez	12-19
20-50	Orta Katlılıkta	Yarı katı ve bloklu tavan	19-25
>50	Katı	Katı ve yekpare tavan	25-30

3) Tavan Süreksizlik Durumu

Yapısal Özellik	Puan Aralığı
Faylı ve bol kıvrımlı bölgeler	0-4
Bol zayıflık zonlu içeren bölgeler	4-10
Bol Eklemlili bölgeler	10-16
Az eklemlili bölgeler	16-21
Sorunsuz bölgeler	21-25

4) Ayrışma - Bozunma

Ayrışma-Bozunma Duyarlılığı	I_{d1} (%)	Puan Aralığı
Çok Duyarlı	<60	0-3
Duyarlı	60-85	3-8
Orta Duyarlılıkta	85-97	8-13
Düşük Duyarlılıkta	97-99	13-17
Çok Düşük Duyarlılıkta	99-100	17-20

5) Tavan Su Geliri

Yeraltı Su Durumu	Su Akış ve Sızıntı Hızı (ml/min)	Puan Aralığı
Kuru tavan	-	10-9
Nemli tavan	<20	9-7
Sızıntı şeklinde su geliri	20-200	7-4
Damlama şeklinde su geliri	200-2000	4-1
Akma şeklinde su geliri	>2000	1-0

Tavan Göçebilirlik Sınıflaması

Tavan Sınıflama Puanı	Tavan Sınıfı	Tavan Göçebilirliği
0-20	V	Çok Kolay
20-40	IV	Kolay
40-60	III	Orta
60-80	III	Zor
80-100	I	Çok Zor

5.7 DAS TAVAN SINIFLAMASI

Das (2000), Hindistan kömür madenlerinde yaptığı çalışmalarda, tavan duraylılığının ortaya konulması için bir tavan sınıflaması geliştirmiştir. Hindistan'da yaygın olarak gözlenen kömür çevre kayaçlarını; kumtaşı (ince, orta ve iri taneli), şeyl, karbonlu şeyl, laminalı kumtaşı, kumtaşı-şeyl ardalanması ve kıltaşı olarak tanımlayan yazar, geliştirdiği tavan sınıflamasında bu kayaçların jeomekanik özelliklerini dikkate almıştır. Sınıflama sistemi altı farklı değiştirgelerden oluşmaktadır. Bunlar; tavan dayanımı, tavanın kaya kalite göstergesi (RQD, %), tavan litolojisi, tavan çatlaklılık durumu, tavandaki su geliri ile ortalama tabaka kalınlığı olarak sıralanabilir. Bu altı değişkenin sınıflama sistemine olan etkileri Çizelge 5.14'de ifade edilmektedir.

Çizelge 5.14 Das Tavan sınıflamasına ait girdi değiştirgeleri ve sisteme olan etkileri.

Girdi Değiştirgesi	Sınıflama Sistemine Olan Etkisi (%)	Puan Aralığı
Tavan Dayanımı	25	0-25
RQD (%)	25	0-25
Litoloji	10	0-10
Çatlaklılık Durumu	10	0-10
Tavan Su Geliri	10	0-10
Ortalama Tabaka Kalınlığı	20	0-20

Hindistan kömür madenlerindeki tavan tabakaları genellikle bol kırıklı ve çatlaklı bir yapı sunduğundan tavanın çatlaklılık durumu ile ve RQD değerleri ayrı ayrı değerlendirilerek tavan çatlaklılığının bu tavan duraylılık sınıflamasında ayrı bir öneme sahiptir. Bu tavan tabakaları ayrıca çok sayıda ve sık tekrarlanan arakesmelere sahip olması, tavan duraylılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çatlaklılık tavan su gelirini arttırmakta ve kil içeren kayaçların kabarmalarına sebep olarak tavan göçmesini kolaylaştırmaktadır (Das 2000). Çok kalın tabakalı kumtaşlarının hakim olduğu tavanlar ise genellikle delme-patlatma ile göçertilmekte, eğimi yüksek ve göçmeyen ayaklar ise dolgulu olarak çalışmaktadır.

Das tavan sınıflama sistemine göre, kömür tavan tabakaları duraylılık ve göçebilirlik açısından altı gruba ayrılmaktadır. Ayrıca Çizelge 5.15'te değişen tavan koşulları için uygun işletme yöntemi ve yalancı tavanın ana tavandan ayrışma açıları (göçme açısı, θ_c) da yaklaşık olarak verilmektedir.

Çizelge 5.15 Das Tavan Duraylılığı Sınıflaması, (Das'dan düzenlenerek 2000).

Girdi Parametresi	Tavan Sınıfı					
	I	II	III	IV	V	VI
Tavan Dayanma, σ_{tj} (MPa)	0-10	10-20	20-30	30-50	50-80	>80
Puan	0-3	3-6	6-9	9-15	15-24,9	24,9-25
RQD (%)	0-20	20-40	40-50	50-70	70-85	85-100
Puan	0-6	6-8	8-10,5	10,5-16	16-20,5	20,5-25
Tavan Litolojisi	A1	B1	C1	D1	F1	F1
Puan	0-3	3-5,5	5,5-7,5	7,5-8,5	8,5-9,5	9,5-10
Tavan Çatlaklık Durumu	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆
Puan	0-3	3-5,5	5,5-7,5	7,5-8,5	8,5-9,5	9,5-10
Yeraltı Su Durumu	Akıcı	Damlımsı	Sızırıcı	İslik	Nemli-Kuru	Tutulmuş Kuru
Puan	0-4	4-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Ortalama Tabaka Kalınlığı, h, (m)	0-0,35	0,35-1	1-2	2-3	3-4	>4
Puan	0-1,5	1,5-5	5-10,5	10,5-16	16-19,9	19,9-20

Tavan Litolojisi Tanımlaması	
A1	Zayıf karbonlu şeyl bel çatlaklı kumtaşı, kumtaşı, kumtaşı-şeyl ardalanması
B1	Kumlu şeyl zayıf karbonlu şeyl çatlaklı kumtaşı-kilimsi-şeyl ardalanması
C1	Kumtaşı şeyl ardalanması, zayıf kumtaşı, yakın aralıklı çatlaklar içeren tavan tabakaları
D1	Sert şeyl, orta dayanımlı kumtaşı
E1	Sert kumtaşı, sert şeyl
F1	Çok sert kumtaşı, ince zaneli tavan tabakaları, kalın tabakalı kumlu şeyl

Tavan Çatlaklık Durumu Tanımlaması	
R ₁	Sık çatlaklı, orta ve küçük ölçekli faylar içeren tavanlar
R ₂	Orta sıklıkta çatlaklar içeren, arakesme kalınlığı 0,1 m'den fazla olan ve yer yer ufak faylar içeren tavanlar
R ₃	Orta sıklıkta çatlaklar içeren tavanlar, arakesme kalınlığı 0,1 m'den fazladır
R ₄	Az çatlaklı ve ara kesme kalınlığı 0,1-0,3 m arasında değişen tavanlar
R ₅	Nadiren çatlak içeren ve ara kesme kalınlığı 0,3-0,4 m arasında değişen tavanlar.
R ₆	Çatlaksız ve kuru tavan.

Açılımlar	Tavan Sınıfı					
	I	II	III	IV	V	VI
Tavan Puanı	0-20,5	20,5-36	36-52	52-72	72-93	93-100
Tavan Duraylılığı	Oldukça duraysız	Duraysız	Orta duraylılıkla	Nispeten duraylı	Duraylı	Oldukça duraylı
Tavan Göçebilirliği	Çok kolay	Kolay	Orta-Kolay	Orta	Zor	Oldukça Zor
Tavan Göçme Açısı, θ_c (°)	90-85	85-75	75-65	65-50	50-35	>35
Askıda Kalan Tavan Uzunluğu (m)	0	0-0,5	0,5-1,5	1,5-3	3-6	>6
Uygun İşletme Yöntemi	Göçürmeli	Göçürmeli	Göçürmeli	Göçürmeli, yer yer patlatma ile göçürme	Patlatma ile göçürme ve/veya dolgu	Dolgu

5.8 TAVAN DURAYLILIK VE GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMA SİSTEMLERİNİN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

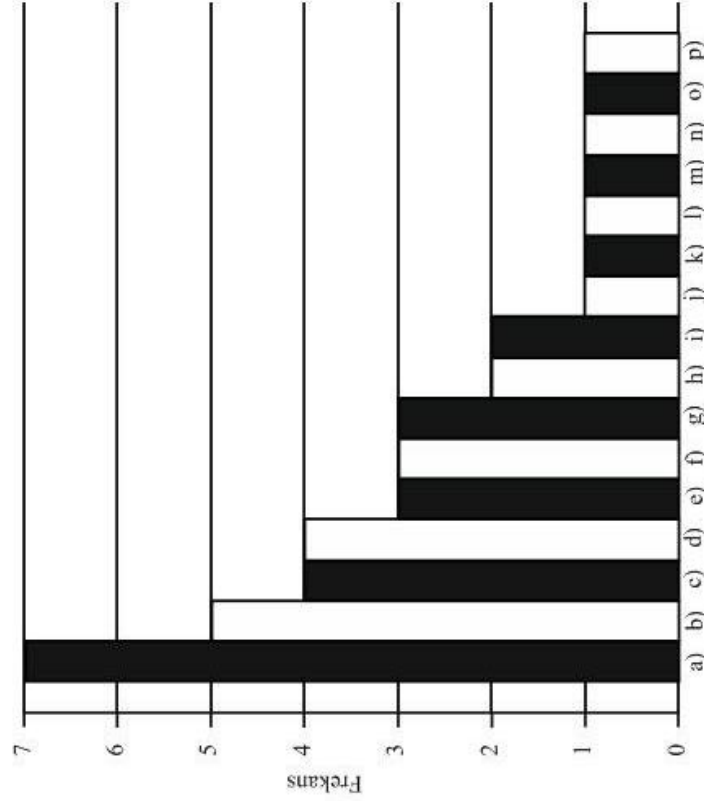
Buraya kadar derlenen yaklaşım ve sınıflama sistemlerinde tavan duraylılığı ve ayak arkasının göçebilirliğinin ortaya konmasında kullanılan değişkenler karışık olarak verilmiştir. Araştırmacıların bu değişkenleri çalıştıkları arazinin değişkenliğini göz önünde bulundurarak farklı önem sıralarına koyduğu görülmektedir. Yine de bu olaya tabaka kontrolü açısından toplu bir şekilde konu bütünlüğü açısından önemlidir.

Buna göre, Bölüm 5'te verilen tüm yaklaşımlarda kullanılan değişkenler; tavan dayanımı, süreksizliklerin jeoteknik özellikleri, ortalama tabaka kalınlığı, RQD, yalancı tavan kalınlığı, tavan litolojisi, kayaçların suya olan hassasiyeti, yeraltı su geliri durumu ve kayaçların zamanla yorulmaları olarak sıralanabilir (Şekil 5.3). Bu değişkenlerin tavan duraylılığı ve ayak arkasının göçmesinde ise en fazla etkili olanları, tavan tabakalarının tek eksenli basınç dayanımı, süreksizliklerin jeoteknik özellikleri (süreksizlik aralığı, devamlılığı ve pürüzlülüğü), ortalama tabaka kalınlığı, RQD, kayaçların suya olan hassasiyeti ve yeraltı su durumu olduğu Şekil 5.3'ten anlaşılmaktadır.

Şekil 5.3'te sunulan çizelgenin son satırında, ileride (Bölüm 8'de) açıklanan ve çalışma ile ortaya koyulan göçebilirlik sınıflamasına ait değiştirgeler gösterilmiştir.

Çizelge 3.1'de verilen ayak arkasının göçmesinde etkili olan en genel değiştirgeler ile Şekil 5.3'te ifade edilen ve yaklaşımlar karşılaştırıldığında, tavan tabakalarının jeolojik ve jeomekanik özelliklerinin tavan duraylılığında birinci dereceden önemli olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın, kömür üretimine ilişkin teknolojik unsurlar (tahkimat tasarımı, üretim yöntemi ve hızı vb.) yukarıda derlenen yaklaşımlarda yer almamaktadır.

YAKLAŞIMLAR	KULLANILAN DEĞİŞTİRGELELER															
	Tavan Dayanımı		Süreksizliklerin Jeoteknik Özellikleri				Suyun Etkisi		Kömür Damar Kalınlığı	Damar Eğimi	Tabkimat Tasarımı	Ortalama Tabaka Kalınlığı	RQD	Yalancı Tavan Kalınlığı	Tavan Litolojisi	Zaman Etkisi
	Basınç	Aralık	Devamlılık	Pürüzlülük	Dolgu	Bozunma	Su Geliri	Kayaçların Suyu Olan Hassasiyeti								
Bilinski ve Konopko (1973)	x							x						x		x
Singh et al. (1999)	x													x		
Mark ve Molinda (2003)	x	x	x	x				x						x		
Hongzhu (1996)	x	x	x													
Venkateswarlu et al. (1989)	x	x	x													
Das (2000)	x	x	x													
Laubscher (1990)	x	x	x	x	x	x	x	x								
Bu Çalışma (2013)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x



ACIKLAMALAR

- a) Tavan Dayanımı
b) Süreksizlik Aralığı
c) Kayaçların Suyu Olan Hassasiyeti
d) Ortalama Tabaka Kalınlığı
e) Süreksizlik Devamlılığı
f) RQD
g) Tavan Litolojisi
h) Süreksizlik Pürüzlülüğü
i) Su Geliri
j) Süreksizlik Dolgusu
k) Süreksizlik Bozunması
l) Damar Kalınlığı
m) Damar Eğimi
n) Tabkimat Tasarımı
o) Yalancı Tavan Kalınlığı
p) Zaman Etkisi

Şekil 5.3 Tavan ve göçebilirlik sınıflamalarında kullanılan değişkenlerin dağılımı ve genel değerlendirilmesi.

BÖLÜM 6

ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları kapsamında tavan tabakalarının jeomekanik özelliklerinin çıkartılması için ayak boyunca belirli aralıklarda hat etütleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen hat etütleri; tavan tabakalarının çatlaklılık durumlarının ortaya konması, tavan su geliri, sorunlu yapısal bölgelerin tespiti, ayak arkasının göçme mesafelerinin çıkartılması, tavan tabakalarının dayanımının kestirilmesi, ayak boyunca damar kalınlığı ve damar eğiminin değişiminin belirlenmesi ile ara kesme kalınlıklarının değişiminin ortaya konmasını içermektedir. Sözü edilen arazi çalışmaları incelenen her ayak için ayrı ayrı yapılmış olup aşağıda bir dizin halinde sunulmuştur.

Laboratuvar çalışmalarında ise, kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için bir dizi kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Kaya mekaniği deneyleri kapsamında; kaya malzemelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, nokta yükü dayanım deneyi, tek eksenli basınç dayanımı deneyi, dolaylı çekme dayanımı deneyi, deformabilite deneyi ve suda dağılma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tavan litolojilerinin belirlenmesi ve detaylı bir biçimde ele alınması için tavan tabakalarından el numuneleri alınarak parlatma kesitleri yapılmıştır.

6.1 ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları kapsamında ilk olarak tavan tabakalarının süreksizlik durumları çıkartılarak süreksizliklerin jeoteknik özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda süreksizliklerin aralığı, pürüzlülüğü, devamlılığı, dayanımı, ayrışma-bozunma durumu ve süreksizliklerdeki su geliri durumları incelenmiştir. Ayrıca ayak arkasındaki göçmüş bloklardan tavan tabakalarının ortalama tabaka kalınlığı, ayak arkasının göçme mesafeleri ve ayakların göçme davranışları da detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

6.1.1 TTK Üzülmez Müessesesi 1. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları

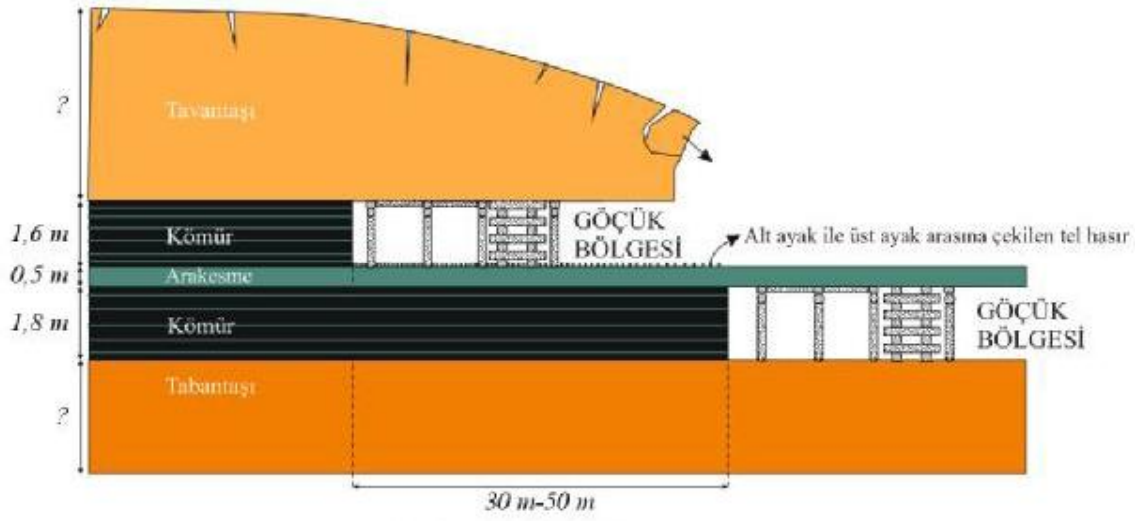
Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Üzülmez Müessesesi 1. Ocak üretimini -160 m/-205 m kotlarında yer alan Çay Batı panosunda sürdürmektedir. Ayak ahşap tahkimat uygulaması ile çalışmaktadır. Ayak içinde 5 adet çift zincirli konveyör ile ayak dibinde 2 adet zincirli konveyör olmak üzere ayakta toplam 7 adet çift zincirli konveyör bulunmaktadır. Ayak dönümlü olarak çalışmakta olup damar kalınlığı $3,4 \pm 0,4$ m civarındadır.

Arında yapılan gözlem ve incelemelere göre, ara kesmelerin litolojileri genellikle kıltaşı ve silttaşı ardalanması şeklinde olup kalınlığı ise ortalama $0,65 \pm 0,3$ m olarak gözlemlenmektedir. Ara kesme kalınlığının fazla olması sebebiyle ayaktaki kömür 1,6 m ve 1,8 m'lik iki dilim şeklinde) alınmaktadır (Şekil 6.1).

Ayak boyunca damar kalınlığı değişkenlik göstermekte olup, kömür damarı dalgalı (ondüasyonlu) bir yapı sunmaktadır. Ayak boyunca genelde tavanda su geliri gözlenmemekte zaman zaman ise nemli tavan koşulları dikkat çekmektedir. Alt ayak ile üst ayak arasında yaklaşık 30-50 m mesafe bırakılarak alt ayak ile üst ayak arasındaki etkileşim azaltılmaya çalışılmaktadır (Şekil 6.1).

Üst ayak tabanına tel hasır çekilerek kalın kömür tabakası iki dilim şekline getirilerek üretim gerçekleştirilmektedir. Ayakta önce kömür tabakasının üst kısmı alınmakta sonra da alt ayak işletilerek kömür üretimi yapılmaktadır. Üzülmez 1. Ocak Çay Ayak'ta ayak boyu 140 m olup (35 sarma) ayak eğimi $10-17^\circ$ arasında değişmekte ve ocağın planı Şekil 6.2'de verilmektedir.

Ayak boyunca alınmış el numunelerinden hazırlanan parlatma kesitlerine göre ayak boyunca tavan litolojisi genelde ince taneli kumtaşı (Şekil 6.4a ve Şekil 6.4b) zaman zaman da orta taneli kumtaşları izlenmektedir. (Şekil 6.4c). Kumtaşlarında genel olarak laminalı bir yapı seyredilmekte olup özellikle ince taneli kumtaşlarında ince kuvars damarları izlenmektedir. Orta taneli kumtaşları ise ayak boyunca seyrek olarak izlenmekte ve ince taneli kumtaşına dereceli olarak geçiş göstermektedir.



AÇIKLAMALAR

- İnce Taneli Kumtaşı
- İnce ve Orta Taneli Kumtaşı
- Arakesme (Şeyl, Kiltası, Silttaşı Ardalanması)
- Kömür

Şekil 6.1 Üzülmaz 1. Ocak Çay ayağın genel görünümü (Ölçeksiz).

Tavan tabakalarının jeomekanik özelliklerinin kestirilmesi için ise süreksizliklerin jeoteknik özellikleri çıkartılmıştır. Tavanda belli bölgelerde şeritmetre kullanılarak yapılan süreksizlik ölçümlerinde metre başına düşen çatlak sayısı $\lambda = 8,5 \pm 1,47$ (j/m), ayak boyunca arındaki arakesme kalınlığı $h_f = 0,65 \pm 0,3$ m, tavadaki süreksizliklerin dayanımının kestirilmesi için yapılan Schmidt çekici deneylerine göre L tipi Schmidt çekicinin geri sıçrama sayısı $R_L = 39 \pm 5,6$, göçük bölgesindeki tavan bloklarından yapılan gözlemlere göre ortalama tabaka kalınlığı $h_b = 0,98 \pm 0,32$ m, ayak boyunca olan kömür damarı kalınlığı $H = 3,4 \pm 0,43$ m ve süreksizliklerin ortalama aralığı $J_s = 0,12 \pm 0,02$ m olarak belirlenmiştir (Şekil 6.5).

Şekil 6.4a'da görülen metre başına düşen çatlak sayıları kullanılarak tavan tabakalarına ait kaya kalite göstergesi (RQD, %) değerleri Priest ve Hudson'a (1976) göre Eşitlik 6.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RQD = 100 \times e^{(-0,1\lambda)} \times (0,1\lambda + 1) \quad (6.1)$$

Burada λ metre başına düşen eklem sayısı olarak tanımlanmakta olup, RQD hesaplamaları için Üzülmez 1. Ocak için Şekil 6.4a'daki veriler kullanılmıştır. Buna göre RQD değerleri ayak boyunca $79 \pm 5,25\%$ olarak değişmektedir (Şekil 6.5a). Ortalama RQD değerlerine göre ayak boyunca kaya kalite göstergesi Deere'a (1967) göre "*İyi Kalite Kaya*" olarak tanımlanmaktadır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 Kaya kalite göstergesi (RQD) sınıflandırılması (Deere 1967).

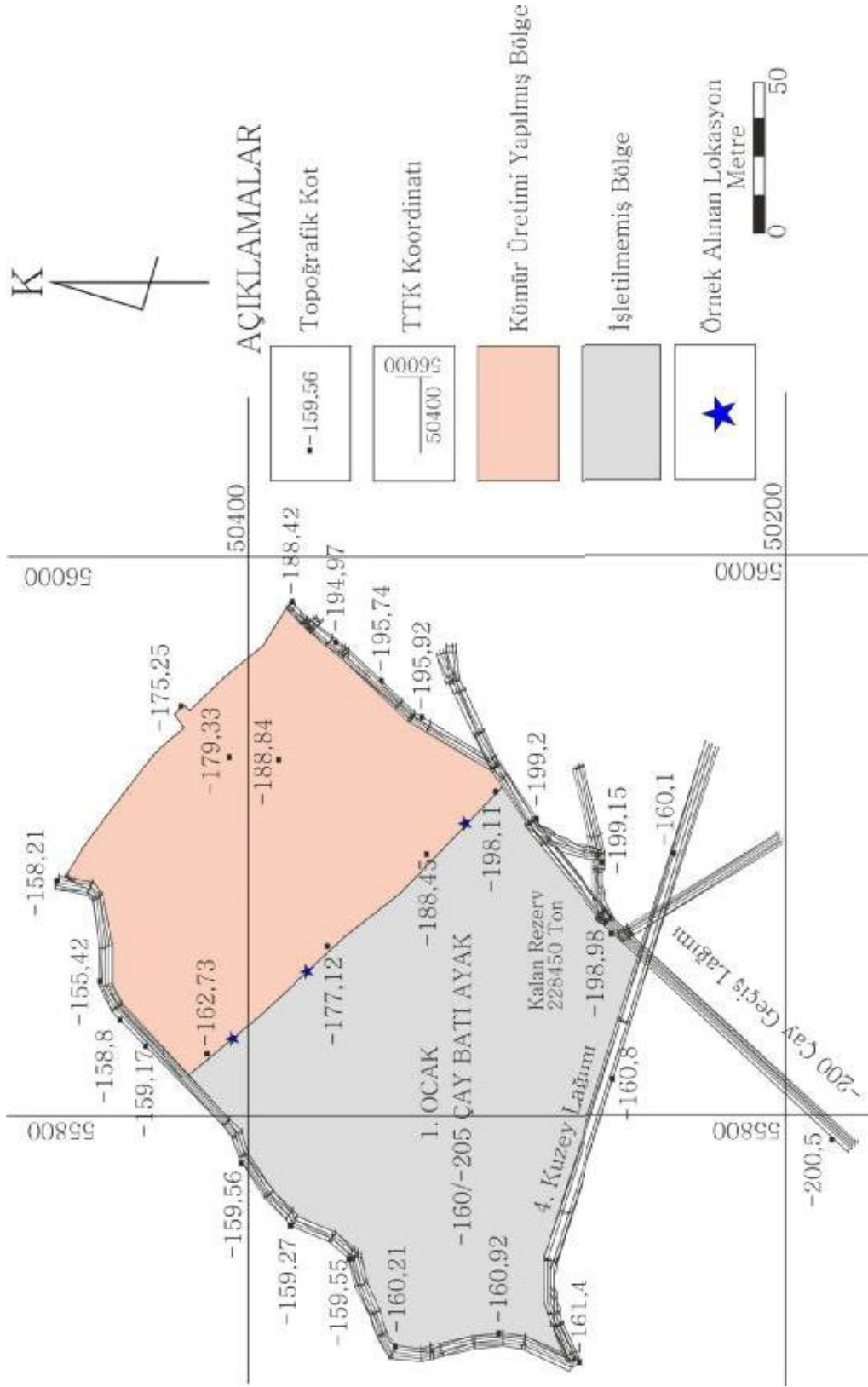
Sınıf No	RQD (%)	Kaya Kalitesi
5	<25	Çok Zayıf
4	25-50	Zayıf
3	50-75	Orta
2	75-90	İyi
1	90-100	Çok İyi

RQD ölçümleri dışında, L tipi Schmidt çekici kullanılarak yapılan deneylerde süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli basınç dayanımları tahmin edilmiştir. Yeraltında her sarma başında kamaların arasındaki tavan tabakalarına dik olarak uygulanan deneylerde (Şekil 6.3) Schmidt çekici geri sıçrama sayıları (R_L) elde edilmiş (Şekil 6.5c) Bu değerler ışığında süreksizlik yüzey dayanım değeri (JCS) Barton ve Choubey'e (1977) göre Eşitlik 6.2 kullanılarak belirlenmiştir.

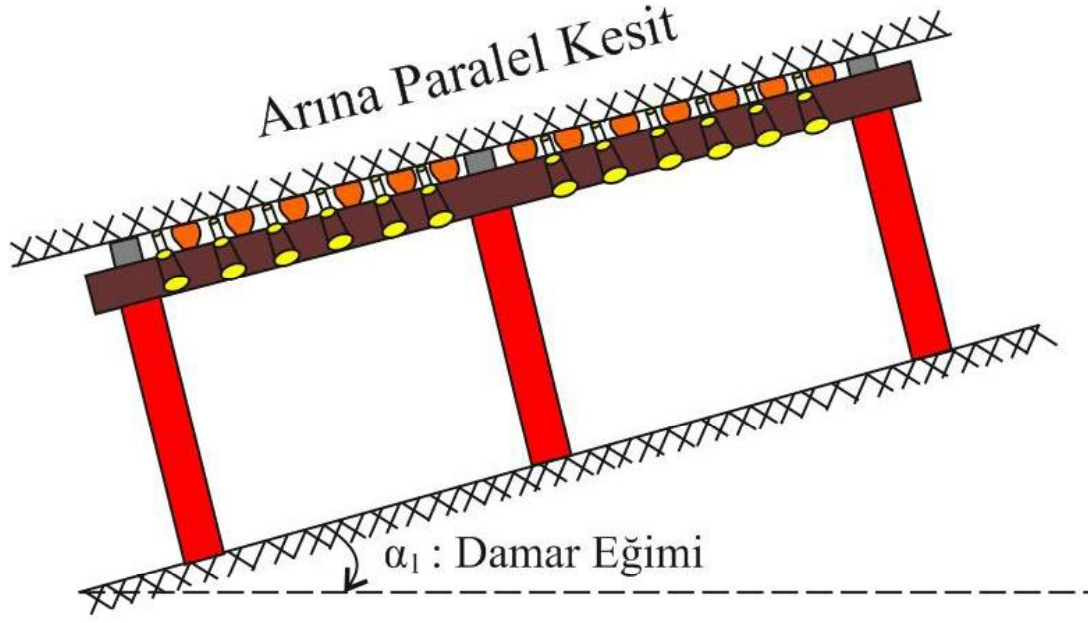
$$\text{Log}(JCS) = 8,8 \times 10^{-4} \times \gamma \times R_L + 1,01 \quad (6.2)$$

Burada JCS süreksizlik yüzeylerinin basınç dayanımı (MPa), γ tavan tabakalarının birim hacim ağırlığını (kN/m^3) ve R_L ise L tipi Schmidt çekicinin geri sıçrama sayısı olarak tanımlanmaktadır. Buna göre çatlak yüzeylerinin basınç dayanımları $JCS = 78,84 \pm 22,8$ MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 6.6b).

Tavan tabakalarının ayrışma-bozunma derecelerinin niceliksel olarak ifade edilmesi için ise, Singh ve Gahrooe'nin (1989) yaklaşımı benimsenmiş ve çalışmanın ilgili yerlerinde kullanılmıştır. Bu araştırmacıların önerdiği yaklaşıma göre kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ile çatlak yüzey dayanımının (JCS) birbirine olan oranı kaya kütesinin ayrışma-bozunma derecesi (W_d) olarak tanımlanmıştır (Eşitlik 6.3). Eşitlik 6.3'e göre bir kaya kütesinin ayrışma derecesi Çizelge 6.2'ye göre belirlenmektedir.



Şekil 6.2 Üzülmöz 1. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek).



AÇIKLAMALAR

	Sıkılama Takozu		Kama
	Çatal Direk		Sarma Direk
	Schmidt Çekici		

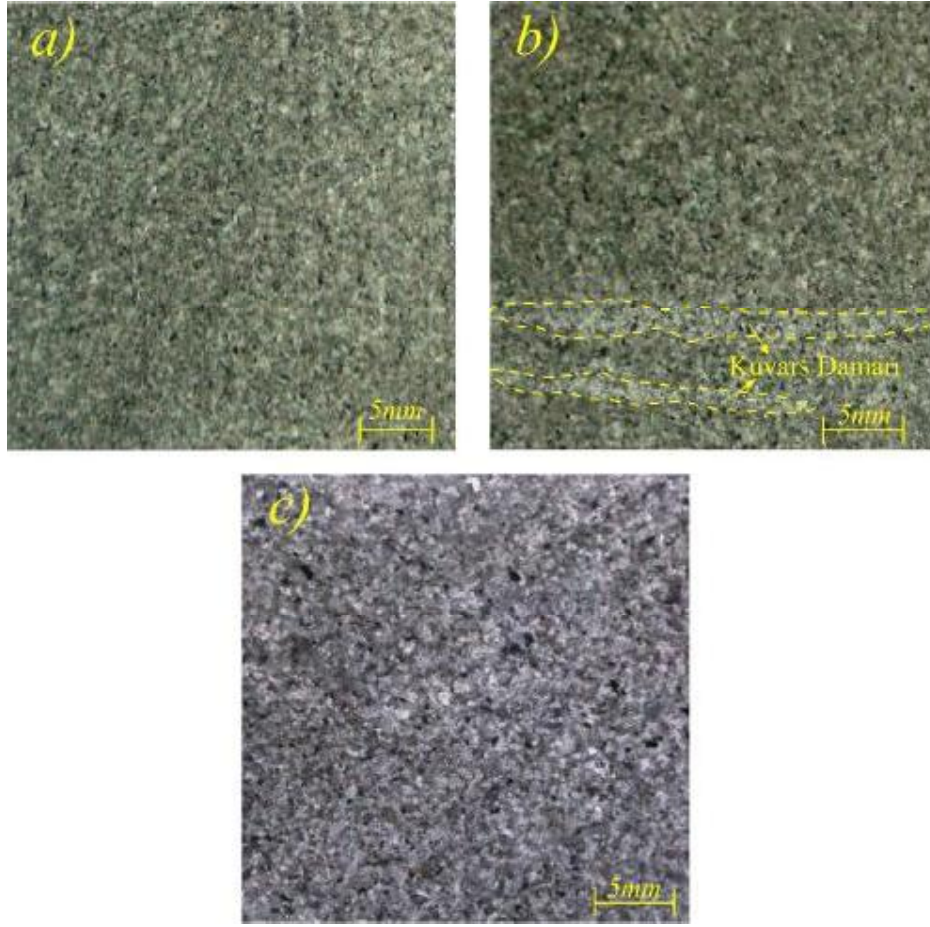
Şekil 6.3 Yeraltında Schmidt Çekici deneyinin uygulanması (Ölçeksizdir.).

Laboratuvar çalışmaları bölümünden sonra ise kaya kütlelerinin ayrışma-bozunma durumu Singh ve Gahroee'ye (1989) göre niceliksel olarak belirlenmiş ve laboratuvar çalışmaları bölümünde ifade edilmiştir.

$$W_d = \frac{\sigma_{ci}}{JCS} \quad (6.3)$$

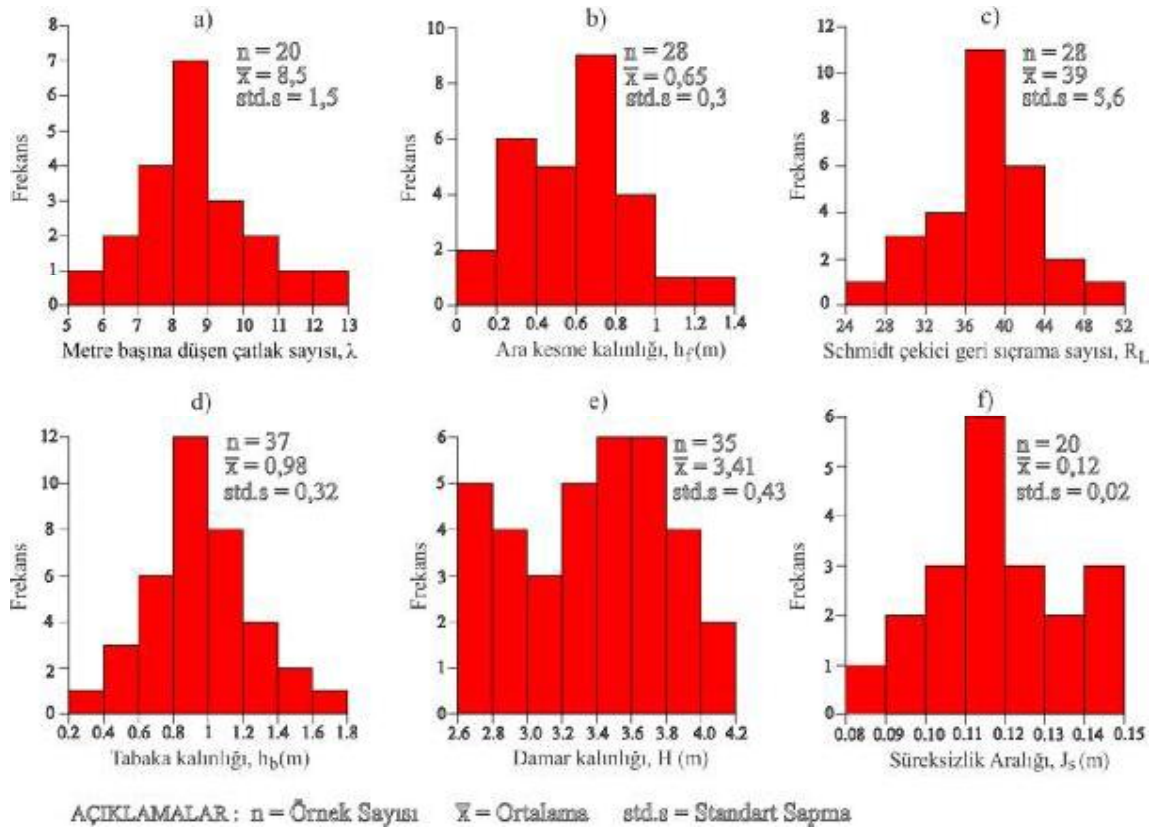
Çizelge 6.2 Singh ve Gahroee (1989) tarafından önerilen ayrışma-bozunma sınıflaması.

W_d	Tanımlama
$\leq 1,2$	Az Bozunmuş
1,2-2	Orta Derecede Bozunmuş
≥ 2	Bozunmuş

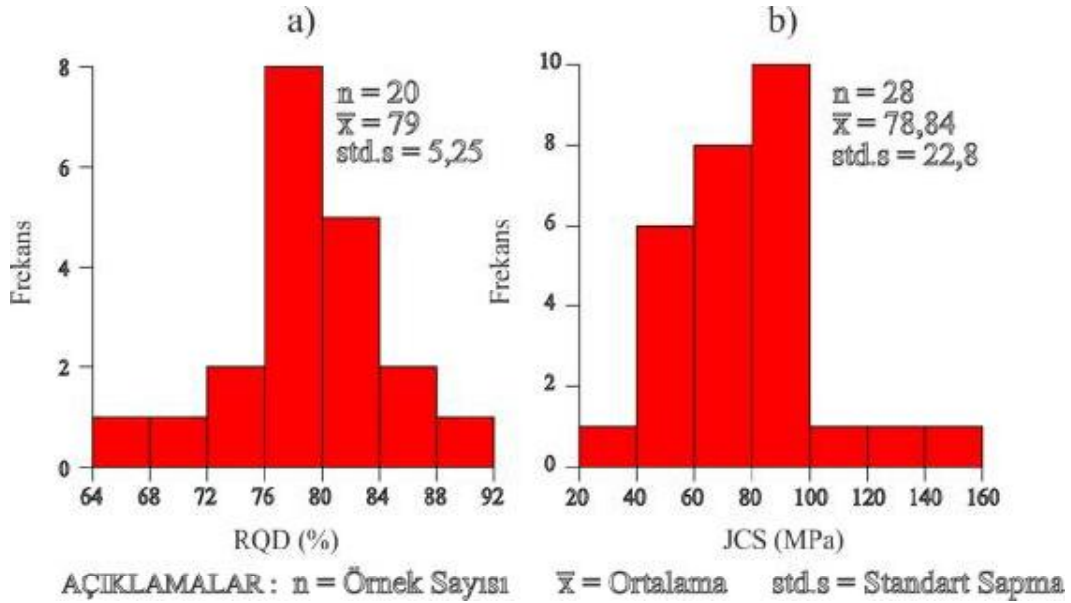


Şekil 6.4 Üzülmöz 1. Ocak tavan taşları parlatma kesit görüntüleri; a) İnce taneli kumtaşı, b) Kuvars damarı içeren ince taneli kumtaşı c) Orta taneli kumtaşı.

ISRM'e (1981) göre Üzülmöz 1. Ocak Çay ayak tavan tabakalarındaki süreksizlikler "*Yakın Aralıklı*" olarak tanımlanmaktadır (Bkz. Çizelge 6.3). Süreksizlikler genelde az ayrılmış ve orta derecede ayrılmış olarak izlenmektedir. Süreksizliklerin açıklıkları da genelde kapalı çatlaklar olarak olmakla birlikte 1-2 mm aralığında değişen ince kuvars damarları ayak boyunca izlenen tavan litolojilerinde gözlemlenmektedir. Süreksizlik devamlılıkları ise 0,4 m - 0,6 m arasında değişmektedir. ISRM'e (1981) göre süreksizlikler "*Çok Düşük Devamlı*" olarak tanımlanmaktadır (Bkz. Çizelge 6.4).



Şekil 6.5 1. Ocak Çay ayak boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar.



Şekil 6.6 Üzülmöz 1. Ocak Çay ayak boyuca RQD ve JCS'nin değişimi.

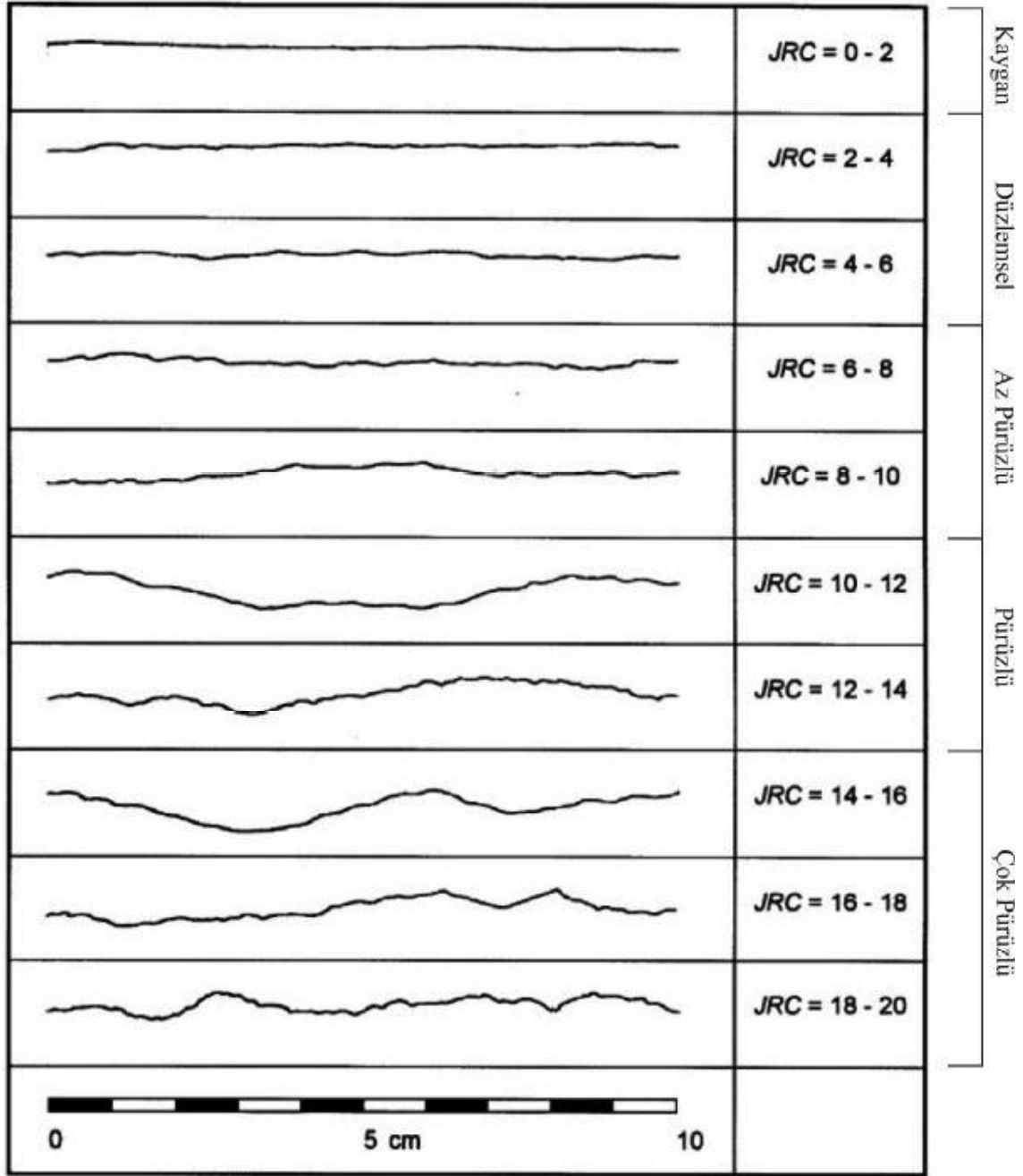
Çizelge 6.3 Süreksizlik Aralığı Sınıflaması (ISRM 1981).

Süreksizlikler Arası Mesafe	
Aralık (mm)	Tanımlama
> 6000	Çok fazla geniş aralık
6000 - 2000	Çok geniş aralık
2000 - 600	Geniş aralık
600 - 200	Orta aralık
200 - 60	Yakın aralık
60 - 20	Çok yakın aralık
< 20	Çok fazla yakın aralık

Çizelge 6.4 Süreksizlik Devamlılığı Sınıflaması (ISRM 1981).

Süreksizlik İzi Uzunluğu (m)	Tanımlama
< 1	Çok düşük devamlılık
1-3	Düşük devamlılık
3-10	Orta devamlılık
10-20	Yüksek devamlılık
>20	Çok yüksek devamlılık

Süreksizliklerin pürüzlülüğü ise profilmetreye benzer bir şekilde çıkartılmaya çalışılmıştır. Buna göre süreksizlikler Barton ve Choubey'e (1977) "*Az Pürüzlü'den Düzlemsel'e*" değişen bir aralıktadır (Bkz. Şekil 6.7). Barton ve Choubey'e (1977) göre süreksizlik pürüzlülük katsayısı JRC 3-10 puan arasında değişmektedir.

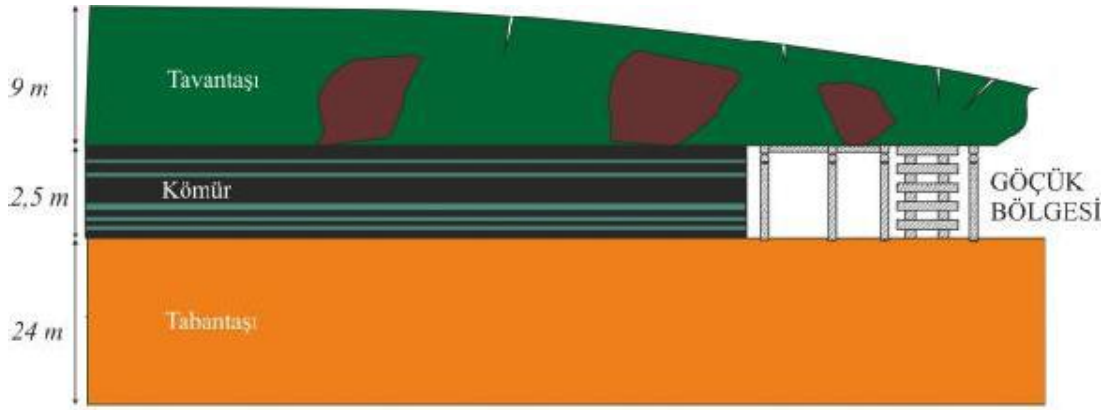


Şekil 6.7 Süreksizlik Pürüzlülük katsayıları (Barton ve Choubey 1977).

Ayak arkasında yapılan gözlemlere göre ise, ayak arkasında iri bloklu bir göçme davranışı izlenmektedir. Ayak arkasının kırılma mesafeleri genellikle ayağın 2-3 have ilerlemesini takiben izlenmiş olup, bu mesafe 6-13 m arasında değişmektedir. Tavan tabakalarının laminalı bir yapıda oluşu tabaka ayrılma ve dökülmeler şeklinde bir göçme davranışına izin vermemekte ve masif bloklar şeklinde ayak arkası kırılarak göçmektedir.

6.1.2 TTK Üzülmez Müessesesi 2. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları

Üzülmez 2. Ocak üretimini -30 m/-160 m kotlarındaki Piriç ayakta sürdürmektedir. Ayak ahşap tahkimat uygulaması ile çalışmaktadır. Ayak içinde 8 çift zincirli konveyör ve 2 yükleme konveyörü olmak üzere toplam 10 adet çift zincirli konveyör bulunmaktadır. Ayak dönümlü olarak çalışmakta olup kömür damarının eğimi, $13^{\circ} - 25^{\circ}$ arasında değişmektedir ve ortalama ayağın eğimi 16° 'dir. Damar kalınlığı ise $2,62 \text{ m} \pm 0,76 \text{ m}$ arasındadır. Tavanda genellikle sızıntı şeklinde su geliri gözlenmekte olup, yer yer nemli tavan koşulları izlenmektedir. Tavan litolojisi genellikle dalgalı yapı içeren silttaşları ve yer yer konglomera şeklindedir. Konglomera seviyeleri tavantaşı olarak genellikle cepler şeklinde, silttaşları ise dalgalı bir yapıda olup ayak boyunca geniş bir yayılım göstermektedir. (Şekil 6.8).



AÇIKLAMALAR

	Dalgalı Yapıdaki Silttaşı
	Konglomera (Cepler Şeklinde)
	İnce ve Orta Taneli Kumtaşı
	Arakesme (Şeyl, Kiltası, Silttaşı Ardalanması)
	Kömür

Şekil 6.8 Üzülmez 2. Ocak Piriç ayağın genel görünümü (Ölçeksiz).

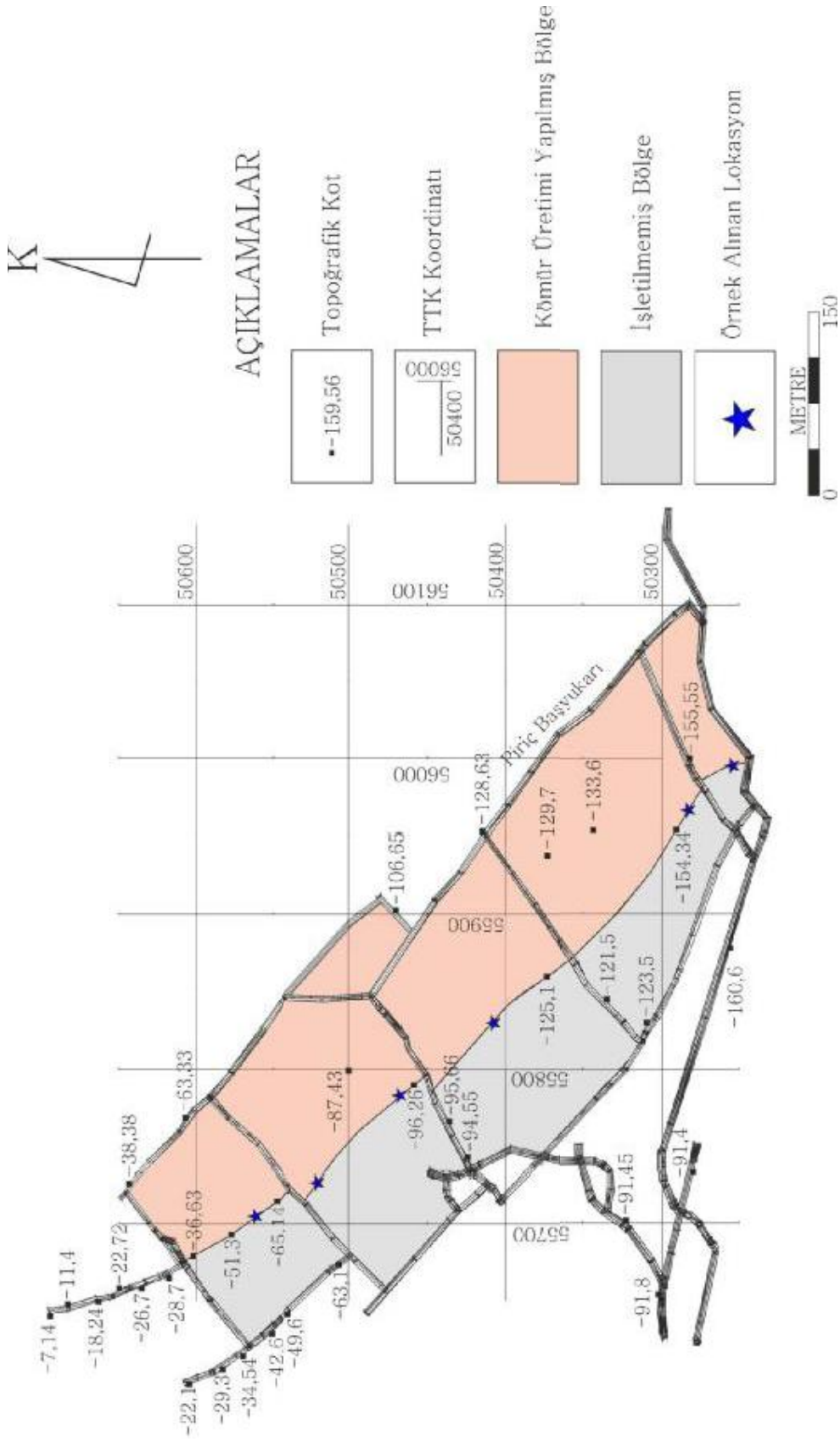
Piriç Ayak boyu Temmuz 2012 itibarı ile 480 m (120 sarma) olup, Şubat 2013'te ise 600 m'ye (yaklaşık 150 sarmaya) yaklaşmaktadır. Ayağın plan görünüşü Şekil 6.9'da verilmektedir. Tavan tabakalarından ve göçmüş bloklardan alınan el numunelerinden yapılan parlatma

kesitlerden tavan litolojisinin ayak boyunca konglomera ve silttaşı olduğu belirlenmiştir. Konglomeralar genelde iri taneli çakıllar içermekte ve çakıl boyutları 4-32 mm arasında değişmektedir (Şekil 6.10a, Şekil 6.10b ve Şekil 6.10d). Tavantaşları yanal olarak incelendiğinde özellikle tavan litolojisinin silttaşından dereceli bir geçiş göstermeksizin iri taneli konglomeraya geçtiği görülmektedir.

Kömür oluşumu esnasında sedimanter ortamdaki enerjinin artmasıyla sakin bir sedimanter ortamda (enerjisi düşük bir çökeltme ortamı) çökelmeye başlayan kum, kil ve siltler ortamdaki yığılma ortamından ayrışmış ve bu boşluğa enerjisi yüksek bir sedimanter ortamda çökelen çakıllar yerleşerek bu bölgelerde taşlaştığı düşünülebilir. Bu kestirim silttaşlarında yapılan parlatma kesitleri ile de desteklenebilir. Parlatma kesitlerinde silttaşlarının dalgali yapıda olduğu görülmektedir. Silttaşlarındaki bu dalgalanma (Şekil 6.10c ve Şekil 6.10e) çökeltme ortamında enerjinin yükselip alçaldığına işaret etmektedir.

Arazide yapılan jeoteknik çalışmalar sonucunda ortalama damar kalınlığı $H = 2,62 \pm 0,76$ m arasında değişmektedir (Şekil 6.9e). Ara kesme kalınlığı ise ayak boyunca $h_f = 0,39 \pm 0,22$ m civarındadır (Şekil 6.9b). Schmidt çekici deneylerine göre ise L tipi Schmidt çekicinin geri sıçrama sayısı $R_L = 22,61 \pm 6,1$ arasındadır (Şekil 6.9c). Göçmüş ve net olarak gözlenen bloklarda yapılan gözlemlere göre tabaka kalınlığı $h_b = 0,33 \pm 0,25$ m aralığında izlenmektedir (Şekil 6.9d). Süreksizliklerin aralıkları ise $J_s = 0,07 \pm 0,02$ m civarındadır (Şekil 6.9e). Süreksizlikler genellikle kaygan yüzeyler şeklinde görülmekte olup, silttaşı ile konglomera sınırlarında yer yer az pürüzlü yüzey koşulları dikkat çekmektedir. JRC 6-10 arasında değişmekte ve Barton ve Choubey'e (1977) göre "*Az Pürüzlü*" olarak tanımlanmaktadır. Süreksizliklerinin devamlılıkları genellikle 0,9 - 1 m civarındadır. ISRM'e (1981) göre süreksizlikler "*Yakın Aralıklı*" ve "*Çok Düşük Devamlı*" olarak tanımlanmaktadır.

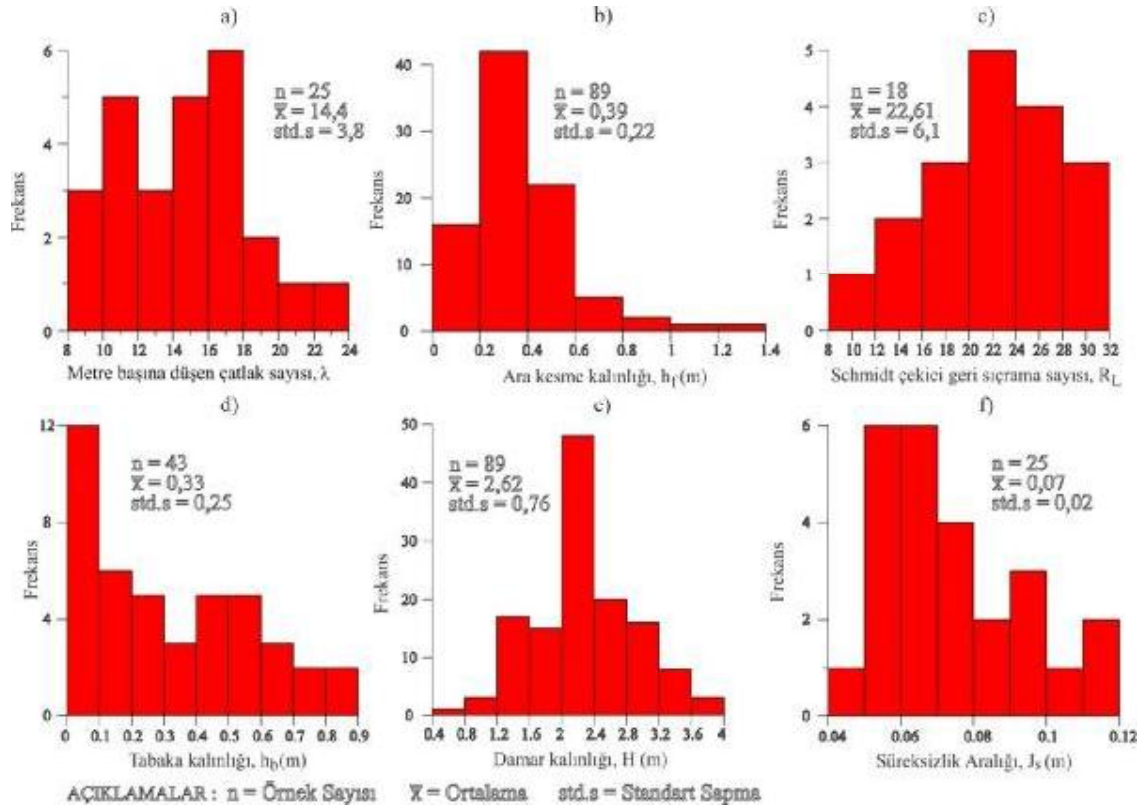
Metre başına karşılık gelen çatlak sayıları kullanılarak Piriç ayağına ait RQD (%) değerleri ayak boyunca $58,53 \pm 12,24$ arasında değişmektedir. Deere'a (1968) göre tavan tabakaları "*Orta Kalite Kaya*" olarak tanımlanmaktadır. L tipi Schmidt çekici kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre ise, eklem yüzeyinin dayanımı $JCS = 34,4 \pm 10,15$ MPa arasında değişmektedir (Şekil 6.11).



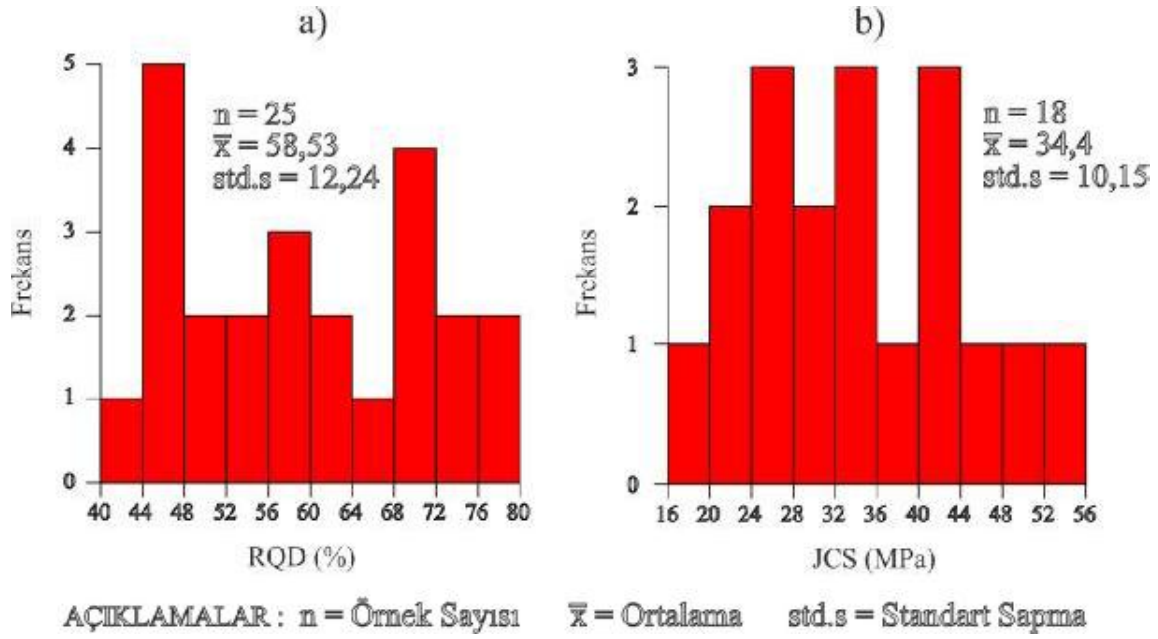
Şekil 6.9 Üzülmöz 2. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek).



Şekil 6.10 Üzülmez 2. Ocak tavantaşları parlatma kesit görüntüleri (Paranın çapı 17 mm'dir.).



Şekil 6.11 Üzülmez 2. Ocak Piriç Çay ayak boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar.



Şekil 6.12 Üzülmüş 2. Ocak Piriç ayak boyuca RQD ve JCS'nin değişimi.

Piriç ayak arkasının göçebilirlik durumunu genellikle tavan litolojisi, tavanın ayrışma-bozunma durumu ve tavan su geliri koşulları belirlemektedir. Ayakta düşey fayların gözleendiği bölgelerde ayağın göçmesini takiben belli bölgelerde blok kenetlenmeleri gözlenmekte ve bu durum ayağın göçmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca söz konusu blok kenetlenmeleri domuzdamlarında eğilmelere sebep olmaktadır. Ayak boyuca yapılan gözlem ve incelemelerde blok kenetlenmelerinin olduğu bölgelerde domuzdamlarında yaklaşık 4°-7° aralığında değişen eğilmeler gözlenmektedir. Ayak arkasındaki göçme mesafelerinin gözlenmesi sonucunda zayıf ve çatlaklı silttaşlarının olduğu bölgelerde 2 m ile 5 m arasında bir göçme mesafesi gözlenirken, konglomera - silttaşı sınırlarında göçme mesafesi artmakta ve 3 m - 7 m aralığında değişmektedir. Bu bölgelerde litoloji sınırları değişmekte ve yer yer faylı bölgeler gözlenmektedir. Sadece konglomeranın hakim olduğu bölgelerde ise tavanın göçme mesafesi blok kenetlenmesi ve göçükte kalan bazı domuzdamlarının iyi kesilememesinden dolayı 9 m'ye ulaşmaktadır.

Göçme mesafesinin arttığı bölgelerde ayak eğiminin de arttığı gözlemlenmektedir. Ayak eğimindeki bu değişiklikler çatlaklı iri blokların göçmesini zorlaştırmaktadır. Yani bu durumlarda göçmenin zorlaşmasına ve bunu takiben ayak arkasının göçme mesafesinin artmasına çatlaklı blok kenetlenmelerinin neden olduğu söylenebilir. Bunun dışında ayak eğiminin ani olarak değişiklik göstermemesi, başka bir deyişle ayak eğiminin sürekli olarak artıp azalmasının göçmeye olan etkisini niceliksel olarak göstermek Piriç ayak için güçtür.

6.1.3 TTK Üzülmez Müessesesi 3. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları

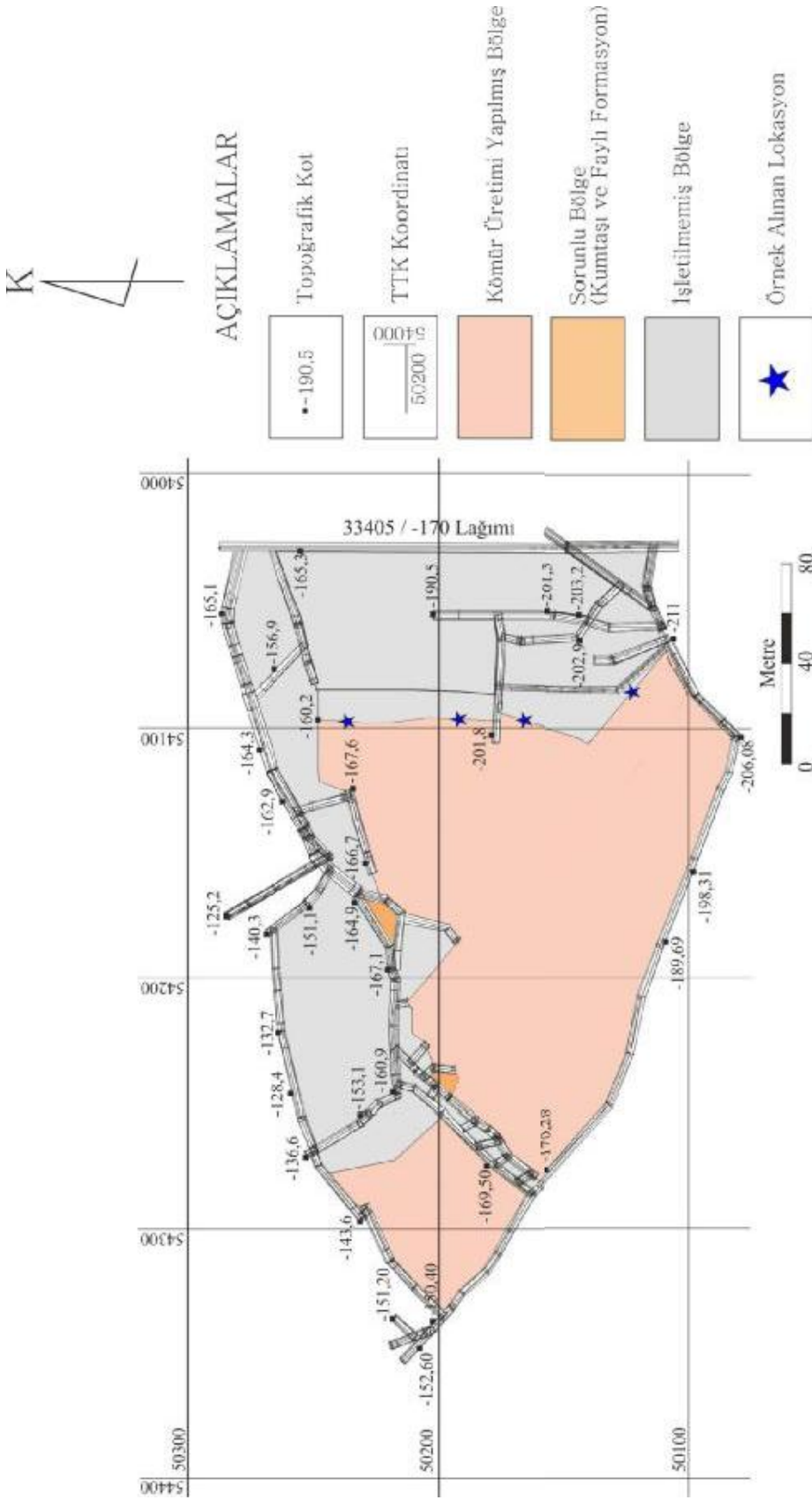
Üzülmez Müessesesi 3. Ocağı üretimini -170 m/-210 m kotlarında Çay Piçi Batı panosunda sürdürmekte olup, ayak ahşap tahkimat uygulaması ile çalışmaktadır. Ayak içinde 4 adet çift zincirli konveyör ve ayak dibinde 5 adet çift zincirli konveyör olmak üzere ayakta toplam 9 adet çift zincirli konveyör bulunmaktadır. Ayak dönümlü olarak çalışmakta olup ayak eğimi 10°-15° arasında değişmektedir. Ortalama ayak eğimi ise 13°'dir. Ayakta su geliri hemen hemen hiç olmamakla birlikte yer yer nemli tavan koşulları dikkat çekmektedir. Ayak boyu 84 m (21 sarma) olup tavan litolojisi egemen olarak koyu gri renkte gözlenen ince taneli kumtaşıdır. Ayağın genel görünümü Şekil 6.12'de verilmektedir.



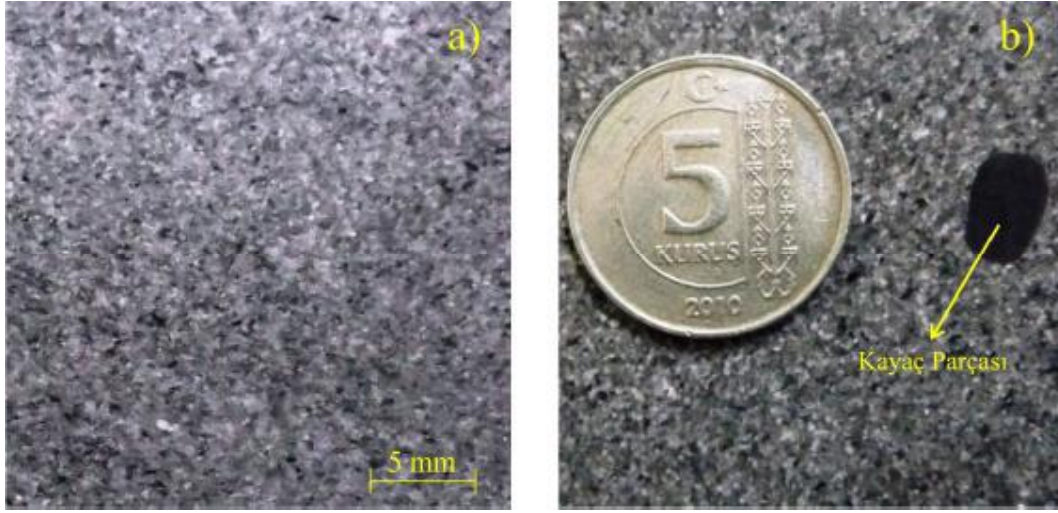
Şekil 6.13 Üzülmez 3. Ocak Çay Piçi ayağının genel görünümü (Ölçeksiz).

Ayağın plan görünüşü ise Şekil 6.13'te verilmektedir. Şekil 6.13, Üzülmez 1. Ocaktaki Çay ayaktaki damarın özelliklerine benzeyen Çay Piçi'nin ufak panolar halinde kömür üretimini göstermektedir.

Yapılan parlatma kesitlerine göre ise, tavan litolojisi ince taneli kumtaşı olup, kayaçlarda nadiren iri sayılabilecek kayaç parçalarına rastlanmaktadır (Şekil 6.13). Şekil 6.13 incelendiğinde kayaç yüzeyinde herhangi bir ayrışma-bozunma izine rastlanmamakta ve kumtaşı genellikle kuvars ve feldispat minerallerinden oluşmaktadır.



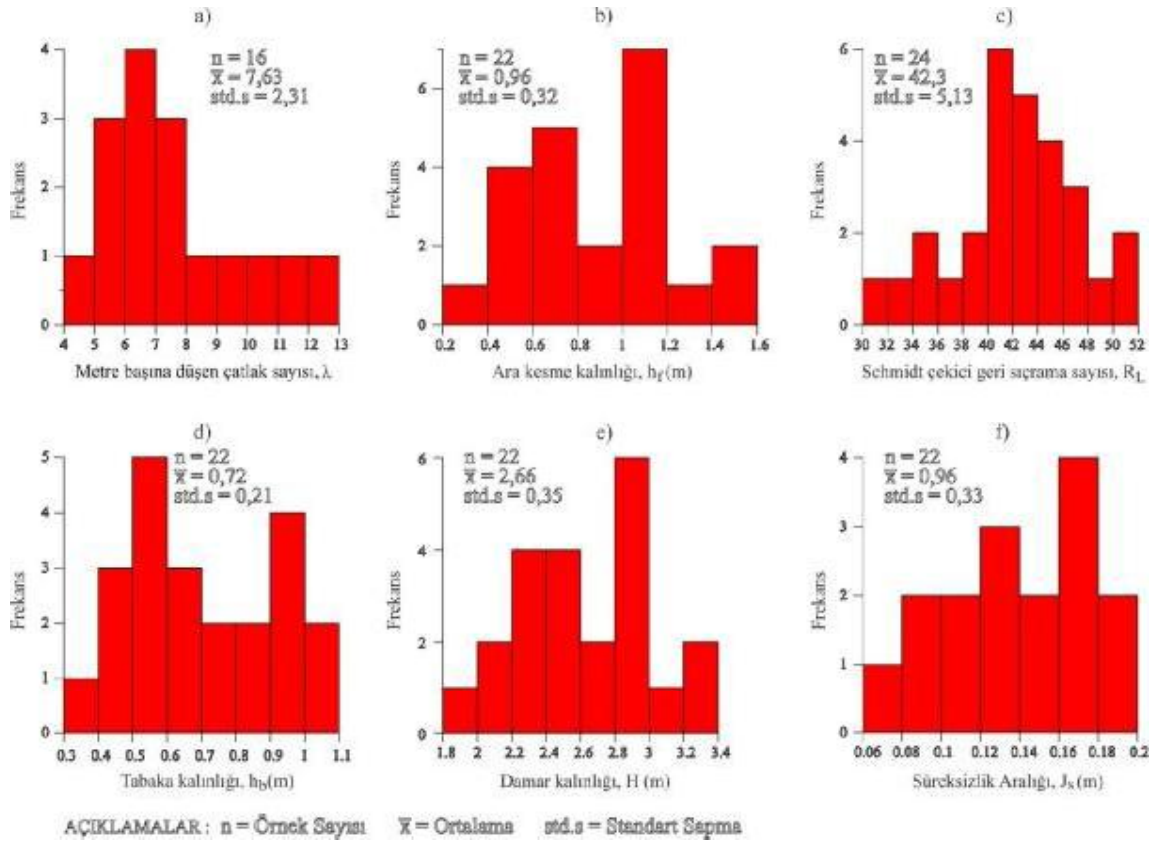
Şekil 6.14 Üzülmez 3. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek).



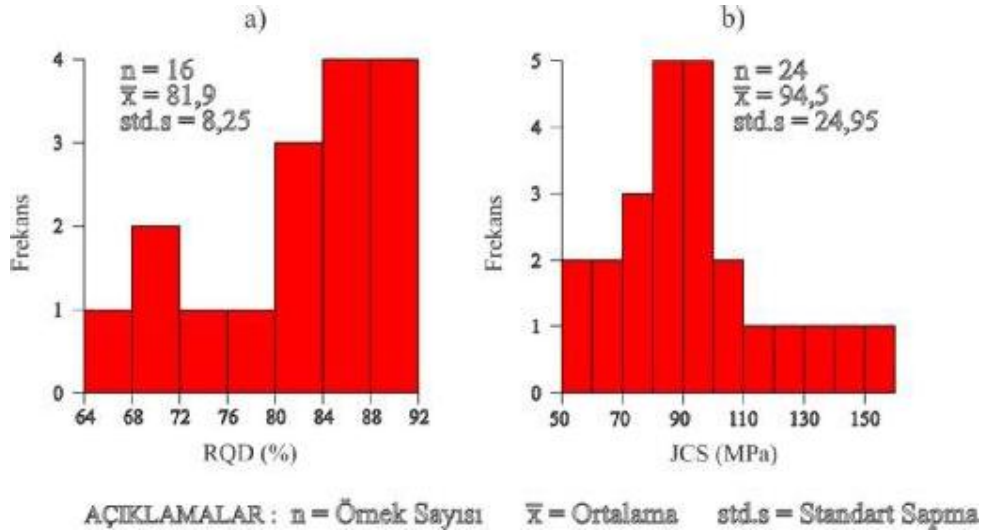
Şekil 6.15 Üzülmez 3. Ocak tavantaşları parlatma kesit görüntüleri (Paranın çapı 17 mm'dir.).

Arazi çalışmalarından elde edilen verilere ait histogramlar, Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'te verilmiştir. Bunun dışında, süreksizlikler süreksizlik yüzeyleri ayak boyunca Barton ve Choubey'e (1977) göre "Az Pürüzlü ve Düzlemsel" olarak gözlenmektedir. JRC 6 - 10 arasında değişmektedir. Süreksizlikler ince kuvars dolgulu (< 5 mm) olup, herhangi bir ayırma-bozunma izine rastlanmamaktadır.

Süreksizlik devamlılığı ise 0,2 m - 0,3 m arasında değişmektedir. ISRM'e (1981) göre süreksizlikler "Orta ve Geniş Aralıklı" ve "Çok Düşük Devamlı" olarak tanımlanmaktadır. Ayak boyunca yapılan süreksizlik aralığı ölçümlerine göre ise, $RQD = 81,9 \pm 8,25$ (%) ve çatlak yüzey dayanımı, $JCS = 94,5 \pm 24,95$ (MPa) arasında değişmektedir (Şekil 6.15). Buna göre tavan tabakaları Deere'a (1968) göre "İyi Kalite Kaya" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 6.16 Üzülmüş 3. Ocak Piriç Çay Piçi ayağı boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar.



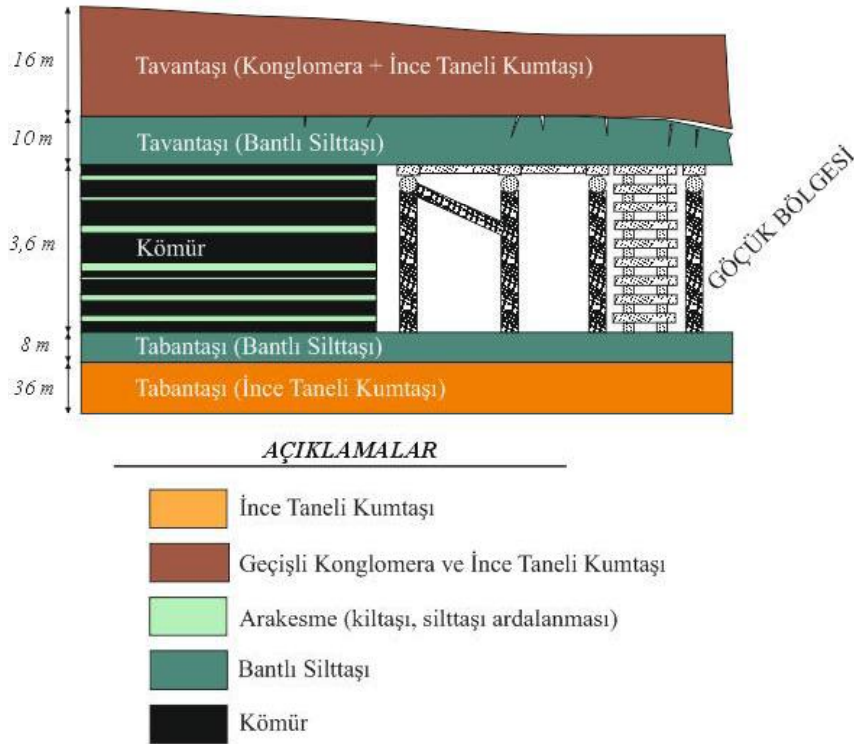
Şekil 6.17 Üzülmüş 3. Ocak Çay Piçi ayağı boyuca RQD ve JCS'nin değişimi.

Çay Piçi ayak arkasının göçebilirlik durumunu genellikle iri kumtaşı bloklarının periyodik olarak kırılması şeklinde gerçekleşmektedir. Ancak göçük hattında duraylılığını tam olarak yitirmemiş çatal direk ve domuzdamı bırakıldığından ayak arkasının göçmesi zor olmaktadır.

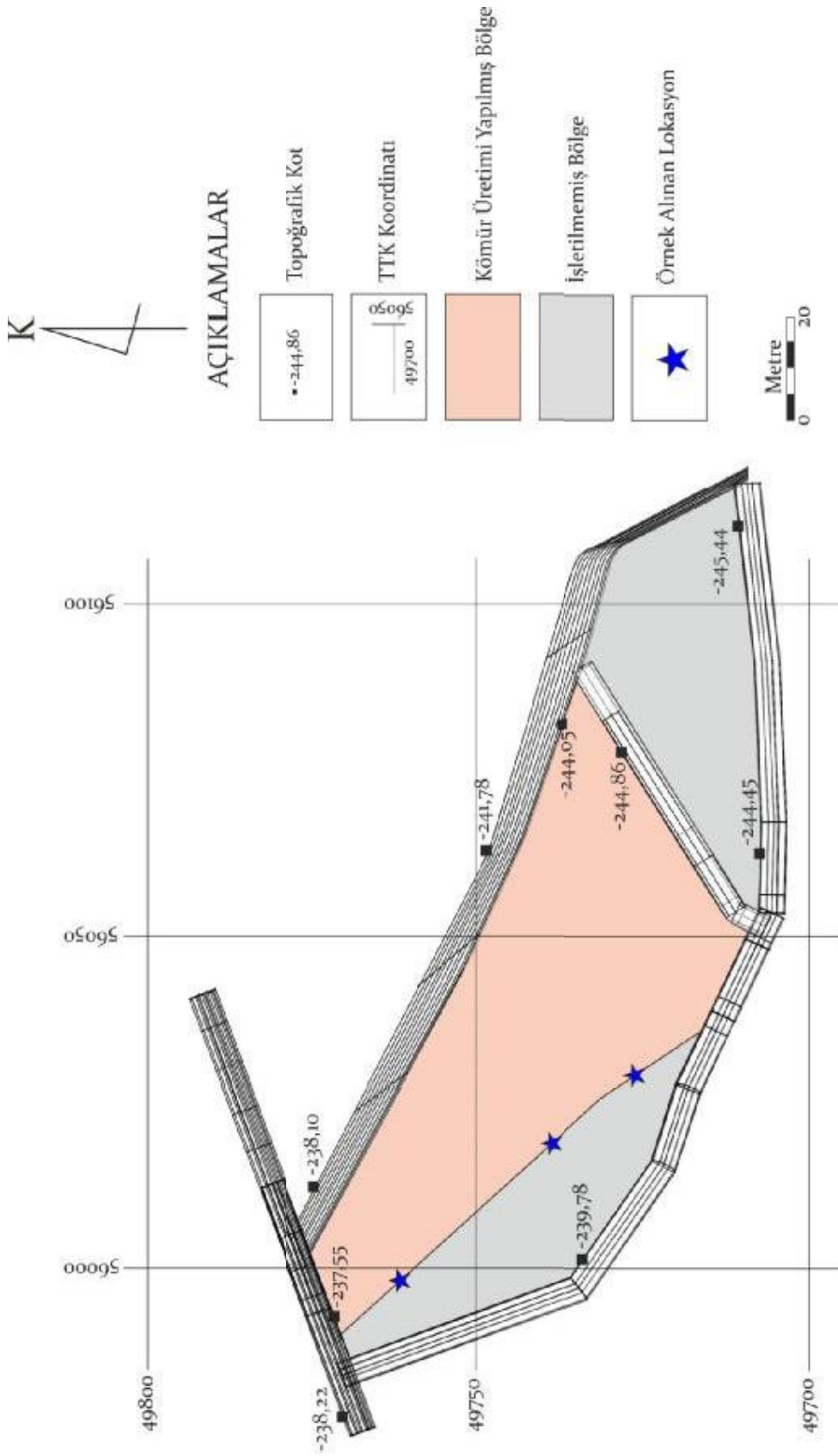
Bu bölgelerde ayak arkasının kırılma mesafesi 7 – 12 m arasında değişmektedir. Tavan tabakalarının ayrışma-bozunmaya uğramaması, kalın tabakalı kumtaşı bloklarının varlığı ve tavandan su gelirinin olmaması da ayak arkasının göçmesini zorlaştıran diğer hususlar olarak tanımlanabilir.

6.1.4 TTK Üzülmez Müessesesi 4. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları

Üzülmez 4. Ocak üretimini -200 m/-230 m kotlarındaki Sulu ayakta sürdürmektedir. Ayak ahşap tahkimat uygulaması ile çalışmaktadır. Ayak içinde 6 çift zincirli konveyör ve ayak dibinde 16 adet çift zincirli konveyör olmak üzere toplam 22 adet çift zincirli konveyör bulunmaktadır. Ayak dönümlü olarak çalışmakta olup kömür damarının eğimi, 8° - 24° arasında değişmekte ve ortalama ayağın eğimi 18° 'dir. Damar kalınlığı $3,52 \text{ m} \pm 0,35 \text{ m}$ arasındadır. Tavanda genellikle damlama şeklinde su geliri gözlenmekte olup, yer yer akma şeklindeki tavan koşulları dikkat çekmektedir. Ayak boyu 92 m (23 sarma) olup, Sulu ayağın genel görünümü Şekil 6.17'de verilmektedir. Ocak planı Şekil 6.18'de verilen Sulu ayak kuzey panodaki üretimini Ağustos 2013 itibari ile tamamlamış olup, hali hazırda güney kanatta üretimini devam ettirmektedir. Ocakta üretim tahkimat sorunları yüzünden yavaş ilerlemekte olup, ortalama have öteleniş süresi 4 gündür.

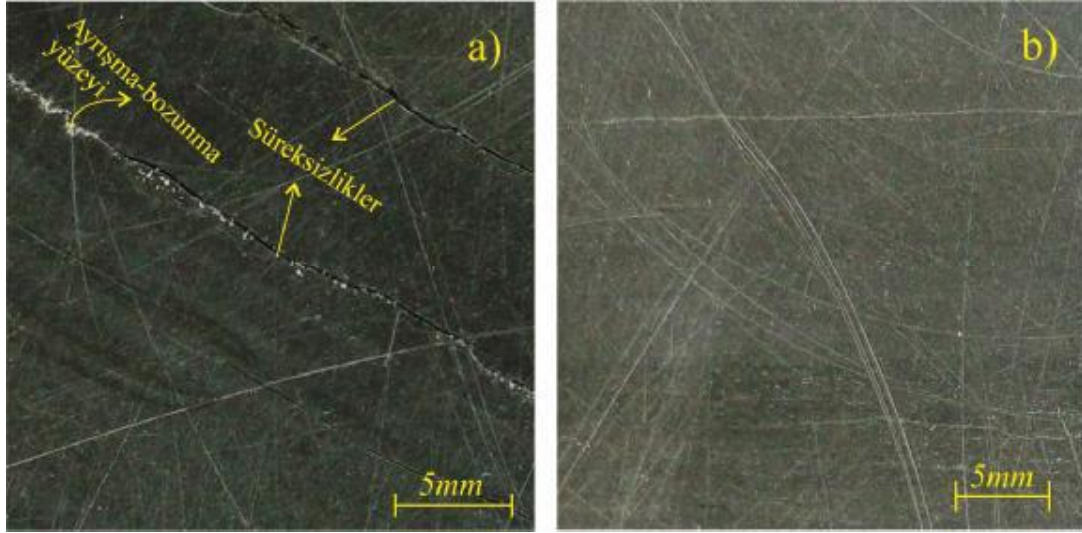


Şekil 6.18 Üzülmez 4. Ocak Sulu ayağın genel görünümü (Ölçeksiz).



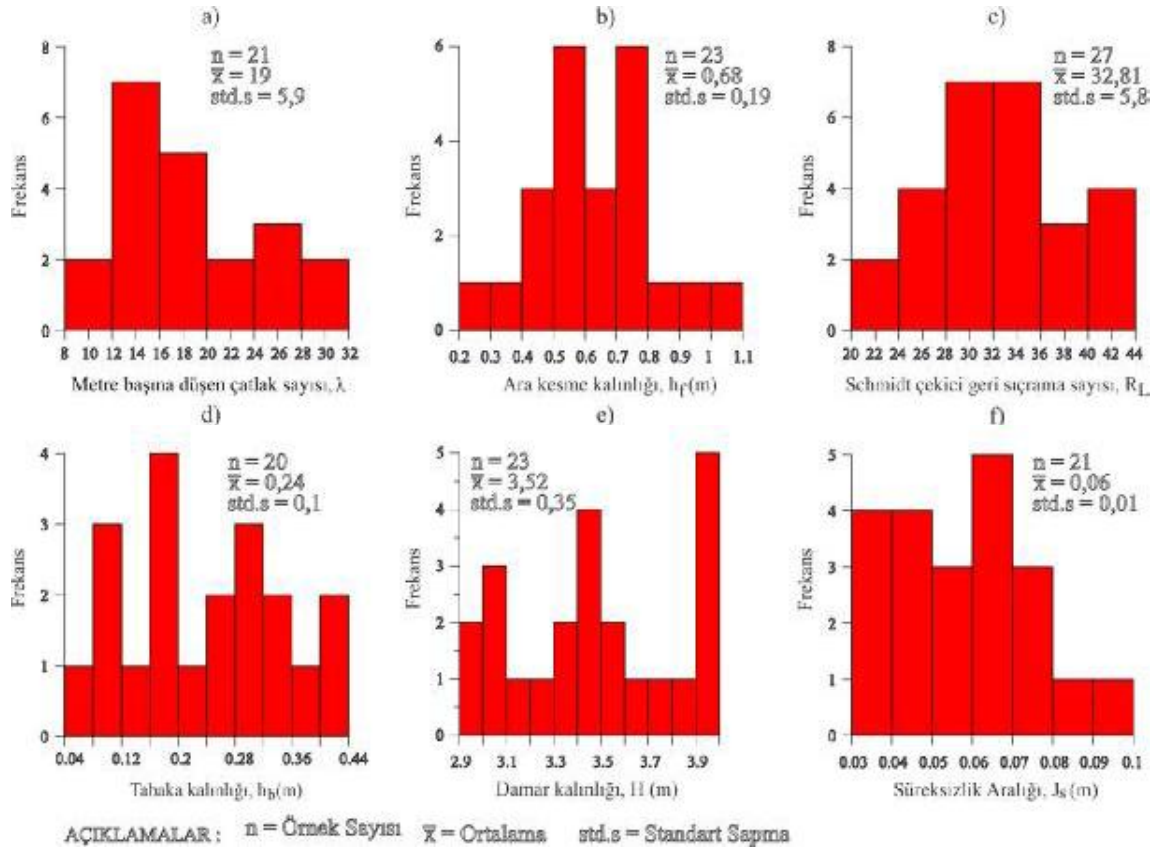
Şekil 6.19 Üzülmöz 4. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek).

Ayaktan alınan el numunelerinden hazırlanan parlatma kesitlerine göre, tavan litolojisi genellikle orta derecede ayrılmış siltaşlarından oluşmaktadır. Süreksizlik hatları boyunca silt boyutundaki tanelerin tavan su geliri ve ocak neminden etkilenecek şekilde killeştiği Şekil 6.18'den anlaşılmaktadır. Bol çatlaklı bir yapı sunan tavan tabakaları 5 mm'den küçük ince kum bantları içermektedir.

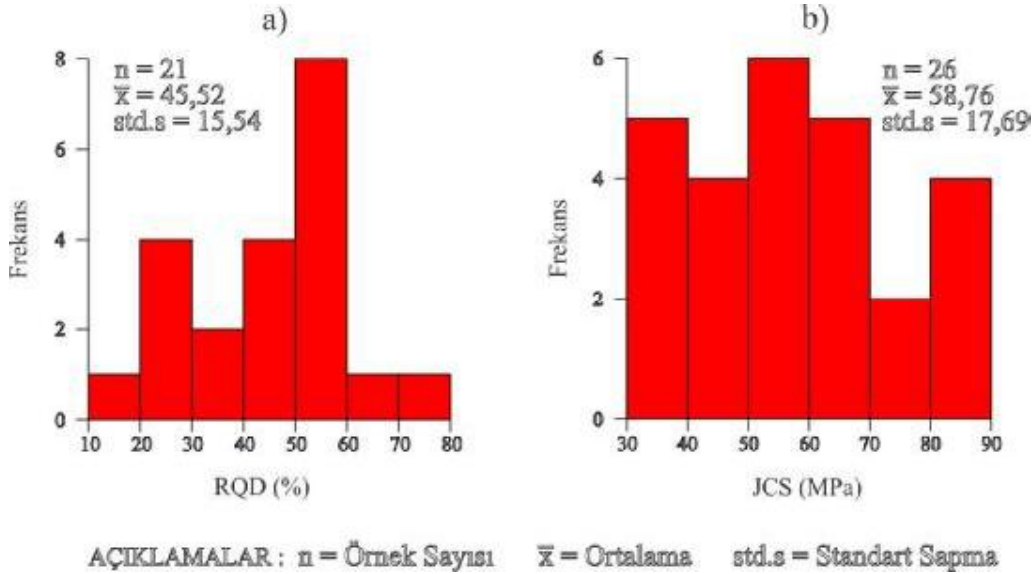


Şekil 6.20 Üzülmöz 4. Ocak tavan taşları parlatma kesit görüntüleri.

Arazi çalışmalarından elde edilen verilere ait histogramlar, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'de verilmiştir. Bunun dışında süreksizlik yüzeyleri, Barton ve Choubey'e (1977) göre "Kaygan ve Düzlemsel" olarak tanımlanmaktadır. JRC 2 - 4 arasında değişmektedir. Süreksizlik devamlılığı ise 0,4 m - 0,6 m arasında değişmektedir. ISRM'e (1981) göre süreksizlikler "Çok Düşük Devamlılıkta" olarak tanımlanmaktadır. Ayak boyunca yapılan süreksizlik aralığı ölçümlerine göre ise, RQD = 45,52±15,54 (%) ve çatlak yüzey dayanımı, JCS = 58,76±17,69 (MPa) arasında değişmektedir (Şekil 6.21). Buna göre tavan tabakaları Deere'a (1968) göre "Orta Kalite Kaya" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 6.21 Üzülmez 4. Ocak Sulu ayağı boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar



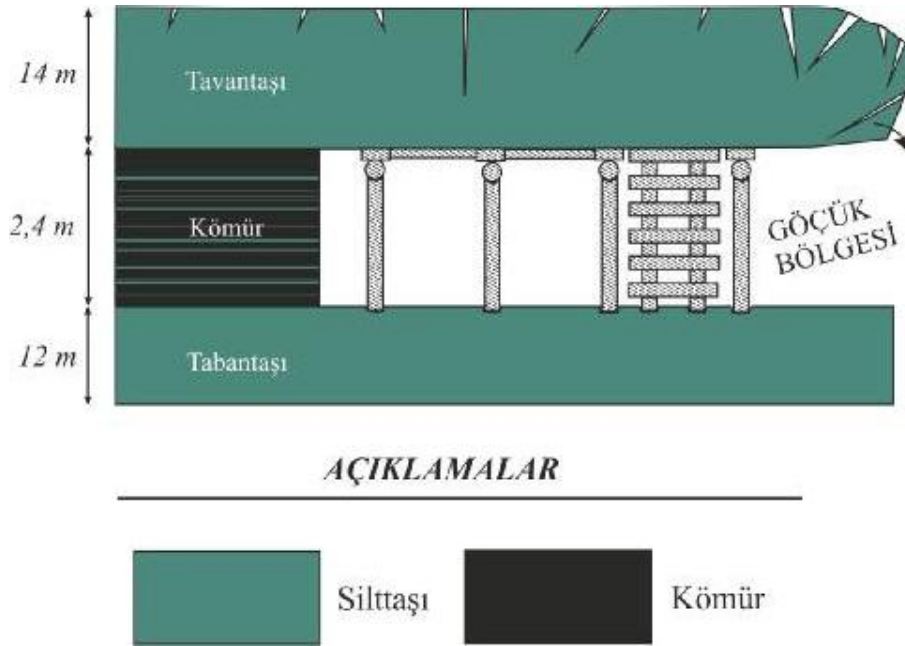
Şekil 6.22 Üzülmez 4. Ocak Sulu ayağı boyuca RQD ve JCS'nin değişimi.

Sulu ayakta göçme genellikle tabaka ayrılmaları şeklinde gerçekleşmektedir. Küçük blokların ayrılmaları şeklinde gerçekleşen göçme olayında etkili olan en önemli değişken tavan su geliri olmaktadır. Damar kalınlığının yüksek olması ve bazı yerlerde taban kömürünün tam olarak

alınmamasından kaynaklanan tahkimat sorunları olmakla birlikte tavanın bol kırıklı ve çatlaklı bir yapıda olması göçme olayını kolaylaştırmaktadır. Ayak arkasının kırılma mesafesi 0,8 m – 2 m arasında değişmektedir.

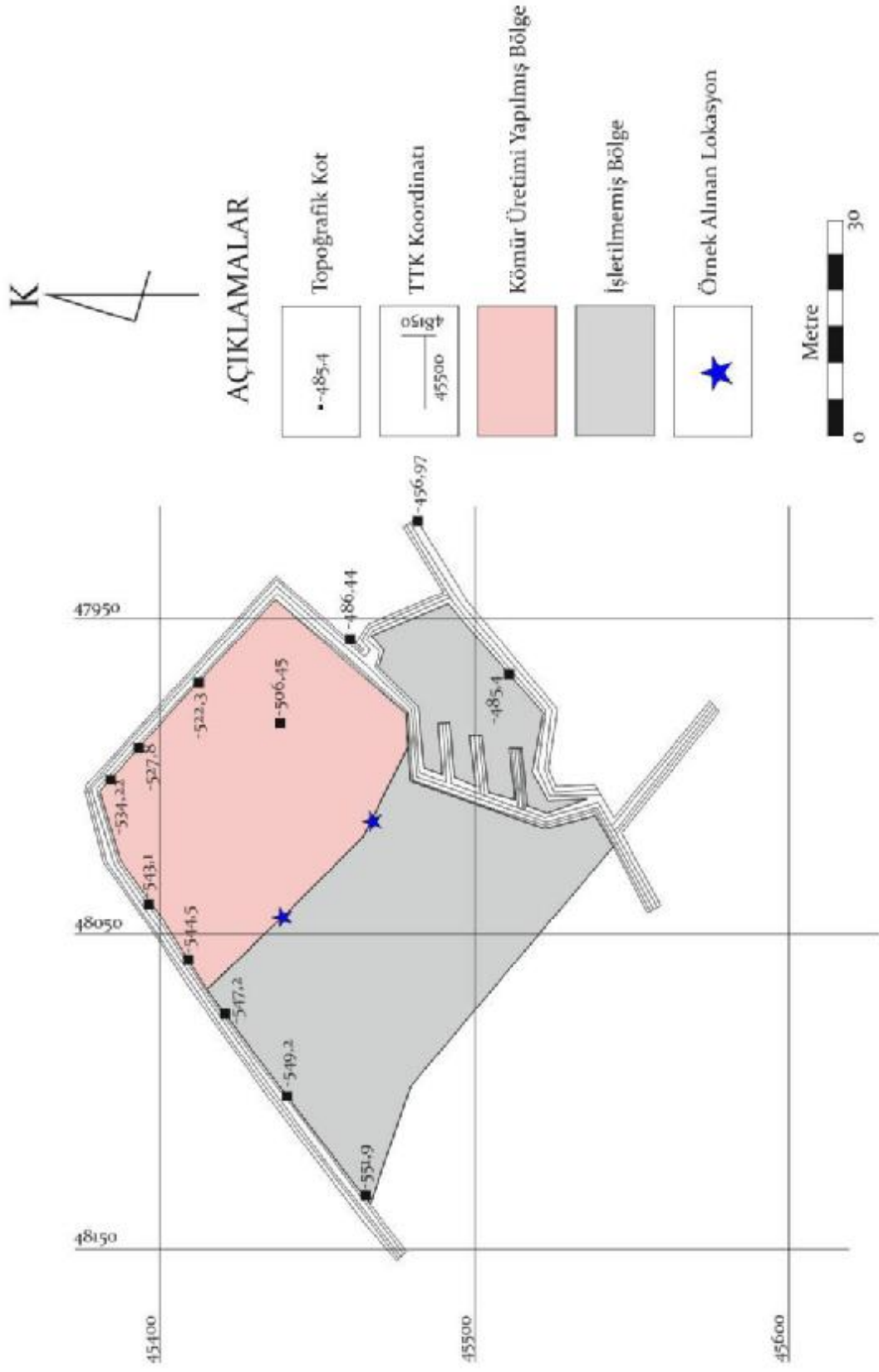
6.1.5 TTK Kozlu Müessesesi 5. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları

Kozlu 5. Ocak üretimini -485 m/-560 m kotlarındaki Kurul ayakta sürdürmektedir. Ayak ahşap tahkimat uygulaması ile çalışmaktadır. Ayak içinde 2 çift zincirli konveyör ve 6 adet tek zincirli konveyör olmak üzere toplam 8 adet zincirli konveyör ve 22 adet adi oluk bulunmaktadır. Ayak dönümlü olarak çalışmakta olup kömür damarının eğimi, 30° - 44° arasında değişmekte ve ortalama ayağın eğimi 37° 'dir. Damar kalınlığı $2,42 \text{ m} \pm 0,36 \text{ m}$ arasındadır. Tavanda genellikle damlama şeklinde su geliri gözlenmektedir. Ayak boyu 100 m (25 sarma) olup, Kurul ayağın genel görünümü Şekil 6.22'de, ocak planı ise Şekil 6.23'te verilmiştir.

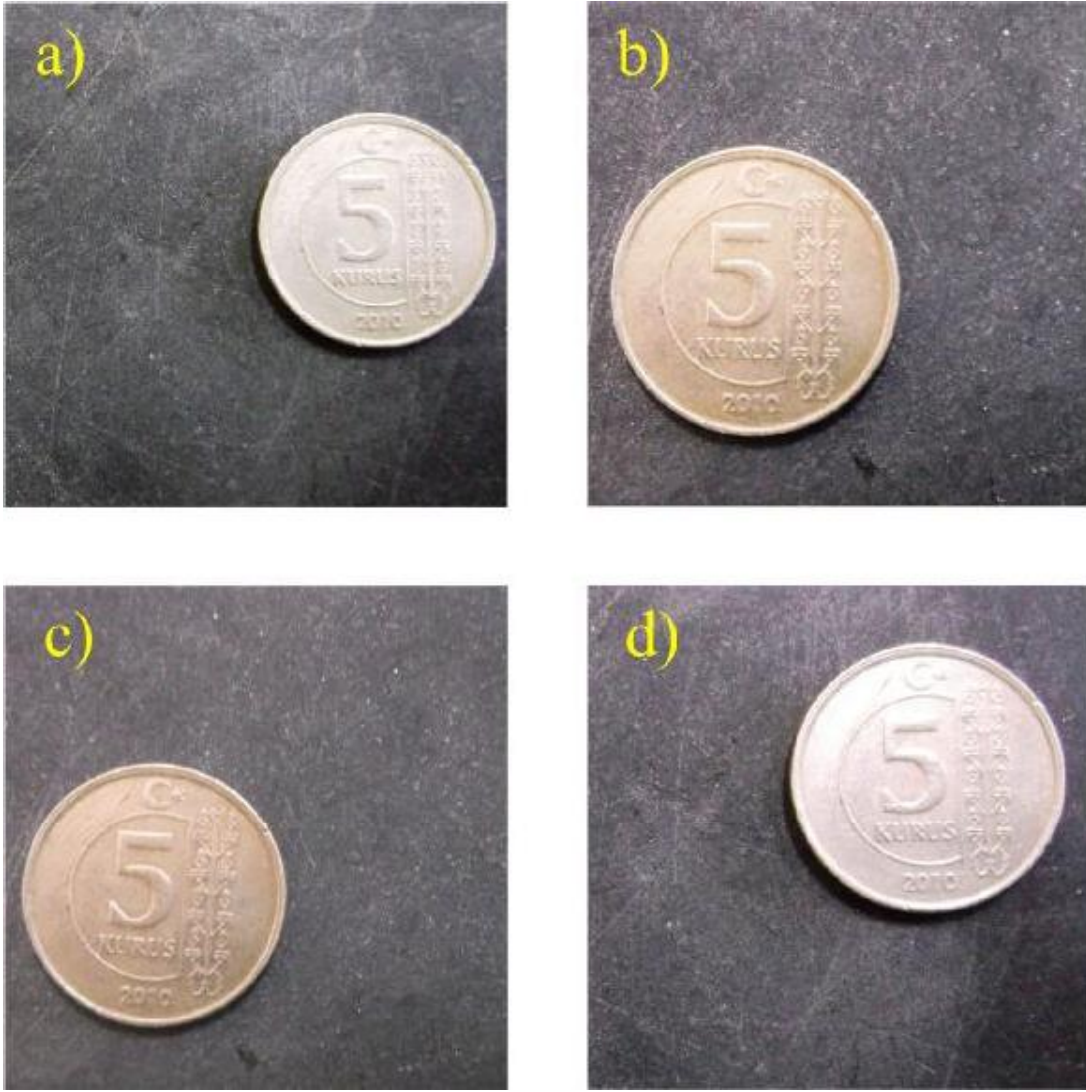


Şekil 6.23 Kozlu 5. Ocak Kurul ayağın genel görünümü (Ölçeksiz).

Tavan tabakaları masif yapıdaki silttaşlarından oluşmaktadır. Tavan tabakaları ayrışma-bozunma bakımından geniş bir yayılım göstermektedir. Tavan tabakaları "ayrışmamış"tan "orta derecede ayrışmış"a kadar değişen kayaçlardan oluşmaktadır. Tavan tabakaları genelde kırıklı bir yapı sunmaktadır. Ayaktan alınan el numunelerinden hazırlanan partlatma kesitlerine göre, silttaşlarında herhangi bir tabakalanma görülmemektedir (Şekil 6.24).

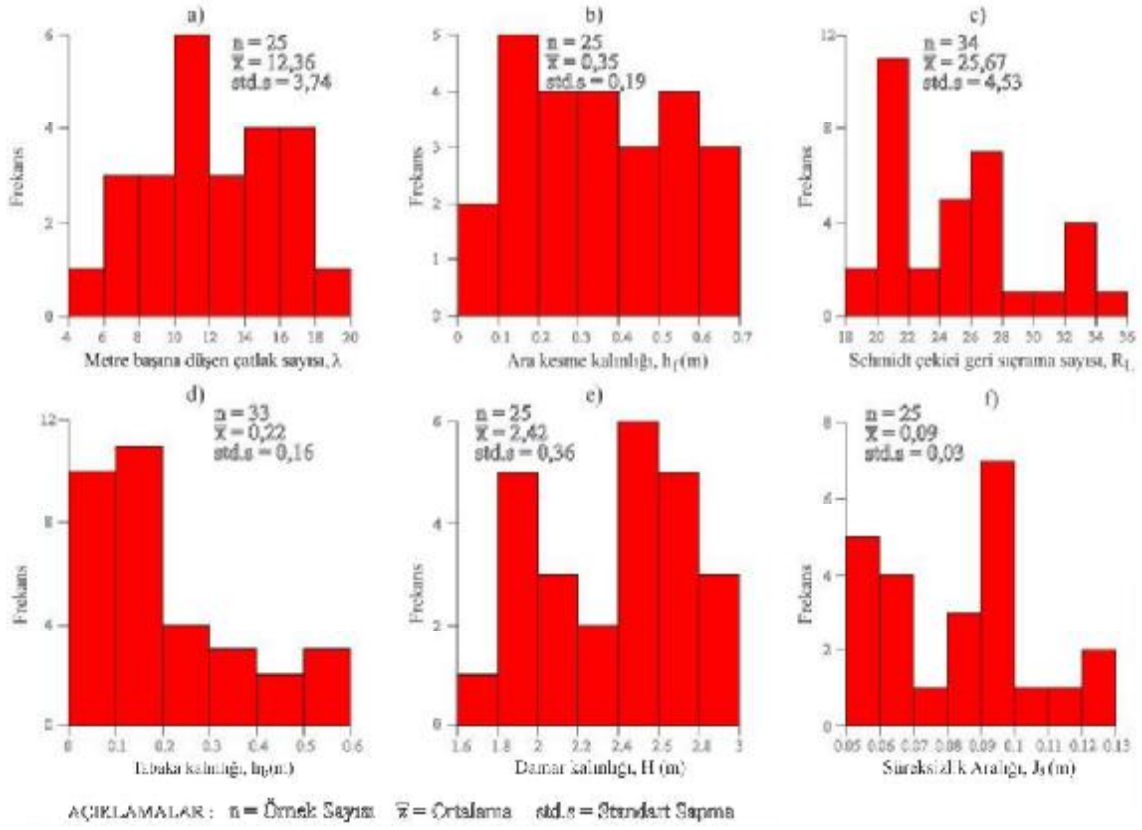


Şekil 6.24 Kozlu 5. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek).

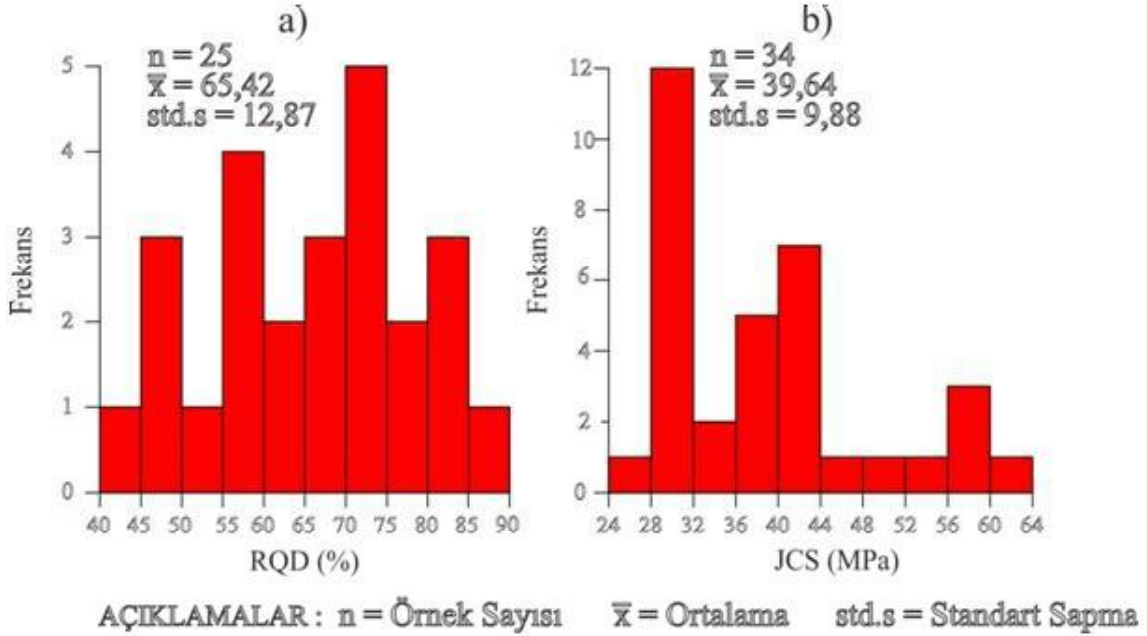


Şekil 6.25 Kozlu 5. Ocak tavantaşları parlatma kesit görüntüleri.

Arazi çalışmalarından elde edilen verilere ait histogramlar, Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da verilmiştir. Bunun dışında süreksizlik yüzeyleri, Barton ve Choubey'e (1977) göre " *Düzlemsel ve Kaygan* " olarak tanımlanmaktadır. JRC, 4 - 6 arasında değişmektedir. Süreksizlik devamlılığı ise $< 0,3$ m olup, ISRM'e (1981) göre süreksizlikler " *Çok Düşük Devamlılıkta* " olarak tanımlanmaktadır. Ayak boyunca yapılan süreksizlik aralığı ölçümlerine göre ise, $RQD = 45,52 \pm 15,54$ (%) ve çatlak yüzey dayanımı, $JCS = 58,76 \pm 17,69$ (MPa) arasında değişmektedir (Şekil 6.26). Buna göre tavan tabakaları Deere'a (1968) göre " *Orta Kalite Kaya* " olarak tanımlanmaktadır. Süreksizlik aralığı ise ISRM'e (1981) göre " *Yakın Aralıklı* " olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 6.26 Kozlu 5. Ocak Kurul ayağı boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar.



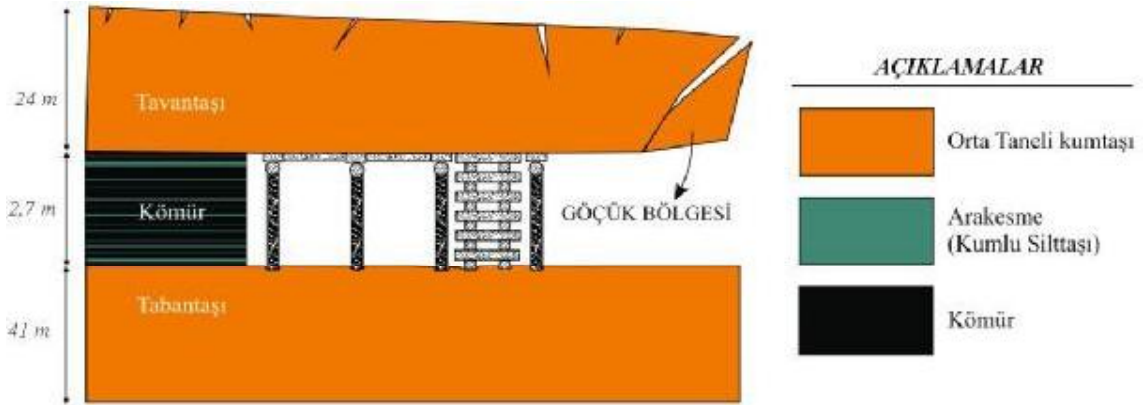
Şekil 6.27 Kozlu 5. Ocak Sulu ayağı boyuca RQD ve JCS'nin değişimi.

Sulu ayağın göçebilirlik durumunu genellikle ufak bloklar şeklinde gerçekleşmektedir. Arakesme ve küçük fayların olduğu bölgelerdeki blokların hafifçe kenetlenmesi şeklinde

gerçekleşen göçme olayında etkili olan en önemli değişken damar eğimi ve tahkimat tasarımıdır. Tavanın kırıklı bir yapıya sahip olmasına karşın, damar eğiminin yüksek oluşu ($30^\circ - 44^\circ$ arasındaki eğim) ve tahkimatın istenilen şekilde kurulamayışı (iyi sıkılanmamış damlar ve çatal direkler) göçmeyi zorlaştırmaktadır. Ayak kırılma mesafesi 3 – 3,5 m arasında olmasına karşın, Damların eğilmesi ve çatal direklerin kurulmasındaki sıkıntılar tavan yüklerinin dağılımını etkilemekte ve bu yerlerde ayak kırılma mesafesi nadiren 7 m'ye ulaşmaktadır.

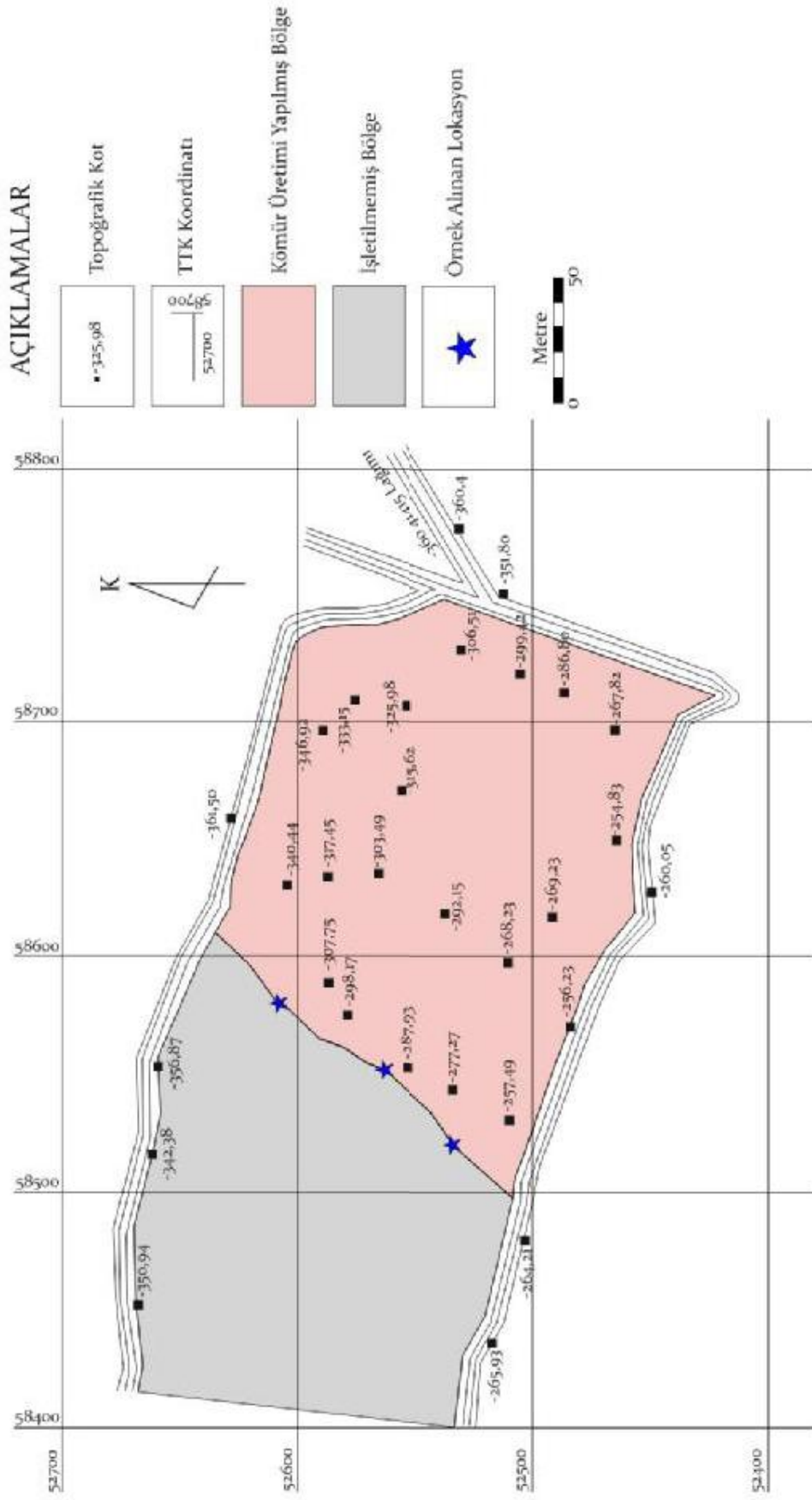
6.1.6 TTK Karadon (Gelik) Müessesesi 3. Ocak'ta Yapılan Arazi Çalışmaları

Karadon (Gelik) 3. Ocak üretimini -260 m/-360 m kotlarındaki Kurul ayakta sürdürmektedir. Ayak ahşap tahkimat uygulaması ile çalışmaktadır. Ayak içinde 48 adet adi oluk bulunmaktadır. Ayak dönümlü olarak çalışmakta olup kömür damarının eğimi, $35^\circ - 50^\circ$ arasında değişmekte ve ayağın ortalama eğimi 44° 'dir. Damar kalınlığı $2,7 \text{ m} \pm 0,51 \text{ m}$ 'dir. Tavanda genellikle sızıntı şeklinde su geliri gözlenmektedir. Ayak boyu 160 m (40 sarma) olup, Kurul ayağın genel görünümü Şekil 6.27'de, ocak planı ise Şekil 6.28'de verilmiştir.

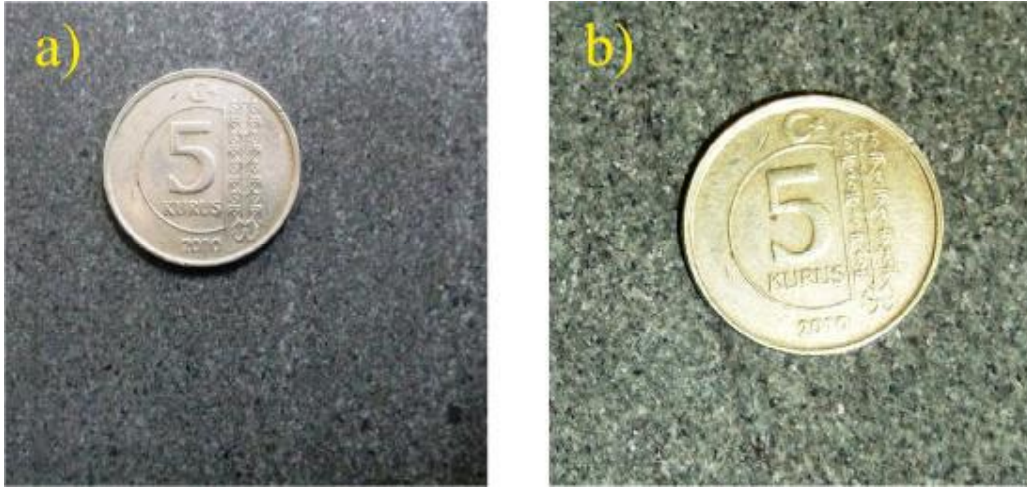


Şekil 6.28 Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul ayağın genel görünümü (Ölçeksiz).

Tavan tabakaları laminalı, orta taneli kumtaşlarından oluşmaktadır. Az ayrışmış ve orta derecede ayrışmış tavan tabakalarından alınan el numunelerinden hazırlanan parlatma kesitleri Şekil 6.28'de verilmiştir.

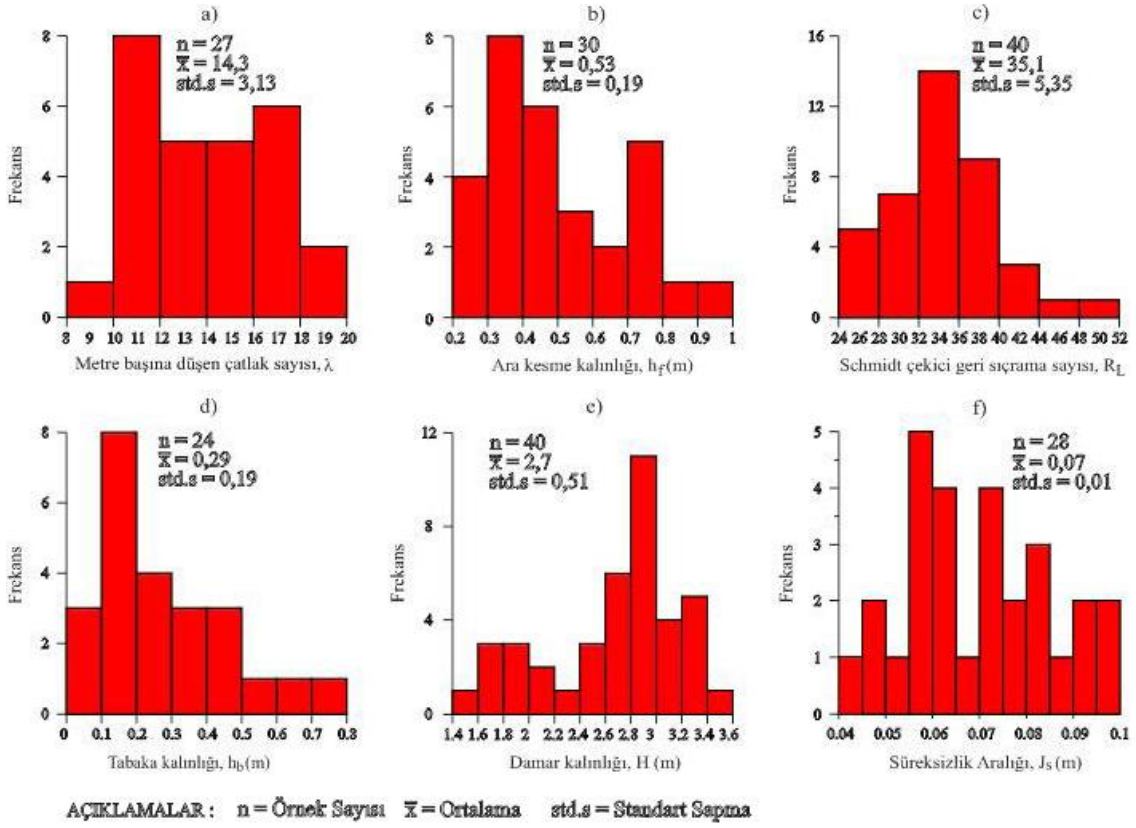


Şekil 6.29 Karadon (Gelik) 3. Ocak Planı (TTK 2013'ten düzenlenerek).

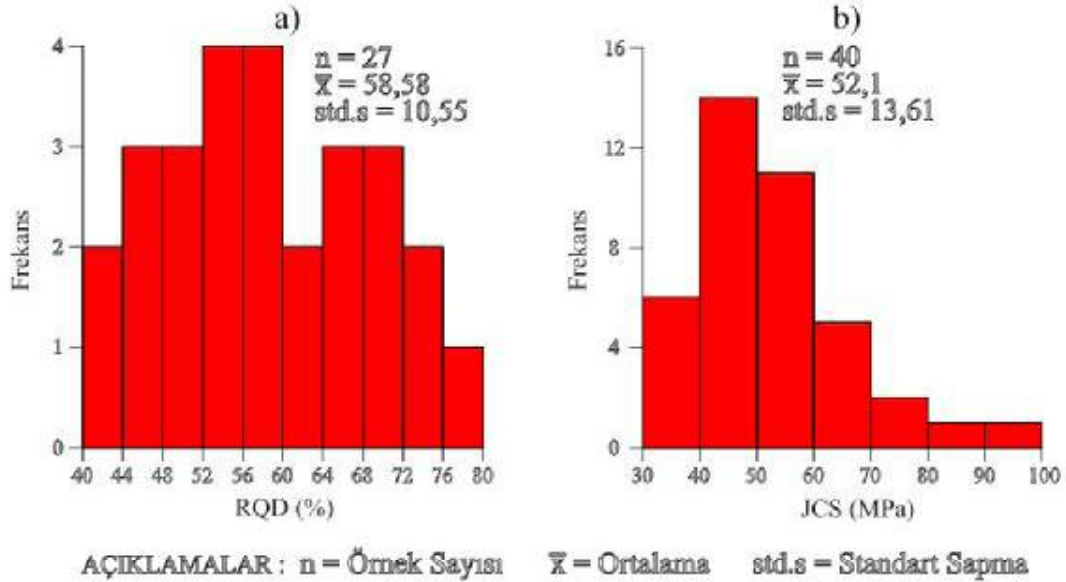


Şekil 6.30 Karadon (Gelik) 3. Ocak tavantaşları parlatma kesit görüntüleri.

Arazi çalışmalarından elde edilen verilere ait histogramlar Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da verilmiştir. Bunun dışında süreksizlik yüzeyleri, Barton ve Choubey'e (1977) göre " Az Pürüzlü " olarak tanımlanmaktadır. JRC, 6 - 8 arasında değişmektedir. Süreksizlik devamlılığı ise 0,4-0,7 m arasında değişmekte olup, ISRM'e (1981) göre süreksizlikler "*Çok Düşük Devamlılıkta*" olarak tanımlanmaktadır. Ayak boyunca yapılan süreksizlik aralığı ölçümlerine göre ise, RQD = $58,58 \pm 10,55$ (%) ve çatlak yüzey dayanımı, JCS = $52,10 \pm 13,61$ (MPa) arasında değişmektedir (Şekil 6.30). Buna göre tavan tabakaları Deere'a (1968) göre "*Orta Kalite Kaya*" olarak, süreksizlik aralığı ise ISRM'e (1981) göre "*Yakın Aralıklı*" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 6.31 Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul ayağı boyunca yapılan arazi çalışmalarına ait histogramlar



Şekil 6.32 Karadon (Gelik) 3. Ocak Sulu ayağı boyuca RQD ve JCS'nin değişimi.

Kurul ayağın geçebilirlik durumunu genellikle orta büyüklükteki kaya bloklarının (ISRM 'e (1981) göre 3 – 10 eklem/m³ olan kaya kütleleri) göçmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Orta ve

küçük ölçekli blokların hafifçe kenetlenmesi şeklinde de gözlenebilen göçme olayında etkili olan en önemli değişken damar eğimidir. Ortalama eğimi 44° olan damar eğimi tahkimat ünitelerinin düzenli bir şekilde kurulmasını ve sökülmesini güçleştirmektedir. Özellikle have ilerlemesinin yapılacağı durumlarda çatal direk ve domuzdamları tamamen duraylılıklarını yitirmeden have ilerlemekte ve bu da ayak arkası kırılma mesafesinin artmasına sebep olmaktadır. Ayak arkası kırılma mesafesi 5 – 11 m arasında değişmekte ve ortalama kırılma mesafesi 6.5 m civarındadır.

6.2 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Laboratuvar çalışmaları kapsamında tavan tabakalarından alınmış kaya blokları kullanılarak kaya malzemelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, tek eksenli basınç dayanımı deneyi, nokta yükü dayanım deneyi, dolaylı çekme deneyi, deformabilite deneyi ve suda dağılma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan kaya mekaniği deneyleri kuru ve doygun halde yapılarak kayaların suya doygun haldeki dayanımının hangi oranda değişebileceği kestirilmeye çalışılmıştır.

Kayaçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve diğer kaya mekaniği deneyler için numune hazırlanması için 54 mm ve 85 mm çaplarındaki karotiyerler kullanılarak örnekler alınmıştır (Şekil 6.32a). Daha sonra örnekler, ISRM (1981) tarafından önerilen boyutlarda kesilmiştir (Şekil 6.32c). ISRM (1981)'de belirtildiği gibi numunelerin alt ve üst yüzeyleri en fazla 0.02 mm'ye kadar bir hata ile düzgün olmalı ve örnek eksenine diklik hassasiyeti 0.001 radyan ya da 50 mm'de 0.05 mm sapmadan küçük olmalıdır. Bunun gerçekleştirilmesi için numuneler önce taşlama makinasında daha sonra da zımpara kağıtları kullanılarak pürüzsüz yüzeylerin elde edilmesine çalışılmıştır (Şekil 6.32d). Numuneler hazırlandıktan sonra tek tek kumpas ile boy ve çapları ölçülmüş, kuru ağırlıkları tartılmıştır (Şekil 6.32e). Kayaçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için ise, atmosferik koşullarda kayaçlar 72 saat boyunca 18-20°'lik su içinde bekletilerek numuneler doygun hale getirilmeye çalışılmış ve doygun ağırlıkları tartılmış, daha sonra ise numuneler 105° sıcaklığındaki etüvde kurutularak kuru ağırlıkları tartılmış ve fiziksel özellikler bu şekilde belirlenmiştir.

Laboratuvar deneyleri iki aşamada yapılmış olup, birinci seri deneyler Ekim 2012 – Aralık 2012 ve ikinci seri deneyler ise, Aralık 2012 – Mart 2013 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan numuneler Şekil 6.33 ve Şekil 6.34'te verilmiştir.



Şekil 6.33 Numune hazırlama işlemleri.



Şekil 6.34 Birinci seri kaboratuvar deneylerinde kullanılan numuneler.



Şekil 6.35 İkinci seri laboratuvar deneylerinde kullanılan numuneler.

6.2.1 Kayaçların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Kayaçların fiziksel özellikleri atmosferik şartlarda 18-20°deki suyun içinde 72 saat bekletilen silindirik numunelerin (Şekil 6.35) kullanılmasıyla elde edilmiştir. 72 saat içinde doygunluğa eriştiği kabul edilen numunelerin doymun ağırlıkları tartılmış ve daha sonra numuneler 105°deki etüvde kurularak kuru ağırlıkları tartılmış ve kaya malzemelerinin fiziksel özellikleri gözeneklilik prizması yardımı ile belirlenmiştir.

Çizelge 6.5 Fiziksel özellikler toplu sonuçlar.

Müessesesi	Damar Adı / Kariye	Tavantaşı	n (%)	e	w_n (%)	γ_s (kN/m^3)	γ_{me} (kN/m^3)	γ_s (kN/m^3)
TTK Üzümlü	Çay / 1. Kariye	İnce Taneli Kumtaşı	2,23±0,91 [*] (46)	0,02-0,009 (46)	0,86±0,36 (46)	25,49±0,34 (46)	25,71±0,33 (46)	26,07±0,37 (46)
TTK Üzümlü	Piriç / 2. Kariye	Konglomera	7,17±0,181 (39)	0,08-0,02 (39)	3,01±0,83 (39)	23,53±1,03 (39)	24,23±0,94 (39)	25,34±0,94 (39)
TTK Üzümlü	Piriç / 2. Kariye	Silttaşı	5,28±1,66 (29)	0,06-0,02 (29)	2,03±0,64 (29)	25,50±0,34 (29)	26,02±0,32 (29)	26,97±0,49 (29)
TTK Üzümlü	Çay Piriç / 3. Kariye	İnce Taneli Kumtaşı	2,67±0,70 (30)	0,03-0,007 (30)	1,02±0,27 (30)	25,55±0,17 (30)	25,82±0,17 (30)	26,26±0,23 (30)
TTK Üzümlü	Sulu / 4. Kariye	Silttaşı	2,00±0,85 (16)	0,02-0,008 (16)	0,77±0,33 (16)	25,67±0,61 (16)	25,86±0,58 (16)	26,19±0,55 (16)
TTK Kozlu	Kurul / 5. Kariye	Silttaşı	4,15±1,53 (16)	0,04-0,016 (16)	1,61±0,57 (16)	25,19±0,93 (16)	25,6-0,98 (16)	26,29±0,1,18 (16)
TTK Karaden (Gelik)	Kurul / 3. Kariye	Orta Taneli Kumtaşı	10,21±1,87 (22)	0,11-0,02 (22)	4,49±0,95 (22)	22,52-1,03(2 (2)	23,52±0,88 (22)	25,07±0,73 (22)

*Ortalama ± Standart Sapma ve parantez içi rakamlar örnek sayılarıdır

Çizelge 6.5 incelendiğinde tavantaşlarının görünür gözenekliliklerinin %2 ile %11 arasında kaldığı görülmektedir. Çizelge 6.6'da verilen porozite sınıflamalarına göre, tavantaşları Moss ve Quervain'e (1948) göre az boşluklu kayaçlardan çok boşluklu kayaçlara değişen bir aralıktadır. Anon'a (1979) göre ise, tavan kayaçları düşük ile yüksek poroziteli kayaçlar arasında kalmaktadır.

Çizelge 6.6 Kayaçların görünür porozitelerine göre sınıflandırılması.

Moos-Quervain, 1948 Sınıflaması		Anon, 1979 Sınıflaması	
Porozite (%)	Kaya Sınıfı	Porozite (%)	Tanımlama
< 1	Çok kompakt	> 30	Çok yüksek
1 - 2,5	Az boşluklu	30 - 15	Yüksek
2,5 - 5	Orta boşluklu	15 - 5	Orta
5 - 10	Oldukça boşluklu	5 - 1	Düşük
10 - 20	Çok boşluklu	< 1	Çok düşük
> 20	Çok fazla boşluklu		

6.2.2 Nokta Yüklü Dayanımı Deneyi

ISRM'in (1981) numunelere ait önerdiği geometrik koşulların sağlanması ile aksenal (Şekil 6.36a) ve çapsal (Şekil 6.36b) nokta yükü deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kuru ve doymuş şartlar altındaki deney sonuçları toplu olarak Çizelge 6.7'de verilmiştir. Kırılmış numunelerden küçük bir bölümü ise örnek olması açısından Şekil 6.37'de verilmiştir.



Şekil 6.36 Nokta yükü deneyi yükleme koşulları : a) Aksenal yükleme b) Çapsal yükleme.



Şekil 6.37 Nokta yükü dayanım deneyi sonucunda kırılmış bazı numuneler (Kalemin boyu 130 mm'dir.).

Çizelge 6.7 Nokta Yüğü Dayanım Deneyi Sonuçları.

Müessesese	Damar Adı / Kartiye	Tavan taşı	Eksenel Nokta Yüğü Deney Sonuçları		Çapsal Nokta Yüğü Deney Sonuçları	
			I_{50} (MPa) Kuru	I_{50} (MPa) Doymun	I_{50} (MPa) Kuru	I_{50} (MPa) Doymun
TTK Üzülmöz	Çay / 1. Kartiye	İnce Taneli Kumtaşı	7,71±1,83 (6) [*]	4,05±0,83 (7)	6,36±1,06 (5)	3,95±0,55 (2)
TTK Üzülmöz	Piriç / 2. Kartiye	Konglomera	6,08±1,48 (8)	2,44±0,04 (2)	4,48±0,63 (3)	—
TTK Üzülmöz	Piriç / 2. Kartiye	Silttaşı	2,89±1,04 (19)	1,01±0,83 (7)	2,57±0,76 (11)	0,83±0,2 (7)
TTK Üzülmöz	Çay Piçi / 3. Kartiye	İnce Taneli Kumtaşı	6,94±1,21 (14)	5,21±1,4 (8)	6,21±0,66 (5)	3,47±0,81 (5)
TTK Üzülmöz	Sulu / 4. Kartiye	Silttaşı	5,43±1,21 (7)	3,37±0,39 (4)	3,92±0,48 (2)	2,51±— (1)
TTK Kozlu	Kurul / 5. Kartiye	Silttaşı	4,67±1,13 (6)	1,7±0,24 (3)	3,25±0,56 (4)	1,63±0,42 (2)
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Kartiye	Orta Taneli Kumtaşı	7,1±1,81 (5)	3,64±0,97 (5)	6,2±1,24 (4)	3,56±0,39 (4)

* Ortalama ± Standart Sapma ve parantez içindekiler örnek sayılarıdır.

Çizelge 6.7 incelendiğinde, silttaşları Bieniawski'ye (1975) göre kuru şartlar altında "*Orta ve Yüksek Dayanımlı*", doymun şartlar altında ise "*Düşük ve Orta Dayanımlı*" kayaçlar olarak tanımlanmaktadır (Bkz. Çizelge 6.8). Kumtaşları, kuru şartlar ve doymun şartlar altında "*Yüksek Dayanımlı*" kayaçlar olarak tanımlanmaktadır. Konglomera ise, kuru şartlar altında "*Yüksek ve Orta Dayanımlı*" kayaç olarak tanımlanırken, doymun şartlar altında "*Orta Dayanımlı*" kayaç olarak tanımlanır.

Çizelge 6.8 Nokta yüğü dayanım sınıflaması (Bieniawski 1975).

Kayaç Sınıfı	I_{50} (MPa)
Çok Yüksek	> 8
Yüksek	8 - 4
Orta	4 - 2
Düşük	2 - 1
Çok Düşük	< 1

Kayaçların kuru ve doymun şartlar altındaki nokta yüğü dayanım deney sonuçlarından çıkarılacak bir başka sonuç ise suyun kayaçlar üzerine olan etkisidir. Ortalama nokta yüğü dayanım değerleri ele alındığında ince taneli kumtaşlarında su altında dayanımlarında yaklaşık %39'luk bir azalma gözlenirken, orta taneli kumtaşlarında bu azalma %46'ya çıkmaktadır. Silttaşlarında ise bu azalma %54 civarında ve suyun en fazla etkilendiği kaya türü ise %80'lik bir dayanım azalmasıyla konglomerada gözlenmektedir. Bu sonuçlardan suyun kayaçlar üzerindeki etkisi bir kez daha anlaşılması olmaktadır.

6.2.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri, ASTM-D2938 ve ISRM (1981) tarafından önerilen geometrik koşullar ve deney yöntemleri esas alınarak kuru ve doymun şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerden bazı görüntüler Şekil 6.38'de, toplu deney sonuçları ise Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Silttaşı Numunesi (Üzülmez 4. Ocak Sulu Ayak)

a) Deneyden önce



b) Deneyden sonra



İnce Taneli Kumtaşı Numunesi (Üzülmez 1. Ocak Çay Ayak)

a) Deneyden önce



b) Deneyden sonra



Şekil 6.38 Tek eksenli basınç dayanımı deneylerinden bazı görüntüler.

Çizelge 6.9 Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları.

Müessese	Damar Adı / Katiye	Tavan taşı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	
			σ_{ci} (MPa) Kuru	σ_{ci} (MPa) Doymun
TTK Üzülmez	Çay / 1. Katiye	İnce Taneli Kumtaşı	117,77±13,04* (10)	71,76±7,9 (4)
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Katiye	Konglomera	67,20±14,94 (15)	40,80±12,8 (10)
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Katiye	Silttaşı	48,14±17,74 (15)	17,4±4,64 (4)
TTK Üzülmez	Çay Pici / 3. Katiye	İnce Taneli Kumtaşı	144,47±23,33 (12)	111,89±15,48 (6)
TTK Üzülmez	Sulu / 4. Katiye	Silttaşı	86,25±33,4 (11)	53,92±16,98 (5)
TTK Kozlu	Kurul / 5. Katiye	Silttaşı	49,84±10,66 (13)	21,07±4,99 (5)
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Katiye	Orta Taneli Kumtaşı	113,56±10,86 (10)	68,13±2,11 (4)

* Ortalama ± Standart Sapma ve parantez içindekiler örnek sayılarıdır.

Çizelge 6.9'a göre incelenen ayaklardaki tavan tabakalarının tek eksenli basınç dayanımları kuru şartlar için 48 MPa ile 145 MPa arasında, doymun şartlar için ise 20 MPa ile 112 MPa arasında değişmektedir. Kuru şartlar altında gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanım deneylerine göre incelenen ayakların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması ISRM'e (1981) göre yapılmıştır. Kullanılan sınıflama Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10 Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı için önerilen sınıflandırma (ISRM, 1981).

σ_{ci} (MPa)	Tanımlama
1 - 25	Çok Düşük Dayanım
25 - 50	Düşük Dayanım
50 - 100	Orta Derecede Dayanım
100 - 200	Yüksek Dayanım
> 200	Çok Yüksek Dayanım

ISRM'e (1981) göre tavan tabakalarının tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması Çizelge 6.10'da verilmiştir. Buna göre, tavan tabakaları "*Düşük*" ve "*Yüksek*" dayanımlı kayalar olarak tanımlanmaktadır (Bkz. Çizelge 6.11 ve Çizelge 6.12).

Laboratuvar çalışmaları kapsamında tavan kayalarının su altındaki tek eksenli dayanımlarının değişimi de Çizelge 6.13'de verilmiştir. Çizelge 6.19'da farklı araştırmacıların doymun şartlar altındaki tek eksenli basınç dayanım değerlerinin aynı kayaların kuru şartlar altındaki tek eksenli basınç dayanım değerlerine oranları görülmektedir.

Çizelge 6.11 Tavan tabakalarının teksemlı basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması (kuru şartlar altında).

Müessese	Damar Adı / Kariye	Tavantaşı	σ_{ci} (MPa)	Dayanım Sınıfı (ISRM 1981)
TTK Üzölmez	Çay / 1. Kariye	İnce Taneli Kumtaşı	117,77±13,04	Yüksek
TTK Üzölmez	Piriç / 2. Kariye	Konglomera	67,20±14,94	Düşük - Orta
TTK Üzölmez	Piriç / 2. Kariye	Silttaşı	48,14±17,74	Düşük - Orta
TTK Üzölmez	Çay Piçi / 3. Kariye	İnce Taneli Kumtaşı	144,47±23,33	Yüksek
TTK Üzölmez	Sulu / 4. Kariye	Silttaşı	86,25±33,4	Orta - Yüksek
TTK Kozlu	Kurul / 5. Kariye	Silttaşı	49,84±10,66	Düşük - Orta
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Kariye	Orta Taneli Kumtaşı	113,56±10,86	Yüksek

Çizelge 6.12 Tavan tabakalarının teksemlı basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması (doğun şartlar altında).

Müessese	Damar Adı / Kariye	Tavantaşı	σ_{ci} (MPa)	Dayanım Sınıfı (ISRM 1981)
TTK Üzölmez	Çay / 1. Kariye	İnce Taneli Kumtaşı	71,76±7,9	Orta
TTK Üzölmez	Piriç / 2. Kariye	Konglomera	40,80±12,8	Çok Düşük - Düşük
TTK Üzölmez	Piriç / 2. Kariye	Silttaşı	17,4±4,64	Düşük - Orta
TTK Üzölmez	Çay Piçi / 3. Kariye	İnce Taneli Kumtaşı	111,89±15,48	Yüksek
TTK Üzölmez	Sulu / 4. Kariye	Silttaşı	53,92±16,98	Düşük - Orta
TTK Kozlu	Kurul / 5. Kariye	Silttaşı	21,07±4,99	Çok Düşük - Düşük
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Kariye	Orta Taneli Kumtaşı	68,13±2,11	Orta

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanım deneylerine göre, tavan kayaçlarının σ_{ci} (doğun) / σ_{ci} (kuru) oranları ince taneli kumtaşları için ortalama 0,69, silttaşları için 0,39, kumlu silttaşları için 0,63, konglomera için 0,61 ve orta taneli kumtaşı için ise 0,6 olarak belirlenmiştir (Çizelge 6.13). Belirlenen bu oranlara göre, ince taneli kumtaşlarının su altındaki tek eksenli basınç dayanımının yaklaşık %31, silttaşlarının %61, kumlu silttaşlarının %37, konglomeranın %39 ve orta taneli kumtaşlarının da %40 oranında azaldığı anlaşılmaktadır. Buradan da tavan su gelirinın kayaçların dayanımı üzerine etkisi bir kez daha açığa çıkmaktadır.

Çizelge 6.13 Bazı kayaçların doymun şartlar altındaki tek eksenli basınç dayanımlarının kuru şartlar altındaki tek eksenli basınç dayanımlarına oranı.

σ_{ci} (doymun) / σ_{ci} (kuru)	Kayaç Türü	Araştırmacı
0,50	Şeyl ve kuvarslı kumtaşı	Colback ve Wild (1965)
0,76	Penrith kumtaşı	Dyke ve Dobereiner (1991)
0,75	Bunter kumtaşı	Dyke ve Dobereiner (1991)
0,97	Oolitik kireçtaşı	Lashkaripour ve Ghafoori (2002)
0,62	Kumtaşı ve kumlu kireçtaşı	Lashkaripour ve Ghafoori (2002)
0,81	Oolitik kireçtaşı ve laminalı kumtaşı	Lashkaripour ve Ghafoori (2002)
0,52	Şeyl	Lashkaripour ve Ghafoori (2002)
0,76	Kumtaşı	Vasarhelyi (2003)
0,66	Kireçtaşı	Vasarhelyi (2005)
0,60	İnce taneli kumtaşı (Üzülmez)	Bu Çalışma (2013)
0,61	Konglomera (Üzülmez)	Bu Çalışma (2013)
0,36	Silttaşı (Üzülmez)	Bu Çalışma (2013)
0,77	İnce taneli kumtaşı (Üzülmez)	Bu Çalışma (2013)
0,63	Kumlu silttaşı (Üzülmez)	Bu Çalışma (2013)
0,42	Silttaşı (Kozlu)	Bu Çalışma (2013)
0,60	Orta taneli kumtaşı (Karadon; Gelik)	Bu Çalışma (2013)

6.2.4 Statik Elastik Sabitler Deneyi

Tez çalışması kapsamında ortalama Young Modülü ve Poisson Oranı değerleri belirlenmiş ve ilgili yerlerde bu değerler kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deney sonuçları toplu olarak Çizelge 6.14'de ve deneylerden bazı görüntüler de Şekil 6.40'da verilmiştir.

Çizelge 6.14'e göre tavan kayaçlarının kuru şartlar altındaki tanjant Young modülleri $E_t = 7 - 22$ GPa arasında, tanjant Poisson oranları ise ν_t 0,17 ile 0,35 arasında değişmektedir. Doymun şartlar altında ise $E_t = 1,5 - 16$ GPa ve ν_t 0,2 - 0,42 arasındadır.

Çizelge 6.14 Statik elastik sabitler deney sonuçları.

Müessese	Damar Adı / Kartiye	Tavantaşı	Statik Elastik Sabitler Deney Sonuçları			
			E_t (GPa) Kuru	E_t (GPa) Doymun	ν_t (-) Kuru	ν_t (-) Doymun
TTK Üzülmez	Çay / 1. Kartiye	İnce Taneli Kumtaşı	22,1 (1)	11,4 (1)	0,26 (1)	0,29 (1)
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kartiye	Konglomera	14,39 (1)	9,73 (1)	0,31 (1)	0,37 (1)
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kartiye	Silttaşı	16,7 (1)	4,3 (1)	0,35 (1)	0,42 (1)
TTK Üzülmez	Çay Piçi / 3. Kartiye	İnce Taneli Kumtaşı	24,1 (1)	16,00 (1)	0,20 (1)	0,21 (1)
TTK Üzülmez	Sulu / 4. Kartiye	Silttaşı	13,1 (1)	11,11 (1)	0,17 (1)	0,22 (1)
TTK Kozlu	Kurul / 5. Kartiye	Silttaşı	7,4 (1)	1,67 (1)	0,32 (1)	0,35 (1)
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Kartiye	OrtaTaneli Kumtaşı	9,2 (1)	7,4 (1)	0,16 (1)	0,23 (1)

Not : Parantez içindekiler örnek sayıdır.

İnce Taneli Kumtaşı Numunesi (Üzülmez 3. Ocak Çay Piçi Ayağı)
a) Deneyden Önce



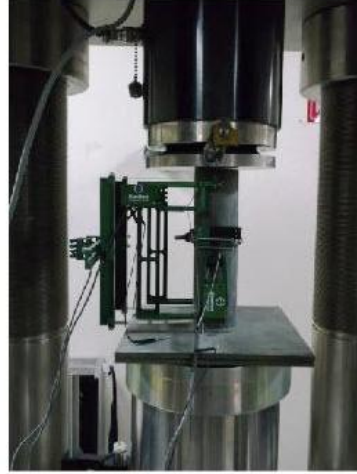
a) Deneyden Sonra



Silttaşı Numunesi (Üzülmez 2. Ocak Piriç Ayak)
a) Deneyden Önce



a) Deneyden Sonra



Şekil 6.39 Statik elastik sabitler deneylerinden bazı görüntüler.

6.2.5 Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian) Deneyi

Dolaylı çekme dayanımı deneyleri, ayak arkasının kırılma mesafesinin analitik olarak belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.15'te dolaylı çekme deney sonuçları verilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerden bazı görüntüler ise Şekil 6.41'de verilmektedir.

Çizelge 6.15'te tavan kayaçlarının kuru şartlar altındaki dolaylı çekme dayanımları 7 ile 11 MPa arasında iken, doygun şartlar altında ise bu değerler 3,5 - 8,5 MPa arasında değerler aldığı görülmektedir. Su etkisi ile tavan kayaçlarının dolaylı çekme dayanımlarında yaklaşık %40 oranında bir azalma söz konusudur.

Çizelge 6.15 Dolaylı çekme deneyi sonuçları.

Müessese	Damar Adı / Katiye	Tavantaşı	Dolaylı Çekme Dayanımı Denei Sonuçları	
			σ_{tB} (MPa) Kuru	σ_{tB} (MPa) Doymun
TTK Üzülmöz	Çay / 1. Katiye	İnce Taneli Kumtaşı	10,50±2,26(11)*	6,23±1,55(11)
TTK Üzülmöz	Piriç / 2. Katiye	Konglomera	9,05±3,03 (14)	4,79±1,27 (10)
TTK Üzülmöz	Piriç / 2. Katiye	Silttaşı	6,99±2,05 (10)	3,68±1,47 (8)
TTK Üzülmöz	Çay Piçi / 3. Katiye	İnce Taneli Kumtaşı	11,20±1,72 (12)	8,41±1,76 (9)
TTK Üzülmöz	Sulu / 4. Katiye	Silttaşı	11,13±4,03 (7)	7,69±2,56 (5)
TTK Kozlu	Kurul / 5. Katiye	Silttaşı	7,97±1,99 (11)	3,73±1,15 (8)
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Katiye	OrtaTaneli Kumtaşı	9,83±1,97 (10)	6,10±1,11 (7)

* Ortalama ± Standart Sapma ve parantez içindekiler örnek sayılarıdır.

Konglomera Numunesi (Üzülmöz 2. Ocak Piriç Ayak)

a) Deneiden Önce



b) Deneiden Sonra



Orta Taneli Kumtaşı Numunesi (Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul Ayak)

a) Deneiden Önce



b) Deneiden Sonra



Şekil 6.40 Dolaylı çekme dayanım deneilerinden bazı görüntüler.

6.2.6 Suda Dağılma Deneyi

Marn, kilaşı, çamurtaşı vb. kil içeren zayıf kayalar, birbirini takip eden ıslanma-kuruma gibi atmosferik etkenlerle şişme, büzülme, zayıflama ve parçalanma sürecinde dağılmaya eğilimlidir. Suda dağılma dayanımı deneyi bu tür kayaların, söz konusu etkenlere karşı mekanik performanslarını önceden belirlemek, sınıflandırmasını yapmak ve birbirleriyle karşılaştırmak için yapılır. Ayrıca tüneller ve yeraltı kömür madenciliğinde tavan su gelirinin yüksek olduğu bölgelerde kayaların davranışlarının kestirilmesi konularında da kayaların suya olan hassasiyetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu açıdan da suda dağılma deneyi önemli bir deney olarak kabul edilmektedir.

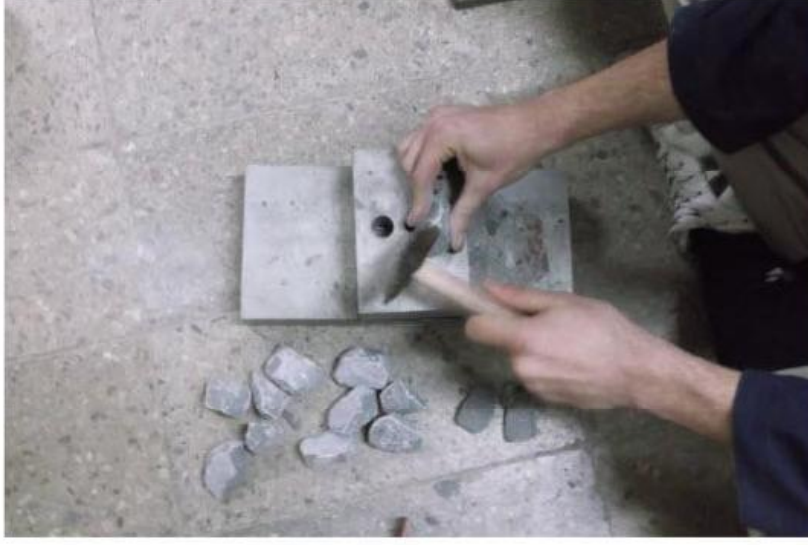
Suda dağılma dayanımı deney düzeneği, 100 mm yüksekliğinde 140 mm çapında ve yanal yüzeyi 2 mm aralıklı elek telinden oluşan silindirik şeklindeki bir tambur, içerisine su doldurmaya ve tamburun içinde serbestçe dönebilmesine uygun bir şeffaf su tankı ve tamburu 20±1 dev/dak'lık hızla döndürebilecek kapasiteye sahip bir motordan oluşmaktadır (Şekil 6.42).



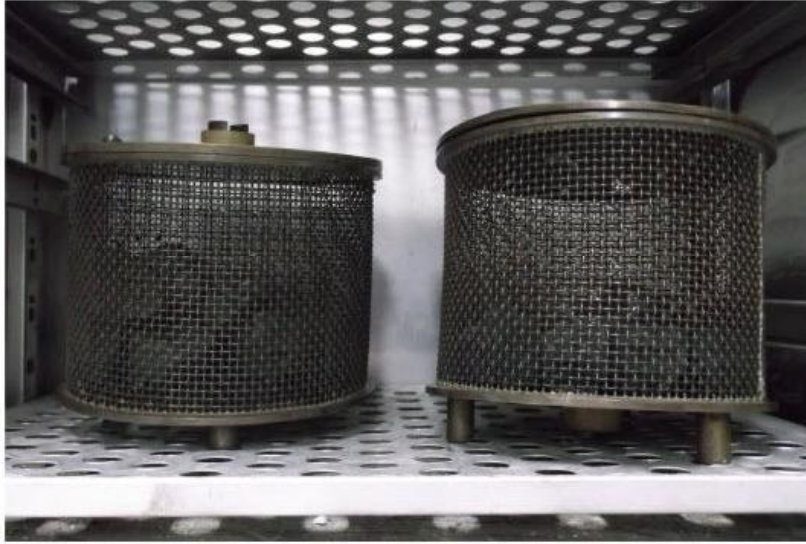
Şekil 6.41 Suda dağılma deneyinden bir görüntü.

Deney için, her biri 40–60 gram ağırlığında ve toplam ağırlığı 450–550 gram arasında değişen 10 adet köşeleri yuvarlatılmış kaya parçaları hazırlanmalıdır (Şekil 6.43a). Hazırlanan bu kaya parçaları (Şekil 6.43b) tambur içerisine konarak sabit kütleye ulaşıncaya kadar 105°C'deki

a) Numune hazırlama işlemi



b) Tambur içindeki numunelerin kurutulması



Şekil 6.42 Suda dağılma deneyi numune hazırlama ve numunelerin kurutulması işlemleri.

etüvde 2–6 saat arasında kurutulur ve tartılır. Tambur su ile doldurulmuş kabın içerisine yerleştirilir ve 10 dakika süreyle 200 devir döndürülür. Deney sonrası tambur 4 saat etüvde kurutulur ve tekrar kuru ağırlığı tartılır. Sonrasında, aynı işlem bir kez daha tekrarlanır ve tartım sonuçları alınır . Son olarak, tambur fırça ile temizlenir ve kendi ağırlığı tartılır.

Deney yukarıdaki sıraya göre yapıldıktan sonra, suda dağılma dayanımı indeksi, örneklerin son ve ilk kuru ağırlıklarının oranı şeklinde hesaplanır. Tez çalışması kapsamında suda dağılma deneyi için hazırlanmış numuneler 6 çevrim boyunca ıslanma - kuruma işlemine maruz bırakılmış ve dördüncü çevrime karşılık gelen değer suda dağılmaya karşı dayanım indeksi puanı olarak kabul edilmiştir. Suda dağılmaya karşı dayanım indeksi puanı Eşitlik 6.13 ile belirlenmektedir.

$$I_{d4} = \left(\frac{\text{Dördüncü çevrim sonunda kalan toplam ağırlık (g)}}{\text{Numunenin ilk ağırlığı (g)}} \right) \times 100 \quad (6.13)$$

Gerçekleştirilen suda dağılma deney numunelerinin bazılarının altı çevrim sonraki durumları Şekil 6.44'te verilmiştir.



Şekil 6.43 Altıncı çevrim sonunda bazı tavan kayaçlarının durumu.

Suda dağılmaya karşı dayanım indeksi değerleri (ikinci çevrime karşılık gelen suda dağılmaya karşı dayanım indeksi puanlaması) için önerilen sınıflandırma ise Çizelge 6.16'de sunulmaktadır.

Çizelge 6.16 Suda dağılma dayanımı indeksi için önerilen sınıflandırma (Gamble 1971).

Suda dağılmaya karşı dayanım indeksi değeri (%)	Sınıflama
< 30	Çok Düşük
30 - 60	Düşük
60 - 85	Orta
85 - 95	Orta - Yüksek
95 - 98	Yüksek
> 98	Çok Yüksek

Eşitlik 6.13 kullanılarak tavan kayaçlarının suda dağılmaya karşı dayanım indeksi puanı hesaplanmış ve deney sonuçları toplu olarak Çizelge 6.17'de verilmiştir.

Çizelge 6.17 Suda dağılma deney sonuçları.

Müessese	Damar Adı / Kartiye	Tavantaşı	I_{e4} (%)
TTK Üzülmez	Çay / 1. Kartiye	İnce Taneli Kumtaşı	97,77
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kartiye	Konglomera	91,50
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kartiye	Silttaşı	95,86
TTK Üzülmez	Çay Pici / 3. Kartiye	İnce Taneli Kumtaşı	96,86
TTK Üzülmez	Sulu / 4. Kartiye	Silttaşı	95,10
TTK Kozlu	Kurul / 5. Kartiye	Silttaşı	96,39
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Kartiye	OrtaTaneli Kumtaşı	95,18

BÖLÜM 7

GÖÇEBİLİRLİK ARAŞTIRMALARI

Bu bölümde incelenen ayakların göçebilirlik durumları, Bölüm 5'te ifade edilen tavan göçebilirlik sınıflamaları kapsamında incelenmiştir. Göçebilirlik araştırmaları, Bölüm 6'daki arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda alınan sonuçların Bölüm 5'teki yaklaşımlarda yerine konulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4'te ayak kırılma mesafesinin kestirimi için önerilen görgül bağıntıdan (Bkz. Eşitlik 4.65) elde edilen ayak arkası kırılma değerlerinin arazi değerleri ile olan karşılaştırılmasına da bu bölümde yer verilmiştir. Ayrıca ayak arkasının kırılma mesafesinin tavan katılığı olgusu (Bkz. Bölüm 4) ile olan ilişkisine de bölüm sonunda değinilmiştir.

7.1 ÜZÜLMEZ 1. OCAK ÇAY AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ

Üzülmez 1. Ocak Çay Ayağın göçebilirlik durumu Bölüm 5'te yer alan tavan göçebilirlik sınıflamalarına göre araştırılmış ve Çizelge 7.1'de verilmiştir. Çizelge 7.1'e göre ince taneli kumtaşının tavantaşı olduğu Çay Ayağın göçebilirliği "Çok Zor" ve "Zor" olarak tanımlanmıştır. Ayak kırılmasında önemli olan Ayak kırılma mesafesi (l_{im}), yaklaşık 5 have veya 5,7 m olarak arazi incelemelerinde tespit edilmiş olup, ayak kırılma mesafesi ile tavan katılığı (K_{im}) arasındaki ilişkiye ise bölüm sonunda ayrıca yer verilmiştir.

Çizelge 7.1 Üzülmez 1. Ocak Çay Ayağın göçebilirlik durumu.

Araştırmacı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği
Bilinski ve Konopko (1973)	177	Çok Zor
Das (2000)	77	Zor
Laubscher (1990)	74	Zor
Mark ve Molinda (2003)	74	Çok Zor
Hongzhu (1996)	13	Çok Zor
Venkateswarlu et al (1989)	88	Çok Zor
Singh et al (1999)	7710	Zor

7.2 ÜZÜLMEZ 2. OCAK ÇAY AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ

Üzülmez 2. Ocak Piriç ayağın göçebilirlik durumu iki farklı tavantaşı için ayrı ayrı incelenmiştir. Tavantaşının konglomera olduğu bölgelere ait tavan göçebilirlik durumu Çizelge 7.2'de tavantaşının silttaşı olduğu bölgelerdeki göçebilirlik durumu ise Çizelge 7.3'te verilmiştir. Buna göre konglomeranın tavantaşı olduğu bölgelerde tavan göçebilirliği "Zor" ve "Orta" olarak tanımlanırken, silttaşının tavantaşı olduğu bölgelerde ise tavan göçebilirliğinin "Orta" ve "Kolay" olduğu söylenebilir (Bkz. Çizelge7.2 ve Çizelge 7.3). Konglomeranın tavantaşı olduğu bölgelerde l_{im} yaklaşık 3 have (3,65 m), silttaşının tavantaşı olduğu bölgelerde ise lim 2 have(1 have ~ 1,2 m) olarak arazide tespit edilmiştir.

Çizelge 7.2 Üzülmez 2. Ocağın Göçebilirlik Durumu (Tavantaşı konglomera).

Araştırmacı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği
Bilinski ve Konopko (1973)	71	Zor
Das (2000)	59	Orta
Laubscher (1990)	60	Orta
Mark ve Molinda (2003)	48	Orta
Hongzhu (1996)	4	Orta
Venkateswarlu et al (1989)	65	Zor
Singh et al (1999)	3191	Orta

Çizelge 7.3 Üzülmez 2. Ocağın Göçebilirlik Durumu (Tavantaşı Silttaşı).

Araştırmacı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği
Bilinski ve Konopko (1973)	54	Orta
Das (2000)	41	Orta - Kolay
Laubscher (1990)	46	Orta
Mark ve Molinda (2003)	35	Kolay
Hongzhu (1996)	4	Orta
Venkateswarlu et al (1989)	54	Orta
Singh et al (1999)	2097	Orta

7.3 ÜZÜLMEZ 3. OCAK ÇAY AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ

Tavantaşının ince taneli kumtaşı olduğu Üzülmez 3. Ocak Çay Piçi ayağının göçebilirlik durumu Çizelge 7.4'te ifade edilmiştir. Çizelge 7.4'e göre ayağın göçebilirlik durumu, "Zor" ve "Çok Zor" olarak tanımlanmaktadır.

Bu ayağın göçebilirliğinde tahkimat sorunlarının ve tavanın kuru oluşunun etkili olduğu Bölüm 6'da ifade edilmişti. Ayağın Üzülmez 1. Ocak Çay Ayakla benzer bir litolojiye sahip olmasına karşın, bu iki ayağın (Üzülmez 1. Ocak ve Üzülmez 3. Ocağın) göçebilirlik durumları ve ayak arkası kırılma mesafeleri birbirinden farklıdır. Bunun sebebi, Üzülmez 1. Ocak Çay Piçi Ayağının iki parça şeklinde üretimine devam etmesi en önemli değişken olarak düşünülmektedir. Ayak arkası kırılma mesafesi l_{im} ise, ortalama 7 have (yaklaşık 8,8 m) olarak arazi incelemelerinde tespit edilmiştir.

Çizelge 7.4 Üzülmez 3. Ocağın Göçebilirlik durumu.

Araştırmacı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği
Bilinski ve Konopko (1973)	254	Çok Zor
Das (2000)	75	Zor
Laubscher (1990)	72	Zor
Mark ve Molinda (2003)	77	Çok Zor
Hongzhu (1996)	17	Çok Zor
Venkateswarlu et al (1989)	86	Çok Zor
Singh et al (1999)	25191	Çok Zor

7.4 ÜZÜLMEZ 3. OCAK ÇAY AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ

Tavantaşının kumlu siltaşı olduğu Üzülmez 4. Ocak Sulu ayağının göçebilirlik durumu Çizelge 7.5'te ifade edilmiştir. Çizelge 7.5'e göre ayağın göçebilirlik durumu, Bilinski ve Konopko (1973) yaklaşımına göre "Zor", Das'a (2000) göre "Orta-Kolay", Mark ve Molinda'ya (2003) göre "Çok Kolay", diğer araştırmacılara göre ise "Orta" olarak tanımlanmaktadır. Ayak kırılmasında tavan su gelirinin büyük etkisi olan ayakta l_{im} ise, ortalama 1 have (1,2 m) olarak arazi incelemelerinde tespit edilmiştir.

Çizelge 7.5 Üzülmez 4. Ocağın göçebilirlik durumu.

Araştırmacı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği
Bilinski ve Konopko (1973)	94	Zor
Das (2000)	44	Orta - Kolay
Laubscher (1990)	39	Kolay
Mark ve Molinda (2003)	34	Çok Kolay
Hongzhu (1996)	6	Orta
Venkateswarlu et al (1989)	54	Orta
Singh et al (1999)	4293	Orta

7.5 KOZLU 5. OCAK KURUL AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ

Tavantaşının silttaşı olduğu Kozlu 5. Ocak Kurul ayağının göçebilirlik durumu Çizelge 7.6'te ifade edilmiştir. Çizelge 7.5'e göre ayağın göçebilirlik durumu, Das'a (2000) göre "*Orta-Kolay*", Mark ve Molinda (2003) ve Hongzu'ya (1996) göre "*Kolay*", diğer araştırmacılara göre ise "*Orta*" olarak tanımlanmaktadır. Ayak kırılmasında damar eğiminin (α) etkisinin önemli olduğu ayakta, l_{im} ise, 2-3 have (ortalama 2,8 m) olarak arazi incelemelerinde tespit edilmiştir.

Çizelge 7.6 Kozlu 5. Ocağın göçebilirlik durumu.

Araştırmacı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği
Bilinski ve Konopko (1973)	37	Orta
Das (2000)	46	Orta - Kolay
Laubscher (1990)	55	Orta
Mark ve Molinda (2003)	42	Kolay
Hongzhu (1996)	3	Kolay
Venkateswarlu et al (1989)	56	Orta
Singh et al (1999)	2783	Orta

7.6 KARADON (GELİK) 3. OCAK KURUL AYAĞIN GÖÇEBİLİRLİĞİ

Tavantaşının orta taneli kumtaşı olduğu Kurul ayağının göçebilirlik durumu Çizelge 7.7'de ifade edilmiştir. Çizelge 7.7'ye göre ayağın göçebilirlik durumu, Bilinski ve Konopko'ya (1973) göre "*Zor*", Das'a (2000) göre "*Orta*" ve diğer araştırmacılara göre ise "*Orta*" olarak tanımlanmaktadır.

Ayak kırılmasında damar eğimi ve tahkimat sorunlarının olduğu ayakta, l_{im} , 5-6 have (ortalama 6,5 m) olarak arazi incelemelerinde tespit edilmiştir.

Çizelge 7.7 Karadon (Gelik) 3. Ocağın göçebilirlik durumu.

Araştırmacı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği
Bilinski ve Konopko (1973)	166	Çok Zor
Das (2000)	58	Orta
Laubscher (1990)	61	Zor
Mark ve Molinda (2003)	61	Zor
Hongzhu (1996)	9	Zor
Venkateswarlu et al (1989)	69	Zor
Singh et al (1999)	5660	Zor

7.7 AYAK KIRILMA MESAFESİNİN ANALİTİK OLARAK KESTİRİLMESİ

Bu bölümde, Bölüm 4'te giriş teorisini esas alarak türetilmiş olan ve ayak arkasının kırılma mesafesinin (l_{im}) kestirilmesini amaçlayan görgül bağıntı kullanılarak ayak arkasının kırılma mesafeleri kestirilerek bu değerlerin gerçek arazi verileri ile karşılaştırmasına yer verilmiştir. Hatırlamak amacı ile ilgili formül tekrar aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$l_{im} = \sqrt{\frac{h_{im} \times \eta \times \sigma_{tB} \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR-100)\right)}}{3 \times \gamma_{im}}} \times \left(\cos(\alpha) + \frac{\sin(\alpha)}{\mu} \right) \quad (4.65)$$

Eşitlik 4.65'ten elde edilen verilere geçmeden önce bağıntının kullanılması ile ilgili bazı önemli hususlara yer vermenin yerinde olduğu düşünülmektedir. Bu hususlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- i. Türetilen görgül bağıntıda yer alan h_{im} ifadesi, Bölüm 4'te ifade edilen yaklaşımlar esas alınarak hesaplanmış (Çizelge 7.8) ve ortalama h_{im} değerleri kullanılmıştır.
- ii. Kaya kütlelerinin tek eksenli çekme dayanımının (σ_m) kestirilmesi amacıyla türetilen görgül bağıntıda (Bkz. Eşitlik 4.32) yer alan η ifadesi ise farklı tavan litolojilerine göre Çizelge 4.8 yardımı ile belirlenecektir.
- iii. Kaya malzemesinin dolaylı çekme dayanımı σ_{tB} 'nin görgül bağıntıda kullanılması ise, arazi su gelirine göre kuru veya doymuş şartlar altındaki değerlerin kullanılması şeklindedir. Daha açık bir ifade ile, tavadan damlama şeklinde bir su geliri varsa, doymuş şartlardaki σ_{tB} değerleri tavanda herhangi bir su geliri yok ise kuru şartlardaki σ_{tB} değerleri kullanılacaktır. Bunun amacı arazi koşullarını görgül bağıntıda daha iyi yansıtılabilmektir. Aynı yaklaşım yalancı tavanın birim hacim ağırlığı (γ_{im}) için de geçerlidir.
- iv. Jeomekanik Sınıflama Sistemi olan RMR'ın görgül bağıntıdaki yer alma şekli ise, bu bölümdeki Laubscher (1981) yaklaşımında ifade edilen RMR değerlerinin görgül bağıntıda kullanılması şeklindedir.
- v. Arazi çalışmalarının yer aldığı Bölüm 6'da ayakların ortalama eğimleri verilmişti. Tavan sürtünme katsayısının (μ) niceliksel olarak belirlenebilmesi için, tavan katılığı ile olan ilişkisi göz önünde bulundurulmalı, bunun için de Bölüm 4'te verilen Şekil 4.4 yardımı ile farklı tavan koşullarında ve tavan katılıklarına ait bir μ sabiti belirlenmektedir.

Çizelge 7.8 Yalancı tavan kalınlıklarının kestirilmesi.

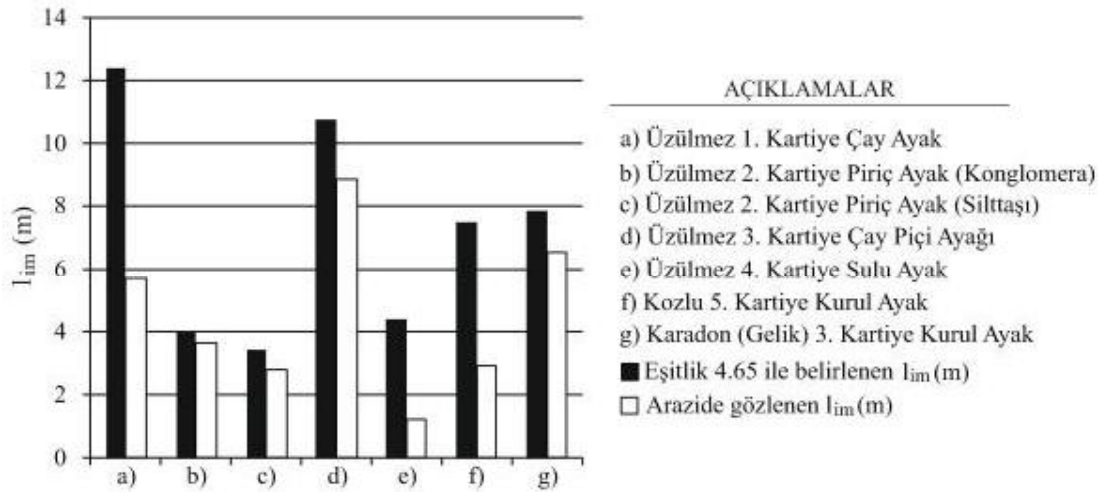
Müessese	Damar Adı / Kartiye	Yalancı Tavan Kalınlığı, h_{im} (m)				
		Unrug (1983)	Ünal (1995)	Everling (1985)	Zhou (1991)	Ort±Std.s
TTK Üzülmez	Çay / 1. Kartiye	6,82	6,82	3,20	5,43	5,54±1,70
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kartiye (Konglomera)	3,00	4,20	2,66	4,61	3,61±0,93
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kartiye (Silttaşı)	6,22	6,10	5,74	7,51	6,40±0,77
TTK Üzülmez	Çay Pıçı / 3. Kartiye	5,68	5,68	3,20	4,13	4,67±1,22
TTK Üzülmez	Sulu / 4. Kartiye	8,82	8,61	6,30	11,30	8,75±2,04
TTK Kozlu	Kurul / 5. Kartiye	5,40	5,40	4,56	7,40	5,70±1,20
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Kartiye	6,00	4,80	4,90	9,10	6,20±2,00

Görgül bağıntının kullanılmasında önemli olan hususlar ifade edildikten sonra, görgül bağıntıda kullanılan değiştirgeler toplu olarak Çizelge 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.9 Görgül bağıntıda kullanılan değiştirgeler.

Müessese	Damar Adı / Kartiye	Değiştirgeler						
		h_{im} (m)	η	σ_B (MPa)	γ_{im} (MN/m ³)	RMR ₈₅	α (°)	μ
TTK Üzülmez	Çay / 1. Kartiye	5,54	1,12	10,5	0,0255	74	14	0,8
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kartiye (Konglomera)	3,61	1,04	4,79	0,024	60	16	0,8
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kartiye (Silttaşı)	6,4	1,2	3,68	0,026	46	16	0,29
TTK Üzülmez	Çay Pıçı / 3. Kartiye	4,67	1,12	11,2	0,0255	72	13	0,8
TTK Üzülmez	Sulu / 4. Kartiye	8,75	1,2	7,7	0,0258	39	18	0,34
TTK Kozlu	Kurul / 5. Kartiye	5,7	1,2	7,97	0,025	55	37	0,4
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Kartiye	6,2	1,12	6,1	0,0235	61	44	0,57

Eşitlik 4.65 ile belirlenen l_{im} değerleri ile arazide gözlenen l_{im} değerleri incelenen bütün ayaklar için toplu olarak Şekil 7.1'de verilmiştir. Şekil 7.1'e göre kestirilen l_{im} değerlerinin arazide elde edilen l_{im} değerlerinden daha yüksek olduğu görölmektedir. Kiriş teorisini esas alan bağıntıda ana tavanın kendini tuttuğu, daha açık bir ifade ile ana tavanın yalancı tavan üzerine bir etkisi olmadığı kabulünün arazide geçerli olmadığı arazide ölçölen değerlerin düşük çıkması ile açıklanabilir. Sonuç olarak, arazide gözlenen l_{im} değerlerinin kestirilen l_{im} değerlerinden düşük çıkmasının, ana tavan yüklemesine işaret ettiği düşünölmektedir.



Şekil 7.1 Kestirilen ve arazide ölçülen l_{im} değerleri

7.8 AYAK ARKASI KIRILMA MESAFESİNİN TAVAN KATILGI OLGUSU İLE OLAN İLİŞKİSİ

Ayak arkası göçebilirliğinde en önemli olgu olan l_{im} mesafesinin kestirilmesine yardımcı olan bir diğer yaklaşım ise yalancı tavanın katılığının (K_{im}) kestirilmesidir. Bölüm 4'te ifade edilen yalancı tavan katılığı (Bkz. Eşitlik 4.12 ve Eşitlik 4.13) ayak arkasının kırılma mesafesini etkilediği bilinmektedir. Teorik olarak yalancı tavan katılığı ne kadar yüksekse ayak arkasının kırılma mesafesi o kadar artacaktır. Bu teori ışığında incelenen ayakların K_{im} değerleri hesaplanmış ve arazide gözlenen l_{im} değerleri ile karşılaştırılmıştır. İncelenen ayaklarda tavan tabakaları düşey olarak tek bir litolojiden oluştuğu için K_{im} 'in belirlenmesinde Eşitlik 4.12 kullanılmıştır. Eşitlik 4.12'de yer alan h_{im} değerleri Çizelge 7.8'de, kaya kütleinin deformasyon modülü E_m değerleri incelenen bütün ayaklar için Çizelge 7.10 - 7.16 arasında verilmiştir. Eşitlik 4.12'de A ile belirtilen tahkimat elemanlarının kapladığı yüzey alanı 3 havelik genişlik (yaklaşık 3,6 m) ve 1 sarma boyu (4 m) olmak üzere $14,4 \text{ m}^2$ olarak kabul edilmiştir ve hesaplamalar buna göre gerçekleştirilmiştir.

Araziyi temsil etmesi adına E_m 'nin kestirimi, arazideki tavan su geliri durumuna göre laboratuvarında kuru veya doymun şartlarda gerçekleştirilen deformabilite deneyleri kullanılarak belirlenmiştir. Yalancı tavan katılığının belirlenmesinde ortalama E_m ve h_{im} değerleri kullanılmış ve tahkimatın kapladığı yüzey alanı $14,4 \text{ m}^2$ olarak seçilmiştir. Buna göre incelenen ayaklardaki K_{im} ile l_{im} değerleri toplu olarak Çizelge 7.17'de verilmiştir. Çizelge

7.17'deki veriler kullanılarak ta K_{im} ile l_{im} arasındaki ilişki ortaya konmuştur (Şekil 7.2). Şekil 7.2'ye göre K_{im} arttıkça l_{im} mesafesinin de arttığı görülmektedir.

$$K_{im} = \frac{E_{mass} A}{h_{im}} \quad (4.12)$$

$$\frac{1}{K_{im}} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \frac{h_{im(i)}}{E_{mass(i)}} \quad (4.13)$$

Çizelge 7.10 Farklı araştırmacılara göre Üzülmez 1. Ocak Çay Ayağın E_m değerleri.

Yaklaşımlar	E_m (GPa)
Nicholson ve Bieniawski (1990)	8,48
Mitri et al. (1994)	10,99
Kim et al. (2003)	15,25
Kayabaşı vd. (2003)	4,56
Gökçeoğlu vd. (2003)	1,52
Carvalho (2004)	10,73
Ramamurthy (2004)	4,96
Sönmez vd. (2004)	12,38
Zhang ve Einstein (2004)	8,01
Hoek ve Diederichs (2006)	17,61
Sönmez vd. (2006)	9,78
Shen et al. (2012)	8,82
<i>Ortalama</i>	<i>9,42</i>
<i>Standart Sapma</i>	<i>4,51</i>

Çizelge 7.11 Farklı araştırmacılara göre Üzölmez 2. Ocak Piriç Ayağın E_m değerleri (Tavantaşı konglomera)

Yaklaşımlar	E_m (GPa)
Nicholson ve Bieniawski (1990)	3,25
Mitri et al. (1994)	7,15
Kim et al. (2003)	3,20
Kayabaşı vd. (2003)	2,84
Gökçeoğlu vd. (2003)	1,72
Carvalho (2004)	4,74
Ramamurthy (2004)	1,44
Sönmez vd. (2004)	5,88
Zhang ve Einstein (2004)	3,55
Hoek ve Diedreichs (2006)	7,34
Sönmez vd. (2006)	2,69
Shen et al. (2012)	2,54
<i>Ortalama</i>	<i>3,86</i>
<i>Standart Sapma</i>	<i>1,98</i>

Çizelge 7.12 Farklı araştırmacılara göre Üzölmez 2. Ocak Piriç Ayağın E_m değerleri (Tavantaşı silttaşı).

Yaklaşımlar	E_m (GPa)
Nicholson ve Bieniawski (1990)	2,12
Mitri et al. (1994)	8,29
Kim et al. (2003)	2,01
Kayabaşı vd. (2003)	3,48
Gökçeoğlu vd. (2003)	5,81
Carvalho (2004)	3,73
Ramamurthy (2004)	0,75
Sönmez vd. (2004)	4,94
Zhang ve Einstein (2004)	2,08
Hoek ve Diedreichs (2006)	3,73
Sönmez vd. (2006)	1,17
Shen et al. (2012)	1,03
<i>Ortalama</i>	<i>3,26</i>
<i>Standart Sapma</i>	<i>2,24</i>

Çizelge 7.13 Farklı araştırmacılara göre Üzölmez 3. Ocak Çay Piçi Ayağının E_m değerleri.

Yaklaşımlar	E_m (GPa)
Nicholson ve Bieniawski (1990)	8,59
Mitri et al. (1994)	12,20
Kim et al. (2003)	15,47
Kayabaşı vd. (2003)	5,10
Gökçeoğlu vd. (2003)	1,33
Carvalho (2004)	11,07
Ramamurthy (2004)	4,82
Sönmez vd (2004)	12,91
Zhang ve Einstein (2004)	10,99
Hoek ve Diedreichs (2006)	18,40
Sönmez vd (2006)	9,54
Shen et al. (2012)	8,68
<i>Ortalama</i>	<i>9,93</i>
<i>Standart Sapma</i>	<i>4,73</i>

Çizelge 7.14 Farklı araştırmacılara göre Üzölmez 4. Ocak Sulu Ayağın E_m değerleri.

Yaklaşımlar	E_m (GPa)
Nicholson ve Bieniawski (1990)	1,03
Mitri et al. (1994)	5,51
Kim et al. (2003)	1,30
Kayabaşı vd. (2003)	1,94
Gökçeoğlu vd. (2003)	1,27
Carvalho (2004)	2,04
Ramamurthy (2004)	0,33
Sönmez vd (2004)	2,77
Zhang ve Einstein (2004)	0,96
Hoek ve Diedreichs (2006)	1,46
Sönmez vd (2006)	0,47
Shen et al. (2012)	0,37
<i>Ortalama</i>	<i>1,62</i>
<i>Standart Sapma</i>	<i>1,42</i>

Çizelge 7.15 Farklı araştırmacılara göre Kozlu 5. Ocak Kurul Ayağın E_m değerleri.

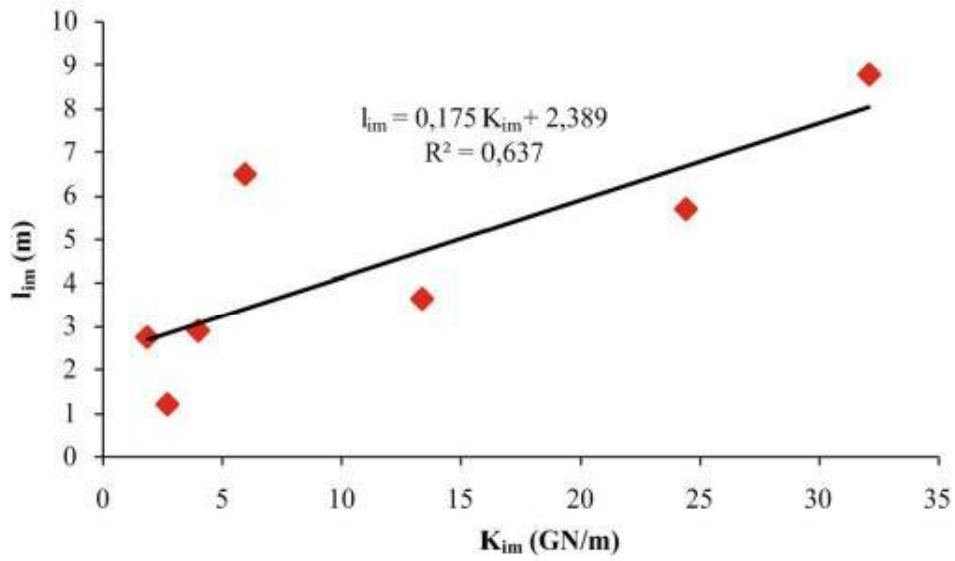
Yaklaşımlar	E_m (GPa)
Nicholson ve Bieniawski (1990)	1,37
Mitri et al. (1994)	3,70
Kim et al. (2003)	1,12
Kayabaşı vd. (2003)	1,42
Gökçeoğlu vd. (2003)	0,93
Carvalho (2004)	2,12
Ramamurthy (2004)	0,56
Sönmez vd. (2004)	2,70
Zhang ve Einstein (2004)	1,46
Hoek ve Diederichs (2006)	2,93
Sönmez vd. (2006)	0,98
Shen et al. (2012)	0,92
<i>Ortalama</i>	1,68
<i>Standart Sapma</i>	0,97

Çizelge 7.16 Farklı araştırmacılara göre Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul Ayağın E_m değerleri.

Yaklaşımlar	E_m (GPa)
Nicholson ve Bieniawski (1990)	1,74
Mitri et al. (1994)	3,76
Kim et al. (2003)	1,82
Kayabaşı vd. (2003)	1,28
Gökçeoğlu vd. (2003)	0,34
Carvalho (2004)	2,50
Ramamurthy (2004)	0,79
Sönmez vd. (2004)	3,10
Zhang ve Einstein (2004)	1,09
Hoek ve Diederichs (2006)	3,95
Sönmez vd. (2006)	1,48
Shen et al. (2012)	1,40
<i>Ortalama</i>	1,94
<i>Standart Sapma</i>	1,15

Çizelge 7.17 İncelenen ayaklardaki K_{im} ve l_{im} değerleri.

Müessese	Damar Adı / Kariye	K_{im} (GN/m)	l_{im} (m)
TTK Üzülmez	Çay / 1. Kariye	24,4	5,7
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kariye (Konglomera)	13,36	3,65
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Kariye (Silttaş)	1,81	2,75
TTK Üzülmez	Çay Piçi / 3. Kariye	32,1	8,8
TTK Üzülmez	Sulu / 4. Kariye	2,66	1,2
TTK Kozlu	Kurul / 3. Kariye	3,96	2,9
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 5. Kariye	5,92	6,5



Şekil 7.2 İncelenen ayaklarda K_{im} ile l_{im} arasındaki ilişki

Yapılan arazi çalışmaları ve laboratuvar deneyleri ışığında Zonguldak Taşkömürü Havzası Uzunayakları için niceliksel bir tavan katılığı sınıflaması önerilmiştir (Çizelge 7.18). Yalancı tavan katılığını niceliksel olarak ortaya koymak ve l_{im} değerinin kestirilmesinde fayda sağlayacağı düşünülen tavan katılığı sınıflamasının saha mühendislerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çizelge 7.18 Tez çalışmasında önerilen tavan katılığı sınıflaması.

Tavan Katılığı	K_{im} (GN/m)
Gevşek	< 2
Orta Katılıkta	2 - 6
Katı	6- 10
Çok Katı	> 10

BÖLÜM 8

GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMASININ GELİŞTİRİLMESİ

Bölüm 7'de ifade edilen ayakların göçebilirlik durumları incelendikten sonra, tezin asıl konusu olan Zonguldak Taş Kömür Havzası uzunayakları için bir göçebilirlik sınıflamasına bu bölümde değinilmiştir. Geliştirilen göçebilirlik sınıflamasında Bölüm 5'te tavan göçebilirlik sınıflamalarında kullanılan değiştirgeler incelenmiş (Bkz. Şekil 5.3), ayrıca havza için önemli olan koşullar (damar eğimi, üretim derinliği, tahkimat tasarımı vb.) da sınıflama sistemine dahil edilmiştir. Sınıflama sisteminde kullanılan değiştirgeler ve bu değiştirgelerin sınıflama sistemine olan katkısı Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1'de sınıflama sisteminde kullanılan ana değiştirgeler görülmektedir. Bu değiştirgelerin seçiminde, önceki tavan göçebilirlik sınıflamalarından ve havzayla ilgili ayak arkasının göçmesinde önemli rol oynayan diğer değiştirgeler etkili olmuştur.

Arazi çalışmaları sonucunda ayak arkasının göçebilirliğinde en önemli değiştirgenin tavan tabakalarının içerdiği süreksizlikler (Bkz. Çizelge 8.1) olduğu görülmüştür. Süreksizliklerin jeoteknik özelliklerinden süreksizlik devamlılığı ve süreksizlik yüzeylerinin ayrışma-bozunma durumu tavanın göçebilirliğinde oldukça önemlidir. Süreksizlik pürüzlülüğü ve süreksizliğin dolgu durumu ise, ayak arkasının göçebilirliğinde etkili olan diğer değiştirgeler olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 8.1 Sınıflama sisteminde kullanılan ana değiştirgeler.

Değiştirge	Sınıflama Sistemine Katkısı
Tavan Dayanımı	20%
Süreksizlikler	40%
Su Etkisi	10%
Damar-Tavan Özellikleri	30%

Göçebilirlik sınıflamasında diğer önemli ana değiştirge ise damar-tavan özellikleridir. Damar-tavan özellikleri, yalancı tavan tabakalarının kalınlığı ve kömür damarının kalınlığını ifade etmekte olup, ayak arkasının göçmesinde ikinci önemli etken olarak tanımlanabilir. Kömür damarı ne kadar kalın olursa yalancı tavan kalınlığı da o kadar kalın olacaktır. Yalancı tavan

kalınlığı arttıkça yalancı tavanın kendi ağırlığı altında kırılacak, böylece ayak arkasını doldurması kolaylaşacaktır. Yalancı tavanın tabakalaşması ise, ayak arkasının göçmesini ve göçme davranışını doğrudan etkilemesi sebebiyle önemlidir. Yalancı tavan tabakalaşmasının yüksek olduğu tavanlarda ayak arkasının göçebilirliği, periyodik kırılma ve/veya büyük bloklu kaya kütlelerinin kırılması şeklinde olacaktır. Tavan tabakalaşmasının az olduğu, başka bir deyişle; ince tabakalı tortul kayaçların olduğu tavanlarda göçebilirlik, tabaka ayrılmaları, küçük bloklu kaya kütlelerinin kısa aralıklarla kırılması veya tavan tabakalarının kendiliğinden dökülmesi şeklinde gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu sebepten tavan tabakalaşmasının arazide detaylı bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir.

Geliştirilen göçebilirlik sınıflamasında yer alan bir diğer değişirge ise tavan dayanımıdır. Sınıflama sisteminde tavan dayanımı kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ile ifade edilmektedir. Burada ifade edilmesi gereken önemli bir husus tavan tabakalarının basınç kuvvetleri etkisi altında değil, çekme kuvvetleri etkisi altında kırıldığıdır. Ancak tek eksenli basınç dayanımının laboratuvarında kolaylıkla belirlenebilmesi, tek eksenli çekme dayanımı ile oldukça anlamlı ilişkilere sahip olması ve ucuz bir deney olması sebebiyle sınıflama sisteminde tavan tabakalarının tek eksenli çekme dayanımı değil tek eksenli basınç dayanımı kullanılmıştır.

Sınıflama sisteminde yer alan son ana değişirge ise su etkisidir. Suyun kaya malzemesinin dayanımını düşürdüğü ve süreksizlik yüzeylerini ayrıştırdığı bilinmektedir. Ayak arkasının göçebilirliğinde suyun etkisi ise tavan su gelirinin fazla olduğu yerlerdeki göçebilirliğin aynı tavanın kuru haline göre daha kolay olacaktır. Sınıflama sistemindeki suyun etkisi hem arazideki tavan su geliri hem de kaya malzemesinin suya karşı olan hassasiyeti olarak tanımlanmaktadır. Tavan su geliri daha çok gözlemsel incelemelere dayanmaktadır. Kaya malzemesinin suya olan hassasiyeti ise, laboratuvarında suda dağılıma deneyleri ile belirlenmektedir. Suda dağılıma deneyinde dördüncü çevrime karşılık gelen suya karşı dağılıma indeksi değeri (I_{d4}) kayacın suya olan hassasiyeti ile ilgili bölümde tanımlanmış ve buna göre puanlandırılmıştır.

Sınıflama sisteminde yukarıda ifade edilen dört ana değişirge ile temel bir göçebilirlik puanı elde edilmektedir. Daha sonra, ayağa ait diğer değişkenlerin (tahkimat tasarımı, ayak eğimi ve üretim derinliği) ilave edilmesi ile düzeltilmiş bir göçebilirlik puanı elde edilmektedir. Sözü edilen düzeltme işlemi, ayak eğimi, üretim derinliği ve tahkimat tasarımı ile ilgili arazi

bilgilerine dayanmaktadır. Geliştirilen sınıflama sisteminde ayak eğimi ve üretim derinliği ceza puanı olarak, tahkimat tasarımı ise ceza çarpanı olarak yer almaktadır.

Ayak eğimi arttıkça yerçekimi etkisi azalacağından ayağın göçebilirliği zorlaşmaktadır. Üretim derinliğinin artması ise arazi gerilmelerinin artması anlamına geldiğinden, derinlik arttıkça ayak arkasının göçmesi kolaylaşacaktır. Tahkimat tasarımı da, ayak arkasının kırılması, üretim verimliliği, iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından oldukça önemli bir olgudur. Düzgün olarak kurulmuş bir domuzdamı ayak arkasının kırılması kolaylaştırmakla birlikte, iyi sıkılanmamış ve düzgün kurulmamış bir domuzdamı tavan tabakalarının göçerken kenetlenmesine sebep olmaktadır. Böylece ayağın göçmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca düzgün kurulmamış tahkimat üniteleri, tavan yüklerinin akışını bozmakta ve arın patlamasına kadar gidebilen olumsuz sonuçlara sebep olabilmektedir.

Yukarıda ifade edilen dört ana değiştirge (Bkz. Çizelge 8.1) ve düzeltme işlemlerinin beraber kullanılmasıyla bir tavan göçebilirlik puanı elde edilir. Önerilen göçebilirlik sınıflaması Çizelge 8.2 ile, ceza puanları ve ceza çarpanı ise Çizelge 8.3'te detayları ile verilmiştir. Çizelge 8.2 ve Çizelge 8.3'ün kullanılmasında aşağıdaki hususların dikkate alınması gerekmektedir.

i. Yalancı tavan dayanımı, laboratuvarında kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanım değerlerine göre belirlenmektedir. Sınıflama sistemine %20 etki eden (en yüksek 20 puan) yalancı tavan dayanımı, kuru veya doygun şartlarda gerçekleştirilmeli, arazi su geliri durumuna göre kuru veya doygun tek eksenli basınç dayanımı kullanılmalıdır.

ii. Yalancı tavanın süreksizlik özellikleri süreksizlik aralığı, devamlılığı, süreksizlik doldu durumu ve süreksizlik yüzeylerinin ayrışma-bozunma özelliklerine göre puanlandırılmalıdır. Sınıflama sistemine, süreksizlik aralığı %10 (en yüksek 10 puan), süreksizlik devamlılığı %10, süreksizlik dolgu durumu %5, süreksizlik pürüzlülüğü %5 ve süreksizlik yüzeylerinin ayrışma-bozunma durumu ise %10 oranında etki etmektedir. Bu özelliklerden süreksizlik aralığı (J_s) arazide şeritmetre kullanılarak genelde arına dik, mümkün olan yerlerde ise arına paralel olarak yapılmalıdır. Süreksizlik devamlılığı da aynı şekilde şeritmetre yardımı ile özellikle arına paralel; arına paralel ölçümlerin alınmadığı yerlerde ise arına dik olarak yapılmalıdır. Süreksizlik dolgu durumu, tavan tabakalarından alınan kaya bloklarının laboratuvarında incelenmesi ile belirlenmelidir. Süreksizlik pürüzlülüğü, pratik olarak bir pergel yardımı ile arazide profilmetreye benzer bir yaklaşım

ile belirlenmelidir. Pergelin sivri ucu kaya kütlesine sürtülürken, kalemin ucu kağıda süreksizliklerin profilini çıkartmaktadır. Çıkartılan profil Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen abakta (Bkz. Şekil 6.6) hangi profile uyuyorsa süreksizliklere ait bir süreksizlik pürüzlülük katsayısı (JRC) belirlenmelidir ve buna göre bir süreksizlik pürüzlülük puanı verilmelidir. Süreksizliklerin ayrışma-bozunma durumu ise arazi gözlemlerine veya niceliksel olarak Singh ve Gahrooe (1989) yaklaşımına göre belirlenmelidir (Bkz. Çizelge 6.2).

iii. Tavan su geliri ayak dibindeki gözlemlere dayanmalıdır ve sınıflama sisteminde %5 (en fazla 5 puan) etkilidir. Kayaçların suya olan hassasiyeti ise laboratuvarında suda dağılma deneyleri ile belirlenmelidir. Suda dağılma deneyinde dördüncü çevrime karşılık gelen değer belirlenerek bir puanlama yapılmalıdır. Suyu karşı duyarlılık puanı sınıflama sisteminde %5 etkilidir.

iv. Damar tavan özelliklerinden damar kalınlığı sınıflama sistemine %10, yalancı tavan tabakalaşması ise sisteme %20 oranında etki etmektedir. Damar kalınlığı arazi incelemelerinde her sarma başında yapılmalı ve kaydedilmelidir ve ortalama damar kalınlığına göre bir puanlama yapılmalıdır. Yalancı tavan tabakalaşma kalınlığı ise, göçmüş bloklar incelenerek ortalama tabakalaşma kalınlığı Nichols'a (2009) göre belirlenmeli ve puanlama buna göre yapılmalıdır.

v. Ceza puanlarından ayak eğimi, yeraltı topoğrafi tarafından belirlenmelidir. Ceza puanı belirlendikten sonra Çizelge 8.3 kullanılarak bir ceza puanı verilir (en düşük -5 puan). Üretim derinliği ise kömürün çıkartıldığı topoğrafik kot olup, yeraltı topoğrafi tarafından belirlenmelidir. Belirlenen değer Çizelge 8.3'e göre puanlandırılır (en düşük -5 puan).

vi. Tahkimat tasarımına ilişkin ceza çarpanı ise arazi gözlem ve incelemelerine dayanmaktadır (Bkz. Çizelge 8.3). Çatal direk ve domuzdamlarında herhangi bir eğilme, iyi sıkılanmamış tahkimat üniteleri, taban kömürü vb. araziye ait durumlar detaylı şekilde not edilmeli ve uygun bir ceza çarpanı seçilmelidir. Tahkimat ünitelerine ait ceza çarpanı sınıflama sistemini en fazla %20 oranında etkilemektedir.

Çizelge 8.2 Zonguldak Taş Kömürü Havzası uzunayakları için geliştirilmiş tavan göçebilirlik sınıflaması.

YALANCI TAVANIN DAYANIMI (% 20)		Tanımlama	Çok Sağlam	Sağlam	Orta Sağlamlıkta	Zayıf	Çok Zayıf
		σ_{3a} (MPa)	> 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	< 5
		I_{4-50} (MPa)	> 4	4 - 2	2 - 1	Tek eksenli basınç dayanımına bakım	
Puan			20 - 15	15 - 10	10 - 5	5 - 3	3 - 1
Aralık (% 10)		Tanımlama	Çok Geniş Aralıklı $S > 2$ m	Geniş Aralıklı 2 m $> S > 0,6$ m	Orta Aralıklı $0,6$ m $> S > 0,2$ m	Yakın Aralıklı $0,2$ m $> S > 0,06$ m	Dar Aralıklı $S < 0,06$ m
Puan			10 - 9	8 - 7	6 - 5	4 - 3	2 - 1
Devamlılık (% 10)		Tanımlama	Çok Kısa $1, < 0,3$ m	Kısa $0,3 \leq 1, < 1$ m	Orta $1 \leq 1, < 5$ m	Uzun $3 \leq 1, < 10$ m	Çok Uzun $1, \geq 10$ m
Puan			10 - 9	8 - 7	6 - 5	4 - 3	2 - 1
Pürüzlülük (% 5)		Tanımlama	Çok Pürüzlü JRC (Barton & Choubey, (1977)) 20 - 14	Pürüzlü 14 - 10	Az Pürüzlü 10 - 6	Düzlemsel	Kaygan
Puan			5	4	3	2	1
Dolgu (% 5)		Tanımlama	Dolgunsuz	Kat Dolgu < 5 mm	Kat Dolgu > 5 mm	Yumuşak Dolgu < 5 mm	> 5 mm
Puan			5	4	3	2	1
Bozunma (% 10)		Tanımlama	Bozunmamış (I)	İlafiye Ecunmuş (II)	Orta Derecede Bozunmuş (III)	İleri Derecede Bozunmuş (IV)	Tamamen Bozunmuş (V)
Puan			10 - 9	8 - 7	6 - 5	4 - 3	2 - 1
Tavandan Su Geliri (% 5)		Tanımlama	Kuru	Nemli	Islak	Tanımlama	Akma
Puan			5	4	3	25 - 125 litre/dak	> 125 litre/dak
Suya Karşı Dayanıklık (% 5)		Tanımlama	$\% \geq 98$	$\% 98 - 95$	$\% 94 - 90$	$\% 89 - 70$	$< \% 70$
Puan			5	4	3	2	1
Kömür Damarı (% 10)		Tanımlama	Çok İnce < 1 m	İnce $1 < H < 2$ m	Orta $2 < H < 3$ m	Kalın $3 < H < 4$ m	Çok Kalın $H > 4$ m
Puan			10 - 9	8 - 7	6 - 5	4 - 3	2 - 1
Yalancı Tavan Tabakalaşması (% 30)		Tanımlama	Çok Kalın Tabakalı > 100 cm	Kalın Tabakalı 100 - 30 cm	Orta Tabakalı 30 - 10 cm	İnce Tabakalı 10 - 1 cm	Laminalı < 1 cm
Puan			20	19 - 15	14 - 10	10 - 5	4 - 1

(*) Arna peralel konumdaki süreksizlikler için puanın yarısı alınır.

Çizelge 8.3 Göçebilirlik Sınıflaması ceza puanları ve ceza çarpımı.

1) Damar Eğimi Puanlaması		Ceza Puanı	2) Üçüncü Derinliği Puanlaması		Ceza Puanı	3) Tablâkâatın Kurulma ve Sökülme Çarpımı	
Damar Eğimi (°)	Derinlik (m)		Tanımlama (*)	Ceza Çarpımı			
< 10	< 50	-5	0	3a	0,8		
10 - 20	50 - 150	-4	-1				
20 - 30	150 - 250	-3	-2				
30 - 40	250 - 350	2	3	3b	0,9		
40 - 50	350 - 450	-1	-4				
> 50	> 450	0	-5	3c	1,0		

(*) Tanımlama

3a) Tablâkâat doğru kurulmakta ve sökülmemekte

- Tablâkâat temizlenmiş ve damın kurulacağı yerde taban konurulmuş
- Tablâkâat olabildiğince düzeltilmiş
- Damlar uygun şekilde kurulmuş ve sıklanmış
- Damin her iki yanına da birer adet uygun çata direk dâhil olarak tavanın göçmesi kolaylaştırılmış
- Damlanın sökülmesi esnasında, büyük bölgesinde herhangi bir tahkimat elemanı kalmamış

3b) Tablâkâatın kurulmasında ve/veya sökülmesinde sorunlar var

- Kalın damarlarda tablâkâat doğru kurulmamış ve sıklanmamış
- Damların her iki yanına da birer adet uygun çata direk kurulmamış
- Damların tabanıyla sökülmemiş ve dam kurayılığını yitirmemiş
- Eğri yâksek ve kalın damarlarda damın katlığı azalmış
- Taban kısmının fazla ağır sebebiyle, tahkimat tabana kısmen zarar görmüş
- Damlar kurulmuş ama sık larına takozu veya hidrolik ya da kullanılmamış

3c) Göçükte çatal direk ve domuzdamı burakılmakta

- Fâyet, tavanasının kısmen değişliği ve kayma zamlanının olduğu bölgelerde büyük bloklar domuzdamı üzerine oturmuş
- Ayak arkasının kesilmesi geçişli sebeplerle hatalı uygulamalar, eksik ekipmanlar vb.) mümkün olmamış
- Göçükte olan küçük tavan blokları kenetlenmiş ve tahkimat üniteleri tavan bloklarından kaldırılmış
- Anlatıvar yalın tavan üzerine oturmuş
- Hatalı kurulan domuzdamı tavan yükleri tarafından eğilmiş

Yukarıda ifade edilen önemli noktalar ışığında, Çizelge 8.2 kullanılarak temel bir tavan göçebilirlik puanı (T_{GP}) elde edilir. Daha sonra Çizelge 8.3'de ifade edilen ceza puanı (C_P) ve Ceza Çarpanı (C_C) gibi düzeltmeler ile düzeltilmiş göçebilirlik puanı (D_{GB}) hesaplanır. Çizelge 8.2 ve Çizelge 8.3'ü bir bağlantı şeklinde göstermek gerekirse, aşağıdaki görgül bağlantı kullanılarak düzeltilmiş göçebilirlik puanı hesaplanabilir.

$$D_{GP} = (T_{GB} - C_P) \times C_C \quad (8.1)$$

Eşitlik 8.1 ile elde edilen düzeltilmiş göçebilirlik puanının Çizelge 8.4'de yerine konarak ayağın göçebilirlik durumu ortaya konmaktadır. Ayrıca elde edilen göçebilirlik puanı ile ayak arkasının tahmini kırılma mesafesi, göçme davranışı gibi önemli hususlar hakkında kestirimler Çizelge 8.4'de yer almaktadır.

Çizelge 8.4 Önerilen tavan göçebilirliği puanlaması.

Tavan Sınıfı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği	Göçme Davranışı	Tahmini Ayak Kırılma Mesafesi (m)
I	< 40	Çok Kolay	Kendiliğinden göçme	1 - 1,5
II	40 - 50	Kolay	Küçük bloklu göçme	1,5 - 4
III	50 - 60	Orta	Küçük-orta bloklu kütlelerin kenetlenerek birlikte göçmesi	4 - 8
IV	60 - 70	Zor	Periyodik kırılma	8 - 13
V	> 70	Çok Zor	Göçme çoğu kez kendiliğinden gerçekleşmez, kontrollü delme-patlatma gerekebilir.	> 13

Önerilen göçebilirlik sınıflaması dokuzuncu bölümde incelenen ayaklara uygulanarak diğer göçebilirlik sınıflamasından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 9

GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMASININ İNCELENEN AYAKLARA UYGULANMASI

Bu bölümde geliştirilen göçebilirlik sınıflamasının incelenen ayaklara uygulanması ve diğer göçebilirlik sınıflamaları ile karşılaştırılması yer almaktadır. Sınıflama sisteminin incelenen ayaklara uygulanması arazi ve laboratuvar çalışmaları elde edilmiş sonuçların Çizelge 8.2, Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4'te yerine konmasıyla gerçekleştirilmiş olup, yapılan hesaplamalar çizelgeler şeklinde aşağıda detayları ile verilmiştir.

9.1 SINIFLAMA SİSTEMİNİN İNCELENEN AYAKLARDAKİ UYGULAMALARI

Üzülmez 1. Ocak Çay ayağın göçebilirliği ile ilgili hesaplamalar ve önerilen sınıflama sisteminin ayağa uygulanması Çizelge 9.1'de verilmiştir. Çizelge 9.1'de sınıflama sisteminde kullanılan girdi parametreleri ve bu parametrelere karşılık gelen puanlamalar yer almaktadır. Buna göre önerilen sınıflama sistemi Üzülmez 1. Ocak Çay ayağa uygulanmış ve ayağın göçebilirliği 76 puan ile "Zor" olarak belirlenmiştir.

Üzülmez 2. Ocak Piriç ayakta ise önerilen sınıflama sistemi tavantaşı hem konglomera olan bölge için hem de tavantaşı siltaşı olan bölgeler için yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 9.2 ve Çizelge 9.3'te verilmiştir. Buna göre tavan litolojisinin konglomera olduğu bölge için tavan göçebilirliği 56 puan ile "Orta" (Bkz. Çizelge 9.2), tavan litolojisinin siltaşı olduğu bölgelerde ise 42 puan ile "Kolay" (Bkz. Çizelge 9.3) olarak tanımlanmaktadır.

Üzülmez 3. Ocak Çay Piçi ayakğında tavan göçebilirliği önerilen sınıflama sistemine göre 76 puan ile "Çok Zor" (Bkz. Çizelge 9.4), Üzülmez 4. Ocak Sulu ayağı 45 puan ile "Kolay" (Bkz. Çizelge 9.5), Kozlu 3. Ocak Kurul ayağı 46 puan ile "Kolay" (Bkz. Çizelge 9.6) ve Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul ayağın göçebilirlik durumu da 62 puan ile "Zor" (Bkz. Çizelge 9.7) olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 9.1 Üzülmez 1. Ocak Çay ayağın önerilen sınıflama sistemine göre geçebilirliği.

1) Yalancı Tavan Dayanımı Puanlaması		
σ_{ci} (kuru) = 117,77 MPa	Puan	: 20P
2) Yalancı Tavanın Süreksizlik Özellikleri		
Süreksizlik Aralığı (J) = 0,12 m - 0,15 m	Puan	: 4P
Süreksizlik Devamlılığı = < 0,3 m	Puan	: 10P
Süreksizlik Pürüzlülüğü, JRC = 3 - 10	Puan	: 3P
Süreksizlik Dolgu Durumu, kuvars dolgu < 5 mm	Puan	: 4P
Süreksizlik Bozunması, $W_d = 1,53$	Puan	: 6P
3) Suyun Etkisi		
Tavandan Su Geliri, su geliri yok	Puan	: 5P
Suya Karşı Duyarlık, $I_{d4} = \%97,77$	Puan	: 4P
4) Damar-Tavan Özellikleri		
Damar Kalınlığı, H = 1,55 m	Puan	: 8P
Yalancı Tavan Tabakalaşması, $h_b = 0,8 \text{ m} - 1 \text{ m}$	Puan	: 19P
Temel Geçebilirlik Puanı		: 83P
Ceza Puanlaması		
Damar Eğimi, $\alpha = 14^\circ$	Ceza Puanı	: -4P
Üretim Derinliği, -160 m / -205 m	Ceza Puanı	: -2P
Ceza Çarpanı		
Tahkimatın kurulma ve sökülme çarpanı, tanımlama : 3a	Ceza Çarpanı	: 0,8
Düzeltilmiş Geçebilirlik Puanı :		(83-6)*0,8 = 61,6 ~ 62P
Tavan Geçebilirliği		: "Zor"

Çizelge 9.2 Üzülmez 2. Ocak Piriç ayağın önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği (tavantaşı konglomera).

1) Yalancı Tavan Dayanımı Puanlaması	
σ_{ci} (kuru) = 67,27 MPa	Puan : 12P
2) Yalancı Tavanın Süreksizlik Özellikleri	
Süreksizlik Aralığı (J_s) = 0,10 m - 0,12 m	Puan : 4P
Süreksizlik Devamlılığı = 0,3 m - 0,5 m	Puan : 8P
Süreksizlik Pürüzlülüğü, JRC = 10 - 12	Puan : 4P
Süreksizlik Dolgu Durumu, dolgu yok	Puan : 5P
Süreksizlik Bozunması, $W_d = 1,39$	Puan : 6P
3) Suyun Etkisi	
Tavandan Su Geliri, kuru-ncmli	Puan : 4P
Suya Karşı Duyarlık, $I_{dt} = \%91,5$	Puan : 3P
4) Damar-Tavan Özellikleri	
Damar Kalınlığı, $H = 2,4$ m	Puan : 6P
Yalancı Tavan Tabakalaşması, $h_b = 0,3$ m - 0,5 m	Puan : 15P
Temel Göçebilirlik Puanı	: 67P
Ceza Puanlaması	
Damar Eğimi, $\alpha = 16^\circ$	Ceza Puanı : -4P
Üretim Derinliği, -30 m / -160 m	Ceza Puanı : -1P
Ceza Çarpanı	
Tahkimatın kurulma ve sökülme çarpanı, tanımlama : 3b	Ceza Çarpanı : 0,9
Düzeltilmiş Göçebilirlik Puanı :	(67-5)*0,9 = 55,8 ~ 56P
Tavan Göçebilirliği	: "Orta"

Çizelge 9.3 Üzülmez 2. Ocak Piriç ayağın önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği (tavantaşı silttaşı).

1) Yalancı Tavan Dayanımı Puanlaması		
σ_{ci} (kuru) = 48,40 MPa	Puan	: 9P
2) Yalancı Tavanın Süreksizlik Özellikleri		
Süreksizlik Aralığı (J_s) = 0,07 m - 0,08 m	Puan	: 3P
Süreksizlik Devamlılığı = 0,9 m - 1 m	Puan	: 7P
Süreksizlik Pürüzlülüğü, JRC = 2 - 4	Puan	: 1P
Süreksizlik Dolgu Durumu, dolgu yok	Puan	: 5P
Süreksizlik Bozunması, $W_d = 2,37$	Puan	: 2P
3) Suyun Etkisi		
Tavandan Su Geliri, sızıntı-nemli	Puan	: 4P
Suya Karşı Duyarlık, $I_{da} = \%95,86$	Puan	: 4P
4) Damar-Tavan Özellikleri		
Damar Kalınlığı, $H = 2,8$ m	Puan	: 5P
Yalancı Tavan Tabakalaşması, $h_b = 0,11$ m - 0,17 m	Puan	: 11P
Temel Göçebilirlik Puanı		: 51P
Ceza Puanlaması		
Damar Eğimi, $\alpha = 16^\circ$	Ceza Puanı	: -4P
Üretim Derinliği, -30 m / -160 m	Ceza Puanı	: -1P
Ceza Çarpanı		
Tahkimatın kurulma ve sökülme çarpanı, tanımlama : 3b	Ceza Çarpanı	: 0,9
Düzeltilmiş Göçebilirlik Puanı :	(51-5)*0,9 = 41,4 ~ 42P	
Tavan Göçebilirliği	: "Kolay"	

Çizelge 9.4 Üzülmez 3. Ocak Çay Piçi ayağının önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği.

1) Yalancı Tavan Dayanımı Puanlaması	
σ_{ci} (kuru) = 144,47 MPa	Puan : 20P
2) Yalancı Tavanın Süreksizlik Özellikleri	
Süreksizlik Aralığı (J_c) = 0,9 m - 1,2 m	Puan : 8P
Süreksizlik Devamlılığı = 0,2 m - 0,3 m	Puan : 10P
Süreksizlik Pürüzlülüğü, JRC = 6 - 10	Puan : 3P
Süreksizlik Dolgu Durumu, kuvars dolgu < 5 mm	Puan : 4P
Süreksizlik Bozunması, $W_d = 1,59$	Puan : 5P
3) Suyun Etkisi	
Tavandan Su Geliri, ncmlı	Puan : 4P
Suya Karşı Duyarlık, $I_{d4} = \%96,86$	Puan : 4P
4) Damar-Tavan Özellikleri	
Damar Kalınlığı, H = 2,84 m	Puan : 5P
Yalancı Tavan Tabakalaşması, $h_b = 0,7$ m - 0,9 m	Puan : 18P
Temel Göçebilirlik Puanı	: 81P
Ceza Puanlaması	
Damar Eğimi, $\alpha = 13^\circ - 23^\circ$	Ceza Puanı : -3P
Üretim Derinliği, -170 m / -210 m	Ceza Puanı : -2P
Ceza Çarpanı	
Tahkimatın kurulma ve sökölme çarpanı, tanımlama : 3c	Ceza Çarpanı : 1
Düzeltilmiş Göçebilirlik Puanı :	(81-5)*1 = 76
Tavan Göçebilirliği :	"Çok Zor"

Çizelge 9.5 Üzülmez 4. Ocak Sulu ayağın önerilen sınıflama sistemine göre geçebilirliği.

1) Yalancı Tavan Dayanımı Puanlaması		
σ_{ci} (doymun) = 53,92 MPa	Puan	: 10P
2) Yalancı Tavanın Süreksizlik Özellikleri		
Süreksizlik Aralığı (J_s) = 0,05 m - 0,07 m	Puan	: 3P
Süreksizlik Devamlılığı = 0,4 m - 0,6 m	Puan	: 8P
Süreksizlik Pürüzlülüğü, JRC = 2 - 4	Puan	: 2P
Süreksizlik Dolgu Durumu, kum bantları < 5 mm	Puan	: 4P
Süreksizlik Bozunması, $W_d = 1,52$	Puan	: 6P
3) Suyun Etkisi		
Tavandan Su Geliri, damlama	Puan	: 2P
Suya Karşı Duyarlık, $I_{d4} = \%96,4$	Puan	: 4P
4) Damar-Tavan Özellikleri		
Damar Kalınlığı, H = 3,2 m - 4 m	Puan	: 4P
Yalancı Tavan Tabakalaşması, $h_b = 0,2$ m - 0,3 m	Puan	: 12P
Temel Göçebilirlik Puanı		: 55P
Ceza Puanlaması		
Damar Eğimi, $\alpha = 18^\circ$	Ceza Puanı	: -4P
Üretim Derinliği, -200 m / -230 m	Ceza Puanı	: -2P
Ceza Çarpanı		
Tahkimatın kurulma ve sökülme çarpanı, tanımlama : 3b	Ceza Çarpanı	: 0,9
Düzeltilmiş Göçebilirlik Puanı :		$(55-5)*0,9 = 45$
Tavan Göçebilirliği :		"Kolay"

Çizelge 9.6 Kozlu 5. Ocak Kurul ayağın önerilen sınıflama sistemine göre geçebilirliği.

1) Yalancı Tavan Dayanımı Puanlaması	
σ_{ci} (kuru) = 49,84 MPa	Puan : 10P
2) Yalancı Tavanın Süreksizlik Özellikleri	
Süreksizlik Aralığı (J_s) = 0,06 m - 0,12 m	Puan : 4P
Süreksizlik Devamlılığı = < 0,3 m (arına paralel)	Puan : 5P
Süreksizlik Pürüzlülüğü, JRC = 4 - 6	Puan : 2P
Süreksizlik Dolgu Durumu, dolgu yok	Puan : 5P
Süreksizlik Bozunması, $W_d = 1,33$	Puan : 6P
3) Suyun Etkisi	
Tavandan Su Geliri, kuru-nemli	Puan : 4P
Suya Karşı Duyarlık, $I_{st} = \%95,18$	Puan : 4P
4) Damar-Tavan Özellikleri	
Damar Kalınlığı, H = 2,4 m - 2,7 m	Puan : 6P
Yalancı Tavan Tabakalaşması, $h_b = 0,22$ m - 0,3 m	Puan : 12P
Temel Geçebilirlik Puanı	: 58P
Ceza Puanlaması	
Damar Eğimi, $\alpha = 37^\circ$	Ceza Puanı : -2P
Üretim Derinliği, -485 m / -560 m	Ceza Puanı : -2P
Ceza Çarpanı	
Tahkimatın kurulma ve sökülme çarpanı, tanımlama : 3b	Ceza Çarpanı : 0,9
Düzeltilmiş Geçebilirlik Puanı :	(58-7)*0,9 = 46
Tavan Geçebilirliği :	"Kolay"

Çizelge 9.7 Karadon (Gelik) 3. Ocak Kurul ayağın önerilen sınıflama sistemine göre göçebilirliği.

1) Yalancı Tavan Dayanımı Puanlaması		
σ_{ci} (kuru) = 113,56 MPa	Puan	: 20P
2) Yalancı Tavanın Süreksizlik Özellikleri		
Süreksizlik Aralığı (J) = 0,06 m - 0,08 m	Puan	: 4P
Süreksizlik Devamlılığı = 0,4 m - 0,7 m	Puan	: 8P
Süreksizlik Pürüzlülüğü, JRC = 6 - 8	Puan	: 3P
Süreksizlik Dolgu Durumu, dolgu yok	Puan	: 5P
Süreksizlik Bozunması, $W_d = 2,1$	Puan	: 3P
3) Suyun Etkisi		
Tavandan Su Geliri, sızıntı-ncmli	Puan	: 4P
Suya Karşı Duyarlık, $I_{st} = \%95,86$	Puan	: 4P
4) Damar-Tavan Özellikleri		
Damar Kalınlığı, H = 2,6 m - 2,7 m	Puan	: 6P
Yalancı Tavan Tabakalaşması, $h_b = 0,23$ m - 0,5 m	Puan	: 15P
Temel Göçebilirlik Puanı		: 72P
Ceza Puanlaması		
Damar Eğimi, $\alpha = 44^\circ$	Ceza Puanı	: -1P
Üretim Derinliği, -260 m / -360 m	Ceza Puanı	: -3P
Ceza Çarpanı		
Tahkimatın kurulma ve sökölme çarpanı, tanımlama : 3b	Ceza Çarpanı	: 0,9
Düzeltilmiş Göçebilirlik Puanı :		(72-4)*0,9 = 61,2 ~ 62P
Tavan Göçebilirliği		: "Zor"

Çizelge 9.1 - Çizelge 9.7'de, Bölüm 8'de ifade edilen göçebilirlik sınıflaması ışığında incelenen ayakların göçebilirlik durumları yer almaktadır. Ayakların göçebilirlik puanları ve göçebilirlik durumlarının toplu olarak verildiği Çizelge 9.8'a göre, incelenen ayakların göçebilirlikleri "Kolay"dan "Zor"a kadar değişen bir aralıktadır.

Çizelge 9.8 Önerilen göçebilirlik sınıflamasına göre incelenen ayakların göçebilirlik durumları.

Müessese	Damar Adı / Katiye	Tavan taşı	Göçebilirlik Puanı	Göçebilirlik Durumu
TTK Üzülmez	Çay / 1. Katiye	İnce Taneli Kumtaşı	62	Zor
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Katiye	Konglomera	56	Orta
TTK Üzülmez	Piriç / 2. Katiye	Silttaşı	42	Kolay
TTK Üzülmez	Çay Piçi / 3. Katiye	İnce Taneli Kumtaşı	76	Çok Zor
TTK Üzülmez	Sulu / 4. Katiye	Silttaşı	45	Kolay
TTK Kozlu	Kurul / 5. Katiye	Silttaşı	46	Kolay
TTK Karadon (Gelik)	Kurul / 3. Katiye	Orta Taneli Kumtaşı	62	Zor

9.2 GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 7'de incelenen ayakların farklı araştırmacılar tarafından göçebilirlik durumları ortaya konmuştu. Bu göçebilirlik durumlarının önerilen sınıflama sistemi ile olan benzerlik ve farklılıklarının ortaya konması, sınıflama sisteminin uygulanabilirliği ve sistemin ilerleyen zaman içindeki gelişimi açısından oldukça önemlidir. Çizelge 9.9'da bu karşılaştırmaya yer verilmiştir. Çizelge 9.9'a göre önerilen göçebilirlik sınıflama sistemlerinin diğer sistemler ile çoğunlukla uyum içinde olduğu görülmektedir.

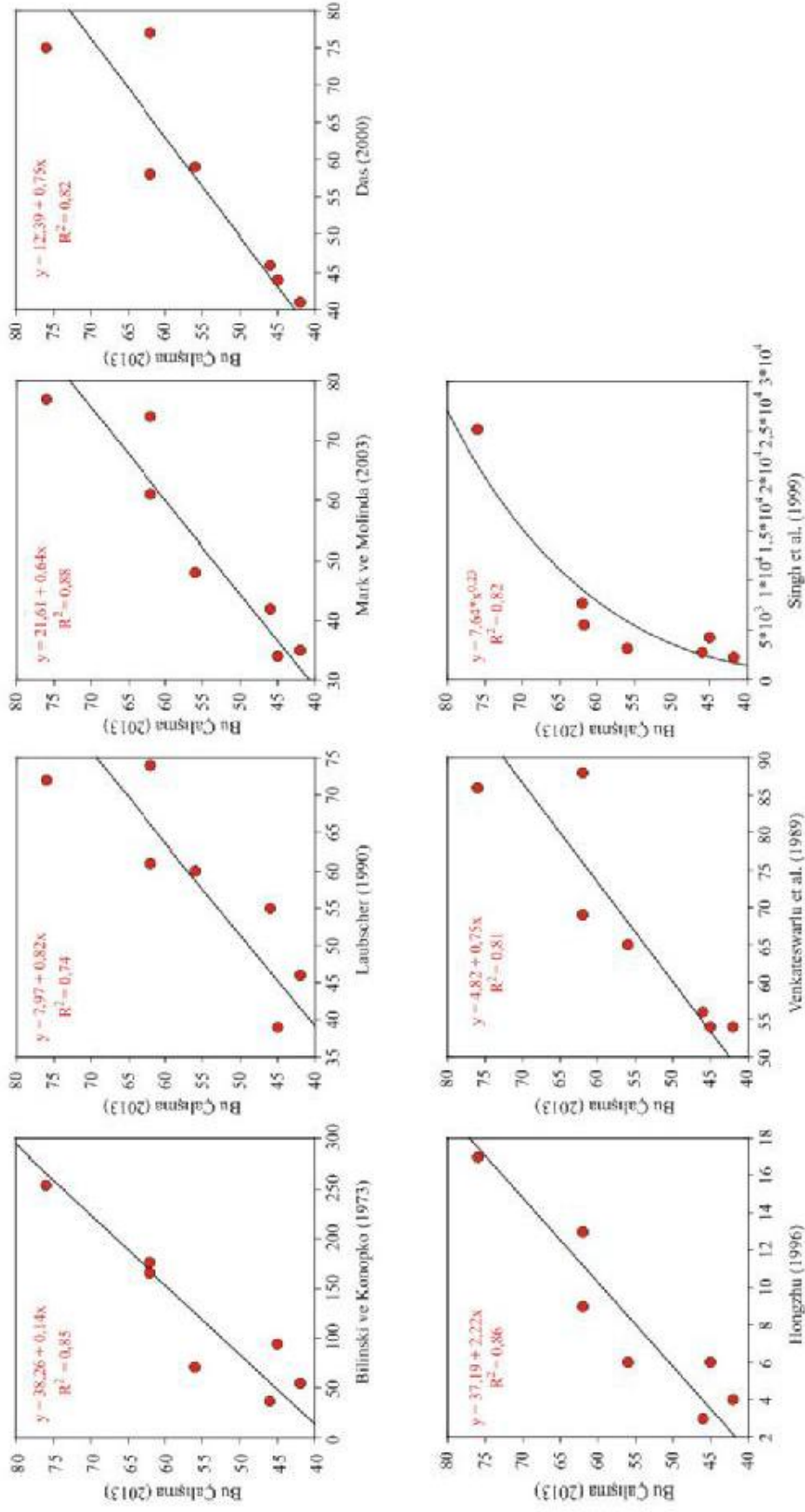
Sınıflama sistemleri arasında önerilen sınıflama sistemi ile ayak arkasının göçebilirliğinin uyduğu sınıflama sistemleri: Mark ve Molinda (2003), Das (2000), Laubscher (1990) ve Hongzhu (1996) yaklaşımlarıdır (Bkz. Çizelge 9.9). Önerilen sınıflama sistemi ile diğer sınıflama sistemleri arasında da genel bir uyum görülmekle birlikte farklı yorumlamalar da Çizelge 9.9'da görülmektedir. Buna en belirgin örnek Üzülmez 4. Ocak Sulu ayaktır. Üzülmez 4. Ocak Sulu ayağın göçebilirlik durumu Bilinski ve Konopko (1973) yaklaşımına göre "Zor" göçebilen bir tavan iken, önerilen sınıflama sistemi, Mark ve Molinda (2003), Laubscher (1990), ve Das (2000) sınıflama sistemlerine göre "Kolay" göçebilen bir tavan olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımlar arasındaki farklılığın sebebi ise, yaklaşımlarda kullanılan girdi parametrelerinin farklılıklarından ileri gelmektedir (Bkz. Şekil 5.3). Çizelge 9.9'da dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ta, sınıflama sistemlerinden elde edilen puanların karşılaştırılmasıdır. Sınıflama sistemleri arasında geçiş yapma imkanı sunabilen tavan sınıflama puanları arasında anlamlı ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 9.1).

Çizelge 9.9 Göçebilirlik sınıflama sistemlerinin karşılaştırılması.

İncelenen İşletmeler Müessese / Kartiye / Damar Adı	Tavan Göçebilirliği Sınıflama Puanları							
	Bilinski ve Konopko (1973)	Laubscher (1990)	Mark ve Molinda (2003)	Das (2000)	Hongzhu (1996)	Venkateswarlu et al. (1989)	Singh et al. (1999)	<i>Bu Çalışma</i> (2013)
TTK Üzülmez / 1. Kartiye / Çay	177	74	74	77	13	88	7710	62
TTK Üzülmez / 2. Kartiye/Piriç(Silttaşı)	54	46	35	41	4	54	2097	42
TTK Üzülmez / 2. Kartiye / Piriç (Konglomera)	71	60	48	59	6	65	3191	56
TTK Üzülmez / 3. Kartiye / Çay Piçi	254	72	77	75	17	86	25192	76
TTK Üzülmez / 4. Kartiye / Sulu	94	39	34	44	6	54	4293	45
TTK Kozlu /5. Kartiye / Kurul	37	55	42	46	3	56	2783	46
TTK Karadon (Gelik) / 3. Kartiye / Kurul	166	61	61	58	9	69	5660	62
İncelenen İşletmeler Müessese / Kartiye / Damar Adı	Tavan Göçebilirlik Durumları							
Bilinski ve Konopko (1973)	Laubscher (1990)	Mark ve Molinda (2003)	Das (2000)	Hongzhu (1996)	Venkateswarlu et al. (1989)	Singh et al. (1999)	<i>Bu Çalışma</i> (2013)	
TTK Üzülmez / 1. Kartiye / Çay	Çok Zor	Zor	Çok Zor	Zor	Çok Zor	Çok Zor	Zor	Zor
TTK Üzülmez / 2. Kartiye/Piriç (Silttaşı)	Orta	Orta	Kolay	Orta-Kolay	Orta	Orta	Orta	Kolay
TTK Üzülmez / 2. Kartiye / Piriç (Konglomera)	Zor	Orta	Orta	Orta	Orta	Zor	Orta	Orta
TTK Üzülmez / 3. Kartiye / Çay Piçi	Çok Zor	Zor	Çok Zor	Zor	Çok Zor	Çok Zor	Çok Zor	Çok Zor
TTK Üzülmez / 4. Kartiye / Sulu	Zor	Kolay	Çok Kolay	Orta-Kolay	Orta	Orta	Orta	Kolay
TTK Kozlu /5. Kartiye / Kurul	Orta	Orta	Kolay	Orta-Kolay	Kolay	Orta	Orta	Kolay
TTK Karadon (Gelik) / 3. Kartiye / Kurul	Çok Zor	Zor	Zor	Orta	Zor	Zor	Zor	Zor

Önerilen sınıflama sistemi ile diğer tavan göçebilirlik sınıflama sistemleri arasındaki doğruluk katsayısı yüksek ilişkiler sınıflama sistemleri arasında geçiş yapabilme imkanı sağlamaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir konu vardır. Sınıflama sistemleri arasında anlamlı sayısal ilişkilerin oluşu ayak arkasının göçebilirliği konusunda aynı yorumu yapmaları anlamına gelmeyebilir.

Örneğin, Bilinski ve Konopko (1973) yaklaşımı ile bu çalışmada önerilen sınıflama sistemi arasında $R^2 = 0,85$ oranında yüksek derecede anlamlı bir ilişki mevcuttur. Ancak bu iki sınıflama sistemi incelenen ayakların göçebilirlikleri konusunda sadece 1 ayak için aynı yorumu yapmakta ve 4 ayak için de benzer yorumlar yapabilmektedir. Diğer sınıflama sistemleri ile önerilen sınıflama sistemi arasında ise hem niceliksel hem de niteliksel bir benzerlik ve tutarlılık söz konusudur.



Şekil 9.1 Sınıflama sistemleri arasındaki niceliksel ilişkiler.

BÖLÜM 10

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, uzunayak madenciliğinde ayak arkasının göçebilirliği konusunda yer alan tavan önemli tanımlamalar (ayak arkasının kırılmasında etkili olan değiştirgeler, ayak arkasının kırılma şekilleri, yalancı tavanların sınıflandırılması vb.) özetlenmiş, tabaka kontrolü açısından önemli yaklaşımlar (yalancı tavan kalınlığının, kaya kütesinin tek eksenli çekme dayanımı, kaya kütesinin deformasyon modülünün kestirilmesi vb.) derlenmiş, literatürde daha önce yer alan göçebilirlik sınıflamaları açıklanmış, arazi çalışmaları ile ayakların göçebilirlik durumları yerinde gözlemlenmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmaları ile tavan kayaçlarının fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha önce yer alan tavan göçebilirliği sınıflamaları ışığında Zonguldak Taş Kömürü Havzası uzunayakları için bir tavan göçebilirliği sınıflaması önerilmiştir. Önerilen sınıflama sistemi daha önceki sınıflama sistemleri ile karşılaştırılmış ve sınıflama sisteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Tez çalışmasından çıkarılabilecek önemli sonuç ve öneriler ise aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

i. Arazi ve laboratuvar çalışmaları ışığında bir tavan göçebilirlik sınıflaması geliştirilmiş ve geliştirilen göçebilirlik sınıflaması diğer sınıflama sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak göçebilirlik sınıflamasının incelenen ayaklara başarı ile uygulandığı görülmüştür.

ii. Arazi çalışmaları ışığında incelenen ayaklardaki tavan kayaçları tavan katılığına göre sınıflandırılmış, tavan katılığı ile ayak arkasının kırılma mesafesi ile aralarında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür.

iii. Yalancı tavanın kırılma mesafesinin belirlenmesi giriş teorisini esas alan bir yaklaşımla kestirilmeye çalışılmış ve arazide gözlenen kırılma mesafeleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre görgül bağıntıdan elde edilen yalancı tavanın kırılma mesafesi arazide gözlenen kırılma mesafesinden daha düşük çıktığı görülmüştür. Bunun sebebinin yalancı tavanın kırılmasında ilave bir ana tavan yüklemesine işaret ettiği düşünülmektedir.

iv. Zonguldak Taşkömürü Havzası uzunayakları tavan kayaçlarının kuru ve doymuş şartlar altındaki fiziksel ve mekanik özellikleri çıkartılmıştır.

v. Laboratuvar çalışmaları sonucunda tavan kayaçların suya olan hassasiyetleri ortaya konmuş ve su gelirinin tavan duraylılığını ne derece etkilediği bir kez daha görülmüştür.

vi. Önerilen göçebilirlik sınıflaması, ayağın üretime başladıktan sonraki göçebilirliğine ilişkin arazi gözlem ve incelemelerine dayanmaktadır. Bu sebepten ayağın üretime başladığı andaki ilk göçebilirliği için önerilen göçebilirlik sınıflamasının kullanılmaması önemle hatırlatılmalıdır.

vii. Tez çalışmasında ortaya konulan göçebilirlik sınıflama sisteminin Zonguldak Havzası için olan önemi; havzada konu ile ilgili yapılmış ilk çalışma olması ve önerilen göçebilirlik sınıflamasında diğer sınıflama sisteminde olmayan ancak havzada etkili olan değiştirgelerin (üretim derinliği, damar eğimi ve tahkimat tasarımı) sınıflama sisteminde yer alıyor olması ile açıklanabilir.

viii. Sonuç olarak önerilen sınıflama sisteminin sadece 6 adet uzunayaktaki gözlem ve incelemelere dayalı olduğu, her sınıflama sisteminde olduğu gibi önerilen sınıflama sisteminin çok sayıda ayağa uygulanarak sınıflama sisteminin geliştirilmesinin kaçınılmaz olduğu bir kez daha hatırlatılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Alpan S** (1969) Maden İşletme Metotları, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları*, Yayın No : 2, 21.
- Algapo B** (1992) Zonguldak Taşkömürü Havzası Kılıç ve Kozlu Formasyonlarının Deneştirilmesi, Bitirme Ödevi, Hacettepe Üniversitesi, Zonguldak Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 26.
- Anon** (1979) Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping, Part 1: Rock and Soil Materials, *Bull. Int. Eng. Geol.* 19 : 364-371.
- ASTM - D2938** (2002) Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.
- Ataman T** (1978) Yeraltında Tahkimat Esasları, *ODTÜ Yayınları*, Ankara, 193.
- Aydan Ö ve Dalgıç S** (1998) Prediction of Deformation behaviour of 3 Lanes Bolu Tunnels through Squeezing Rocks of North Anatolian Fault Zone (NAFZ), *Regional Symp. Sedimentary Rock Eng.*, Taipei, 228-233.
- Barton N** (2002) Some New Q-value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 39 (2) : 185-216.
- Barton N and Choubey V** (1977) The Shear Strength of Rock and Rock Joints, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Abst.*, 13: 255-279.
- Beiki M, Bashari A and Majdi A** (2010). Genetic programming approach for estimating the deformation modulus of rock mass using sensitivity analysis by neural network. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 47 : 1091–1103.
- Bhasin R and Grimstad E** (1996) The Use of Stress-Strength Relationship in the Assessment of Tunnel Stability, *Tun. and Und. Space Tech.* 11(1) : 93-98.
- Bieniawski Z T** (1978) Determining Rock Mass Deformability : Experiences from Case Histories, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 237-247.
- Bieniawski Z T** (2011) Misconception in the Applications of Rock Mass Classifications and Their Corrections, *ADIF Seminar on Adv. Geotech. Char. for Tunnel Design*, 32.
- Bikermann D J and Mahtab M A** (1986) Use and Abuse of RQD in Underground Mine Design, *Proc. of Min. Latin America Conf.*, Santiago, Chile, London, 51-56.
- Bilinski A and Konopko W** (1973) Criteria of the Selection of Individual and mechanized Support Schemes for Longwall Workings (in Polish), *Przeglad* 6: 241-244.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Bilinski A and Konopko W** (1974) A Method of Choice of Support in Longwall Workings Mined with Caving, *Central Min. Inst.*, Annual Report, Katowice.
- Bilir M E** (1994) TTK Asma İşletmesinde Hidrolik Direk-Eklemlili Çelik Sarma Uygulamalarının Yük ve Konverjans Ölçümleriyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , 161.
- Birön, C, ve Arıoğlu E** (1980) Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Birön C ve Arıoğlu E** (1999) *Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 361.
- Brauner G** (1973) Subsidence due to underground mining, pt. 1: U.S. Bureau of Mines, Information Circular 8571, IC 8572, 53.
- Canca N** (1985) Kozlu 20-E Sondajının Raporu.
- Das S K** (2000) Observations and Classification of Roof Strata Behaviour over Longwall Coal Mining Panels in India, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 37 : 585-597.
- Deere D U** (1967) Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes, *Rock Mech. Rock Eng.*
- Deere D U and Miller R P** (1966) Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock, Technical Report, New Mexico, 65-116.
- Diederichs M S and Kaiser P K** (1999) Tensile strength and abutment relaxation as failure control mechanisms in underground excavations. *Int. J. Rock Mech. and Min. Sci.*, 36 : 69-96.
- Dil N and Konyali Y** (1978) Carboniferous of Zonguldak Area, *Guidebook for the field excursion on the Carboniferous Stratigraphy*, 5-23.
- Everling G** (1985) Der Einfluß der Strebbreite auf die Hangendbeherrschung, Glickauf Forschunghefte
- Folk R L** (1962) Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Company, s. 185
- Forgeron S, Mark C and Forrester D J** (2001) Standardisation of Geological and Geomechanical Assessment at Underground Coal Mines in Canada, *CIM Bull.* 83-90.
- Gamble J C** (1971) Durability-Plasticity Classification of Shales, PhD Thesis, University of Illinois, Urbana.
- Gerçek H and Müftüoğlu Y V** (1993) Failure characteristics of coal measure rocks, *Proc. Int. Symp. on Assessment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Eng.*, İstanbul, 329-334.
- Ghose A K** (1976) Design of Longwall Systems for Future Longwall Faces, *Journal of Mines Metals and Fuels of India*, Special Number on Mine Support.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gökçeoğlu C, Sönmez H and Kayabaşı A** (2003) Predicting the Deformation Modulus of Rock Masses, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 40: 703-712.
- Grimstad E Barton N** (1996) The Q-system following twenty years of application in NMT support selection, *Felsbau* 12.
- Hashemi M, Moghaddas S, Ajalloeian R** (2010) Application of Rock Mass Characterization for Determining the Mechanical Properties of Rock Mass : a Comparative Study, *Rock Mech. Rock Eng.* 43 : 305-320.
- Hoek E and Brown E T** (1980) Underground Excavations in Rock, Inst. Min. Metall., London, 527.
- Hoek E and Brown E T** (1988) The Hoek-Brown failure criterion-a 1988 update, *Proc. of the 15th Canadian Rock Mech. Symp.*, Toronto, Canada, 31–38.
- Hoek E, Carranza-Torres C, Corkum B** (2002) Hoek-Brown Failure Criterion - 2002 edition, *Proc. of 5th North American Rock Mech. Symp. and 17th Tunnelling Assoc. of Canada*, 267-273.
- Hoek E and Diederichs M S** (2006) Empirical Estimation of Rock Mass Modulus, *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.* 36: 203-215.
- Hoek E** (2007) Practical Rock Engineering, Canada, 237.
- Hoek E, Carranza-Torres C T and Corkum B** (2002) Hoek–Brown failure criterion – 2002 edition, *Proc. of the 5th North American Rock Mech. Symp. and 17th Tunnelling Assoc. of Canada Conf.*, Toronto, Canada, 267–273.
- Hongzhu Z and Ramayya M S V** (1996) Strata Movement on Shallow Fully Mechanized Longwall Face at PVK Mine of SCCL and Option of Powered Support, *Second Nat. Conf. on Ground Control in Mining*, 79-98.
- Hongzhu Z** (1996) Ground Pressure Characteristic and Selection of Hydraulic Supports in Fully Mechanized Longwall Face in China, *Second Nat. Conf. on Ground Control in Mining*, 57-78.
- ISRM** (1981) *ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring*, ed. E. T. Brown, Pergamon Press, London, 211.
- Jacobi O** (1981) Praxis der Gebirgsbeherrschung, 2. Auflage, Essen, 576.
- Jaeger J C and Cook N G W** (1969) Fundamentals of Rock Mechanics, Chapman and Hall, London, 593.
- Jeremic M L** (1985) *Strata Mechanics in Coal Mining*, A.A. Balkema, 564.
- Kalamaras G S and Bieniawski Z T** (1993) A Rock Mass Strength Concept for Coal Seams, *Proc. 8th Int. Conf. on Ground Control in Mining*, West Virginia University, 274-283.
- Laubscher D H** (1984) Design Aspect and Effectiveness of Support Systems in Different Mining Conditions, *Trans. Int. Min. Metall.* 93: 70-82.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Laubscher D H (1990)** A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mine Design, *J. South Afr. Inst. Min. Metall.* 90: 257-273.
- Lashkaripour G R (2002)** Predicting Mechanical Properties of Mudrock from Index Parameters, *Bull. Eng. Geo. Envir.* 61: 73-77.
- Kalamaras G S and Bieniawski Z T (1993)** A Rock Mass Strength Concept for Coal Seams, *Proc. 8th Int. Conf. on Ground Control in Mining*, 295-302, West Virginia.
- Kalamaras G S and Bieniawski Z T (1995)** A Rock Mass Strength Concept for Coal Seams Incorporating the Effect of Time, *Proc. 8th Int. Cong. on Rock Mech., ISRM* , 295-302, Tokyo.
- Karmis M and Kane W (1984)** An analysis of the Geomechanical Factors Influencing Coal Mine Roof Stability in Appalachia, *Proc. Sec. Int. Conf. on Stability in Underground Mining*, 311-328, Lexington.
- Kayabaşı A, Gökçeoğlu C ve Ercanoğlu M (2003)** Estimating the Deformation Modulus of Rock Masses : a Comparative Study, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 40: 55-63.
- Kenny P (1969)** The Caving of the Waste on Longwall Faces, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 6: 541-555.
- Ketin İ (1983)** Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış, *İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 1259*, İstanbul, 593.
- Kidybinski A (1974)** Geological Models of Upper Silesian Carboniferous Rock, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*
- Kidybinski A (1995)** Optimum Mining System Based on Critical Roof Span Approach, Geomechanical Criteria for Underground Mines Design, *Int. Bureau of Strata Mech.*, ed. Krzyszton, Central Mining Institute, Katowice, 153-165.
- Kisybinski A (1986)** Design Criteria for Roadway Supports to Resist Dynamic Loads, *Int. J. Min. Geo. Eng.* 4: 91-109.
- Köksoy M, Karayığit A İ, Demirel L H, Çelik M, Akdağ Y ve Taşçı A (1989)** Asma-Gelik İşletme Müdürlükleri ve Armutçuk Müessesesinde İşletilen Kömürlerin Petrografik Özellikleri, *H.Ü Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Projesi*, Proje Kodu: JEO-8B/13, Beytepe/Ankara, (yayımlanmamış).
- Majdi A, Hassani F P, Nasiri M Y (2012)** Prediction of the Height of Distressed Zone above the Mined Panel Roof in Longwall Coal Mining, *Int. J. Coal Geology*, 98: 62-72.
- Mark C and Molinda G M (2003)** The Coal Mine Roof Rating in Mining Engineering Practice, *Proc. of the Fourth Under. Coal Operators Conf.*, ed. Aziz N, Kininmonth B, Carlton, Victoria, Australia: Australian Institute of Mining And Metallurgy.
- Mark C, Pakalnis R T and Tuchman R J (2007)** *Proceedings of the International Workshop on Rock Mass Classification in Underground Mining*, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh Research Laboratory, 162.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Mitri H S, Edrissi R and Henning J** (1994) Finite Element Modelling of Cable Bolted Stopes in Hardrock Ground Mines, *SME Annual Meeting*, 94-116pp. New Mexico.
- Molinda G M and Mark C** (1994) Coal Mine Roof Rating (CMRR), *A Practical Rock Mass Classification for Coal Mines*, Pittsburgh, Pa: U.S. Department of The Interior, Bureau of Mines, IC: 9387.
- Nakoman E** (1971) Kömür, *MTA Yayınları*, Yayın No : 8 , Ankara
- Nichols G** (2009) *Sedimentology and Stratigraphy*, John Wiley&Sons, 419.
- Nicholson G A and Bieniawski Z T** (1990) A Nonlinear Deformation Modulus Based on Rock Mass Classification, *Int. J. Min. Geol. Eng.* 8: 181-202.
- Noroozi A, Oraee K, Javadi M and Goshtasbi K** (2012) A Model for Determining the Breaking Characteristics of Immediate Roof in Longwall Mining, *Yerbilimleri*, 33: 193-204.
- Paşamehmetoğlu A G ve Bilgin H A** (1989a) Ara rapor 1: Galerilerde optimum patlatma düzeninin saptanması, *TTK Genel Müdürlüğü Asma İşletmesi Kömür ve Kayalarının Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkartılmasının Araştırılması*, Proje No. 88-03-05-01-04, Ankara
- Paşamehmetoğlu A G ve Bilgin H A** (1989b) Ara rapor 2: Galerilerde optimum patlatma düzeninin saptanması, *TTK Genel Müdürlüğü Asma İşletmesi Kömür ve Kayalarının Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkartılmasının Araştırılması*, Proje No. 88-03-05-01-04, Ankara
- Paşamehmetoğlu A G ve Bilgin H A** (1989c) Ara rapor 3: Galerilerde optimum patlatma düzeninin saptanması, *TTK Genel Müdürlüğü Asma İşletmesi Kömür ve Kayalarının Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkartılmasının Araştırılması*, Proje No. 88-03-05-01-04, Ankara
- Paşamehmetoğlu A G ve Bilgin H A** (1989d) Ara rapor 4: Galerilerde optimum patlatma düzeninin saptanması, *TTK Genel Müdürlüğü Asma İşletmesi Kömür ve Kayalarının Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkartılmasının Araştırılması*, Proje No. 88-03-05-01-04, Ankara
- Paşamehmetoğlu A G ve Bilgin H A** (1989e) Ara rapor 5: Galerilerde optimum patlatma düzeninin saptanması, *TTK Genel Müdürlüğü Asma İşletmesi Kömür ve Kayalarının Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkartılmasının Araştırılması*, Proje No. 88-03-05-01-04, Ankara
- Priest S D and Hudson J** (1981) Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surface, *Int. J. Rock Mech Sci & Geomech. Abst.* 18: 13-197pp.
- Read S A L, Richards L R, Perrin N D** (1999). Applicability of the Hoek–Brown failure criterion to New Zealand greywackerocks. Proceeding 9th International Society for Rock Mechanics Rocscience, 1998. Phase² User's Guide. Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Obert L and Duvall W I** (1967) *Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock*, John Wiley & Sons, New York, 650.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Özel R** (1995) Development of guidelines for selection of longwall shield supports, Doktora Tezi, *ODTÜ / FBE Enst.*, 245
- Özkoçak O, Konyalı Y ve Şentürk İ** (1978) Kuzeybatı Anadolu Taşkömürü Havzasına Genel Bakış, *Türkiye Birinci Kömür Kong.*, 167-190, Zonguldak.
- Peng S S and Chiang H S** (1984) *Longwall Mining*, Wiley Interscience, Newyork, 295-335.
- Peng S S** (1986) Coal Mine Ground Control, 2nd edn. John Wiley & Sons, Newyork, 491.
- Protodyakonov M M** (1964) Mechanical Properties and Drillability of Rocks, *Proc. 5th Symp. Rock Mech.*, University of Minnesota. 103-118.
- Ramamurthy T** (2004) A Geo-Engineering Classification for Rocks and Rock Masses, *Int. J. Rock. Mec. and Min. Sci.* 41: 89-201.
- Saner S** (1980) Batı Pontidlerin ve Komşu Havzalarının oluşumlarının Levha Tektoniği Kuramı ile Açıklanması, NW Türkiye, *MTA Dergisi*, 93/94 : 1-20.
- Serafim J L and Pereira J P** (1983) Considerations on the Geomechanical Classification on Bieniawski, *Proc. Int. Symp. on Eng. Geol. and Underground Const.* 1: 33-44 Lisbon.
- Shen J, Karakus M and Xu C** (2012) A comparative study for empirical equations in estimating deformation modulus of rock masses. *Tunnel. and Underground Space Tech.* 32: 245-250.
- Sheorey R P** (1997) Emprical Rock Failure Criteria, A A Balkema, 176.
- Sikora W and Kidybinski A** (1985) Rock Stability Evaluation for Proper Choice of Roadway Supports, *Central Min. Inst. Katowice*.
- Singh B and Goel R K** (1999) Rock Mass Classification A Practical Approach in Civil Engineering, Amsterdam, 267.
- Singh R and Singh T N** (1999) Investigation into the Behaviour of A Support System and Roof During Sublevel Caving of A Thick Coal Seam, *Geotech. And Geol. Eng.*, 17: 21-35.
- Singh G S P and Singh U K** (2010) Prediction of Caving Behaviour of Strata and Optimum Rating of Hydraulic Powered Support for Longwall Workings, *Int. J. Rock Mech. and Min. Sci. Abstract* 47: 1-16.
- Singh R N and Gahrooe D R** (1989) Application of Rock Mass Weakening Coefficient for Stability Assessment of Slopes in Heavily Jointed Rock Mass, *Int. J. Surf. Min., Reclam. and Envir.*, 3: 207-219.
- Siska L** (1972) Problems Relating to Coal Extraction in Seams Containing Strong Sandstones in The Overlying Strata, *Int. Strata Control Conf.*, London.
- Sonmez H, Gökçeoğlu C ve Ulusay R** (2004) Indirect Determination of The Modulus of Deformation of Rock Masses based on GSI System, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 41: 849-857.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sönmez H, Nefeslioğlu H A, Gökçeoğlu C, Kayabaşı A** (2006) Estimation of Rock Modulus for Intact Rocks with an Artificial Neural Network and for Rock Masses with A New Empirical Equation, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 43: 224-235.
- Trueman R** (1998). An Evaluation Of Strata Support Techniques in Dual Life Gateroads. Phd Thesis, University Of Wales, Cardiff.
- TÜSTAŞ** (1989a) Türkiye Taşkömürü Kurumu Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi Gelik İşletmesi Rehabilitasyon Projesi.
- TÜSTAŞ** (1989b) Türkiye Taşkömürü Kurumu Asma Taşkömürü İşletme Müessesesi Üzülmez İşletmesi Rehabilitasyon Projesi.
- TTK** (2013) Türkiye Taşkömürü Kurumu Plan Büroları arşivleri (Üzülmez, Kozlu ve Gelik Müesseseleri).
- Unrug K F** (1983) Longwall Support Requirements, *Journal of Mines Metal and Fuels of India*, Special Number on Updates on Longwall Mining-Evolving Trends.
- Ünal E** (1995) Modified Rock Mass Classification M-RMR System, *Milstones in Rock Engineering, The Bieniawski's Jubilee Collection*, A A Balkema, 203-223.
- Ünlü T** (1989) Üzülmez Müessesesi Asma İşletmesi Sulu Ayakta Yapılan Yük ve Konverjans Ölçümleri İle Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 129.
- Ünlü T ve Gerçek H** (2000) Ahşap Domuzdamlarının Mekanik Davranışı ve Tasarımı, *Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, Kdz. Ereğli, Zonguldak, 41-53.
- Venkateswarlu V, Ghose A K and Raju N M** (1989) Rock Mass Classification for Design of Roof Supports – A Statistical Evaluation Of Parameters, *Min. Sci. And Tech.*, 97-107.
- Yudhbir L W and Prinzl F** (1983) An empirical failure criterion for rock masses, *Proc. of the 5th Int. Cong. on Rock Mech.*, Melbourne, Balkema, Rotterdam 1: B1 B8.
- Whittaker B N** (1975) A Review of the Contributiton Made by Powered Roof Support to Longwall Mining, *Magazine Dept. Of Min. Eng.*, University of Nottingham, 13.
- Whittaker B N and Breed C D** (1977) The Influence of Surface Geology on the Character of Mining Sidsidence, *Assoc. Geotech.* 459-468, Milan.
- Whittaker B N and Jeremic M L** (1979) Longwall Mining Potential of Plains, Region of Coal Deposits in Western Canada Colliery, *Guar. Coal Int.*, 31-39
- Whittaker B N and Reddish D J** (1989) Subsidence : Occurrence, Prediction and Control, Amsterdam, 528.
- Zhang L and Einstein H H** (2004) Using RQD to Estimate the Deformation Modulus of Rock Masses, *Int. J. of Rock Mech. Min. Sci.* 41: 337-341.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Zhang L (2005) Engineering Properties of Rocks, *Elsevier Geo-Eng. Book Series (Ed: Hudson J A)*, 4: 292.

Zhang L (2010) Estimating the Strength of Jointed Rock Masses, *Rock Mec. Rock Eng.* 43: 391-402.

BİBLİYOGRAFYA

Kratzsch H (1983) Mining Subsidence Engineering, 543, Springer Verlag, Berlin.

Kuzyniazouy G N (1954) The Mechanics of Interactions between Surrounding Strata and Supports on Longwall Faces in Slightly-Inclined Coal Seam, *Coal Min. Tech. Pub. Co.*, Moskow, 40.

Moos A V and Quervain F D (1948) Technische Gesteinkunde, *Verlag Birkhauser*, Basel.

Tokay M (1952) Karadeniz Ereğlisi - Alaplı - Kızıltepe - Alacağzı Bölgesi Jeolojisi, *MTA Dergisi*, 42-43.

EK AÇIKLAMALAR A

**ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASI TAVAN TABAKALARININ TEK
EKSENLİ ÇEKME DAYANIMININ KESTİRİLMESİ İÇİN BİR GÖRGÜL
BAĞINTININ GELİŞTİRİLMESİ**

Zonguldak Taşkömürü Havzası uzunayaklarındaki yalancı tavanların kırılma mesafesinin analitik olarak kestirilmesi için kaya kütlelerinin tek eksenli çekme dayanımının (σ_{tm}) kestirilmesi gerekmektedir. Çünkü, yalancı tavanın kırılmasında kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımı değil (σ_{cm}), kaya kütlelerinin çekme dayanımı etkilidir. Bu kapsamda Hoek-Brown yenilme ölçütünü esas alan bir görgül bağıntı türetilmiştir. Görgül bağıntısının türetilmesinde farklı tavan litolojilerine ait σ_{ci} ve σ_{tB} arasındaki ilişkiden yararlanılmıştır. Hoek - Brown yenilme ölçütüne göre σ_{tm} aşağıdaki eşitlikler ile belirlenmektedir.

$$\sigma_{tm} = \frac{-s \times \sigma_{ci}}{m_b} \quad (A.1)$$

Burada s, kaya kütlelerinin çatlaklılık derecesini, m_b ise kaya kütlelerinin sağlamlığını ifade eden değiştirgeler olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki bağıntılarla ile belirlenmektedir.

$$s = e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \quad (A.2)$$

$$m_b = m_i \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)} \quad (A.3)$$

Kaya malzemesinin m_i değeri ise aşağıdaki bağıntı ile pratik olarak belirlenmektedir.

$$m_i = \frac{16\sigma_{tB}}{\sigma_{ci}} - \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}} \quad (A.4)$$

Zonguldak tavan kayaçlarının tek eksenli çekme dayanımlarının kestirilmesinde A.4 görgül bağıntısında yer alan m_i değeri esas alınmıştır. Farklı tavan litolojileri için σ_{ci} ile σ_{tB} arasındaki ilişkilerin A.3 görgül bağıntısına yazılması ile A.1 bağıntısı daha basit bir hale gelerek, havzadaki tavan tabakalarının σ_{tm} değerleri kestirmeye çalışılmıştır.

Farklı tavan kayaçları için σ_{ci} ile σ_{tB} arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde TÜSTAŞ (1989), ZEDEM (1989) ve Paşamehmetoğlu vd. (1989) tarafından gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır. Farklı tavan kayaçları için σ_{ci} ile σ_{tB} arasındaki ilişkiler Şekil A.1'de

verilmektedir. Şekil A.1'de yer alan $\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}}$ oranlarının kullanılmasıyla farklı tavan litolojileri için σ_{tm} 'nin kestirimini amaçlayan görgül bağıntılar geliştirilmiştir.

Kumtaşları için σ_{tm} 'nin kestirilmesi :

$$\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}} = 12,45 \quad (A.5)$$

$$m_i = 12,45 - \frac{16}{12,45} = 11,16 \quad (A.6)$$

$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times \sigma_{ci}}{m_i \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} \quad (A.7)$$

$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times 12,45 \sigma_{tB}}{11,16 \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} = \frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{tB}} = 1,12 \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR-100)\right)} \quad (A.8)$$

Silttaşları için σ_{tm} 'nin kestirilmesi :

$$\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}} = 9,88 \quad (A.9)$$

$$m_i = 9,88 - \frac{16}{9,88} = 8,26 \quad (A.10)$$

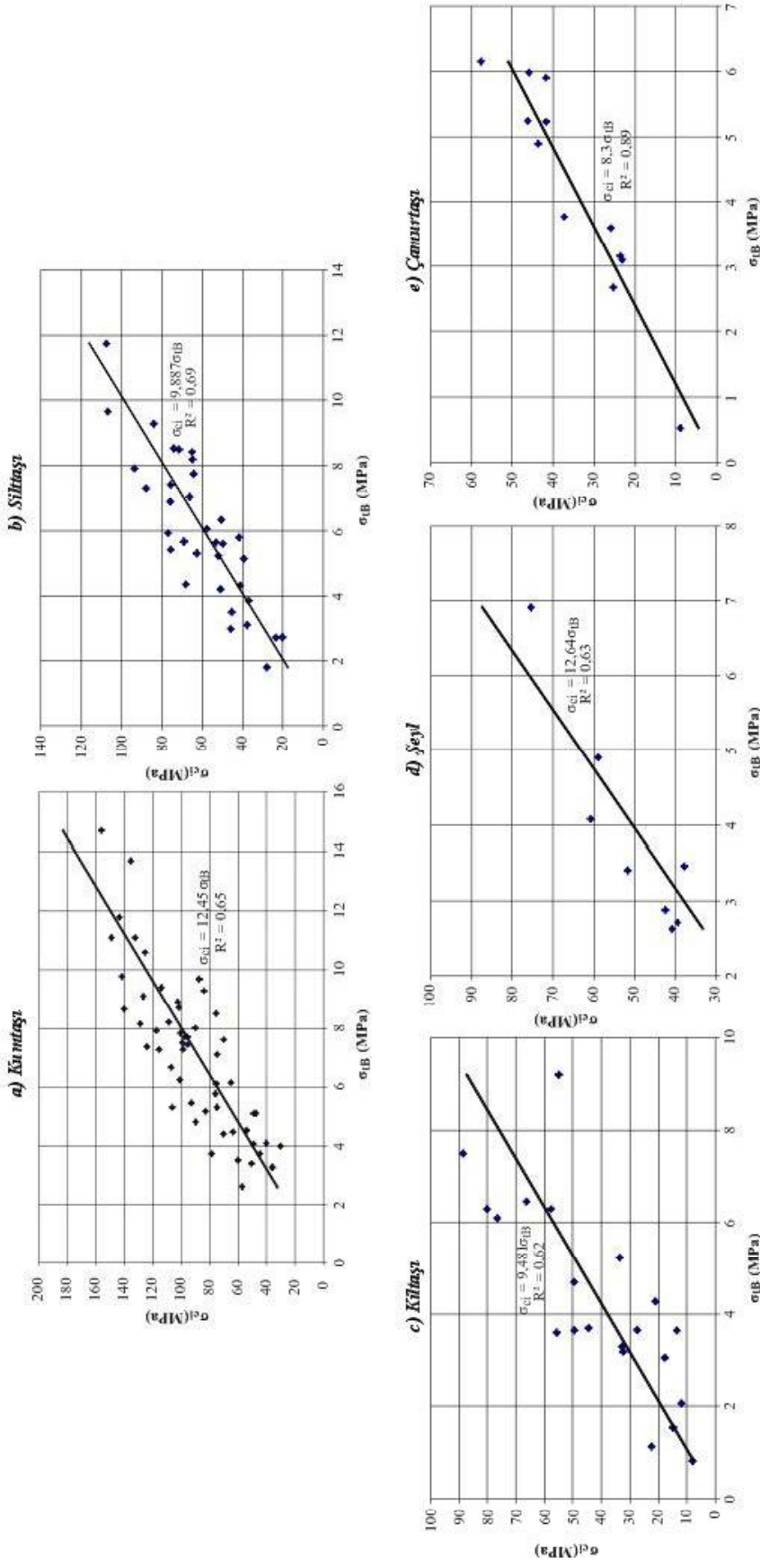
$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times \sigma_{ci}}{m_i \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} \quad (A.11)$$

$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times 9,88 \sigma_{tB}}{8,26 \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} = \frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{tB}} = 1,2 \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR-100)\right)} \quad (A.12)$$

Kıltaşı için σ_{tm} 'nin kestirilmesi :

$$\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}} = 9,48 \quad (A.13)$$

$$m_i = 9,48 - \frac{16}{9,48} = 7,8 \quad (A.14)$$



Şekil A.1 Farklı tavan kayaçları için σ_{ci} ile σ_{hB} arasındaki ilişkiler.

$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times \sigma_{ci}}{m_i \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} \quad (A.15)$$

$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times 9,48 \sigma_{tB}}{7,8 \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} = \frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{tB}} = 1,22 \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR-100)\right)} \quad (A.16)$$

Şeyl için σ_{tm} 'nin kestirilmesi :

$$\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}} = 12,65 \quad (A.17)$$

$$m_i = 12,65 - \frac{16}{12,65} = 11,37 \quad (A.18)$$

$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times \sigma_{ci}}{m_i \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} \quad (A.19)$$

$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times 12,65 \sigma_{tB}}{11,37 \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} = \frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{tB}} = 1,11 \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR-100)\right)} \quad (A.20)$$

Çamurtaşı için σ_{tm} 'nin kestirilmesi :

$$\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}} = 8,3 \quad (A.21)$$

$$m_i = 8,3 - \frac{16}{8,3} = 6,37 \quad (A.22)$$

$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times \sigma_{ci}}{m_i \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} \quad (A.23)$$

$$\sigma_{tm} = \frac{-e^{\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \times 8,3 \sigma_{tB}}{6,37 \times e^{\left(\frac{RMR-100}{28}\right)}} = \frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{tB}} = 1,30 \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR-100)\right)} \quad (A.24)$$

ÖZGEÇMİŞ

Ekin KÖKEN 1984'te İstanbul'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Fatih Şehremini Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2003 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2004 yılında Münih Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği'ne geçiş yaptı. Ancak çeşitli sebeplerle bu bölümden mezun olamadı. 2006 yılında Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne yerleşti ve bu bölümü 2010 yılında iyi derece ile tamamladı. Lisans mezuniyetinin hemen ardından Dokuz Eylül Üniversitesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı'nda yüksek öğrenimine başladı. 2011 yılında Abdullah Gül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ÖYP Araştırma Görevlisi olarak atanmasıyla Dokuz Eylül Üniversitesi'ndeki yüksek öğrenimini bırakıp, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği'ne 35. madde ile geçiş yaptı. Halen Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yazarın 2 adet uluslararası bildirisi mevcut olup, İngilizce ve Almanca bilmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Bülent Ecevit Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Maden Mühendisliği Bölümü
67100 / ZONGULDAK

Tel : (372) 257 4010 / 1115

E-posta : ekin.koken@beun.edu.tr