

## UZUNAYAK MADENCİLİĞİNDE ANA TAVAN YÜKLEMESİNİN YALANCI TAVAN KIRILMA MESAFESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

### *Investigation of the Effects of Main Roof Loading on the Breaking Distance of the Immediate Roof in Longwall Mining*

Ekin KÖKEN\*  
Ahmet ÖZARSLAN\*\*

#### ÖZET

Uzunayak madenciliğinde yalancı tavan göçertilmesinin etkin bir tabaka kontrolünün sağlanması açısından önemli olduğu bilinmektedir. Tavan tabakalarının jeomekanik özelliklerinden etkilenen yalancı tavan kırılmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husus ise ana tavan yüklemesidir. Ana tavanın nasıl ve hangi oranda yalancı tavan üzerine etkidiği tam olarak ortaya konulamamaktadır. Bu çalışmada yalancı tavan kırılma mesafesinin kestirilmesini amaçlayan önemli yaklaşımlar özetlenmiştir. Yalancı tavan üzerine farklı kalınlıkta ve üçgen yayılı yükleme koşullarında etkiyen ana tavanın yalancı tavanın kırılma mesafesi üzerine etkisi elastik kiriş teorisine göre incelenmiştir. Kiriş teorisi kullanılarak gerçekleştirilen parametrik analizlerden elde edilen sonuçlar Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda yer alan altı adet uzunayaktan elde edilen ayak arkası kırılma mesafesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ana tavan yüklemesinin yalancı tavanın kırılma mesafesi üzerine önemli etkileri olduğu görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Uzunayak, Ana Tavan Yükleme, Tabaka Kontrolü, Yalancı Tavanın Kırılma Mesafesi

#### ABSTRACT

As known from the previous studies that the cavability of immediate roof is important to maintain an effective strata control. The other issue should be paid attention in breaking of immediate roof affected by geomechanical properties of roof strata, is the main roof loading. It is not accurately revealed how and to what extent main roof acts on the immediate roof. Important approximations aiming to estimate the breaking distance of immediate roof are summarized in this study. The effect of main roof acting upon the immediate roof with different thickness and triangular distributed loading conditions is investigated according to elastic beam theory. The results obtained from parametrical analysis using beam theory are compared to the breaking distance values of six longwalls located in Zonguldak Hard coal Basin. In conclusion, significant effects of main roof loading are seen for the breaking distance of immediate roof.

**Keywords:** Longwall, Main Roof Loading, Strata Control, Breaking Distance of Immediate Roof

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

## GİRİŞ

Ayak arkasının göçebilirliği konusunda yapılan çalışmalarda geniş bir yer tutan ayak arkasının kırılma mesafesinin kestirimi, üretim hızını etkilemesi ve etkin bir tabaka kontrolünün sağlanması açısından oldukça önemlidir. Ayak arkasının ilk kırılma mesafesi, teorik olarak iki mesnetli bir giriş şeklinde düşünülmüş ve çeşitli araştırmacılar tarafından fiziksel ve sayısal olarak modellenmiştir (Bilinski ve Konopko 1973, Peng 1986, Majumdar 1986, Hongzhu 1996, Hongzhu ve Ramayya 1996, Manteghi vd. 2012, Hosseini vd. 2013).

Ayak arkası kırılma şekli, mesafesi ve söz konusu göçme olayının anlaşılması için yapılan araştırma yöntemlerinden bir diğeri ise fiziksel modelleme tekniğidir. Jacobi (1981), Jeremic (1985) ile Singh ve Singh (1999) uzunayaktaki göçme mekanizmasının anlaşılması için ölçekli uzunayak modelleri oluşturarak farklı yükleme koşulları altında göçme olayını kavramsal olarak açıklamaya çalışmıştır.

### 1. AYAK ARKASI KIRILMASINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen, fiziksel ve sayısal modeller ile literatürde yer alan tavan göçebilirlik sınıflamaları ışığında ayak arkasının kırılmasında etkili en önemli değişirgeler aşağıdaki gibi listelenebilir (Bilinski ve Konopko 1973, Ghose 1976, Venkateswarlu vd. 1989, Laubscher 1990, Hongzhu 1996, Singh ve Singh 1999, Das 2000, Mark ve Molinda 2003, Lawrence 2009, Köken 2014).

- i. Yalancı tavan kalınlığı ( $h_{im}$ )
- ii. Yalancı tavanın dayanım özellikleri (Eğilme veya çekme dayanımı)
- iii. Yalancı tavanın içerdiği süreksizliklerin konumu (Arın düşey eksenine paralel, dik veya herhangi bir açı ile kesmesi)
- iv. Yalancı tavan süreksizliklerin jeoteknik özellikleri (Süreksizlik açıklığı, aralığı, devamlılığı, pürüzlülüğü, ayrışma-bozunma durumu vb.)
- v. Yalancı tavanın katılığı (Yalancı tavan katılığı, tahkimat ünitelerinin kapladığı yüzey alanı ve kaya kütlesi deformasyon modülü yardımı ile tespit edilir)
- vi. Yalancı tavan litolojisi

vii. Yeraltı suyunun etkisi

viii. Ayak içi tahkimat elemanlarının doğru kurulum sokülmesi

### 1.1. Yalancı Tavan Kalınlığını Belirleme Yöntemleri

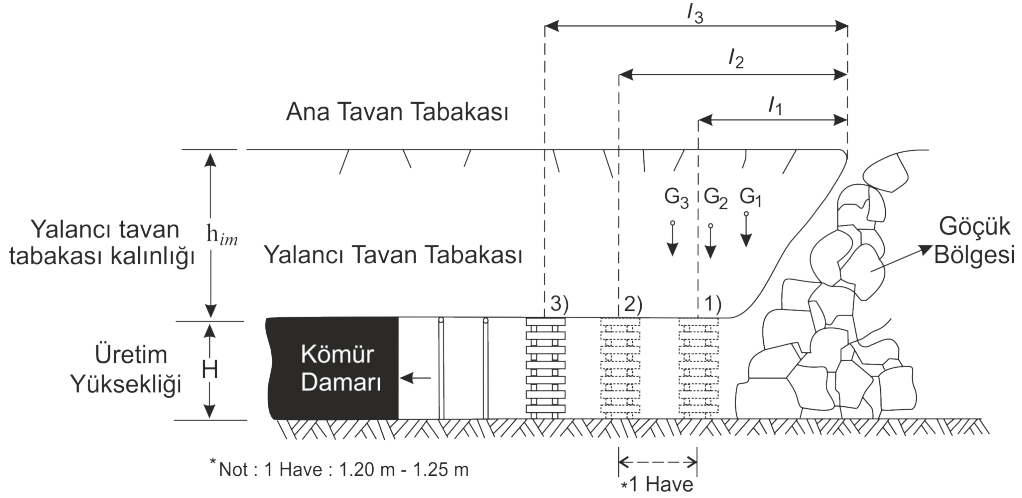
Ayak arkasının kırılması konusunda önemli bir büyüklük olan yalancı tavan tabakasının kalınlığı ve buna bağlı olarak meydana gelen tavan yükleri, doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı şekilde belirlenmektedir. Doğrudan yöntem, uzunayakta, domuzdamı, ahşap ve/veya hidrolik direkler altında yerleştirilen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

Dolaylı yöntemler ile tavan yükleri ve yalancı tavan kalınlığının belirlenmesi ise, arazi ölçümleri ve önceki çalışmalardan elde edilen değerlerin birleştirilmesi sonucu geliştirilen görgül bağıntılar yardımı ile yapılmaktadır (Whittaker ve Jeremic 1979, Unrug 1983, Everling 1985, Zhou 1991, Ünal 1995).

### 1.2. Yalancı Tavanın Dayanımı

Ayak arkasının kırılması özetle ayak ilerlemesine bağlı olarak yalancı tavanın eğilerek kırılması şeklindedir. Ayak ilerledikçe askıda kalan, başka bir ifade ile göçmeyen giriş şeklindeki tavan bloğunun hacmi artmakta ve arın ilerleme yönüne doğru ( $I_1$ ,  $I_2$  ve  $I_3$  mesafelerine doğru) giriş şeklindeki tavan bloğunun ağırlık merkezi sırasıyla  $G_1$ ,  $G_2$  ve  $G_3$  noktalarına ötelenmektedir (Şekil 1). Söz konusu ötelenme arın ilerlemesine kıyasla oldukça yavaş gerçekleştiğinden, askıda kalan kaya bloğunun ağırlık merkezi domuzdamının düşey ekseninden ayrılmaktadır. Böylece tavan bloğunda deformasyon ve eğilmeler artarak, tavan bloğu statik koşullar altında çekme yenilmesi ile kırılmaktadır. (Salamon 1990).

Bu sebepten tavan tabakasının çekme ve/veya eğilme dayanımı kırılma mesafesi üzerinde etkili olacaktır. Giriş şeklindeki tavan kendi ağırlığı altında eğildiğinde yalancı tavan üst kısmında çekme gerilmesinden kaynaklanan bir kırılma söz konusu olmaktadır.



Şekil 1. Ayak arkasında askıda bekleyen tavan tabakasının arın ilerlemesine bağlı olarak ağırlık merkezinin ötelenmesi.

Kaya kütlelerinin çekme dayanımı ( $\sigma_{tm}$ ) genel olarak Hoek vd. (2002) tarafından önerilen görgül bağıntı kullanılarak belirlenmektedir (Eşitlik 1) Hoek vd. (2002) tarafından önerilen Eşitlik 1, gerçekte 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 kütlelerinin tek eksenli çekme dayanımı değeri olarak kabul edilebileceğini ifade etmiştir.

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

Burada s kaya kütlelerinin çatlaklılık derecesini ifade etmekte olup Eşitlik 2 ile belirlenmektedir. Hoek-Brown kaya kütleleri dayanım sabiti olan  $m_b$  ise Eşitlik 3 ile ifade edilmektedir.

$$s = e^{\left(\frac{RMR_{89}-100}{9}\right)} \quad (2)$$

$$m_b = m_i \times e^{\left(\frac{RMR_{89}-100}{28}\right)} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te yer alan  $m_i$  ifadesi Hoek-Brown ye-

nilme ölçütüne göre kaya malzemesi dayanım sabiti olarak tanımlanmakta 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 kolaylıkla belirlenebilir

(Gerçek 2002). Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te yer alan  $RMR_{89}$  ifadesi ise Bieniawski (1989) tarafından güncellenen Jeomekanik Sınıflama Sistemi puanıdır.

Hoek – Brown kaya malzemesi dayanım sabiti olarak tanımlanan  $m_i$  değeri Gerçek (2002) tarafından önerilen Eşitlik 4 kullanılarak belirlenebilir. Eşitlik 4'te yer alan  $\sigma_{tB}$  değeri (-) işaretli olarak bağıntıda yerini alır.

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

Burada  $\sigma_{tB}$  kaya malzemesi dolaylı çekme dayanımı (MPa),  $\sigma_{ci}$  ise kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (MPa) olarak tanımlanmaktadır.

$\sigma_{ci}$  ile  $\sigma_{tB}$  arasındaki anlamlı ilişkinin Zonguldak kömür çevre kayaçları için araştırılması sonucu

elde edilen  $\left|\frac{\sigma_{ci}}{\sigma_{tB}}\right|$  oranlarının Eşitlik 1'de yerine yazılıp düzenlenmesi ile Zonguldak Taşkömürü Havzası tavan tabakalarının çekme dayanımının kestirilmesi için yeni bir görgül bağıntı geliştirilmiştir (Eşitlik 5).

Geliştirilen görgül bağıntı (Bkz. Eşitlik 5) Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda ilgili mühendislerin kolaylıkla yapılabilen deney ve gözlemler ile tavan tabakalarının çekme dayanımının kestirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

$$\frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{tB}} = -\eta \times e^{\left(\frac{19}{252}(RMR_{89}-100)\right)} \quad (5)$$

Burada  $\eta$  farklı tavan litolojilerine karşılık gelen bir çarpan olarak tanımlanmış olarak ve

Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 1).

Çizelge 1 incelendiğinde farklı tavan litolojileri için  $\eta$  değerinin 1,11 ile 1,30 arasında değiştiği görülmektedir. Litolojinin konglomera olduğu durumlarda ise, kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ile dolaylı çekme dayanımı arasında anlamlı bir ilişki belirlenememiştir.

Görgül bağıntısının geliştirilmesinde kullanılan

$\sigma_{ci}$  ve  $\sigma_{tB}$  değerleri ZEDEM (1994) ve Paşamehmetoğlu vd. (1989) tarafından gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçlarıdır.

Çizelge 1. Zonguldak Taşkömürü Havzası için  $\eta$  değerleri.

Litoloji	n	$\sigma_{ci} /  \sigma_{tB} $	R'	$m_i$	$\eta$
İnce ve Orta Taneli Kumtaşı	56	12,46	0,80	11,95	1,12
Killaşı	21	9,48	0,78	8,41	1,22
Silttaşı	34	9,89	0,82	8,90	1,20
Çamurtaşı	12	8,30	0,94	6,35	1,30
Şeyl	8	12,65	0,78	12,39	1,11

Çizelge 1'deki R' ifadesi  $\sigma_{ci}$  -  $\sigma_{tB}$  arasındaki ilişkinin doğruluk katsayısı, n regresyon analizlerinde kullanılan örnek sayısını,  $m_i$  Hoek-Brown dayanım sabitini ifade etmektedir. Farklı tavan litolojilerine karşılık gelen  $\eta$  değerinin niceliksel olarak büyüklüğü ise Eşitlik 6 ile belirlenebilir.

$$\eta = \left[1 - \left(4\sigma_{tB} / \sigma_{ci}\right)^2\right]^{-1} \quad (6)$$

### 1.3. Süreksizliklerin Konumu

Ayak kırılması ve göçme davranışında süreksizliklerin konumu oldukça önemlidir. Arına paralel süreksizlikler ayak arkası kırılmasını kolaylaştırırken, arına dik süreksizlikler ayak kırılmasını zorlaştırıcı bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Arın düşey eksenini ile belirli açılar yapan süreksizlikler ise genellikle parçalı ve bloklu bir göçme davranışına sebep olmaktadır. Doğrultuları kesişen süreksizlikler tavanda irili ufaklı kamalar oluşturarak yalancı tavanın parçalar şeklinde dökülmesine olanak sağlar.

Ayak arkasının kırılmadığı, zor göçen tavanlarda uygulanan kontrollü patlatmanın en önemli amacı da tavanda pek çok süreksizlik oluşturarak tavanın daha kolay göçmesini sağlamaktır.

Tavan süreksizlik konumlarının ölçülmesi genel olarak jeolog pusulası yardımı ile belirlenmekte olup, yalancı tavadaki süreksizlikler genel olarak iki grupta toplanabilir. Birinci grupta tektonik kökenli süreksizlikler yer almaktadır.

Bu süreksizlikler arazi gerilme durumları ve çalışılan bölgede daha önce gerçekleşen tektonik hareketler sonucu meydana gelmiş süreksizliklerdir. Ayak arkasının kolay göçmesi isteniyorsa panoların planlanması esnasında yeraltındaki tektonik süreksizliklerin konumları (Pano doğrultusu ile egemen süreksizlik takımı doğrultusu olabildiğince birbirine paralel olmalıdır.) dikkate alınmalıdır.

Herhangi bir kazı yapılmadan yeraltındaki süreksizlikler hakkında yüzeyde yapılan süreksizlik ölçümleri ve sondaj karotları konu hakkında önemli bilgiler verecektir (Alpan 1969, Ulusay ve Sönmez 2007). Yeraltındaki tektonik süreksizlikleri belirlemede bir diğer önemli araştırma yöntemi ise jeofizik çalışmalardır (Kelly vd. 2002).

İkinci grupta ise tektonik olmayan süreksizlikler yer almaktadır. Bu süreksizlikler ayak ilerlemesine bağlı yalancı tavan üst kısımlarında gelişen çekme çatlakları ve su etkisi altında ıslanma kuruma sonucu meydana gelen kılcal çatlaklar olarak tanımlanmaktadır. Bu iki farklı süreksizlik türünü ayırt etmek genellikle mümkün olmayıp bazı durumlarda süreksizlik doğrultu ve eğim farkından, bazı durumlarda ise süreksizlik dolgu durumundan ayırt edilebilmektedir (Lihpin ve Zoubkov 1990, Ragan 2009)

### 1.4. Süreksizliklerin Jeoteknik Özellikleri

Süreksizliklerin jeoteknik özellikleri tavan du-

raylılığı, ayak arkası kırılma mesafesi ve göçme davranışında dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husustur (Mark ve Molinda 2003, Venkateswarlu vd. 1989, Das 2000, Hongzhu 1996, Köken 2014). Köken (2014) Zonguldak Taşkömürü Havzası uzunayakları için geliştirdiği tavan göçebilirlik sınıflamasında, süreksizliklerin jeoteknik özelliklerini etkin olarak kullanmıştır. Süreksizlik yüzeyi ne kadar ayrışmamış ve taze ise ayak arkasının kırılması o denli zorlaşacaktır.

### 1.5. Yalancı Tavan Katılığı

Yalancı tavan katılığı, yalancı tavanın içerdiği süreksizlikleri tavan tabakalarının deformasyon modülü ve tahkimat ünitelerinin kapladığı yüzey alanının bir bileşkesi olarak tanımlanabilir.

Özel (1995), uzunayaklarda yürüyen tahkimat tasarımı hakkında yaptığı çalışmalarda, yalancı tavan katılığını, tavan tabakalarının tek tabaka halinde (yekpare tabaka) ve ardalı tavanlar (tabakalı tavanlar) olmak üzere iki farklı şekilde incelemiştir.

Eğer tavan tabakaları tek tabaka halindeyse, yalancı tavan katılığı Eşitlik 7 ile; ardalı tavan

(n tabakalı) tavanların hakim olduğu bölgelerde ise, yalancı tavan katılığı Eşitlik 8 ile belirlenmektedir.

$$K_{im} = \frac{E_m A}{h_{im}} \quad (7)$$

$$\frac{1}{K_{im}} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \frac{h_{im(i)}}{E_{m(i)}} \quad (8)$$

Burada  $E_m$  tavan tabakalarının (tavan kaya külesinin) 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.

Tavan tabakalarının deformasyon modülü ve tahkimatın yüzey alanının artması, 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. Tavan katılığı ne kadar yüksek olursa tavan o kadar duraylı olacaktır. Bu sebepten yalancı tavan katılığının etkin bir tabaka kontrolü açısından belirlenmesi gerekmektedir.

### 1.6. Yalancı Tavan Litolojisi

Kömür tavan ve taban tabakalarının litolojileri göz önünde bulundurulduğunda, tavan kayacındaki litolojik değişikliklerin tabaka hareketlerini ve tahkimat tasarımını doğrudan etkileyeceği anlaşılmaktadır. Kumtaşı, kiltası, 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 (Farmer ve Gupta 1993). 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.

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 şeyller, silttaşları orta zorlukta göçebilen tavanlar ve sert kumtaşları ise zor göçebilen tavan olarak tanımlanmaktadır.

### 1.7. Yeraltı Suyunun Etkisi

Tavan su geliri süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünü azaltarak blokların birbirinden ayrılmasını kolaylaştırmaktadır. Bunun dışında su geliri tavan tabakalarını suya doygun hale getirmekte ve tavan tabakalarının dayanımını düşürmektedir. Dayanımı düşen tavan tabakaları kuru şartlara göre daha kısa mesafelerde kırılmaktadır. Ancak tavan tabakalarının hangi oranda suya doygun olup olmadığı tam olarak belli değildir. Bu çalışmada incelenen ayaklar genellikle kuru koşullarda olup, nadiren nemli tavan koşulları gözlenmektedir.

## 1.8. Ayak İçi Tahkimat Elemanlarının Doğru Kurulup Sökülmesi

Madencilikte tahkimat; madencilik amacıyla yeraltında açılan boşluğu, işin gerektirdiği sürece emniyetli olarak ayakta tutmak için alınan mühendislik önlemlerinin tümü olarak tanımlanmaktadır (Birön ve Arıoğlu 1999).

Tahkimat elemanlarının bir başka kullanım amacı ise, ayak arkasının göçmesini kolaylaştırmasıdır.

Ayak arkasına kurulan domuzdamları, uygun katılığa 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. 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).

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 tamamını içeren bir kavramdır. Her sıradaki direk sayısı arttıkça, damın yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Damın yüksekliği, başka bir deyişle damar kalınlığı arttıkça, damın kurulması zorlaşır ve aynı ölçüde bu damların duraylılığı azalır. Ancak yükseklik / genişlik oranının en uygun şekilde tasarlanması ile damın en uygun katılığı belirlenebilir (Barczak ve Gearhart 1993).

## 2. AYAK ARKASININ KIRILMASINDA KULLANILAN ÖNEMLİ YAKLAŞIMLAR

Bu bölümde ayak arkasının kırılma mesafesinin kestirilmesinde kullanılan önemli yaklaşımlar özetlenmiştir.

## 2.1. Elastik Kiriş Teorisine Göre Ayak Arkasının Kırılması

Ayağın ilk kırılma mesafesinden sonra ayak ilerleyişini takiben ayağın kırılma durumları, kırılma şekilleri ve bu kırılmanın büyüklüğünün kestirimi, göçebilirlik sınıflamaları için önemli bir bulgu olarak kabul edilmektedir. Whittaker ve Jeremic (1979) ayak arkasının ilk kırılma mesafesinden sonraki kırılma durumları ve bu mesafenin kestirimi için elastik kiriş teorisinin kullanılabilirliğini ifade etmiştir. Kai (2011) ve Noroozi vd. (2012) elastik kiriş teorisini kullanarak yalancı tavanın ilk kırılmadan sonraki kırılma mesafesini ( $l_{im}$ ) kestirmeyi amaçlayan Eşitlik 9'u önermiştir.

$$l_{im} = \sqrt{\frac{h_{im} \times \sigma_{im}}{3 \times \gamma_{im}}} \quad (9)$$

Burada  $h_{im}$  yalancı tavan kalınlığı (m),  $\sigma_{im}$  yalancı tavan tabakası çekme dayanımı

(MPa) ve  $\gamma_{im}$  ise tavan tabakası birim hacim ağırlığını ( $MN/m^3$ ) ifade etmektedir.

Kai (2011) ve Noroozi vd. (2012) Eşitlik 9'un türetilmesinde aşağıda özetlenen bazı varsayımları yapmıştır.

- Domuzdamı düşey ekseninde arkasında askıda kalan yalancı tavan bir kiriş şeklinde kabul edilmektedir.
- Domuzdamında herhangi bir dönme ve eğilme söz konusu değildir.
- Yalancı tavan homojen ve izotrop olarak kabul edilmekte ve ayak ilerlemesine bağlı olarak kendi ağırlığı altında eğilerek kırılmaktadır.
- Ana tavanın yalancı tavan üzerine etkisi ihmal edilmektedir.

Bu çalışmada yalancı tavanın kırılma mesafesinin kestiriminde ana tavanın da etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda yer alan altı adet uzunayakta yapılan gözlem ve incelemeler ile bu ayaklardan alınan numuneler kullanılarak gerçekleştirilen kaya mekaniği deneyleri ışığında incelenen ayakların kırılma mesafeleri Eşitlik 9'a göre hesaplanmış ve Bölüm 4'te verilen arazide gözlenen ayak ar-

kası kırılma mesafesi değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2).

## 2.2. Laubscher Yaklaşımı

Laubscher (1990),  $RMR_{99}$  sınıflama sistemini tavan tabakalarının göçebilirliği ile ilişkilendirerek bir sınıflama sistemi önermiştir. Beş farklı RMR sınıfı için önerilen sınıflamada, tavan tabakalarının göçebilirlik durumları ve ayak arkası kırılma mesafeleri Çizelge 2’de ifade edilmiştir.

Çizelge 2. Laubscher Tavan Göçebilirliği Sınıflaması (Laubscher 1990’dan düzenlenerek).

Tavan Sınıfı	I	II	III	IV	V
$RMR_{99}$ Puanı	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	$\leq 20$
Göçebilirlik	Çok Zor	Zor	Orta	Kolay	Çok Kolay
Ayak Kırılma Mesafesi, $l_m$ (m)	20 - 3	9 - 1,5	5 - 0,4	2 - 0,1	$\leq 0,3$

## 2.3. Das Tavan Göçebilirlik Sınıflaması

Das (2000) Hindistan kömür madenlerinde yaptığı çalışmalarda tavan duraylılığının ortaya konması için bir tavan göçebilirlik sınıflaması geliştirmiştir. Geliştirdiği sınıflama sisteminden elde edilen tavan göçebilirlik puanına göre ayak arkası kırılma mesafesi kestirilebilir (Çizelge 3).

## 2.4. Zonguldak Tavan Göçebilirlik Sınıflaması

Köken (2014), Zonguldak Taşkömürü Havzası’nda yer alan altı adet uzunayakta gerçekleştirdiği arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda tavan tabakalarını göçebilirlik açısından sınıflandırmıştır. Geliştirilen göçebilirlik sınıflaması, tavan göçme davranışı ve ayak arkasının kırılma mesafesinin kestirimi konularında bilgiler vermektedir (Çizelge 4). Zonguldak Tavan Göçebilirlik Sınıflaması (ZTGS) hakkında detaylar Köken (2014) tarafından ifade edilmiştir.

## 3. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Zonguldak Taşkömürü Havzası uzunayaklarında gerçekleştirilen arazi çalışmaları esnasında ayaklardan uygun boyutlarda kaya blokları temin edilerek laboratuvar deneyleri için silindirik numuneler (54 mm çapında) hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen kaya mekaniği deneyleri ISRM (1981)’de ifade edilen öneriler doğrultusunda

kuru şartlar altında gerçekleştirilmiştir. İncelenen ayaklara ait laboratuvar deney sonuçları Çizelge 5’te toplu olarak sunulmuştur.

## 4. KAYA KÜTLESİ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

İncelenen ayakların kaya kütlesi mekanik özellikleri; Hoek-Brown sabitlerinden  $s$  ve  $m_b$  değerleri (Sırasıyla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 kullanılarak belirlenmiştir), tavan tabakası deformasyon modülü ( $E_m$ ) ve tavan tabakası çekme dayanımı ( $\sigma_{tm}$ ) değerlerinin hesaplanması şeklindedir. Tavan tabakalarının deformasyon modülü, Çizelge 6’da ifade edilen yaklaşımlardan elde edilen değerlerin ortalaması olarak kabul edilmiştir. Kaya kütlesinin çekme dayanımı ise Eşitlik 1 ve Eşitlik 5 kullanılarak belirlenmiştir. Tavan tabakalarının deformasyon modülü yalnızca tavan katılığının kestirilmesinde kullanılmış ve yalnızca tavan katılığı ile ayak arkası kırılma mesafesi arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Kuru şartlar altında hesaplanan tavan tabakaları çekme dayanımı değerleri ise elastik giriş teorisinde (Eşitlik 9) kullanılmıştır. İncelenen ayaklardaki tavan tabakalarının kaya kütlesi mekanik özellikleri Çizelge 7’de verilmiştir.

## 5. İNCELENEN AYAKLARIN KIRILMA MESAFELERİNİN KESTİRİLMESİ

Üçüncü bölümde ifade edilen yaklaşımlar kullanılarak incelenen ayakların kırılma mesafeleri kuru şartlar altında hesaplanmış ve araziden elde edilen gerçek ayak arkası kırılma mesafesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. İncelenen ayaklara ait genel bilgiler TTK (2013)’ten alınmış olup, ayak arkasının kırılma mesafesinin yeraltında belirlenmesi Sweby (1997) tarafından ifade edilen önemli bilgiler ışığında gerçekleştirilmiştir.

Sweby (1997), domuzdamı arkasında yer alan göçük bölgesindeki kaya bloklarını gevşeklik durumu ve blok boyutları arasında anlamlı ilişkiler ortaya koymuştur. Buna göre domuzdamı arkasında ilk gözlenen göçmüş kaya blokları göçük bölgesindeki en büyük blok hacmine sahip olup, bu blokların (en az üç farklı kaya bloğunun domuzdamı havasına olan mesafeleri çelik şeritmetre ile belirlenmiştir.) domuzdamı havasından olan mesafelerinin ortalaması ayak arkası kırılma mesafesi olarak kabul edilmiştir.

Yeraltında ölçülen ayak arkası kırılma mesafelerinin belirlenmesi ile Elastik Giriş Teorisi’nden (Bkz. Eşitlik 9) elde edilen ayak arkası kırılma mesafeleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3 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 (°)	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 ile göçertme	Kontrollü patlatma ile göçertme ve/veya dolgulu	Dolgulu

Çizelge 4. Zonguldak Tavan Göçebilirlik Sınıflaması (Köken 2014).

Tavan Sınıfı	Göçebilirlik Puanı	Tavan Göçebilirliği	Göçme Davranışı	Tahmini Ayak Kırılma Mesafesi, $l_m$ (m)
I	≤ 40	Çok Kolay	Kendiliğinden göçme	≤ 1,5
II	40 - 50	Kolay	Küçük blokçu 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

Çizelge 5. Laboratuvar Deney Sonuçları.

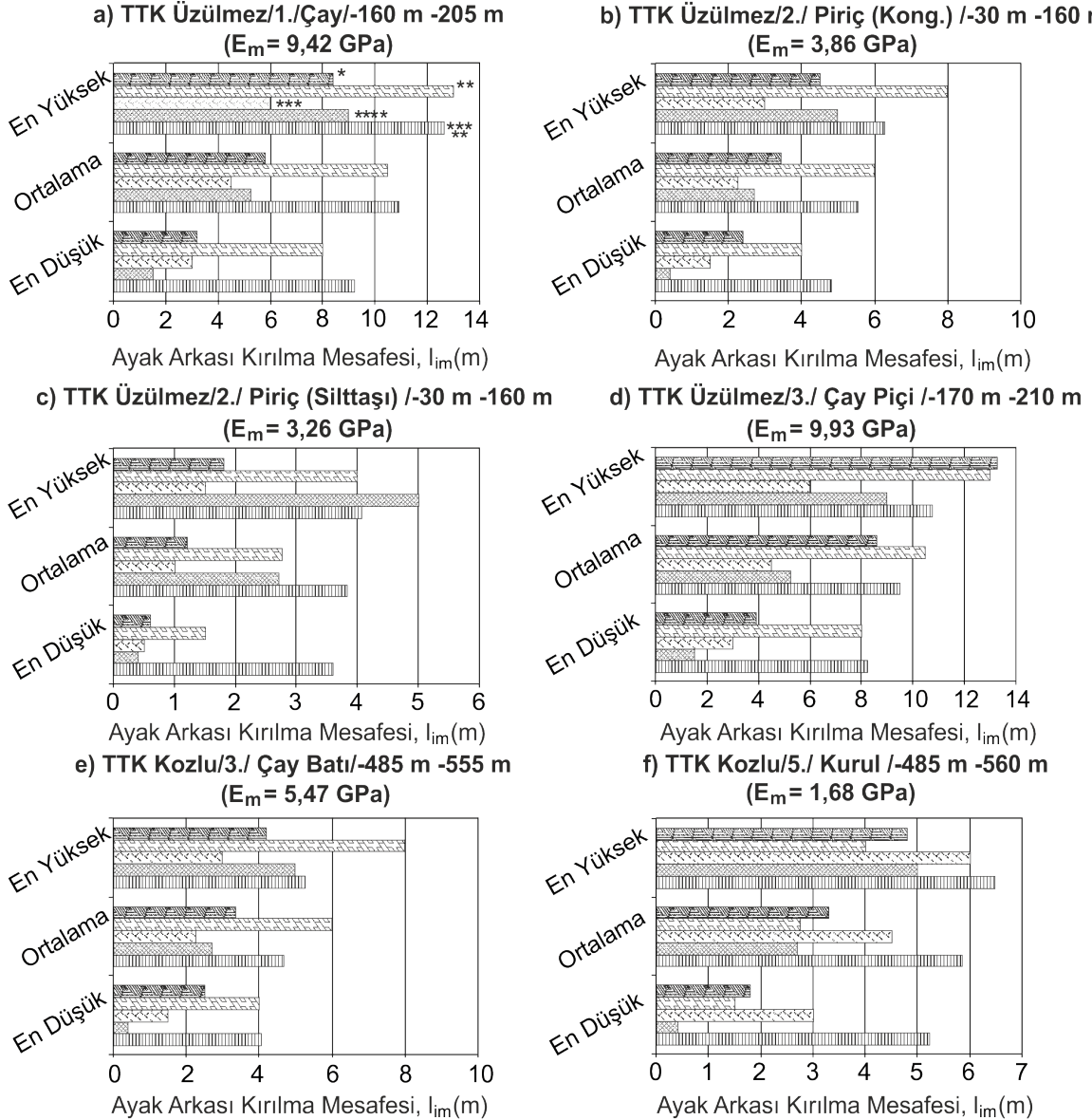
Kuru Şartlar Altındaki Kaya Malzemesinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri						
İşletme / Kartiye / Damar Adı / Kot	Tavan Litolojisi	$\gamma_m$ (MN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{\text{B}}$ (MPa)	$\sigma_o$ (MPa)	$E_t$ (GPa)	$m_i^*$
TTK Üzülmöz/1./Çay / -160 m -205 m	İnce Taneli Kumtaşı	0,0255	10,50	117,80	22,10	9,79
TTK Üzülmöz/2./ Piriç (Konglomera.) / -30 m -160 m	Konglomera	0,0240	9,05	67,20	14,39	5,27
TTK Üzülmöz/2./ Piriç (Silttaşı) / -30 m -160 m	Silttaşı	0,0260	7,00	48,20	16,70	4,56
TTK Üzülmöz/3./ Çay Piçi / -170 m -210 m	İnce Taneli Kumtaşı	0,0255	11,20	144,50	24,10	11,66
TTK Kozlu/5./ Kurul / -485 m -560 m	Silttaşı	0,0250	8,00	49,90	7,40	3,67
TTK Kozlu/3./ Çay Batı / -485 m -555 m	İnce Taneli Kumtaşı	0,0250	8,25	105,69	20,36	11,56

Açıklamalar  $\gamma_m$ : Tavan Tabakası Birim Hacim Ağırlığı,  $\sigma_{\text{B}}$ : Dolaylı Çekme Dayanımı,  $\sigma_o$ : Tek Eksenli Basınç Dayanımı,  $E_t$ : Teğetsel Deformasyon Modülü,  $m_i^*$ : Hoek-Brown Kaya Malzemesi Sabiti, (Eşitlik 4 kullanılarak belirlenmiştir.)



Sert tavanlarda ( $E_m \geq 4$  GPa, Kuru şartlar için), (Çizelge 7), Laubscher (1990) yaklaşımı gerçek değerler ile kısmen yakın sonuçlar vermekte olup (Şekil 2a, Şekil 2d ve Şekil 2e), orta katılıklıta ( $E_m = 2-4$  GPa), (Şekil 2b, Şekil 2c) ve gevşek tavanlarda ( $E_m \leq 2$  GPa) ise (Şekil 2f) yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi değerleri, Das (2000) ile ZTGS (2014) yaklaşımlardan elde edilen değerlerin arasında kaldığı görülmektedir.

Şekil 2'de ifade edilen Elastik Kiriş Teorisi'nden (Kai 2011 ve Noroozi vd. 2012) elde edilen değerler (Eşitlik 9 kullanılarak elde edilen değerler) ise yeraltında gözlenen değerlerden belirgin olarak fazladır. Bu durum elastik kiriş teorisinde ihmal edilen ana tavan yüklemesinin ayak arkası kırılmasına etki ettiğini düşündürmektedir. Yedinci bölümde söz konusu ana tavan yüklemesi elastik kiriş teorisine ilave edilerek incelenen ayakların kırılma mesafeleri tekrar hesaplanmıştır.



#### AÇIKLAMALAR



Şekil 2. İncelenen ayaklara ait ayak arkası kırılma mesafeleri

## 6. ANA TAVAN YÜKLEMESİNİN AYAK ARKASI KIRILMA MESAFESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Şekil 2'de Elastik Kiriş Teorisi'nden elde edilen ayak kırılma mesafelerinin yeraltında gözlenen kırılma mesafesi değerlerinden büyük olduğu ifade edilmişti. Bu bölümde dikdörtgen bir kiriş olarak kabul edilen yalancı tavan üzerine etkileyen ana tavan yüklemesinin elastik kiriş teorisine ilave edilmesini içermektedir. Peng ve Chiang (1984) eğilerek kırılan bir yalancı tavan ile ana tavan arasında ayak ilerlemesine bağlı olarak tabaka ayrılmaları olduğunu ifade etmektedir. Ana tavan ile yalancı tavan arasındaki bu boşluk (tabaka ayrılması) iki tavan tabakası arasında bir süreksizlik hattı oluşturmakta olup, ana tavanın yalancı tavan üzerine eş yüklü olarak etkimesini zorlaştırmaktadır. Bu sebepten ana tavanın yalancı tavan üzerine olan etkisi, farklı etki alanlarında ve üçgen yayılı yüklemeye koşullarında incelenmiştir (Şekil 3).

Düzayaklar için (Damar eğimi,  $\alpha = 0^\circ$ ) geliştirilmiş olan çözüm eğimli ayaklar için de uygulanabilir. Öncelikle eğimli ayaklarda tavan tabakalarının birbiri üzerindeki sürtünme durumları ve ayağın ortalama eğiminin Eşitlik 9'a eklenmesi gerekmektedir.

Bu durumda Jacobi'nin (1981) önerdiği tavan sürtünme katsayısı değerleri yalancı tavan katılığı ile ilişkilendirilerek Şekil 4 önerilmiştir. Tavan tabakalarının sürtünme durumu Jacobi (1981) tarafından ayak eğimi ve tavan tabakalarının sürtünme durumlarının bir fonksiyonu (Eşitlik 10) olarak tanımlanmaktadır. Ayak eğimi ve tavan sürtünme katsayısı ile Şekil 4'te ifade edilen farklı ana tavan yüklemeye koşulları doğrultusunda ayak arkası kırılma mesafesinin kestirimini amaçlayan Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü Eşitlik 11 ile ifade edilmiştir.

$$F_a = \cos(\alpha_l) + \frac{\sin(\alpha_l)}{\mu} \quad (10)$$

Burada  $\alpha_l$  ortalama damar eğimi ( $^\circ$ ) ve  $\mu$  tavan tabakalarının sürtünme katsayısı olarak ifade edilmektedir.

$$l_{im} = \sqrt{\frac{h_{im} \times \sigma_{im}}{t \times \gamma_{im}} \times \left( \cos(\alpha_l) + \frac{\sin(\alpha_l)}{\mu} \right)} \quad (11)$$

Burada  $t$  çarpanı ( $t \geq 3$ ), farklı kalınlıktaki ana tavanının yalancı tavan üzerine artan üçgen yayılı yüklemeye koşullarındaki değerleridir.

(Bkz. Şekil 5).

İncelenen ayaklara ait yalancı tavan ve ayak geometrilerine ait genel bilgiler Çizelge 8'de verilmiştir. Eşitlik 11 kullanılarak incelenen ayakların kuru şartlardaki tahmini ayak kırılma mesafeleri belirlenmiştir (Şekil 6).

Geliştirilmiş Elastik Kiriş Teorisi kullanılarak oluşturulan Şekil 6'ya göre, çok katı tavanlarda ( $K_{im} \geq 20$  GN/m) kuru şartlar altındaki ayak arkası kırılma mesafesi, en az %70 ana tavan etki alanı ve  $\frac{h_m}{h_m} \geq 3$  koşullarında yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi üst sınır değerleri ile anlamlı sonuçlar vermektedir (Bkz. Şekil 6a, Şekil 6f)

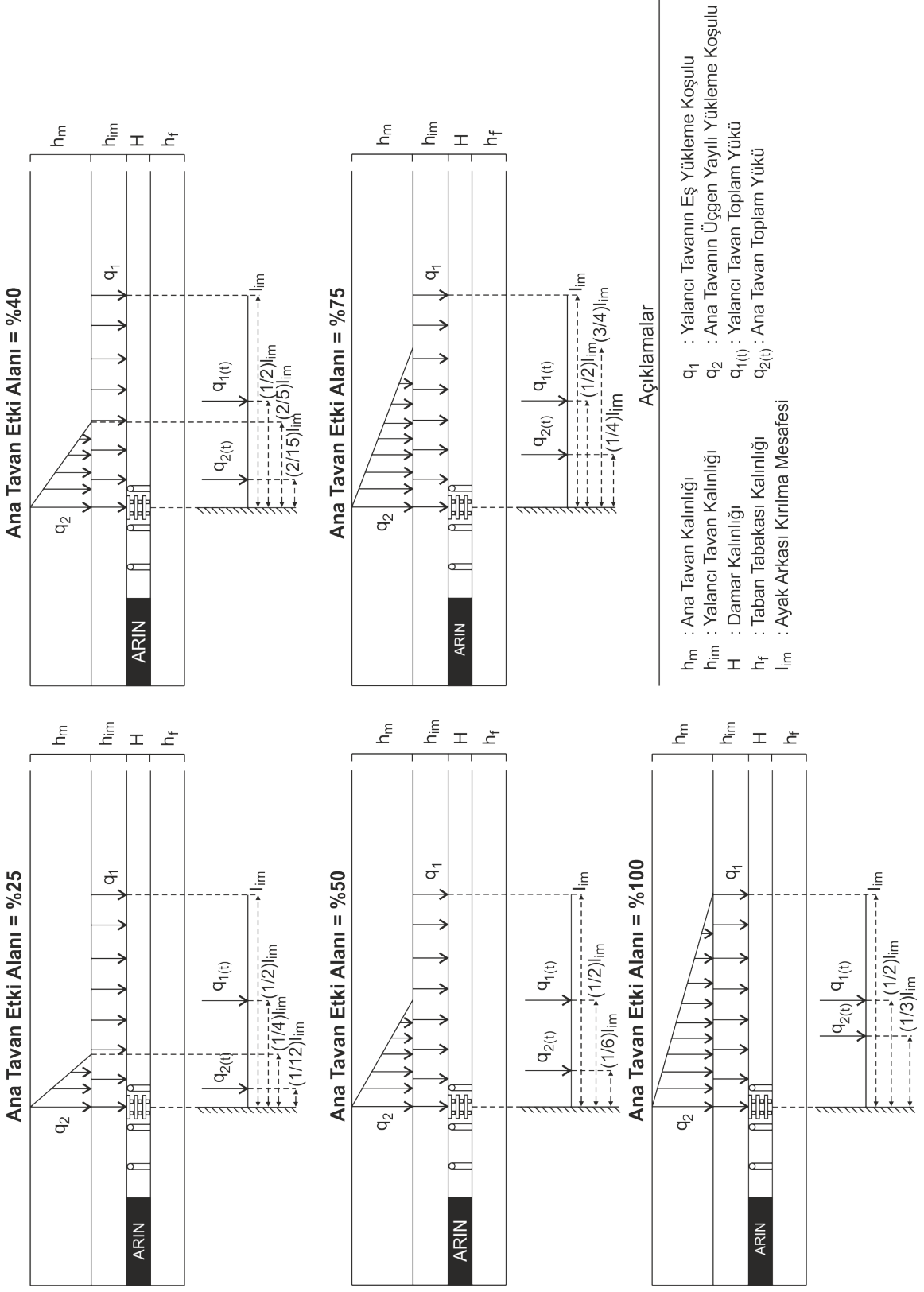
Kuru şartlar altında orta katılıktaki tavanlar ( $6$  GN/m  $\leq K_{im} < 20$  GN/m) Geliştirilmiş Elastik Kiriş Teorisi'ne göre en az %70 ana tavan etki alanında ve  $\frac{h_m}{h_m} \geq 4$  koşullarında yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi üst sınır değerleri ile anlamlı sonuçlar vermektedir

(Bkz. Şekil 6b ve Şekil 6c). Gevşek tavanlardaki ( $K_{im} < 6$  GN/m) kırılma mesafeleri incelendiğinde

ise en az %70 ana tavan etki alanı ve  $\frac{h_m}{h_m} \geq 6$  koşullarında ayak kırılma mesafesi üst sınır değerleri ile anlamlı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 6e). Diğer taraftan TTK Üzülmez 3. Kartiye Çay Piçi Ayağı incelendiğinde (Şekil 6d), Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü'nden elde edilen ayak kırılma mesafe değerleri arazide gözlenen ortalama ayak kırılma mesafesi değerlerini en az %80 ana

tavan etki alanı ve  $\frac{h_m}{h_m} \geq 1$  koşullarında sağlamaktadır.

Söz konusu ayakta (TTK Üzülmez 3. Kartiye Çay Piçi Ayağı) gözlenen en yüksek arazi kırılma değeri ise geliştirilmiş elastik kiriş çözümü değerinden büyüktür.



Şekil 3. Bu çalışmada kullanılan farklı ana tavan yükleme koşulları.

Çizelge 6. Kaya Kütlesi Deformasyon Modülünün Kestirilmesi İçin Bu Çalışmada Kullanılan Görgül Bağlantılar.

Araştırmacı	Görgül Bağntı	Açıklamalar
Nicholson ve Bieniawski (1990)	$\frac{E_m}{E_i} = 0,01 \times \left[ 0,0028 \times RMR^2 + 0,9 \times e^{\left(\frac{RMR}{22,82}\right)} \right]$	RMR : Jeomekanik Sınıfma Sistemi Puanı E <sub>i</sub> : Kaya malzemesi young modülü (GPa)
Mitri vd. (1994)	$\frac{E_m}{E_i} = 0,5 \times \left[ 1 - \left\{ \cos \left( \frac{\pi \times RMR}{100} \right) \right\} \right]$	π : Radyan cinsindedir.
Kim vd. (2003)	$\frac{E_m}{E_i} = \left[ \frac{0,668}{1 + e^{(16,55 - 0,248RMR)}} + 0,1165 \right]$	
Kayabaşı vd. (2003)	$\frac{E_m}{E_i} = 0,135 \left[ \frac{1 + \frac{RQD}{100}}{W_d} \right]^{1,811}$	RQD : Kaya kalite göstergesi (%) W <sub>d</sub> : Ayrışma bozunma derecesi (Az ayrılmış kaya kütlelerinde W <sub>d</sub> = 1 ieri derecede ayrılmış kaya kütlelerinde W <sub>d</sub> = 4)
Gökçeoğlu vd. (2003)	$E_m = 0,001 \left[ MR \left( \frac{1 + \frac{RQD}{100}}{W_d} \right) \right]^{1,5528}$	MR : Modül Oranı $\left( MR = \frac{E_i}{\sigma_{ci}} \right)$
Ramamurthy (2004)	$\frac{E_m}{E_i} = e^{\left(\frac{RMR-100}{17,4}\right)}$	
Sönmez vd. (2004)	$\frac{E_m}{E_i} = (s^a)^{0,4}$	s : Kaya kütlesi çatlaklılık derecesi a = Hoek-Brown üstel sabiti (Hoek vd. 2002 <sup>1</sup> ye bakınız.)
Zhang ve Einstein (2004)	$\frac{E_m}{E_i} = 10^{(0,0186RQD-191)}$	
Hoek ve Diederichs (2006)	$\frac{E_m}{E_i} = \left[ \frac{0,02 + (1 - 0,5D)}{1 + e^{\left(\frac{60+5D-GSI}{11}\right)}} \right]$	D : Örselenme Faktörü, GSI = Jeolojik Dayanım İndeksi (Hoek ve Diederichs 2006 <sup>1</sup> ya bakınız)
Sönmez vd. (2006)	$\frac{E_m}{E_i} = 10 \left[ \frac{\left( \frac{RMR-100}{4000 \times e^{\left(\frac{RMR}{100}\right)}} \right)^2}{4000 \times e^{\left(\frac{RMR}{100}\right)}} \right]$	
Shen vd. (2012)	$\frac{E_m}{E_i} = 1,14 \times e^{-\left(\frac{RMR-116}{41}\right)^2}$	

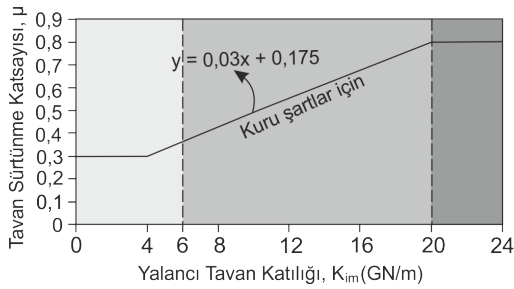
Not : E<sub>m</sub> değerleri GPa cinsindedir.

Çizelge 7. Tavan Tabakaları Kaya Kütlelerinin Mekanik Özellikleri

İşletme / Kartiye / Damar Adı / Kot	Tavan Litolojisi	RMR <sub>99</sub>	s	m <sub>b</sub>	σ <sub>lm</sub> (MPa)		E <sub>m</sub> (GPa)**
					Hoek vd. (2002)	Bu Çalışma*	
TTK Üzülmaz/1. /Çay/-160 m -205 m	İnce Taneli Kumtaşı	74	0,0550	3,87	1,69	1,66	9,42
TTK Üzülmaz/2. / Piriç (Konglomera) /-30 m -160 m	Konglomera	60	0,0110	1,26	0,63	0,46	3,86
TTK Üzülmaz/2. / Piriç (Silttaşı) /-30 m -160 m	Silttaşı	46	0,0025	0,66	0,18	0,14	3,26
TTK Üzülmaz/3. / Çay Piçi /-170 m -210 m	İnce Taneli Kumtaşı	72	0,0440	4,29	1,53	1,52	9,93
TTK Kozlu/5. / Kurul /-485 m -560 m	Silttaşı	55	0,0067	0,74	0,46	0,32	1,68
TTK Kozlu/3. / Çay Batı/-485 m -555 m	İnce Taneli Kumtaşı	57	0,0084	2,49	0,36	0,36	5,47

Not : \* Eşitlik 5 kullanılarak belirlenen kaya kütlesi çekme dayanımı ortalama değeridir.

\*\* Çizelge 6'da ifade edilen görgül bağıntılar kullanılarak elde edilen kaya kütlesi deformasyon modülü değerlerin ortalamasıdır.



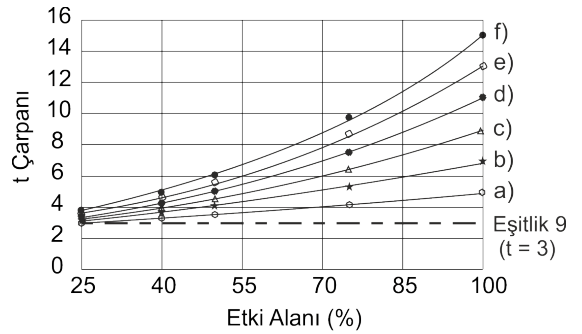
AÇIKLAMALAR

Gevşek Tavan Orta Katılıklı Tavan Çok Katı Tavan

Şekil 4. Kuru şartlardaki yalancı tavan katılığı ile tavan sürtünme katsayısı arasındaki ilişki (Jacobi 1981'den değiştirilerek).

Bu farklılık ayaktaki tahkimat sorunlarından (sarma direk ve domuzdamlarının doğru kurulup sökülememesi) kaynaklandığı yeraltında yapılan arazi çalışmalarında gözlemlenmiştir. Dolayısıyla doğru kurulup sökülemeyen tahkimat elemanları göçük bölgesinde tavanın geçebilirliğini zorlaştırıcı bir unsur olarak ifade edilmektedir (Köken 2013).

Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü'nden elde edilen sonuçlara göre, TTK Üzülmaz 3. Kartiye Çay Piçi Ayağı haricindeki bütün uzunayaklara ait kırılma mesafesi değerlerinde muhtemel bir ana tavan etkisinden söz edilebilir.



Açıklamalar

a)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 1$  b)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 2$  c)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 3$

d)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 4$  e)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 5$  f)  $\frac{h_m}{h_{im}} = 6$

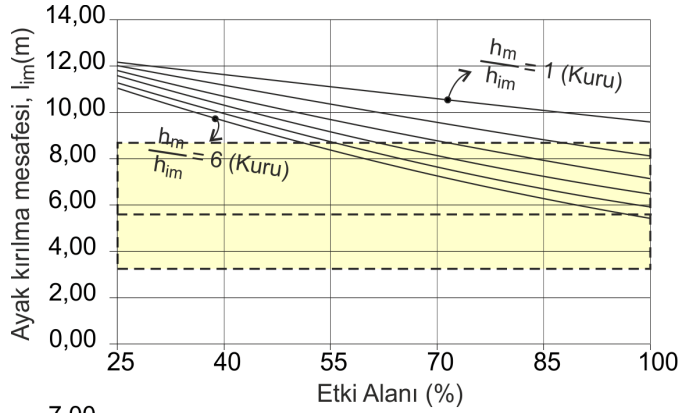
Şekil 5. Eşitlik 11'de ifade edilen t çarpanının farklı durumlardaki değerleri.

Çizelge 8. İncelenen Ayaklara Ait Yalancı Tavan ve Ayak Geometrisine Ait Veriler.

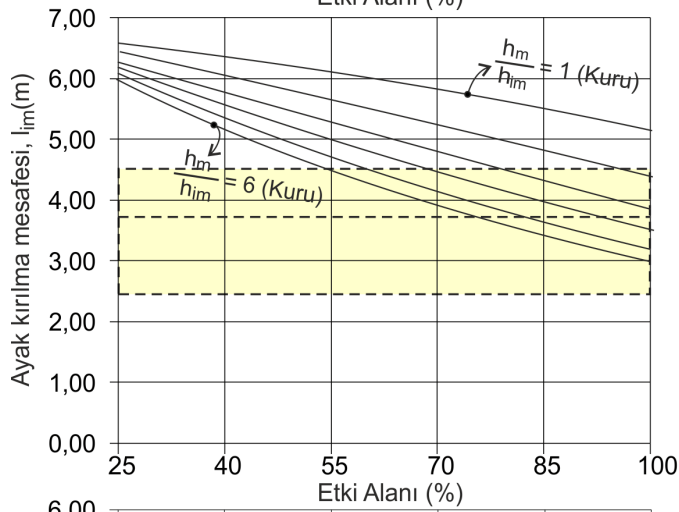
İşletme / Kartiye / Damar Adı / Kot	Tavan Litolojisi	Kuru Şartlar Altında Yalancı Tavan ve Ayak Geometrisi Hakkında Bilgiler														
		$K_m$ (GN/m)			$h_m$ (m)			$l_m$ (m)			H (m)					
		min.	ort.	mak.	min.	ort.	mak.	min.	ort.	mak.	min.	ort.	mak.			
TTK Üzümez/1./Çay/ -160 m -205 m	İnce Taneli Kumtaşı	18,74	24,40	35,33	3,84	5,54	7,24	3,20	5,80	8,40	3,00	3,40	3,80	14	0,80	140
TTK Üzümez/2./ Piriç (Kong.) / -30 m -160 m	Konglomera	12,24	13,36	20,74	2,68	3,61	4,54	2,40	3,70	5,00	1,84	2,62	3,36	16	0,57	350
TTK Üzümez/2./ Piriç (Silttaş)/ -30 m -160 m	Silttaş	2,05	3,58	8,34	5,63	6,40	7,17	0,60	1,20	1,80	1,74	2,11	2,37	16	0,30	130
TTK Üzümez/3./ Çay Pıçı / -170 m -210 m	İnce Taneli Kumtaşı	24,15	32,10	41,10	3,48	4,70	5,92	3,90	8,60	13,30	2,45	2,80	3,15	13	0,80	84
TTK Kozlu/5./Kurul / -485 m -560 m	Silttaş	3,51	3,96	5,37	4,50	5,70	6,90	1,80	3,30	4,80	2,05	2,40	2,78	37	0,30	100
TTK Kozlu/3./ Çay Batı/ -485 m -555 m	İnce Taneli Kumtaşı	9,79	19,16	30,75	3,47	4,11	5,85	3,00	3,80	4,80	1,80	2,20	2,60	27	0,51	136

**ACIKLAMALAR**

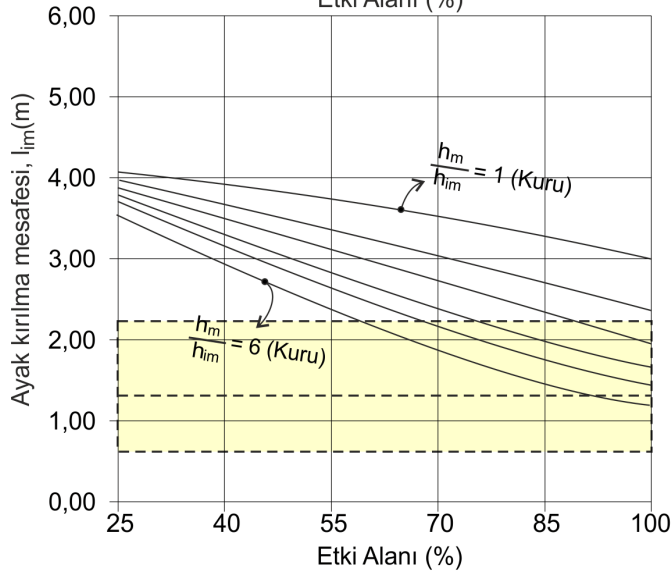
- $K_m$  : Yalancı Tavan Tabakası Katılığı  
 $h_m$  : Yalancı Tavan Tabakası Kalınlığı  
 $l_m$  : Yeryüzünde Gözlenen Ayak Arkası Kırılma Mesafesi  
H : Kömür Damar Kalınlığı  
 $\alpha_i$  : Ortalama Kömür Damarı Eğimi  
 $\mu$  : Tavan Tabakaları Sürtünme Katsayısı  
 $F_i$  : Ayak Boyu



- a) TTK Üzülmöz 1. Kariye ay Ayak  
(Tavantaşı : İnce taneli kumtaşı)  
 $K_{im} = 24,40 \text{ GN/m}$   
Yeraltı Su Durumu : Kuru, Yer Yer Nemli



- b) TTK Üzülmöz 2. Kariye Piriç Ayak  
(Tavantaşı : Konglomera)  
 $K_{im} = 13,36 \text{ GN/m}$   
Yeraltı Su Durumu : Kuru

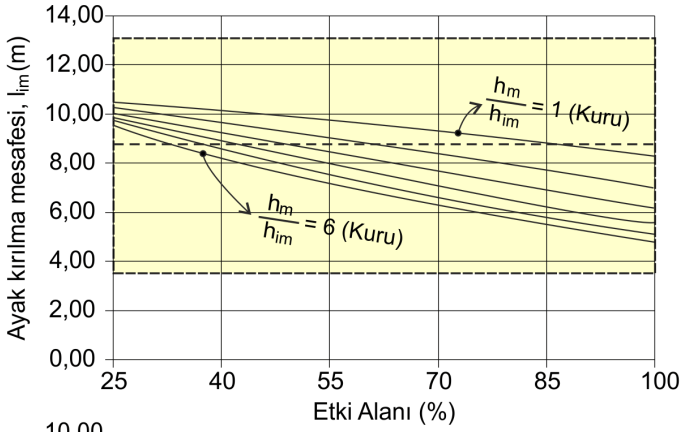


- c) TTK Üzülmöz 2. Kariye Piriç Ayak  
(Tavantaşı : Siltaşı)  
 $K_{im} = 3,58 \text{ GN/m}$   
Yeraltı Su Durumu : Kuru, Yer Yer Nemli

#### Açıklamalar

8,4 m		Yeraltında Gözlenen En Yüksek Ayak Kırılma Mesafesi
5,8 m		Yeraltında Gözlenen Ortalama Ayak Kırılma Mesafesi
3,2 m		Yeraltında Gözlenen En Düşük Ayak Kırılma Mesafesi

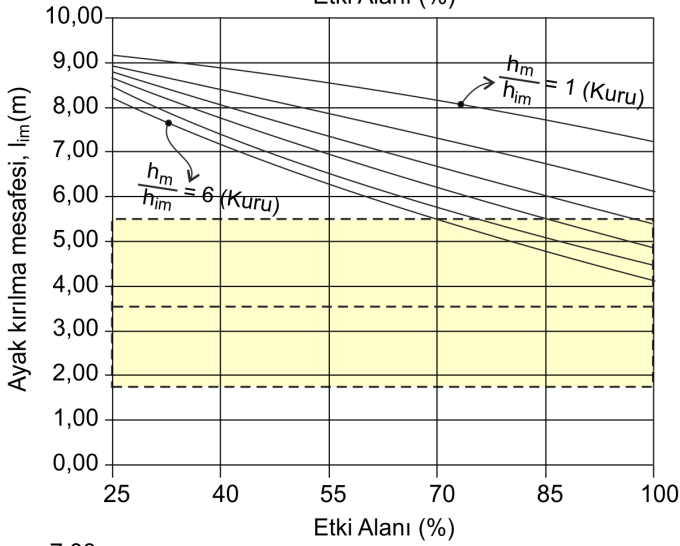
Şekil 6. Geliştirilmiş elastik kiriş çözümünden elde edilen farklı ayak kırılma mesafeleri ile yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafelerinin karşılaştırılması. (devam ediyor)



d) TTK Üzülmöz 3. Kariye Çay Piçi Ayağı  
(Tavantaşı : İnce Taneli Kumtaşı)

$$K_{im} = 32,10 \text{ GN/m}$$

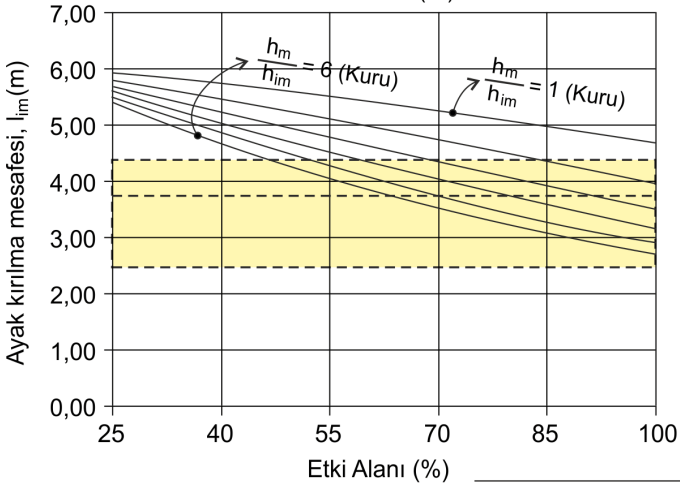
Yeraltı Su Durumu : Kuru



e) TTK Kozlu 5. Kariye Kurul Ayak  
(Tavantaşı : Silttaşı)

$$K_{im} = 3,96 \text{ GN/m}$$

Yeraltı Su Durumu : Kuru, Yer Yer Nemli



f) TTK Kozlu 3. Kariye Çay Batı Ayağı  
(Tavantaşı : İnce Taneli Kumtaşı)

$$K_{im} = 19,16 \text{ GN/m}$$

Yeraltı Su Durumu : Kuru, Yer Yer Nemli

#### Açıklamalar

4,8 m		Yeraltında Gözlenen En Yüksek Ayak Kırılma Mesafesi
3,3 m		Yeraltında Gözlenen Ortalama Ayak Kırılma Mesafesi
1,8 m		Yeraltında Gözlenen En Düşük Ayak Kırılma Mesafesi

Şekil 6. Geliştirilmiş elastik kiriş çözümünden elde edilen farklı ayak kırılma mesafeleri ile yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafelerinin karşılaştırılması.



## TARTIŞMA

Bu çalışmada önerilen Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü ile kuru koşullar altında incelenen ayakların kırılma mesafeleri araştırılmıştır. Farklı ana tavan kalınlıklarında ve üçgen yayılı yüklemelerde geliştirilen Eşitlik 11 kullanılarak farklı tavan katılığındaki ayakların kırılma mesafe ve mekanizmaları hakkında bazı bilgilere ulaşılmıştır. Çok katı ve katı tavanlarda bu çalışma için kullanılan üçgen yayılı yüklemelerdeki ana tavan etkisi ayak kırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Gevşek tavan koşullarında ise Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü dikkatli kullanılmalıdır.

Kratzsch (1983), kömür damarı üzerinde detaylı çalışma yapılması gereken yüksekliğin 12H kadar olduğunu ifade etmiştir. Palchik (2003) Ukrayna kömür madenlerinde (Donetsk Havzası) yaptığı çalışmalarda kömür damarı üzerinde eklem takımlarının kesiştiği, çatlaklı zon olarak tanımlanan bölgenin 4H – 11H kadar bir düşey yüksekliği kapsadığını vurgulamıştır. Majdi vd. (2012) ise bu kapsamda yaklaşık 20H kadar bir düşey mesafeden söz etmektedir.

Bu çalışmada, incelenen ayaklar için yalancı tavan kalınlığı Bölüm 2.1’de ifade edilen yaklaşımlar ışığında belirlenmiştir. Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü’ne göre gerçekleştirilen analizlerde ana tavan kalınlığının yalancı tavan kalınlığının

en fazla altı katı olduğu  $\left(\frac{h_m}{h_m} = 6\right)$  düşünülürken etkin bir tabaka kontrolünü sağlanması için detaylı çalışılması gereken yüksekliğin 3H – 9H (kömür damarı üst yüzeyinden) olduğu istatistik olarak belirlenmiştir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada uzunayak madenciliğinde ayak arkası kırılma mesafesine etki eden değişirgeler ifade edilmiştir. Ayak arkasının kırılma mesafesinin kestirimi hakkında literatürde yer alan önemli yaklaşımlar özetlenmiş ve incelenen ayakların kırılma mesafeleri bu yaklaşımlar doğrultusunda ele alınmıştır. Literatürde yer alan yaklaşımların incelenen ayaklara uygulanması sonucu katı tavanlarda Laubscher (1990) yaklaşımının anlamlı sonuçlar verdiği, orta katılıkta ve gevşek tavanlarda yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi değerleri Das (2000) ile ZTGS (2014) yaklaşımlarından elde edilen değerler arasında kaldığı

görülmüştür. Özellikle klasik elastik kiriş teorisi (Eşitlik 9) kullanılarak gerçekleştirilen analizlerden elde edilen değerlerin yeraltında gözlenen ayak kırılma mesafesi değerlerinden yüksek olması yalancı tavan üzerinde ana tavan yüklemesini düşündürmektedir. Bu sebepten elastik kiriş teorisi kuralları dâhilinde farklı ana tavan kalınlıklarında ve farklı etki alanlarında Geliştirilmiş Elastik Kiriş Çözümü (Bkz. Eşitlik 11) önerilmiştir. Önerilen çözüm yöntemi Zonguldak Taşkömürü Havzası’nda yer alan altı adet uzunayak kömür madenine uygulanmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- i. Uzunayak madenciliğinde, ayak arkasının kırılmasında ana tavan yüklemesinin önemli etkileri olduğu görülmüştür.
- ii. Ayak arkası kırılmasında önemli bir mekanik büyüklük olan Zonguldak Taşkömürü Havzası kömür çevre kayalarının çekme dayanımının (kaya kütlesi) kestirilmesi adına Hoek – Brown Yenilme Ölçütü kullanılarak yeni bir görgül bağıntı türetilmiştir. Geliştirilen görgül bağıntı farklı litolojilerdeki kömür çevre kayalarına uygulanmış ve anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.
- iii. Ana tavan ile yalancı tavan arasındaki tabaka ayrılması olayı göz önünde bulundurulduğunda, ana tavanın yalancı tavan üzerine eş yüklemeye koşulu yerine üçgen yüklemeye koşulunun kullanılması, yeraltından alınan ayak arkası kırılma mesafesi değerleri ile daha anlamlı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır. Ana tavanın yalancı tavan üzerine olan etkisi üçgen yayılı yüklemelerde etki alanının en az % 70 ve daha büyük alınması durumunda yeraltında gözlenen ayak arkası kırılma mesafesi değerleri ile uyumluluk göstermektedir.
- iv. İncelenen altı adet uzunayakta yapılan analiz ve laboratuvar çalışmaları sonucunda etkin bir tabaka kontrolünün sağlanması için detaylı çalışılması gereken düşey yüksekliğin 3H – 9H (kömür damarı üst yüzeyinden) olduğu belirlenmiştir.
- v. Kuru şartlar altında gerçekleştirilen analizler ile ana tavan yüklemesinin arkası kırılma mesafesi üzerine etkileri kavramsal olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Kuru koşulların mevcut olmadığı ortamlarda su etkisi ve tavan tabakaları doygunluk derecesinin ayak arkası kırılma

rilma mesafeleri üzerine olası etkilerinin yapılacak ilave çalışmalarla araştırılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

Alpan S (1969) Maden İşletme Metotları, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Yayın No: 2, 21.

Barczak, T.M. and Gearhart, D.F. (1993). Engineering methods for the design and employment of wood cribs. Proceedings of the 12th Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV, pp. 47-54.

Bieniawski Z.T. (1989), Engineering Rock Mass Classification. pp. 51-64

Bilinski A. and Konopko W. (1973) Criteria of the Selection of Individual and Mechanized Support Schemes for Longwall Workings (in Polish), Przegląd 6: pp 241-244.

Bilir, M. E. (1994) TTK Asma İşletmesinde Hidrolik Direk-Eklemlili Çelik Sarma Uygulamalarının Yük ve Konverjans Ölçümleriyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 161s.

Birön C. ve Arioğlu E (1999) Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 361s.

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 : pp 585-597.

Everling, G. (1985) Der Einfluß der Strebweite auf die Hangendbeherrschung, Glickauf Forschunghefte.

Farmer I., Gupta R. N. (1993) Geotechnical design aspects of longwall caving in difficult conditions. J. Min. Res.;4: pp 25–32.

Gerçek, H. (2002). Hoek-Brown ölçütünün tanımladığı yenilme zarfları ve yüzeylerinin özellikleri. KAYAMEK 2002 - VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, C. Şensöğüt ve İ. Özkan (ed.), T.U.K.M.D. ve S.Ü Maden Müh. Bölümü, Konya, s. 3-10.

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.

Gökçeoğlu C., Sönmez H. and Kayabaşı A. (2003). Predicting the Deformation Modulus of Rock Masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 40: pp 703-712.

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, pp 267–273.

Hoek E. and Diedrichs M. S. (2006). Empirical Estimation of Rock Mass Modulus, Int. J. Rock. Mech.

Min. Sci. 36: pp 203-215.

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, pp 57-78.

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, pp 79-98.

Hosseini N., Oraee K., Shahriar K. and Goshtasbi K. (2013). Studying the stress redistribution around the longwall mining panel using passive seismic velocity tomography and geostatistical estimation, Arab. J. Geosci. 6: pp 1407–1416.

Jacobi O (1981) Praxis der Gebirgsbeherrschung, 2. Auflage, Essen, 576p.

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

Kai, W., (2011), Study of Reasonable Hanging Roof Length on Hard Roof, Procedia Engineering 26: pp 772 – 777

Kayabaşı A., Gökçeoğlu C. and Ercanoğlu M. (2003). Estimating the Deformation Modulus of Rock Masses : a Comparative Study, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 40: pp 55-63.

Kelly M., Luo X. And Craig S., (2002) Integrating tools for longwall geomechanics assessment, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 39: pp 661–676.

Kim B. H., Yang H. S. and Chung S. K.

(2003). Revaluation of rock mass classification using multivariate analysis and estimation of tunnel support. Proceedings: ISRM 2003 - Technology road map for rock mechanics. South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 645-648.

Kratzsch H. (1983) Mining Subsidence Engineering. Springer, Berlin Heidelberg. New York

Köken E. (2013). Zonguldak Havzası Uzunayakları için Bir Göçebilirlik Sınıflamasının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), B.E.Ü. Fen Bilimleri Enst., 205s.

Köken E. (2014). Zonguldak Taşkömürü Havzası Uzunayakları için Bir Tavan Göçebilirlik Sınıflamasının Geliştirilmesi, Madencilik, Cilt: 53, Sayı: 1-2, 3-20.

Laubscher D. H. (1990) A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mine Design, J. South Afr. Inst. Min. Metall. 90: pp 257-273.

Lawrence, W. (2009) A method for the design of longwall gateroad roof support, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. 46 pp 789–795.

Lihpin, Y.I. and Zoubkov A.Z. (1990) Simulation and in-situ study of rock behaviour around mining opening

- approaching to a tectonic discontinuity, Rock Joints, Barton&Stephasson (eds), Balkema, pp 455 - 473.
- Manteghi H., Shahriar K., and Torabi T.,(2012). Numerical modelling for estimation of first weighting distance in longwall coal mining – A case study, 12th Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 60-68.
- Majdi A., Hassani F. P., Nasiri M. Y., (2012) Prediction of the Height of Destressed Zone above the Mined Panel Roof in Longwall Coal Mining, Int. J. Coal Geology, 98: pp 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.
- Majumdar, S., (1986). The support requirements at a longwall face - a bending moment approach, In Proceedings of the rock mechanics: key to energy production: 27th US symposium on rock mechanics, The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama; June. pp. 325-332.
- Mitri H. S., Edrissi R. and Henning J. (1994). Finite Element Modelling of Cable Bolted Stopes in Hardrock Ground Mines, SME Annual Meeting, pp 94-116. New Mexico.
- Nicholson G. A. and Bieniawski Z. T., (1990). A Nonlinear Deformation Modulus Based on Rock Mass Classification, Int. J. Min. Geol. Eng. 8: pp 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: pp 193-204.
- Özel R. (1995) Development of guidelines for selection of longwall shield supports, Doktora Tezi (yayımlanmamış), ODTÜ / FBE Enst., 245s.
- Palchik, V., (2003). Formation of Fractured Zones in Overburden due to Longwall Mining. Environ. Geol. 44, 28–38.
- Paşamehmetoğlu A. G. ve Bilgin H. A. (1989) Ara rapor 1: Galerilerde Optimum patlatma düzeninin saptanması, TTK Genel Müdürlüğü Asma İşletmesi Kömür ve Kayalarının Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkarılmasının Araştırılması, Proje No. 88-03-05-01-04, Ankara
- Peng, S. S., Chiang, H. S., (1984). John, Wiley and Sons., Longwall Mining.
- Peng, S. S., (1986). Coal Mine Ground Control, 2nd ed., West Virginia University.
- Ragan, D.M. (2009). Structural Geology : An Introduction to Geometrical Techniques, 4th Edition, Cambirdge Uni. Press, 632p.
- Ramamurthy T. (2004). A Geo-Engineering Classification for Rocks and Rock Masses, Int. J. Rock. Mec. and Min. Sci. 41: pp 89-201.
- Salamon M.D.G., (1990). Mechanism of caving in longwall mining. In: Hustrulid W, Johnson G, editors. Proceedings of the 31st US rock mechanical symposium, Golden, Colorado. Rotterdam: Balkema; pp 161–68.
- 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: pp 245-250.
- 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: pp 21-35.
- Sönmez H., Gökçeoğlu C. and Ulusay R. (2004). Indirect Determination of The Modulus of Deformation of Rock Masses based on GSI System, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 41: pp 849-857.
- 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: pp 224 - 235.
- Sweby G. (1997) Review thystems and determine the effect of the mechanism on the safety of the system, Project No : COL – 327, GSİRO MININGTEK.
- TTK (2013) Türkiye Taşkömürü Kurumu Plan Büroları Arşivleri (Üzülmez, Kozlu ve Gelik Müesseseleri).
- Ulusay R. ve Sönmez H. (2007). Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, JMO Yayınları, 292s.
- Ünal E. (1995). Modified Rock Mass Classification M-RMR System, Milstones in Rock Engineering, The Bieniawski's Jubilee Collection, AA Balkema, pp. 203-223.
- Ünlü T. (1989). Üzülmez Müessesesi Asma İşletmesi Sulu Ayakta Yapılan Yük ve Konverjans Ölçümleri İle Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Mühendislik Tezi (yayımlanmamış), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 129s.
- Ünlü T. ve Gerçek H. (2000). Ahşap Domuzdamlarının Mekanik Davranışı ve Tasarımı, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Kdz. Ereğli, Zonguldak, pp 41-53.
- 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 A. K. and Raju N. M., (1989). Rock Mass Classification for Design of Roof Supports – A Statistical Evaluation Of Parameters, Min. Sci. And Tech.,pp 97-107.

Whittaker B. N. and Jeremic M. L., (1979). Longwall Mining Potential of Plains, Region of Coal Deposits in Western Canada Colliery, Guar. Coal Int., pp 31-39.

ZEDEM (1994). Establishment of an Industrial Support Centre in Zonguldak, Final Report, 104 p.

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: pp 337-341.

Zhou, Y, (1991). Evaluating the impact of multi-seam mining on recoverable coal reserves in an adjacent seam, Virginia Division of Mineral Resources, Commonwealth of Virginia, Department of Mines, Minerals and Energy, Publication, 104.