

ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASI UZUNAYAKLARI İÇİN BİR TAVAN GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMASININ GELİŞTİRİLMESİ

Development of a Cavability Classification for the Longwalls in Zonguldak Hardcoal Basin

Ekin KÖKEN*

ÖZET

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 değişirgeler toplanmış ve bir dizin halinde sunulmuştur. Daha önceden önerilmiş tavan göçebilirlik sınıflamaları özetlenmiş ve sınıflama sistemlerinde kullanılan değişirgeler oransal olarak irdelenmiştir. Daha önce önerilen göçebilirlik sınıflamaları ışığında Zonguldak Taşkömürü Havzası uzunayakları için bir göçebilirlik sınıflaması önerilmiştir. 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 Sözcükler: Göçebilirlik, Uzunayak Madenciliği, Tabaka Kontrolü,

ABSTRACT

Cavability of the goaf in longwall mining is rather important to maintain 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 timber support is extensively used 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. Roof caving classifications previously proposed are summarized and the parameters used in classification systems are proportionally examined. In the light of the caving classifications previously proposed, a modified roof caving classification system is proposed for the longwalls in Zonguldak Hardcoal Basin. The classification system proposed in this study, has been applied to some selected longwalls and has been compared with other roof caving classification systems. Consequently, the proposed classification system has been seen in conformity with the other classification systems.

Keywords: Cavability, Longwall Mining, Strata Control

* Arş. Gör., Bülent Ecevit Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., ZONGULDAK, ekin.koken@beun.edu.tr

1. GİRİŞ

Uzunayak madenciliğinde 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 göçebilen veya göçmeyen bir yalancı tavanın ayak ilerlemesine bağlı olarak kırılmayı, 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.

Göçertmeli bir uzunayak tasarımında göçme mekanizmasının araştırılması ve tanımlanması için öncelikle yalancı tavan kalınlığının veya göçme yüksekliğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Kömür damarı üzerinde yer alan tavan tabakalarının gözlemlenememesi ve göçme mekanizmasının ortamdan ortama değişkenlik göstermesi, göçme olayının tam olarak anlaşılmasını güçleştirmektedir. Aynı zamanda, araziden veri toplamanın zorluğu sebebiyle, göçme olayının tanımlanması, genellikle yarı-kuramsal ve/veya 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. Eğimli kömür damarlarında sürülen alt ve üst tabanyollarının bir başyukarı ile birleştirilmesi ile birincil gerilmelerin doğrultu ve büyüklükleri değişerek ayak çevresinde ikincil gerilmeler meydana gelmektedir. Kazılan kısım tarafından sağlayan desteğin ortadan kalkması ile tavan çevresinde oluşan ikincil gerilmelerin etkisinden kurtulan tavan tabakalarında kendi ağırlığı altında sarkma gösteren giriş davranışı nedeniyle eğilme ve deformasyonlar artacaktır.

Ayak ilerledikçe de ayak gerisinde kalan tavan tabakaları belirli aralıklarla göçecektir (Şekil 1). Bu olaya uzunayak madenciliğinde "Ayak Arkasının Göçmesi" denmektedir.

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

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

Göçme mekanizması, göçecek blokların geometrisi ve yalancı tavan tabakasının kalınlığı (h_m) 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 kömür çevre kayaçlarının 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 bazılarıdır.

Bu kapsamda Jacobi (1981), Jeremic (1985)

ve Singh ve Singh (1999) göçük mekanizmasının araştırılması için ölçekli uzunayak modelleri oluşturarak farklı yüklemeler ile göçme olayını kavramsal olarak açıklamaya çalışmışlardır.

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.

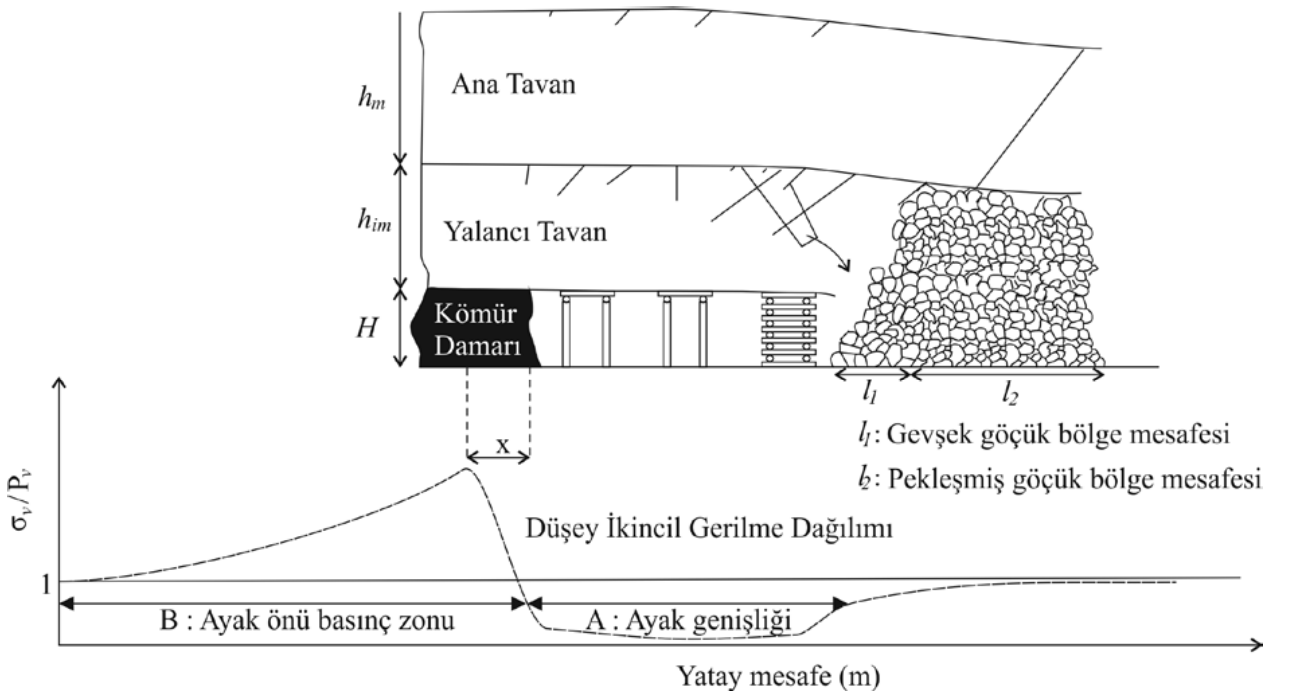
Jeremic'e (1985) göre göçük araştırmaları yukarıda özetlenen dört kapsamda incelenmelidir. Bu konular dışında tavan tabakalarının eğilme miktarlarının arazide ölçülmesi göçüğün boyutlarının ve yalancı tavanın kırılma mesafesinin belirlenmesinde değerlendirilebilir. Söz konusu sistem tek mesnetli ankastre giriş sistemine benzediğinden, göçmenin başka bir ifade ile tavan tabakalarının yenilmeleri inşaat mühendisliğindeki giriş çözümlenmesi ile belirli idealleştirilmeler 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

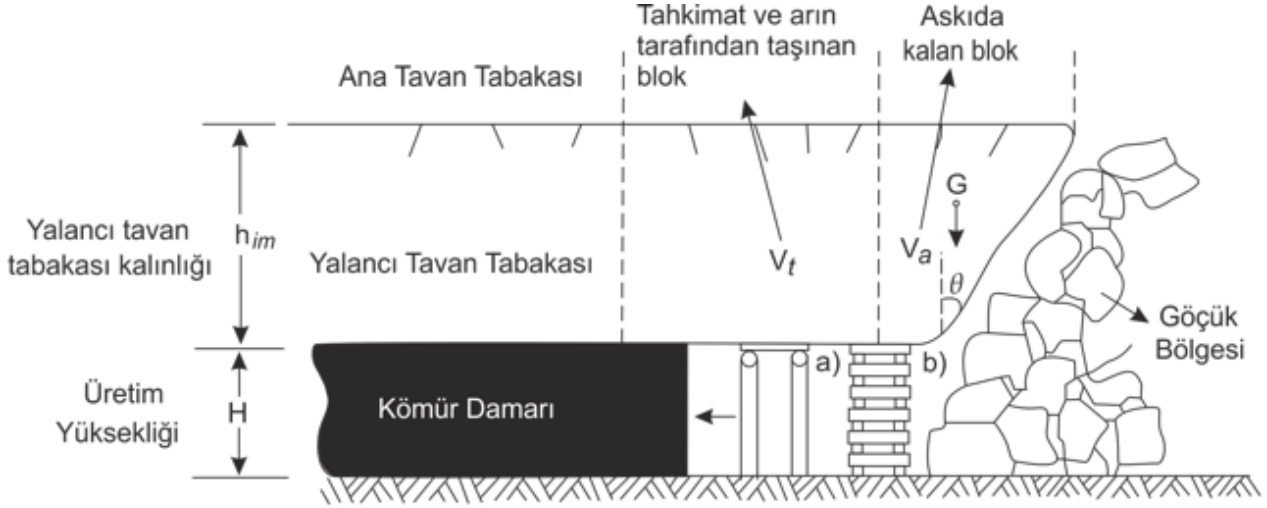
karşın süreksizlik içeren ve nispeten daha ince katmanlı tavan tabakalarının daha kolay göçmesi beklenmektedir. Basit olarak, yalancı tavanın eğilerek gerçekleştiği kırılma olayında; Şekil 2'de askıda kalan tavan bloğunun ağırlık merkezi (G noktası) görülmektedir. Ayak ilerledikçe askıda kalan, başka bir ifade ile, göçmeyen giriş şeklindeki tavan bloğunun hacmi artmakta ve ilerleme yönüne doğru tavan bloğunun ağırlık merkezi ötelenmektedir. Askıda kalan kaya bloğunun ağırlık merkezi domuzdamının düşey ekseninden ayrıldığında tavan bloğunda deformasyon ve eğilmeler artacak ve sonunda tavan taşı statik koşullar altında göçecektir.

Su gelirini birinci derecede etkileyen tavan tabakasının içerdiği süreksizlikler (tabakalanma, yapraklanma düzlemi, eklem takımları vb.) göçme olayının fiziksel olarak boyutlandırılmasını belirleyen diğer bir etkidir.

Göçmeye etki eden bir başka faktör de, yalancı tavan tabakası üzerindeki ana tavan tabakasıdır. Ana tavan tabakası yalancı tavan üzerinde ölü bir yük oluşturmakta ve bu yükleme 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 genellikle düşer.



Şekil 1 Uzunayak tavanındaki düşey ikincil gerilmelerin damar tabanında ve arına dik bir kesit doğrultusundaki dağılımı (Birön ve Arıoğlu 1999'dan değiştirilerek).



Açıklamalar: a) Ahşap Direkler b) Domuzdamı

Şekil 2 Uzunayak madenciliğinde göçme olayı ile ilgili genel kavramlar.

2. AYAK ARKASININ GÖÇMESİNİ ETKİLEYEN ETMENLERİN SINIFLANDIRILMASI

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 1).

Jeolojik etkenler; bölgenin tektonizması, hidrojeolojik özellikleri ile kömür ve çevre kayaların olduğu sedimanter ortam ile ifade edilir. Özellikle 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 kütlelerinin dayanım özellikleri, (tek eksenli ve üç eksenli basınç, tek eksenli veya dolaylı çekme dayanımı) ile tavan katılığı, kayaların elastik sabitleri (deformasyon modülü

ve Poisson oranı) ve kömür çevre kayalarının 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 özellik 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 1'de ifade edilen gruplardan jeolojik özellikler kontrol edilemez, tavan kayalarının 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 1 Ayak Arkasının Göçmesinde Etkili Olan En Genel Değiştirgeler (Das, 2000'den düzenlenerek).

		JEOLJİK ÖZELLİKLER		
		SEDİMANTOLOJİK	TEKTONİK	HİDROJEOLJİK
KONTROL EDİLEMEZ	I. GRUP	Kömürün çeşidi		
		Damar kalınlığı	Tektonik çatlaklar	Mümkün akiferler
		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		
		Tahkimatin doğru ve zamanında sökülmesi		
		Üretim hızı		

* Gerektiğinde kontrol edilebilir.

3. LİTERATÜRDE YER ALAN TAVAN VE GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMALARI

Bu bölümde ayak arkasının göçebilirliği konusunda literatürde yoğun olarak kullanılan tavan ve göçebilirlik sınıflamalarında yer tutan değiştirgeler özetlenerek, bu sınıflama sistemlerinde kullanılan değiştirgelerin önem sıraları ortaya konulmuştur. Ayak arkasında kullanılan önemli değiştirgelerin ortaya çıkartılmasıyla bu çalışmada önerilen göçebilirlik sınıflamasında kullanılan değiştirgeler belirlenmiştir.

3.1 Bilinski ve Konopko Yaklaşımı

Ayak arkasının göçebilirliği konusunda yapılmış önemli çalışmalardan ilki Bilinski ve Konopko Yaklaşımı'dır. 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 1).

$$L_c = 0,321 \times \sigma_c^{1.7} \times (K_1 \times K_2 \times K_3) \quad (1)$$

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 2)

Tavan indeks puanı L_c 'nin belirlenmesiyle Çizelge 3'e göre tavan göçebilirliği bu yaklaşıma göre belirlenir.

Çizelge 2 K_1 , K_2 ve K_3 Çarpanlarının Çeşitli Kayaçlar İçin Aldıkları Değerler (Unrug 1983).

Litoloji	K_1	K_2	K_3
Kiltaşı	0,50	0,60	0,50
Silttaşı	0,42	0,60	0,50
Kumtaşı	0,33	0,70	0,60

Çizelge 3 Tavan Endeks 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 silttaşı, su içeren bol çatlaklı ayrılmış tavan	Küçük bloklar halinde kendiliğinden göçme	1	1 - 1,5
II	18 - 35	Kırıklı, parçalı silttaşı, kilttaşı, su içeren zayıf tavan taşları	Kolay	1 - 2	1,5 - 2
II	35 - 60	Silttaşı, çamurtaşı, orta dayanımlı kumtaşı ve marn	Orta	2 - 5	2 - 3
IV	60 - 130	Sert silttaşı, çamurtaşı, orta dayanımlı kumtaşı, konglomera	Zor	5 - 8	3 - 4
V _a	130 - 250	İnce taneli kumtaşı, pekleşmiş konglomera, sağlam kireçtaşı	Patlatma ile göçertilir.	8	> 4
V _b	> 250				

* Yalancı tavanın tahkimatsız durabilme alanı

Açıklamalar

** Göçmenin başlayacağı yaklaşık mesafe (1 have \approx 0,5 - 2 m)

3.2 Singh ve Singh Yaklaşımı

Singh ve Singh., 1988'den beri uygulanan Hindistan kömür madeni uzunayaklarında yürüttükleri çalışmalar sonucu tavan tabakalarını göçebilirlik açısından sınıflamışlardır (Çizelge 4). Araştırmacıların önerdikleri tavanın göçebilirlik endeks 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 2).

$$I_h = 0,2 \times \sigma_{ci} \times F_1^g \times h_b^{0,5} \quad (2)$$

Burada I_h tavan tabakasının göçebilirlik endeks puanı, σ_{ci} tavan tabakasının tek eksenli basınç dayanımı (MPa), F_1 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.

Ortalama karot parça boyu (FI) ise Bikermann ve Mahtab (1986) tarafından önerilen eşitlikler yardımı ile belirlenmektedir (Bkz. Eşitlik 3)

$$F_1 = e^{3,75+0,015(RQD)} \quad (3)$$

Eşitlik 3'teki FI değerinin birimi mm ve RQD % cinsindedir.

Çizelge 4 Göçebilirlik İndeks Puanına Göre Tavan Göçebilirlik Sınıflaması (Singh ve Singh 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

3.3 Mark ve Molinda Yaklaşımı

Mark ve Molinda (1993), ABD kömür madenlerinde yaptıkları çalışmalarda tavan tabakalarının jeolojik ve mühendislik özelliklerini kullanarak tavan tabakalarını sınıflamışlardır (Coal Mine Roof Rating; CMRR). Tavan tabakalarının duraylılığının sayısal bir ölçüsü olarak geliştirilen tavan puanlama sistemi, madencilik uygulamalarında kendine önemli ölçüde yer bulmuştur (Forgeron vd. 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 değiştirgelere ait puanlamalar sonucu Mark ve Molinda (2004) tavan tabakalarını duraylılık açısından sınıflandırılmıştır (Çizelge 5). Sınıflandırmada kullanılan değiştirgerelere ait puanlama ve detaylara Mark ve Molinda (2004)'ten ulaşılabilir.

Çizelge 5 Kömür Madenciliğinde Tavan Puanı Sınıflaması (Mark ve Molinda 2004).

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

3.4 Laubscher Yaklaşımı

Laubscher (1990), RMR89 sınıflama sistemini tavan tabakalarının geçebilirliği açısından kullanarak bir tavan geçebilirlik sınıflaması önermiştir.

Beş farklı RMR sınıfı için önerilen sınıflamada çatlaklı bölge çapı ve çatlaklılık karakteristikleri ve tavan tabakalarının geçebilirlik durumları ifade edilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6 Laubscher Tavan Geçebilirliği 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
Geçebilirlik	Çok Zor	Zor	Orta	Kolay	Çok Kolay
Ayak Arkası Kırılma Mesafesi, l_m (m)	20-3	9-1,5	5-0,4	2-0,1	≤0,3

3.5 Çin Tavan Sınıflaması

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 D olmak üzere, ana tavan ise I., II., III, ve IV. tip olmak üzere gruplara ayrılmaktadır. Yalancı tavan sınıflamasında dayanım endeks puanı (D_c) göz önünde bulundurulmakta ve bu puan Eşitlik 4 ile belirlenmektedir.

$$D_c = \sigma_{ci} \times c_1 \times c_2 \quad (4)$$

Burada σ_{ci} kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı (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 (Jim) bir fonksiyonu ve c_2 çarpanı ise yalancı tavan kalınlığının (hb) bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Buna göre c_1 ve c_2 çarpanının değerleri farklı jeolojik koşullara göre Çizelge 7'deki gibidir.

Çizelge 7 Yalancı Tavanın Ortalama Çatlak Aralığı (J_{im}) ve Ortalama Tavan Tabaka Kalınlığına (h_b) Göre c_1 ve c_2 Katsayıları (Hongzhu, 1996).

J_{im} (m)	c_1	h_b (m)	c_2
0,1	0,30	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	0,30
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	0,50	1,0	0,38
1,1	0,52	1,1	0,39
1,2	0,55	1,2	0,41

Dayanım indeksi puanına göre yalancı tavan dört gruba ayrılmaktadır. Tavan duraylılığı, göçebilirlik, tavan davranışı ve yalancı tavanın kırılma mesafesi gibi değişkenler hakkında dayanım indeksi puanı önemli bilgiler vermektedir (Çizelge 8).

Çizelge 8 Dayanım İndeks Puanına Göre Yalancı Tavanın Sınıflandırılması (Hongzhu 1996).

Tavan Tipi	A	B	C	D
Tavan Duraylılığı	Duraysız	Yarı Duraylı	Duraylı	Aşırı Duraylı
Tavan Endeks Puanı, D_e	≤ 3	3,1-7	7,1-12	> 12
Yalancı Tavan Kırılma Mesafesi, l_m (m)	≤ 8	9-18	19-25	> 25
Göçebilirlik	Kolay	Orta	Zor	Çok Zor

Çizelge 9 Venkateswarlu et al. Tavan Sınıflaması (Venkateswarlu et al. 1989'dan düzenlenerek).

1) Tavan Dayanımı		2) Tavan Tabaka Kalınlığı		
σ_{ci} (MPa)	Puan Aralığı	Ortalama Tabaka Kalınlığı, h_b (cm)	Puan Aralığı	
>10	0-2	$<2,5$	0-5	
10-30	2-6	2,5-7,5	5-12	
30-60	6-10	7,5-20	12-19	
60-90	10-13	20-50	19-25	
>90	13-15	>50	25-30	
3) Tavanın Yapısal Durumu		4) Tavan Tabakasının Ayrışma-Bozunma Durumu		
Yapısal Özellik	Puan Aralığı	Ayrışma-Bozunma Duyarlılığı	I_{d1} (%)	Puan Aralığı
Faylı ve bol kıvrımlı bölgeler	0-4	Çok Duyarlı	<60	0-3
Kayma zonları içeren bölgeler	4-10	Duyarlı	60-85	3-8
Bol eklemlili bölgeler	10-16	Orta Duyarlıkta	85-97	8-13
Az eklemlili bölgeler	16-21	Düşük Duyarlıkta	97-99	13-17
Sorunsuz bölgeler	21-25	Çok Düşük Duyarlıkta	99-100	17-20
5) Tavan Su Geliri		6) Tavan Göçebilirlik Sınıflaması		
Yeraltı Su Durumu	Puan Aralığı	Tavan Sınıflama Puanı	Tavan Sınıfı	Tavan Göçebilirliği
Kuru	10-9	0-20	V	Çok Kolay
Nemli	9-7	20-40	IV	Kolay
Sızıntı	7-4	40-60	III	Orta
Damlama	4-1	60-80	II	Zor
Akma	1-0	80-100	I	Çok Zor

Çizelge 10 Das Tavan Duraylılığı Sınıflaması, (Das 2000'den düzenlenerek).

1) Tavan Dayanımı		2) Kaya Kalite Göstergesi, RQD		
σ_{ci} (MPa)	Puan Aralığı	RQD (%)	Puan Aralığı	
0-10	0-3	0-30	0-6	
10-20	3-6	30-40	6-8	
20-30	6-9	40-50	8-11	
30-50	9-15	50-70	11-16	
50-80	15-24	70-85	16-21	
>80	24-25	85-100	21-25	
3) Tavan Litolojisi		4) Tavan Yapısal Durumu		
Litoloji	Puan Aralığı	Yapısal Durum	Puan Aralığı	
Zayıf şeyl, bol çatlaklı kumtaşı, kumtaşı-şeyl ardalanması	0-3	Faylı bölgeler	0-3	
Kumlu şeyl, çatlaklı kumtaşı, kumtaşı-kiltaşı-şeyl ardalanması	3-5	Arakesme kalınlığı 0,1m'den fazla, orta sıklıkta süreksizlikler içeren tavanlar	3-7	
Zayıf kumtaşı, yakın aralıklı süreksizlikler içeren tavan tabakaları	5-7	Az çatlaklı ve ara kesme kalınlığı 0,3m'den fazla olan tavanlar	7-8	
Sert şeyl, orta dayanımlı kumtaşı	7-9	Nadiren çatlak içeren tavanlarda arakesme kalınlığı 0,4m'den fazla tavanlar	8-9	
Sert kumtaşı, ince taneli kumtaşı, kalın tabakalı kumlu şeyl	9-10	Çatlaksız ve katı tavan	9-10	
5) Tavan Su Geliri		6) Tabaka Kalınlığı		
Yeraltı Su Durumu	Puan Aralığı	Tabaka Kalınlığı	h_b (m)	Puan Aralığı
Kuru	9-10	Çok kalın	>4	20-19
Nemli-Kuru	9-8	Kalın	4-3	19-16
Islak	8-7	Orta	3-2	16-11
Sızıntı	7-6	İnce	2-1	11-5
Damlama	6-4	Çok ince	1-0,35	5-2
Akma	4-0	Laminalı	0,35-0	2-0

Çizelge 11 Das Tavan Göçebilirlik Sınıflaması (Das 2000'den düzenlenerek).

Tavan Göçebilirlik Sınıflaması						
Göçebilirlik Puanı	0-20	20-36	36-52	52-72	72-93	93-100
Tavan Göçebilirliği	Çok Kolay	Kolay	Orta-Kolay	Orta	Zor	Çok Zor
Tavan Göçme Açısı, θ_c (°)	90-85	85-75	75-65	65-50	50-35	>35
Askıda Kalan Yalancı Tavan Uzunluğu (m)	0	0-0,5	0,5-1,5	1,5-3	3,-6	>6
Uygun İşletme Yöntemi	Göçertmeli	Göçertmeli	Göçertmeli	Göçertmeli, yer yer kontrollü patlatma göçertme	Kontrollü patlatma ile göçertme ve/veya dolgulu	Dolgulu

3.6 Venkateswarlu Tavan Sınıflaması

Venkateswarlu vd. (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 Çizelge 9'da verilmektedir.

3.7 Das Tavan Sınıflaması

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 aralanması ve kıltaşı olarak tanımlayan araştırmacı, geliştirdiği tavan sınıflamasında bu kayaçların jeomekanik özelliklerini dikkate almıştır. Sınıflama sistemi altı farklı değiştirgeden oluşmaktadır. Bunlar; tavan dayanımı, tavanın kaya kalite göstergesi (RQD, %), tavan litolojisi, tavan çatlaklılık durumu, tavadaki su geliri ile ortalama tabaka kalınlığı olarak sıralanabilir (Çizelge 10). Das tavan sınıflama sistemine göre tavan göçebilirliği ise Çizelge 11'e göre yapılıdır.

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.

Buna göre, yukarıda ifade edilen araştırmacılara göre tavan ve göçebilirlik sınıflamalarında en çok kullanılan değiştirgeler Şekil 4'te verilmektedir. 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 4'ten anlaşılmaktadır. Şekil 4'te sunulan çizelgenin

son satırında, ise bu çalışma ile ortaya koyulan göçebilirlik sınıflamasına ait değiştirgeler gösterilmiştir. Şekil 4'te ifade edilen değiştirler incelendiğinde, 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. Kömür üretimine ilişkin bu önemli hususlar Zonguldak Taşkömürü Havzası için oldukça önemli olduğundan önerilen sınıflama sistemine dahil edilmiştir.

4. TAVAN GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMASININ GELİŞTİRİLMESİ

Göçebilirlik sınıflamasının geliştirilmesinde, Şekil 4'te verilen tavan göçebilirlik sınıflamalarında kullanılan değiştirgeler incelenmiş ayrıca havza için önemli olan koşullar (damar eğimi, üretim derinliği, tahkimat tasarımı vb.) da sınıflama sistemine dahil edilmiştir.

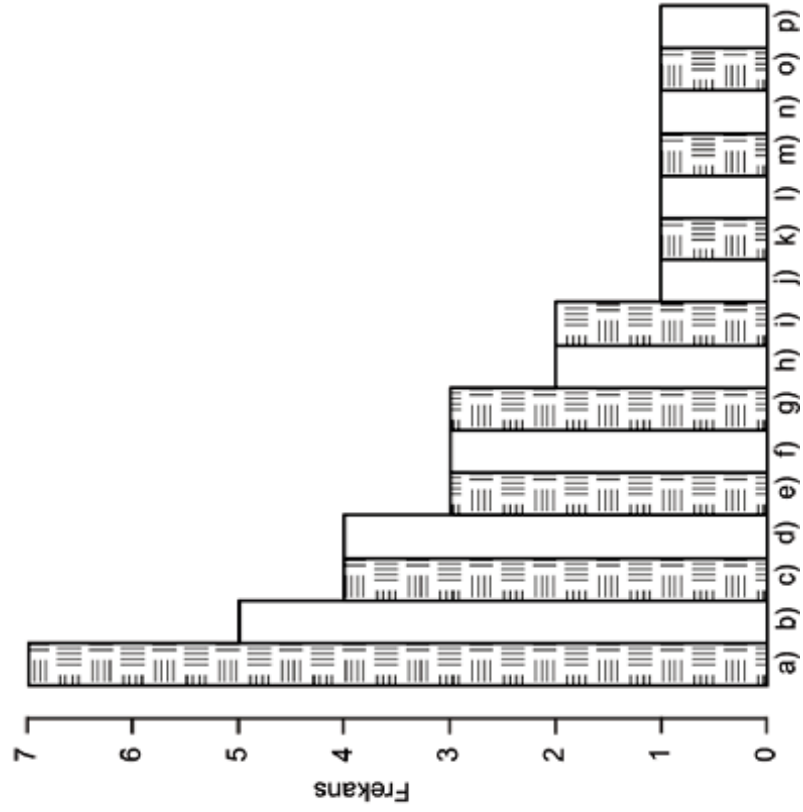
Arazi çalışmaları sonucunda ayak arkasının göçebilirliğinde en önemli değiştirgenin tavan tabakalarının içerdii süreksizlikler olduğu görülmüştür.

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.

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 tabakanması ise, ayak arkasının göçmesini ve göçme davranışını doğrudan etkilemesi sebebiyle önemlidir. Daha açık bir ifade ile, farklı kalınlığa sahip tavan tabakalarının sıralanması da ayak arkasının göçmesinde önemli bir parametredir. Tavan tabakalanmasının az olduğu, başka bir deyişle; ince tabakalı tortul kayaçların olduğu tavanlarda göçebilirlik, tabaka ayrılmaları, küçük bloklı kaya kütlelerinin kısa aralıklarla kırılması

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



AÇIKLAMALAR

- 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) Tahkimat Tasarımı
- o) Yalancı Tavan Kalınlığı
- p) Zaman Etkisi

Şekil 4 Tavan ve göçebilirlik sınıflamalarında kullanılan değişkenlerin dağılımı ve genel değerlendirilmesi.

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 değiştirge 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 değiştirge 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 olacağıdır. 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 dağılmaya karşı dayanım deneyleri ile belirlenmektedir. Suda dağılma deneyinde dördüncü çevrime karşılık gelen suya karşı dağılma indeksi değeri (I_{d4}) kayacın suya olan hassasiyeti ile ilgili bölümde tanımlanmış ve buna göre puanlandırılmıştır.

Sınıflama sisteminde yukarıda ifade edilen dört ana değiştirge 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 geçerken 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 ve düzeltme işlemlerinin beraber kullanılmasıyla bir tavan göçebilirlik puanı elde edilir. Önerilen göçebilirlik sınıflaması Çizelge 12 ile, ceza puanları ve ceza çarpanı ise Çizelge 13'te detayları ile verilmiştir. Çizelge 12 ve Çizelge 13'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 şerit metre kullanılarak genelde arına dik, mümkün olan yerlerde ise arına paralel olarak yapılmalıdır. Süreksizlik devamlılığı da aynı şekilde şerit metre yardımı ile özellikle arına paralel; arına paralel ölçümlerin alınamadığı 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 kütle sine sürtülürken, kalemin ucu kağıda sürek-

sizliklerin profilini çıkartmaktadır. Çıkartılan profil Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen abakta 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.

- iii. Tavan su geliri ayak dibindeki gözlemlere dayanmalıdır ve sınıflama sisteminde %5 (en fazla 5 puan) etkilidir. Kayaçların suya olan hassasiyeti ise laboratuvarda suda dağılma deneyleri ile belirlenmelidir. Suda dağılma deneyinde dördüncü çevrime karşılık gelen değer belirlenerek bir puanlama yapılmalıdır. Suya karşı duyarlık 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 ve üretim yeraltı topoğrafı tarafından belirlenmelidir. Belirlenen değerlere göre ceza puanları Çizelge 13'e göre puanlandırılır
- vi. Tahkimat tasarımına ilişkin ceza çarpanı ise arazi gözlem ve incelemelerine dayanmaktadır. 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.
- vii. Yukarıda ifade edilen önemli noktalar ışığında, Çizelge 11 kullanılarak temel bir tavan göçebilirlik puanı (TGP) elde edilir. Daha sonra Çizelge 12'de ifade edilen ceza puanı (CP) ve Ceza Çarpanı (CÇ) gibi düzeltme-

Çizelge 12 Zonguldak Taş Kömürü Havzası uzunayakları geliştirilmiş tavan göçebilirlik sınıflaması.

YALANCI TAVANIN DAYANIMI (% 20)		Tanımlama	Çok Sağlam	Sağlam	Orta Sağlamlıkta	Zayıf	Çok Zayıf
		σ_{ci} (MPa)	> 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	< 5
		$I_{s(50)}$ (MPa)	> 4	4 - 2	2 - 1	Tek eksenli basınç dayanımına bakın	
		Puan	20-15	15 - 10	10-5	5 - 3	3 - 1
YALANCI TAVANIN SÜREKSİZLİK ÖZELLİKLERİ (% 40)	Aralık (% 10)	Tanımlama	Çok Geniş Aralıklı	Geniş Aralıklı	Orta Aralıklı	Yakın Aralıklı	Dar Aralıklı
		Süreksizlik Aralığı (S)	S > 2 m	2 m ≥ S > 0,6 m	0,6 m ≥ S > 0,2 m	0,2 m ≥ S > 0,06 m	S ≤ 0,06 m
		Puan	10 - 9	8 - 7	6 - 5	4 - 3	2 - 1
	Devamlılık (% 10)	Tanımlama	Çok Kısa	Kısa	Orta	Uzun	Çok Uzun
		Süreksizlik İzi Uzunluğu (L)	L < 0,3 m	0,3 m ≤ L < 1 m	1 m ≤ L < 3 m	3 m ≤ L < 10 m	L ≥ 10 m
		Puan (*)	10 - 9	8 - 7	6 - 5	4 - 3	2 - 1
	Pürüzlülük (% 5)	Tanımlama	Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düzlemsel	Kaygan
		JRC (Barton & Choubey, (1977))	20 - 14	14 - 10	10 - 6	6 - 2	2 - 0
		Puan	5	4	3	2	1
	Dolgu (% 5)	Tanımlama	Dolgusuz	Katı Dolgu		Yumuşak Dolgu	
Puan		5	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm	
Bozunma (% 10)	Tanımlama	Bozunmamış (I)	Hafifçe Bozunmuş (II)	Ortada Derecede Bozunmuş (III)	İleri Derecede Bozunmuş (IV)	Tamamen Bozunmuş (V)	
	Singh & Gahrooe (1989)	$W_d \leq 1,2$			$1,2 < W_d < 2$		
	Puan	10 - 9	8 - 7	6 - 5	4 - 3	2 - 1	
SUYUN ETKİSİ (% 10)	Tavandan Su Geliri (% 5)	Tanımlama	Kuru	Nemli	Islak	Damlama	Akma
		Ayak Dibindeki Su Geliri	Yok	< 10 litre/dak	10 - 25 litre/dak	25 - 125 litre/dak	> 125 litre/dak
		Puan	5	4	3	2	1
	Suya Karşı Duyarlık (% 5)	Suda Dağılma Day. (I_{60})	≥ % 98	% 98 - 95	% 94 - 90	% 89 - 70	< % 70
Tipik Kayaç		Kumtaşı	Silttaşı	Şeyl	Konglomera	Kilttaşı	
	Puan	5	4	3	2	1	
DAMAR-TAVAN ÖZELLİKLERİ (% 30)	Kömür Damanı (% 10)	Tanımlama	Çok İnce	İnce	Orta	Kalın	Çok Kalın
		Damar Kalınlığı (H)	< 1 m	1 ≤ H < 2 m	2 ≤ H < 3 m	3 ≤ H < 4 m	H ≥ 4 m
		Puan	10 - 9	8 - 7	6 - 5	4 - 3	2 - 1
	Yalancı Tavan Tabakalaşması (% 20)	Tanımlama	Çok Kalın Tabakalı	Kalın Tabakalı	Orta Tabakalı	İnce Tabakalı	Laminalı
Tabakalaşma Kalınlığı (Nichols, 2009)		> 100 cm	100 - 30 cm	30 - 10 cm	10 - 1 cm	< 1 cm	
	Puan	20	19 - 15	14 - 10	10 - 5	4 - 1	

(*) Anna paralel konumdaki süreksizlikler için puanın yarısı alınır.

Çizelge 13 Göçebilirlik Sınıflaması Ceza Puanları ve Ceza Çarpanı.

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

(*)Tanımlama

3a) Tahkimat doğru kurulmakta ve sökülmemekte

- Taban temizlenmiş ve damın kurulacağı yerde taban kömürü alınmış
- Taban olabildiğince düzeltilmiş
- Damlar uygun şekilde kurulmuş ve sıkılanmış
- Damın her iki yanına da birer adet uygun çatal direk dikilerek tavanın göçmesi kolaylaştırılmış
- Damların sökülmesi esnasında göçük bölgesinde herhangi bir tahkimat elemanı kalmamış

3b) Tahkimatın kurulmasında ve/veya sökülmesinde sorunlar var

- Kalın damarlarda tahkimat doğru kurulmamış ve sıkılanmamış
- Domuzdamının havesinde çatal direkler konulmamış
- Domuzdamı tam anlamıyla sökülmemiş ve dam duraylılığını yitirmemiş
- Eğimi yüksek ve kalın damarlarda damın katılığı azalmış
- Taban kömürünün fazlalığı sebebiyle, tahkimat tabana kısmen batmış
- Damlar kurulurken sıkılama takozu veya hidrolik yastık kullanılmamış

3c) Göçükte çatal direk ve domuzdamı bırakılmakta

- Faylı, tavantaşının kısmen değiştiği ve kayma zonlarının olduğu bölgelerde büyük bloklar domuzdamı üzerine oturmuş
- Ayak arkasının kesilmesi geçitli sebeplerle (hatalı uygulamalar, eksik ekipmanlar vb.) mümkün olmamış
- Göçmekte olan küçük tavan blokları kenetlenmiş ve tahkimat üniteleri tavan blokları tarafından kilitlenmiş
- Ana tavan yalancı tavan üzerine oturmuş
- Hatalı kurulan domuzdamı tavan yükleri tarafından eğilmiş

Çizelge 14 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 göçme ve tabaka ayrılmaları şeklinde	4 - 8
IV	60 - 70	Zor	Periyodik kırılma	8 - 13
V	> 70	Çok Zor	Göçme çoğu kez kendiliğinden gerçekleşmez, kontrollü delme-patlatma gerekebilir.	> 13

ler ile düzeltilmiş göçebilirlik puanı (DGB) hesaplanır. Çizelge 12 ve Çizelge 13'ü bir bağıntı şeklinde göstermek gerekirse, aşağıdaki görgül bağıntı kullanılarak düzeltilmiş göçebilirlik puanı hesaplanabilir.

$$D_{GP} = (T_{GB} - C_P) \times C_C \quad (5)$$

Eşitlik 5 ile elde edilen düzeltilmiş göçebilirlik puanı Çizelge 13'te yerine konarak ayağın göçebilirlik durumu ortaya konmaktadır.

Ayrıca elde edilen düzeltilmiş göçebilirlik puanı ile ayak arkasının tahmini kırılma mesafesi, göçme davranışı gibi önemli hususlar hakkında kestirimler Çizelge 14'te yer almaktadır.

5. GÖÇEBİLİRLİK SINIFLAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 4'te farklı araştırmacılar tarafından önerilen göçebilirlik sınıflamaları ile bu çalışmada önerilen göçebilirlik sınıflaması, Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda yer alan ve Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK)'ya ait 6 adet uzunayağa uygulanmıştır. 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 15'te bu karşılaştırmaya yer verilmiştir. Çizelge 15'e göre önerilen göçebilirlik sınıflama sistemlerinin diğer sistemler ile çoğunlukla uyum içinde olduğu görülmektedir.

Sınıflama sistemleri arasında önerilen sınıflama sistemi ile önemli ölçüde uyuşan sınıflama sis-

temleri; Mark ve Molinda (2003), Das (2000), Laubscher (1990) ve Hongzhu (1996) yaklaşımlarıdır. Bunun dışında önerilen sınıflama sistemi ile diğer sınıflama sistemleri arasında da genel bir uyum olmakla birlikte farklı yorumlamalar da görülmektedir. Buna en belirgin örnek Üzülmmez 4. Ocak Sulu ayaktır. Üzülmmez 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 4).

Sınıflama sistemlerinin karşılaştırılmasında değinilmesi gereken bir diğer husus ise, bu çalışmada kullanılan ve tabaka kontrolünde yaygın olarak atıf alan tavan göçebilirlik sınıflamalarının çoğunlukla duraylı yalancı tavanları daha iyi tanımladığı, buna karşın yarı duraylı ve duraysız yalancı tavanların göçebilirlikleri konusunda farklı sonuçlar verdiği gerçeğidir. Bu tespit ışığında, tavan göçebilirlik sınıflama sistemlerinin geliştirilmesinde duraylı yalancı tavanlardan veri almanın diğer tavan koşullarına göre daha kolay olması, duraylı yalancı tavan hareketlerinin ve göçebilirlik mekanizmalarının diğerlerine göre daha sade ve anlaşılır oluşu bu tip tavanların daha sağlıklı analiz edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Çizelge 15 bu savı doğrusu destekler niteliktedir.

Bu çalışmada önerilen sınıflama sisteminin diğer sınıflama sistemlerinden ayıran en belirgin özellik, tahkimat ünitelerinin kurulma ve sökülme işlemlerinin ilk kez bir sınıflama sisteme dahil edilmesidir. Teknolojinin gelişmesi ile ahşap tah-

Çizelge 15 Göçebilirlik Sınıflamalarının 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)	Bu Çalışma (2013)
TTK Üzülmöz / 1. Kartiye / Çay	177	74	74	77	13	88	7710	62
TTK Üzülmöz / 2. Kartiye / Piriç (Silttaşı)	54	46	35	41	4	54	2097	42
TTK Üzülmöz / 2. Kartiye / Piriç (Konglomera)	71	60	48	59	6	65	3191	56
TTK Üzülmöz / 3. Kartiye / Çay Piçi	254	72	77	75	17	86	25192	76
TTK Üzülmöz / 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)	Bu Çalışma (2013)
TTK Üzülmöz / 1. Kartiye / Çay	Çok Zor	Zor	Çok Zor	Zor	Çok Zor	Çok Zor	Zor	Zor
TTK Üzülmöz / 2. Kartiye / Piriç (Silttaşı)	Orta	Orta	Kolay	Orta-Kolay	Orta	Orta	Orta	Kolay
TTK Üzülmöz / 2. Kartiye / Piriç (Konglomera)	Zor	Orta	Orta	Orta	Orta	Zor	Orta	Orta
TTK Üzülmöz / 3. Kartiye / Çay Piçi	Çok Zor	Zor	Çok Zor	Zor	Çok Zor	Çok Zor	Çok Zor	Çok Zor
TTK Üzülmöz / 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

kimat ile çalışan ayakların giderek azaldığı günümüzde, üretime jeolojik sorunlar ve özel havza koşulları sebepleriyle zorunlu olarak ahşap tahkimat ile devam edilen Zonguldak Taşkömürü Havzası uzunayaklarının göçebilirliği konusunda yapılmış bu çalışma ile, yarı duraylı ve duraysız olarak tanımlanan yalancı tavanların (Özellikle Üzülmöz 4. Kartiye Sulu Ayak ve Üzülmöz 2. Kartiye Piriç Ayağın) göçebilirlik durumlarının diğer sınıflama sistemlerine göre daha iyi açıklayabildiği gerek sahada çalışan mühendislerin geri bildirimleri gerekse Çizelge 15'teki değerlerin karşılaştırılması ile ortaya konmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, uzunayak madenciliğinde ayak arkasının göçebilirliği konusunda yer alan önemli tanımlamalar (ayak arkasının kırılmasında etkili olan değişirgeler, literatürde yer alan tavan ve göçebilirlik sınıflandırmaları vb.) özetlenmiş, 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 uzuna-

yakları için bir tavan göçebilirliği sınıflaması önerilmiştir. Önerilen sınıflama sistemi daha önceki sınıflama sistemleri ile karşılaştırılmış ve sınıflama sisteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilebilecek önemli sonuçlar ve öneriler ise aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 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. 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.
- iii. Bu çalışma ile 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 değiş-tirgelerin (üretim derinliği, damar eğimi ve tahkimat tasarımı) sınıflama sisteminde yer alıyor olması ile açıklanabilir.
- iv. Önerilen sınıflama sisteminin diğer sınıflama sistemlerinden olan üstünlüğü, yarı-duraylı ve duraysız yalancı tavanların göçebilirlik durumlarının önerilen sınıflama sistemi ile daha iyi ifade edilmesidir. Buna karşın sınıflama sisteminin eksik yönleri de vardır. Ayak arkasının göçmemesi ile ayakiçi tahkimat ünitelerinin yüklenmesi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Ayrıca ayna kesmesi ile ilgili risklerin önerilen sınıflama sistemine dahil edilmesi gerekmektedir. Zira zor göçen tavan koşullarında ayna kesmesi ciddi bir risk oluşturmaktadır.
- v. 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.

TEŞEKKÜR

Yapılan çalışmalarda öneri ve yardımları için Bülent Ecevit Üniversitesi Öğretim Üyeleri Sayın Prof. Dr. Hasan GERÇEK, Prof. Dr. Tuğrul ÜNLÜ, Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN ve Selçuk Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. İhsan ÖZKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKLAR

Barton N and Choubey V (1977) The Shear Strength of Rock and Rock Joints, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Abst., 13: 255-279.

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), Przegląd 6: 241-244.

Bilinski A and Konopko W (1974) A Method of Choice of Support in Longwall Workings Mined with Caving, Central Min. Inst.,

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.

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. Annual Report, Katowice.

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.

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.

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.

Jeremic M L (1985) Strata Mechanics in Coal Mining, A.A. Balkema, 564.

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.

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.

Nichols G (2009) Sedimentology and Stratigraphy, John Wiley&Sons, 419.

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 R N and Gahrooee 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.

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.

Venkateswarlu V, Ghose AK and Raju N M (1989) Rock Mass Classification for Design of Roof Supports – A Statistical Evaluation Of Parameters, Min. Sci. And Tech., 97-107.

Whittaker B N and Breed C D (1977) The Influence of Surface Geology on the Character of Mining Subsidence, 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.