

TÜRKİYE 6. KÖMÜR KONGRESİ  
The Sixth Coal Congress of TURKEY

KALIN KÖMÜR DAMARLARININ ÜRETİLMESİ SIRASINDA OLUŞAN  
GERİLMELERİN İNCELENMESİ

THE DETERMINATION OF STRESS DISTRIBUTION WHICH FORMS DURING  
LONGWALL MINING OPERATIONS OF THICK COAL SEAMS

Halil KÖSE\*  
Yalçın CEBİ\*\*

ÖZET

Bu çalışmada, kalın kömür damarlarının uzunayak yöntemi ile üretilmesi sırasında oluşan gerilme dağılımı, Sonlu Elemanlar Yöntemi yardımı ile aşağıda sıralanan üç ayrı alternatif halinde incelenmiş ve sonuçları irdelenmiştir.

- Kömür damarının arkadan geçertmeli (blok geçertmeli) uzunayak yöntemi ile kazanılmasına göre
- Kömür damarının ta/an ve taban ayak uygulanarak kazanılmasına göre
- Kömür damarının uzunayak yöntemi ile üç dilim halinde aynı anda kazanılmasına göre.

ABSTRACT

In this study, the determination of stress distribution which forms during three different longwall mining operations of thick coal seams by finite element method are described. These methods are:

- Longwall mining with Block-caving
- Longwall mining with simultaneous LS slicing and block-caving
- Longwall mining with simultaneous slicing

(\*) Doç.Dr., Maden Yük.Müh., D.E.Ü. Maden Muh.Böl., Bornova-İZMİR

(\*\*) Araş.Gör.Maden Müh., D.E.Ü. Maden Müh.Böl., Bornova-İZMİR

## 1- GİRİŞ

Kömür madenlerinde sık sık yaşanan kaya patlaması ve göçük gibi can kaybına neden olan uzucu alaylar ile uzunayaktaki kesit daralmalarının (konverjansların) önceden tahmin edilerek önlem alınması için, a bölgede etkin alan birincil ve ikincil gerilmelerin gerçeğe yakın bir şekilde hesaplanabilmesi gerekir. Birincil gerilmeler yerçekimsel basınçlar ve tektonik diagenetik basınçlardan, ikincil gerilmeler ise yer altında açılmış olan boşluklardan dolayı oluşmaktadır.

Yerçekimsel basınçların etkisi ile oluşan gerilmeler, kayacın özgül ağırlığı ile derinlikten kalayca hesaplanabilmektedir. Tektonik ve diagenetik basınçlar ile ilgili araştırmalar da uzun süreden beri yoğun bir şekilde yapılmaktadır (1, 5, 7, 12, 13).

Uzunayaklar etrafında oluşan gerilmeleri (ikincil gerilmeler) açıklamak amacıyla, ölçüm ve gözlemlere dayanan bir çok basınç teorileri ortaya atılmıştır. Bu teoriler ile ilgili detaylı bilgileri referanslardan sağlamak mümkündür (3, 6, 9).

hayaçların tüm özelliklerinin (katmanlaşma, süreksizlik, E Modülü, özgül ağırlık v.s. gibi) göz önüne alınarak çeşitli parametrelere göre, uzunayaklar etrafındaki gerilmelerin Sanlu Elemanlar Yöntemi yardımı ile incelenmesi ilk olarak D.E.Ü. Maden Mühendisliği Bölümünde Möse tarafından yapılmış ve sonuçları 1966 yılında Türkiye 5. Kömür Kongresinde sunulmuştur (9).

Anılan kongre sırasında Tunçbilek, Soma ve Seydazı'nda çalışan teknik elemanlar ile yapılan bilimsel tartışmalardan, kalın kömür damarlarının kazanılması sırasında uygulanan uzunayakların (tavan ayak ile taban ayağın) birbirlerini ne şekilde ve hangi oranda etkileyeceği konusunda detaylı araştırmaların yapılmasının çok yararlı olacağı görüşüne varılmıştır.

Konusu belirlenmiş olan araştırmada, Tunçbilek kömür madeni örnek olarak alınmış ve gerilmeler Sanlu Elemanlar Yöntemi ile aşağıda sıralanan üç ayrı alternatifte göre hesaplanmıştır.

1- Kömür damarının arkadan göçertmeli (Blok Göçertme) taban ayak uygulanarak kazanılmasına göre,

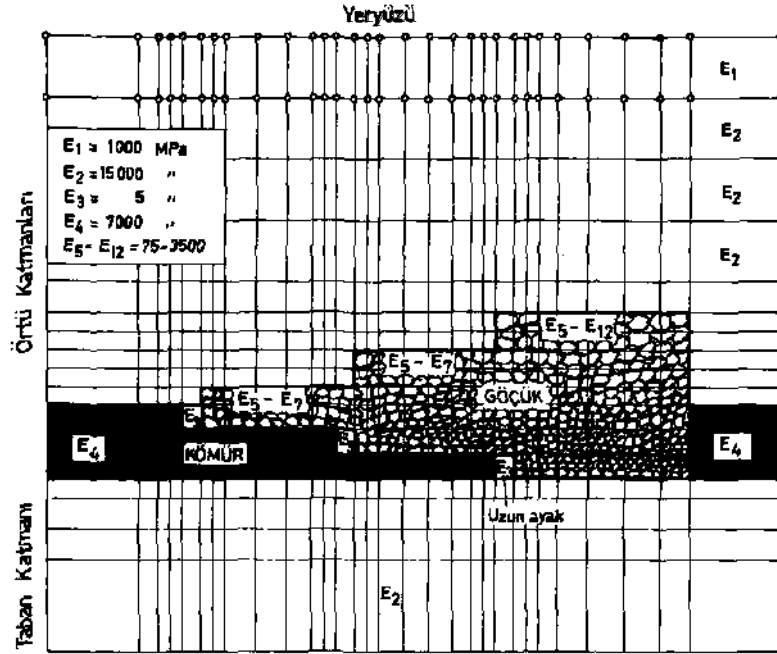
2- Kömür damarının tavan ve taban ayak uygulanarak kazanılmasına göre Ctaban ve tavan ayak arasında kalan kâmur taban ayağın arkasından gö'çertilerek kazanılacaktır),

3- hömür damarının üç dilim halinde uzunayak ile aynı anda kazanılmasına göre.

## 2. KDMÜR DAMARININ ARKADAN GDÇERTMELÎ UZUNAYAK (TABAN AYAK) ÜRETİM YÖNTEMİ İLE KAZANILMASI SIRASINDA OLUŞAN GERİLME DURUMU

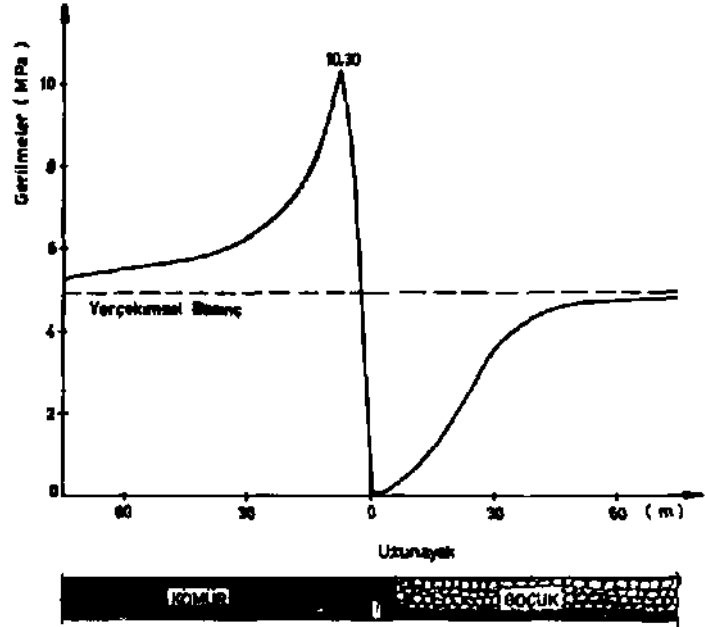
Kalın kömür damarının taban ayak uygulaması ile kazanılması sırasında oluşan gerilme durumunu incelemek amacı ile 7 m kalınlığa sahip 200 m derinlikte bir kömür damarı seçilmiş ve damarın alttan 2 m lik bölümünün taban ayak ile üstte kalan 5 m lik bölümünün ise uzunayağın arkasından göçertilerek kazanıldığı kabul edilmiştir.

Hesaplamalar için aluştırulan element ağının prensip şeması ile katmanların özellikleri Sekil 1 de gösterilmiştir. Şekil sayısını sınırlı tutmak amacı ile burada yalnız dilimler halinde kazının element ağı verilmiştir. Diğer iki alternatifin element ağı prensip Dılarak aynıdır.



Sekil 1. Sonlu Elemanlar Yöntemine göre oluşturulan element ağının prensip şeması

Şekil 2 de, seçilmiş olan kömür damarının arkadan göçertmeli uzun-ayak üretim yöntemi ile kazanılması sırasında oluşan düşey gerilmeler gösterilmiştir. Uzunayağın önünde yer alan kömür damarı üzerinde ek gerilmelerin (yerçekimsel basınç değerlerini aşan gerilmeler) oluştuğu, göçük alanı üzerine etki eden gerilmelerin ise yalnızca yerçekimsel basınç değerlerine (<\*,95 MPa) ulaştığı gözlenmektedir. Uzunayağın üzerinde ve altında gerilmelerin azaldığı Ferahlanmış bir zon oluşmuştur.



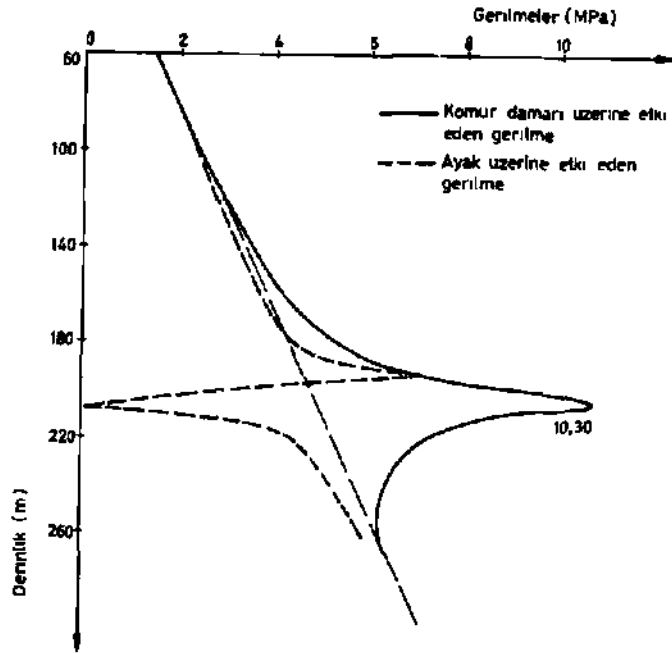
Şekil 2. Kömür damarının, taban ayak üretim yöntemi ile kazanılması sırasında oluşan düşey gerilmeler

Karur damarı üzerinde, kazısının yaklaşık 80 m ilerce ek gerilmeler (ikincil gerilmeler) etkisini göstermeye başlamakta, kazı arınma doğru süratli bir şekilde artarak, kazısının 8 m crunde toplan 10.3 MPa ile maksimin değerine ulaşmaktadır.

Böylece kazı arınıönündeki gerilme değerleri yerçekimsel basınçların iki katını aşmış olmaktadır.

Uzunayak tavanına etki eden basınçlar aniden 0.0a MPa (6 Tan/m ) ile yerçekimsel basınçların % 1.2 sine kadar düşmektedir.

Sekil 3 deki düşey kesit üzerinde gösterilen gerilme değerlerinden de anlaşıldığı gibi, uzunayağın 15 m üzerinde ve altında basınçları azalmış ferahlamış bir zon (saha) oluşmuştur. Ferahlamış saha nedeni ile uzunayağın tay-ama etki eden yükler günümüzde kullanılan tahkimat sistemlerinin taşıma kapasitelerinden düşük değerlerdedir.



Çekil 3. Tshsn ayak uygu! 'masında düşey gerilmelerin derinliğe bağlı olarak dağılımı

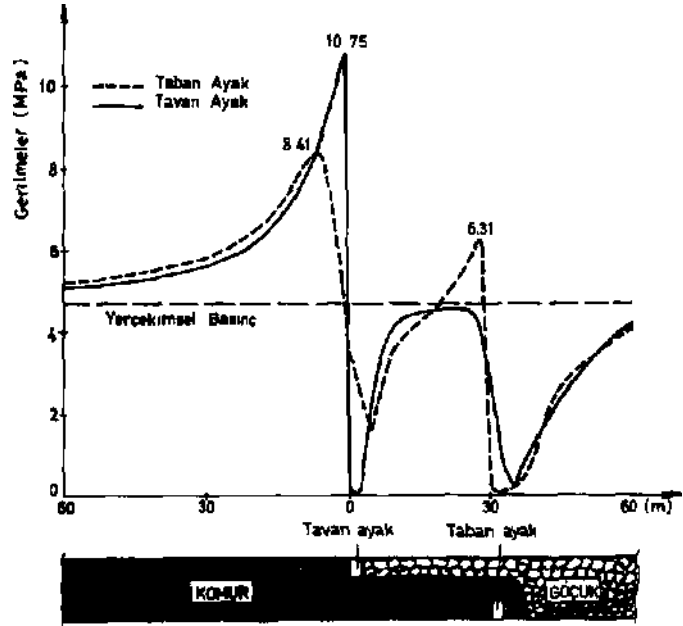
Uzunayak tavanındaki basınçların etkisi, ayakta uzaklaştıkça artmakta yaklaşık 5D m ilerde yerçekimsel basınç değerlerine ulaşmaktadır. Basınç kemeri ve Basınç elipsoidi gibi teoriler tarafından ileri sürülen durumun aksine, çukuk alanı üzerinde ek gerilmeler oluşmamaktadır. Uzunayak etrafındaki gerilme dağılımının yapısı, daha önce yapılan araştırmada saptanmış olduğu gibi, Jacobi tarafından ortaya atılan "Plastik Örtü Katmanı" teorisini destekleyici niteliktedir (9, 10).

### 3. KOMUR DAMARININ TAUFİN VE TABAN AYAK ÜRETİM YÖNTEMİ İLE KAZANILMASI SIRASINDA OLUŞAN GERİLME DURUMU

Birinci alternatifteki koşullarda seçilen komur damarının üstte 2 m lık bölümünün tavan ayakta, alttan 2 m ilk bölümünün taban ayakta, arada kalan 3 m lık bölümünün ise taban ayakın arkasından geçertilerek kazanıldığı kabul edilmiştir.

Tavan ve taban ayak arasındaki mesafe, pratikte yaygın olarak uygulandığı için 30 m olarak seçilmiştir.

Tavan-taban ayak uyuşmasındaki gerilme dağılımı prensip olarak tek uzun ayak uygulamasındaki uygun bir yapı göstermektedir. Başka bir deyişle, uzun ayak önündeki komur damarı üzerinde ek gerilmeler oluşmakta, göçük alanı üzerinde ise ek gerilmeler oluşmamaktadır (Şekil k).



Şekil U. hamur damarının tavan-taban ayak üretim yöntemi ile kazanılması sırasında oluşan düşey gerilmeler

Komur damarı üzerine etki eden gerilmeler 10.75 MPa lık maksimum değerine hemen kazı arını onunda ulaşmaktadır. Halbuki tek uzun ayak uygulamasında ek gerilmelerin pik değeri (10\*30 MPa) kazı arınından 8 m daha içerlerde oluşmaktadır.

Tek uzunayak (taban ayak) uygulamasına göre maksimum gerilme değerinde %  $U$  lük bir artış meydana gelmiştir. Bu gerilme artışı taban ayağın etkisinden kaynaklanmaktadır.

Su nedenle, Kalın kömür damarlarının kazanılması sırasında uygulanan tavan-taban ayak yönteminde, ayaklar arasındaki mesafe uygun olarak seçildiğinde, (emeğin 30 m gibi) taban ayak tavan ayağı önemli ölçüde etkilemeyecektir.

Tavan ayağın üzerine etki eden basınçlar tek uzunayaktakinin göre değişiklik göstermemektedir (0.06 MPa).

Tavan ayağın arkasındaki göçük alanı üzerine etki eden gerilmeler süratli bir şekilde artarak ayağın hemen 20 m arkasında birincil gerilmelere ulaşmaktadır. Halbuki tek uzunayak uygulamasında ayak arkasındaki gerilmeler kazı arınından ancak 50 m uzakta birincil gerilmelere ulaşabilmekte idi. Bunun nedeni iki ayak arasında yer alan göçük alanının, taban ayağın ek gerilmelerinin olduğu bölgede kalması ve ondan etkilenmesidir.

Taban ayak tavan ayağın göçük alanının altında yani ferahlamış sahada yer aldığı için, kömür damarı üzerinde tavan ayağa ve/veya tek uygulanan uzunayağa göre daha düşük değerlerde ek gerilmeler oluşmaktadır.

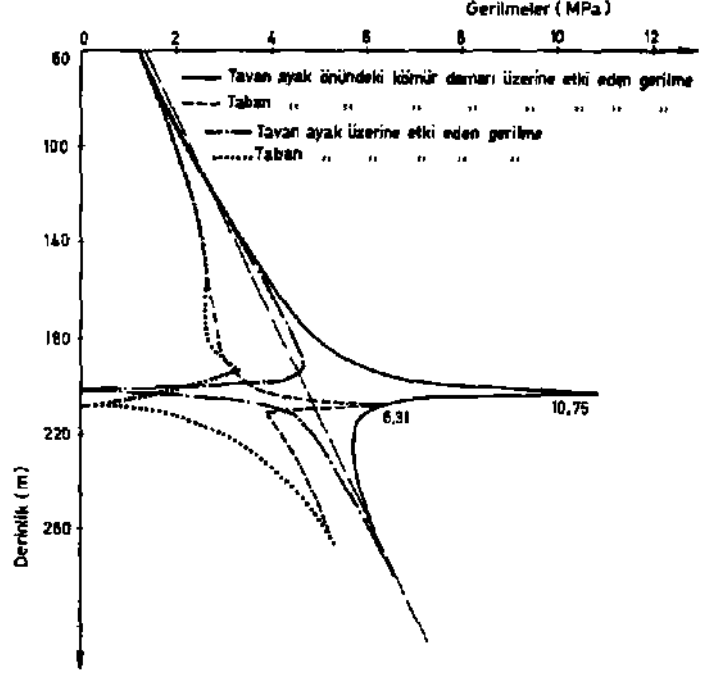
Taban ayağın önündeki kömür damarı üzerine etki eden ek gerilmelerde iki adet maksimum değer gözlenmektedir. Birincisi  $B.k'$  MPa ile tavan ayağın yaklaşık 5 m kadar önünde, ikincisi ise 6.31 MPa ile taban ayağın hemen önünde oluşmaktadır. Maksimum gerilme değerleri birincil gerilme değerlerine (0.55 MPa) göre sırası ile % 70 ve % 27 lik bir artış kaydetmiştir. Tavan ayakta oluşan maksimum gerilme değerine (10.75 MPa) göre ise sırası ile % 22 ve % 10 lik bir azalma gözlenmektedir.

Taban ayağın üzerine etki eden basınçlar tavan ayağa göre % 10 kadar azalmıştır (0.05 MPa).

Göçük alanı üzerine etki eden gerilmeler taban ayaktan 30 m kadar ilerde birincil gerilmelere ulaşmaktadır. Bu uzaklık tek uzunayak uygulamasında yaklaşık 50 m yi bulmakta idi.

Düsey kesit üzerindeki gerilme dağılımına bakıldığında taban ayak üzerinde ve altındaki ferahlamış sahanın tavan ayaktakinin göre daha

geniş bir bölgeyi kapsadığı gözlenmektedir (Şekil 5).



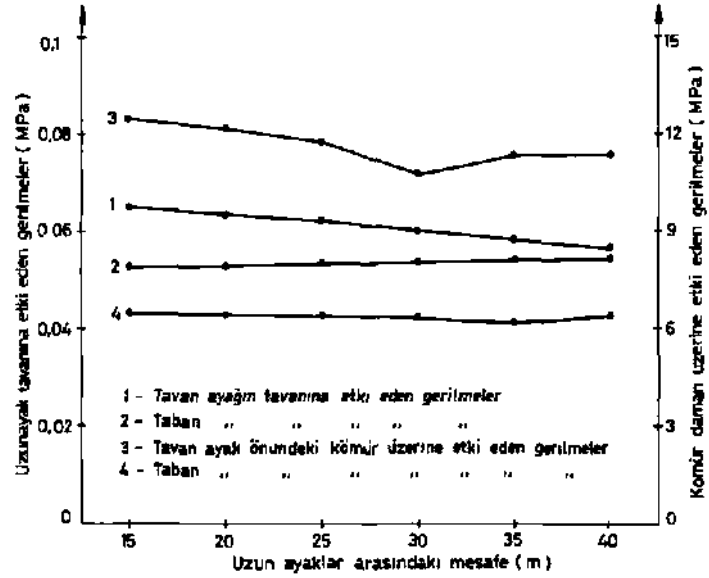
Şekil 5. Tavan-iaban ayak uygulamasında düşey gerilmelerin derinliğe bağlı olarak dağılımı

Halın kömür damarlarının tavan-taban ayak üretim yöntemi ile kazanılması sırasında, ayaklar arasında tutulan mesafenin, gerilme durumunu nasıl ve hangi ölçüde etkilediği tartışılmaktadır. Uzmanlar tarafından önerilen mesafe 30 ila 60 m arasında değişmektedir (2).

Burada yapılan hesaplamalarda, ayaklar arasındaki mesafe 15 m ile 30 m arasında 5'er metre aralıklarla değiştirilmiştir. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi, kömür damarı üzerine etki eden ek gerilme değerlerine göre en uygun ayak aralığı 3D m olarak değerlendirilebilir. Ayaklar arası mesafe 15 m den 30 m ye çıkarıldığında ayak önü basınçları % 17 azalmaktadır. Su da ayak içi konverjanslarının önemli ölçüde azalması demektir. Tavan ayağın üzerine etki eden basınçlar ayaklar arasındaki mesafe arttıkça azalmaktadır, zira artan mesafe ile birlikte tavan ayak taban ayağın ek gerilme zonundan uzaklaşmaktadır. Ancak bu etkileme önemli



ölçüde değildir. Örneğin ayaklar arasındaki mesafe 30 m den <math>40</math> m ye çıkarıldığında, basınçlar % 5 oranında azalmaktadır.



Şekil 6, Düşey gerilmelerin uzunayaklar arasındaki mesafeye göre değişmesi

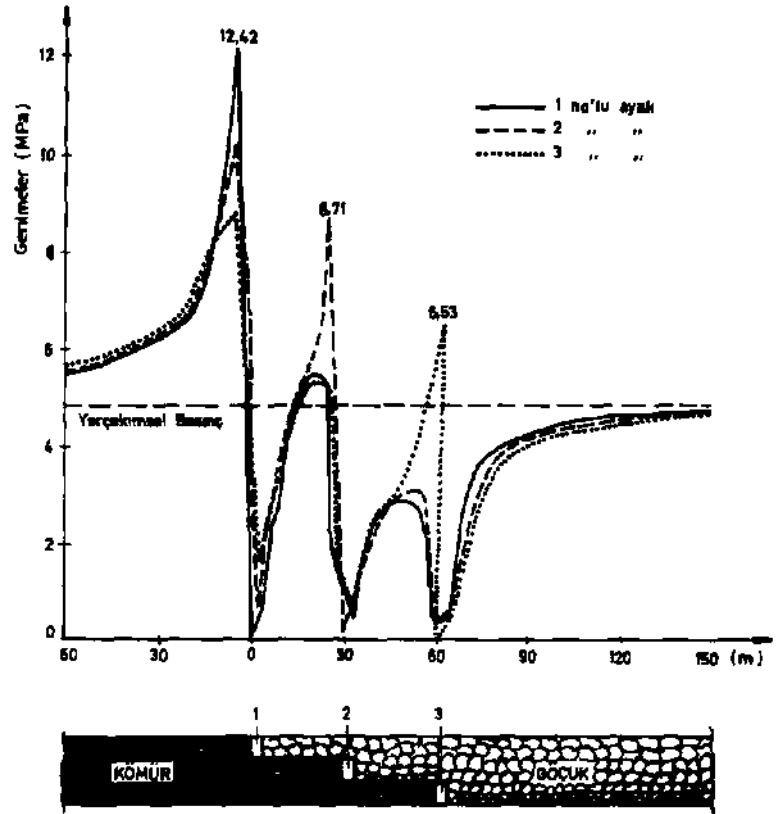
Tavan ayağın üzerine etki eden basınçların aksine, ayaklar arasındaki mesafe arttıkça tavan ayağın üzerine etki eden basınçlarda artmaktadır, zira mesafe arttıkça taban ayak, tavan ayağın ferahlamış zandan uzaklaşmaktadır. Ancak buradaki gerilme artışı da önemli ölçüde olmamaktadır.

Kısaca özetlemek gerekirse, tavan-taban ayak uygulamasında, 30 m arasındaki mesafenin 30 m civarına seçilmesi gerilme şiddeti yönünden uygun olarak değerlendirilebilir.

#### U. KÖMÜR DAMARININ ÜÇ DİLİM HALİNDE AYNI ANDA UZUNAYAK ÜRETİM YÖNTEMİ İLE KAZANILMASI SIRASINDA OLUŞAN GERİLME DURUMU

Su bölümde yapılan hesaplamada, aynı koşullarda seçilen kömür damarının üç dilim halinde 30 ar metre aralıklarla uzunayak üretim yöntemi ile kazanıldığı kabul edilmiştir.

Üretim alanı etrafında oluşan gerilme durumu prensip olarak tauan-  
taban ayak uygulamasına benzemektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Komur damarının uzun ayak üretim yöntemi ile dilimler halinde kazanılması sırasında oluşan düşey gerilmeler

flv/ak önündeki ek gerilmeler birinci ayaktan uçuncu ayağa doğru kademelenerek azalmaktadır. Birinci uzun ayağın önündeki komur damarı üzerine etki eden gerilmelerin maksimum değeri  $12,42 \text{ MPa}$  ile tek uzunayağına ( $10,3 \text{ MPa}$ ) göre % 21 kadar artmıştır.

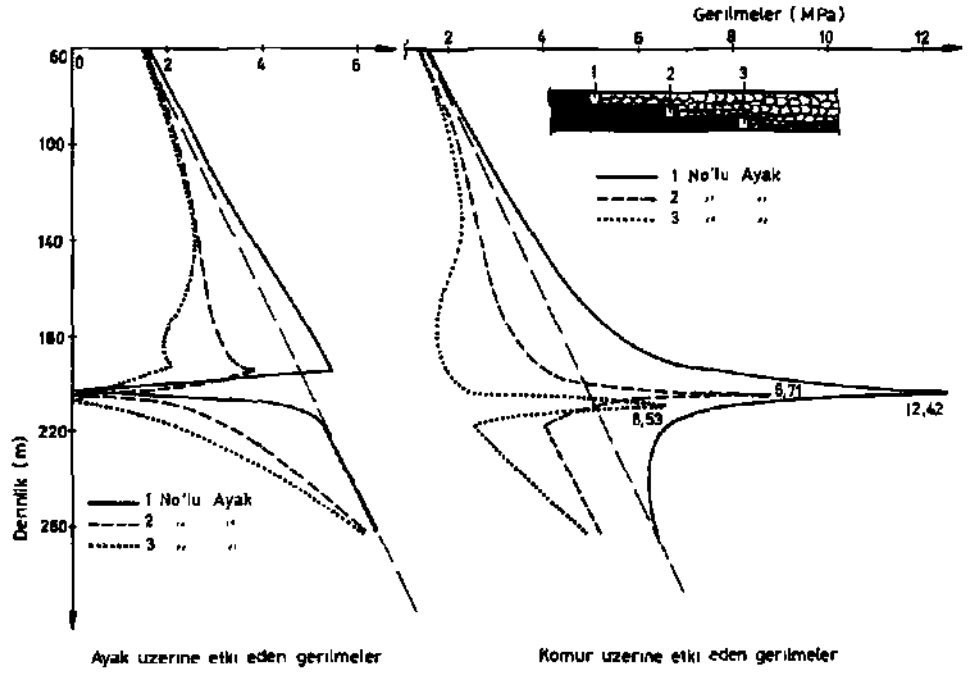
ikinci uzunayağın önündeki komur damarı üzerine etki eden gerilmelerin maksimum değeri ( $6,71 \text{ MPa}$ ) birincinininkine göre % 3D, uçuncu uzunayağın önündeki komur damarı üzerine etki eden gerilmelerin maksimum değeri ( $6,53 \text{ MPa}$ ) birincinininkine göre % 1U azalmıştır. Bunun nedeni, birinci uzunayağın, ikinci ve uçuncu uzunayağın ek gerilmelerinin oluş-

tuğu zonda yer almasındandır (Superpazisyan Yasası). Aynı şekilde ikinci ve üçüncü uzunayakta, birinci uzunayacjm ferahlamış zonunda bulunmaktadırlar.

Etki eden gerilmelerin farklılıklarından dolayı en fazla kDnverjansın birinci uzunayakta olması ikinci ve üçüncü uzunayakta ise sırası ile azalması beklenmelidir. Uzunayak tav/anına etki eden basınçlar da birinci ayaktan üçüncüsüne doğru sırası ile azalmaktadır (0.062, D.061, G.060 MPa).

Birinci uzunayağın arkasındaki göçük üzerinde, ikinci ayağın ön basınç zonunda yer aldığı için, ek gerilmeler oluşmaktadır- Üçüncü ayağın Önünde ise ek gerilmeler oluşmamaktadır.

Ayaklar arkasındaki göçük alanı üzerine etki eden gerilmeler süratle artarak üçüncü ayaktan 50 m kadar uzakta birincil gerilmelere ulaşmaktadır.



Şekil 8. Dilimler halinde kazanım sırasında oluşan düşey gerilmelerin derinliğe bağlı olarak dağılımı

## 5. SONUÇ

- Halın kömür damarlarının, taban ayak, tavan-taban ayak veya uzunayak ile dilimler halinde üretilmesi sırasında üretim alanı etrafında oluşan gerilme durumu, Jacobi tarafından ortaya atılan "Plastik Örtü Katmanı" teorisini destekleyici niteliktedir. Buna göre, ayak önündeki kömür damarı üzerinde ek gerilmeler oluşmakta, ayak arkasındaki göçük üzerinde ise oluşmamaktadır.
- Kalın kömür damarının tavan-taban ayak üretim yöntemi ile kazanılması sırasında oluşan gerilme değerleri taban ayağın ek gerilme zonunda yer alan tavan ayakta daha yüksek, tav/an ayağın ferahlamış zonunda yer alan tadan ayakta ise daha düşük olmaktadır. Ancak ayakların birbirlerini etkilemeleri önemli ölçüde değildir.
- Tavan kontrolü açısından tavan ve taban ayak arasındaki mesafenin 30 m civarında seçilmesi uygun olacaktır.
- Halın kömür damarının dilimler halinde uzunayak üretim yöntemi ile kazanılması sırasında ayak önü gerilmeleri birinci ayaktan üçüncüye doğru sırası ile % 30, % *W* azalmaktadır. Bu da tavan kontrolünün üçüncü ayaktan birinciye doğru güçleştiği anlamına gelmektedir.

#### KAYNAKLAR

1. ADLER, B.E. ve Diğlerleri, Tektonische Deformationazahl zur Gebirgsbeschreibung Gluckauf, Cilt "Ū, Essen, 1978, pp.169-175.
2. ATKINSON, T., Thick, Steep and Irregular Coal Seam Mining, The Mining Engineer, i^c/ember, 1979.
3. BTRGN, C. ve ARICGLU, E., Madenlerde Tahkimat işleri ve Tasarımı, Birsen Kitabevi, istanbul, 1965.
4. DOKTAN, M. ve İNCİ, Y., Kalın Damar Komur Madenciliğinin Dünyadaki ve Yurdumuzdaki Durumu, Türkiye Bilimsel ve Teknik 1D. Kongresi, Ankara, 1987, S.51-65
5. EHRHARDT, tü., Die Tektonische Kennziffer als Hilfsmittel Zlr tektonische Seuertung einer Legestatte, Glückauf, Gilt 11\*+, Essen, 1978, Dp.696-700
6. JACOBI, D., Praxis der Gebirgsbeherschung, Uerlag Glückauf, Essen, 1976.
7. KÖSE, H., Tektonik Gerilmelerin Maden İşletme Planlamasındaki Önemi ve Yeri, Madencilik Dergisi, Cilt 21, Sayı 3-<+. Ankara, 1982, S.5-13.
8. KÜSE, H., Finite Element Yönteminin Kaya Mekaniği Dalındaki Problemlerin Çözümünde Kullanılışı, Madencilik Dergisi, Cilt 19, Sayı 3, Ankara, 1980, 5.26-3\*«.
9. KÜSE, H., Uzunayak Etrafında Oluşan Basınçların Kuramsal Modeller Üzerinde incelenmesi, Türkiye 5. Kömür Kongresi, 1986, Zonguldak, S.297-315.
10. KÖSE, H., Modelltheoretische Untersuchung der GEcirçsdruckverteilung beim Abbau Gluckauf-Forschungshefte <S (1987) H.1, S.17-22.
11. KQSE, H. ve CEBİ, Y., Kalın Kbmür Damarlarının Kazanılmasında Uyç.--lanılan Uretm Yöntemleri Etrafındaki Gerilmelerin incelenmesi, D.E.U. M\_H.-Mim. Fak. Yayınlarma-uş rapor, 1988.
12. KR^TZSCn, -. ve K15E, h., Modellthenretische SerEn^nung der tsk^r-n^r-hen Sısn-iL^gen in tiefen Elemente, LiestdEjtschr-Uerlag, T.crd-rem-ILEStfalen, 1976.
13. REIn, G. ve VARDA?, M., Bestehen Zusammenhange Zi-ischen resid^ellen Spannungen und tektonischer Beanspruchung?, Rück Tech.6., Springer

