

ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASI (ZTH)'NİN ÖZGÜN MEKANİK PARAMETRELERİNE DAYALI OLARAK TASMAN TAHMİNİ UYGULAMALARI

SUBSIDENCE PREDICTION APLICATIONS BY MECHANIC PARAMETERS OF ZONGULDAK HARDCOAL BASIN (ZHB)

H.AKÇIN

ZKÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET: Tasman; çeşitli aktörlere bağlı olmakla birlikte genelde, yeraltındaki boşluğun geometrisine, örtü katmanının jeolojisine ve ortamın mekanik parametrelerine bağlı olarak kendisini gösterir. Bu konuda geliştirilmiş görgül ve teorik bir çok tahmin yöntemi bulunmaktadır. Çalışmada ZTT'nin yapısına uygun modelsel çalışmalardan elde edilen değerler, profil fonksiyonu yöntemleri ve analitik yöntemlere uygulanmıştır. ZTH'daki Kozlu formasyonunun orta sert kayaç yapısında olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen katsayılara göre yapılan her iki tahmin yöntemi uygulama sonuçlarının eşdeğerli çıktığı görülmüştür.

ABSTRACT: Although subsidence depends on various factors in general, it manifes itself mainly depending on the geometry of underground opening, and on the geological and mechanical properties of the overburden. There are many theoretical and emprical prediction methods developed on this subject. In this study, these parameters determined from geological and geomechanical models of ZHB have been applied to profile methods and analitical methods. It is observed that, formations in the ZHB are of medium to hard nature. According to the coefficients obtained by this application, the results of both predictions are the same.

1 GİRİŞ

Dünyada yeraltı maden üretimi yapılan bir çok havzada, madencilik faaliyetleri sonucu yeryüzündeki doğal denge bozulmakta ve yüzeyde tasman olarak adlandırılan oluşum meydana gelmektedir. Bu olay en derinden yaşayan havzalardan biride ZTH'dır

Böyle bir olayın yeryüzünde yaratacağı etkinin tahmini ise yeni bir olgu değildir. 1800'lü yılların ortasından beri bir çok kişi ve kuruluş tarafından geliştirilmiş görgül ve teorik bir çok tasman tahmin yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerde ortak amaç modellemeye ve gerekli parametrelere dayalı olarak üretim sonrası zeminin durumunu görebilmektir.

Bu çalışmadaki temel amaç, yerel havzalardaki tasman tahmini uygulamalarında, genelde başka ülkelerdeki bölgesel parametreler kullanılarak sonuçlar elde etmek yerine, havzaların özgün mekanik parametrelerine dayalı olarak yaklaşımların sağlanmasına bir pencere açabilmektir. Bu amaç doğrultusunda, ZTH Kozlu formasyonundan alınan jeolojik kesitler ve çeşitli deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular; Hiperbolik fonksiyon, Trigonometrik fonksiyon, Macaristan profil fonksiyonu, Berry analitik fonksiyonu ve sonlu farkların Taylor serisinden elde edilmiş fonksiyonlarına uygulanmıştır.

2. HAVZANIN JEOLJİSİ

ZTH, Ereğli ile İnebolu arasında uzanan Kuzey Anadolu dağ silsilesi içinde pek çok fayları ve topoğrafik düzensizlikleri içeren bir arazidir. Bu bölge içinde sahil boyunca 160 km uzunluğunda ve 20-30 km genişliğindeki karbonifer şeridi Kretase katmanları, Mesozoyik dönemdeki denizsel alanlarda volkanik malzeme katkısıyla oluşmuştur. Halen çalışmakta olan venmli kömür damarları Zonguldak-Kozlu-Kandilli bölgelerinde toplam kalınlığı 600-800 m'yi bulan Karbonifer katmanları içinde bulunmaktadır (Ülgüdür vd 1990)

Kozlu ve Zonguldak bölgelerinin güneyinde Kozlu serisi damarlarını sınırlayan etkin Midi fayı bulunmaktadır. Bu fayın güneyinde dik yatımlı Kılıç sensı kömür damarları bulunmaktadır. Özellikle Kozlu bölgesinde Karadeniz kıyı şeridine paralel uzanan etkin Degaj fayı yer almaktadır. Midi fayının kuzeyinde ise üstte Westfahyen BCD tabakası-ve altta dennlere doğru ortalama 30°-40° eğime sahip kuzeye dalımlı bir seri damar içermektedir. Bölgeye ilişkin stratigrafik stamp Şekil 1'de görülmektedir.

3. MEKANİK PARAMETRELER VE TASMAN FAKTÖRÜNÜN BELİRLENMESİ

Bir çok tasman tahmin yönteminde, ocak seviyesi ile yeryüzü arasındaki tabakaların mekanik özellikleri önemli veri kaynağıdır. Bu özellikler profil fonksiyonları ile tahmin için ortamın kuramsal kumtaşı yüzdesine bağlı tasman faktörünün elde edilmesinde, diğer çözümlerde ise doğrudan parametre olarak işleme girer. Çalışmada modelleme için gerekli bilgiler ve kesitler; havzada en son yapılmış Tüstaş projesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesinde kurulmuş olan NATO finanslı Endüstri Destekleme Merkezinin Zonguldak'm rehabilitasyonu kapsamındaki uygulamalı kaya mekaniği alt projesi ve MTA'nın yeni sondaj çalışmalarından elde edilmiştir.

Modellemede; taşkömürü için yoğunluk 1.7 gr/cm^3 ve young modülü 18.10^9 N/m^2 , çeşitli sertlikteki kumtaşları için ise yoğunluk $2.55-2.66 \text{ gr/cm}^3$ ve young modülü için $25-35.10^9 \text{ N/m}^2$ arasında değişen değerler alınmıştır. 10 deney bölgesinde stratigrafiden yararlanarak elde edilmiş young modülü değerlerinin istatistiksel testi ve formasyon için elde edilmiş tüm mekanik parametreler Tablo 1 ve 2'de görülmektedir.

Uluslararası kaya mekaniği değerlerine göre orta sert kayalar için young modülünün $20 \text{ GPa} < E < 50 \text{ GPa}$ olduğu gözönüne alındığında, modellemelerden elde edilen sonucun bu sınıfa girdiği ve tabakalardaki kuramsal kumtaşı yüzdesinin Şekil 2'deki grafikten tek katlı çalışma için $Q=25$ olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu değere göre tasman faktörü;

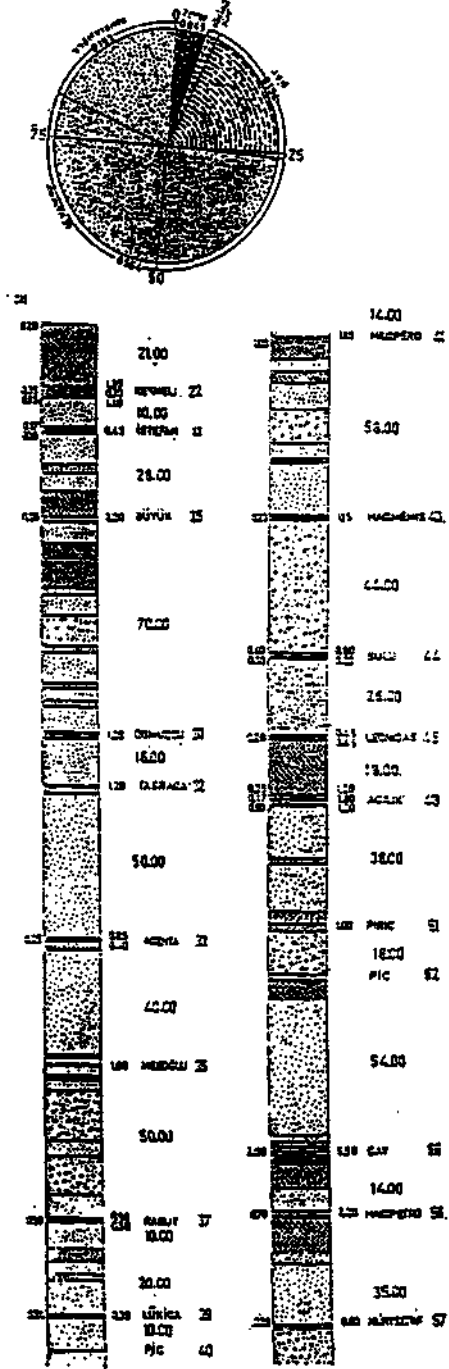
$$a = 0.92 - q = 0.92 - \left(\frac{1.33 \cdot Q}{100} \right) \quad (1)$$

$$a = 0.586$$

ya da Şekil 3'deki grafikten 0.6 olarak bulunur.

Tablo 1. Jeolojik kesitlerden elde edilen young modülü değerlerinin istatistiksel testi.

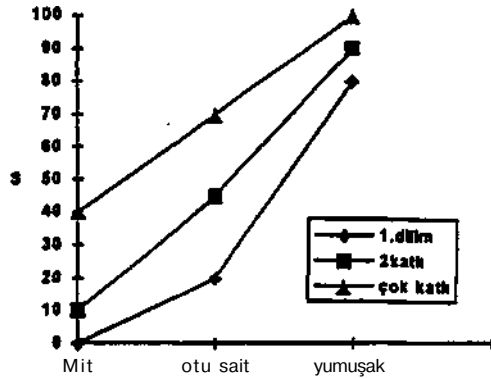
Ortalama young modülün (E) değeri (GPa)	Ortalama değer $L = E \cdot a$	Sapmalar v	Standard sapma $\sigma = \frac{v}{\sqrt{n-1}}$	Test değeri t_0 ya göre sonuç
27.933	26.711	1.124	0.782	İstatistiki olarak
28.896	-0.815			*
27.526	0.815			*
26.731	0.646			*
26.125	-0.296			*
24.962	-0.749			*
26.824	0.153			*
27.720	1.022			*
26.326	-0.383			*
23.981	-0.729			*



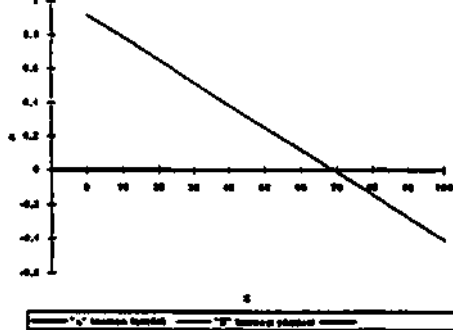
Şekil 1. ZTH Kozlu Formasyonu stratigrafik stampları.

Tablo 2. ZTH Kozlu Formasyonu için elde edilmiş mekanik parametreler.

Rijitlik Modülü	$G = 10.92 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$
Poisson Oranı	$\nu_1 = -(e_x/e_y) = 0.259$
Poisson Oranı	$\nu_2 = -(e_z/e_r) = 0.42$
Yatay Yönde Young Modülü	$E_1 = 27.030 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$
Düsey Yönde Young Modülü	$E_2 = 26.711 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$



Şekil 2. Kayaç sınıflamasına ve çalışma yöntemine göre ortamın modelde kumtaşı yüzdesi grafiği.



Şekil 3 Kuramsal kumtaşı yüzdesine göre tasman faktörünün elde edilmesine ilişkin grafik.

4. ZTH KOZLU FORMASYONU ÜZERİNDE YAKLAŞIMLARIN UYGULANMASI

1988 yılından bu yana ZTH Kozlu formasyonundaki çeşitli damarlarda kritik altı panolarda yapılan kömür üretimlerinin yarattığı tasman oluşumu değişik tahmin yöntemleri ile incelenmiştir. Yöntemler olarak; profil fonksiyonlarından hiperbolik fonksiyon, Donetz trigonometrik fonksiyonu ve Macaristan tasman profili uygulanmış, ayrıca analitik yöntemlerden Berry analitik tasman profil fonksiyonu ve sonlu

farkların Taylor Serilerinden elde edilmiş tasman profil fonksiyonları uygulanmıştır.

4.1. Profil Fonksiyonu Yöntemleri

iki boyutlu düzlemde zeminin üretim sonrası alacağı durumun kestirimi ilkesine dayalı bir yöntem olup fonksiyon maksimum tasmana, pano merkezinden uzaklığa ve etki yarıçapına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$S = f(S_{max}, X, B) \quad (2)$$

Burada;

$$S_{max} = m.a.\cos a \quad (3)$$

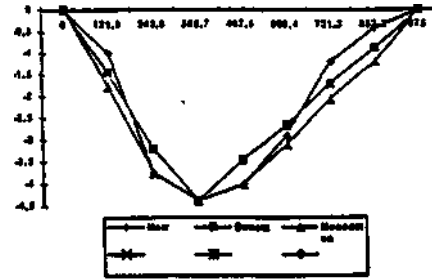
olmak üzere sırasıyla Donetz, Hiperbolik ve Macaristan tasman profil fonksiyonları aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$S = 0.5S_{max} \left(1 - \frac{X}{B} - \frac{1}{\pi} \sin\left(\pi \frac{X}{B}\right)\right)$$

$$S = 0.5S_{max} \left(1 - \tanh\left(\frac{2X}{B}\right)\right) \quad (4)$$

$$S = S_{max} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{X+B}{B}\right)^2\right)$$

Bu formüller; 8.65 m damar kalınlığı, 31 "damar eğimi ve 400 m derinlikteki bir çay daman panosu için bölüm 3'de verilen tasman faktörüne göre incelenmiş, elde edilen sonuçlar şekil 4'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 4. ZTH kozlu formasyonu üzerinde çeşitli profil fonksiyonlarına göre çizilmiş tasman profilleri.

4.2. Analitik Yöntemler

Üretim yapılan panoyla, yeryüzü arasındaki ortamın elastoplastik bir yapıda olduğu kabulüyle, kayaçların izotropik yapılaşma ilişkin geometrik modellerine dayalı matematiksel bir çözüm tekniğidir. Berry, "Transversal İzotropik yüzey teorisini ilk kez 1963 ve 1964 yıllarında yayınladığı eserlerinde ortaya

koymuş ve 1977de temel formülasyonları başka bir çalışmada vermiştir. Açıklanan bu fonksiyon çeşitli parametrelere bağlı olarak aşağıdaki eşitliklerde ifade edilmektedir.

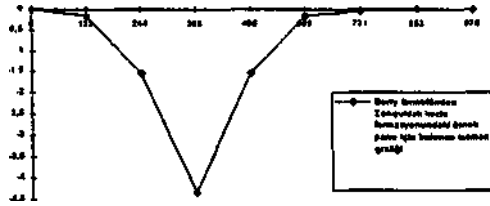
$$k_1 = \alpha_1 \alpha_2 = (1 - \nu_1^2)^{0.5} \left(\frac{E_1}{E_2} - \nu_2^2 \right)^{-0.5}$$

$$k_2 = 1/2(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) = \left(\frac{E_1}{2G} - \nu_2(1 + \nu_1) \right) \left(\frac{E_1}{E_2} - \nu_2^2 \right)^{-1} \quad (5)$$

$$-\frac{S_0(x)}{m} = 1 - \frac{1}{\pi(\alpha_1 \alpha_2)} \left(\alpha_1 \tan^{-1} \frac{h}{\alpha_1 x} - \alpha_2 \tan^{-1} \frac{h}{\alpha_2 x} \right) \quad (6)$$

Yukarıdaki (6) nolu formülde invtan ifadesi $(0, n)$ arasında değerler alabilmektedir. x yönündeki profilde $x \rightarrow -\infty$ iken $S_0 \rightarrow 0$; $x \rightarrow \infty$ iken $S_0 \rightarrow -t$ ve $x=0$ iken $S_0(0) = -t/2$ olmaktadır (Berry 1977).

Bu formüllerde;
 k_1, k_2 : Transversal izotropik yüzey katsayıları,
 G : Rijitlik modülü,
 ν : Yatay yönde Poisson oranı,
 ν_2 : Düşey yönde Poisson oranı,
 E_1, E_2 : Yatay ve düşey yönde Young modülü,
 t : Tablo 1 ve 2'deki değerlerden ve (5), (6) nolu formüllerden yararlanılarak katsayılar $k_1 = 0.995$, $k_2 = 2.405$ elde edilmiş ve buradan $\alpha_1 = 2.143$, $\alpha_2 = 0.464$ olarak elde edilmiştir. Bu değerlere göre çizilmiş profil fonksiyonu ise Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Berry eşitliklerinden bulunan tasman profili.

Sonlu farklar ve tasman arasındaki ilişki açısından, herhangi bir yük ve mesnet yapısı altındaki bir düzlemsel yapı unsurunun üzerine etkiyen kuvvetlerin oluşturacağı çökme için aşağıdaki bazı $S(x)$ fonksiyonları ve oranları şöyledir.

$S(x)$: Tasman
 $S'(x)$: Dönme (tasman Eğimi)
 $S''(x) = \frac{M}{EI}$: Moment (Tasman eğilimi)

Sınır şartı olarak yüzeyde tasmanın sıfır olduğu noktalar alınır. Temelde, üretilen damanın tasman etkisinin, yeryüzü ile damar arasındaki tabakaların aynı yüklenme durumlarına göre belirlenmesine

karşın, pratikte bu durumun azla geçerli olması beklenemez. Sonuçta açıklık üzerinde oluşacak toplam yük değeri her bir tabakanın değerlendirilmesi ile toplam kuvvetler olarak aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$F_i = L \cdot W \cdot Q_i \cdot t_i \cdot 10^4 \cdot g \quad (7)$$

Bu formülde ve yukarıda $S(x)$ fonksiyonlarında geçen ifadeler;

- W: Pano genişliği,
- L: Panonun köşegen uzunluğu,
- Q: Özgül ağırlık,
- t: Herhangi bir tabakanın kalınlığı,
- g: Yerçekimi kuvveti,
- M: Sınır şartı noktalarına göre moment,
- I: Atalet momenti
- E: Young modülü,

dür. Ortamın atalet momenti ise pano genişliği ve derinlikle orantılı olarak birim kalınlıktaki dikdörtgen plakanın değeri ile aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$I_x = I_y = \frac{W \cdot H^3}{12} \quad (8)$$

(7) nolu eşitlikten hesaplanan kuvvetler ile açıklık üzerindeki yüklere geçilir ve sınır şartına göre alınan moment ile $S(x)$ fonksiyonun ikinci türevi için gerekli tüm değerler elde edilmiş olur. Sonlu farkların Taylor serisine açılmış merkezi farklar ifadesi ile gerekli eşitlik kurularak aşağıdaki durum ortaya çıkar

$$S''(x) = \frac{1}{\Delta x^2} \left(S_{i+1} - 2S_i + S_{i-1} \right) = \frac{1}{\Delta x^2} \left(T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1} \right) + 16S_w - 30S_c + KS_M - S_{i+1/2} - S_{i-1/2} \quad (9)$$

Tasman eğimi ise (9) nolu eşitliğin $i=1,2,3,\dots,n$ için çözümünden bulunan S_1, S_2, \dots, S_n , tasman değerlerinin aşağıdaki ifadede yerine koyulmasıyla elde edilir.

$$S^*(x) = \frac{1}{12} \left(S_{i+1} - 8S_i + S_{i-1} \right) + S_M - S_{i+1/2} - S_{i-1/2} \quad (10)$$

Tasman eğilimi de benzer şekilde $S(x)$ 'in ikinci türevinin merkezi farklar formülünden bulunan tasman değerlerinin (9) nolu eşitlikte tekrar yerine koyulması ile bulunur.

Diğer uygulamalardaki örnek üzerinde;
 $M_i = -738.916 \cdot 10^4 x + 672828.2321 \cdot 10^4$,
 $\Delta x = 0.310 \cdot 10^3 \text{ m}$,

ve yeryüzünde hangi aralıklarda tasman değerini belirleneceğini ifade eden "u" değeri de 9 nokta için tasmanın sıfır olduğu noktalar arası 975 m alınarak 122 m ile (9) nolu eşitliğin matris formunda düzenlenerek çözümünden

$i = 1, 2, 3, 4, \dots, 7$ için;
 $S'(x)_0 = 0.000 \text{ m}$
 $S'(x) = 2.411$

$$\begin{aligned}
S'(x)_1 &= 3.878 \\
&= 4.481 \\
&= 4.372 \\
&= 3.712 \\
&= 2.618 \\
&= 1.369 \\
&= 0.000
\end{aligned}$$

bulunur. Tasman eğimi de benzer şekilde;

$$E'(*) = 1/(12t^2)(S_1 - 8S_2 + 8S_3 - 5S_4) = 19.8 \text{ mm/m}$$

$$\begin{aligned}
S'(x)_2 &= 8.3 \\
&= 1.8 \\
&= -3.4 \\
&= -7.2 \\
&= -9.8 \\
&= -12.9
\end{aligned}$$

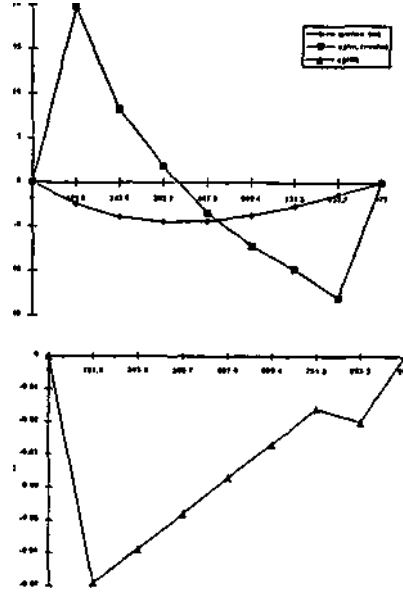
olarak bulunur. Son olarak tasman eğriliği;

$$5''(x) = 1/(12t^4)(X-S_1 + MS^* - 1^6 - S_3) = -0.069$$

$$\begin{aligned}
S''(x)_2 &= 1/p_2 = -0.069 \\
&= -0.059 \\
&= -0.048 \\
&= -0.037 \\
&= -0.027 \\
&= -0.016 \\
&= -0.020
\end{aligned}$$

elde edilir. Bu ifadelerdeki p Eğrilik yarıçapıdır. Bulunan tüm değerlerden elde edilen grafikler Şekil 6'da verilmiştir.

nazarın, profil ve analitik çözümlerin de oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 6. Sonlu farkların Taylor serilerinden elde edilmiş eşitliklerle bulunmuş tasman, eğim, eğrilik profilleri

5. SONUÇ

Değişik jeolojik yapılara sahip kömür havzalarında yapılan madencilik çalışmalarının yeryüzünde yaratacağı etkinin büyüklüğünü belirleyebilmek oldukça önemli bir konu olduğundan, böyle bir çalışma için gerekli kriterleri de elde etmek o denli gereklidir. Günümüzde bu konudaki genel eğilim havzaların özgün mekanik parametrelerine ve üretim boşluğunun geometrisine bağlı olarak daha sağlıklı çözümler elde etmek şeklindedir.

Bu çalışmada ; dünyadaki diğer kömür havzalarından daha karmaşık bir jeolojik yapıya sahip ZTH'nın Kozlu formasyonu içinde, ortalama 400m kalınlıktaki ortamda yapılan üretimlerin tasman açısından incelenmesine yönelik olarak, belirlenen mekanik parametreler ile yapılan değişik uygulamalarla şu sonuçlar elde edilmiştir. Formasyon orta sert kayac yapısındadır. Tasman faktörü havza için bugüne kadar genel olarak kabul edilmiş 0.9 değerinden düşük ve yaklaşık 0.6 elde edilmiştir. Tahmin yöntemleri arasında en çok uygulanan ve diğer havzalardan belirlenmiş görgü! yöntemlere

KAYNAKLAR

- Akçın, H. ve Aratoğlu, T., Ünal, T. 1993. *Zonguldak Kozlu Bölgesinde Yeraltı Kömür Üretimlerinden Kaynaklanan Tasman Hareketlerinin Jeodezik Analizi*. Prof.Wolf Sempozyumu, YTÜ.İstanbul
- Berry, D.S. 1977. *Progress In The Analysis of Ground Movements Due To Mining*, Proc. of Conf. Large Ground Movements And Structures, Cardiff, Ed. J. D. Geddes, Pentech Press, 781, 810
- Krishna, R. 1991. *Measurement of Sub-Surface Strata Behaviour in Borl Andpillar Mining, A case Study*. Mining Science And Technology, 18,P. 337-349.
- Kuşçu, Ş. 1986. *Tasman Mühendisliği Ders Notları*. ZKÜ, Zonguldak.
- Ülgüdür, S. ve Demir, R., Aratoğlu, T., Değirmenci, N., Sezer, A.I. 1990. *Zonguldak Taşkömürü Havzasında Tasman Etkileri ve Sorunları İle İlgili Rapor*. TTK, Zonguldak.
- Whittaker, B.N. ve Reddish, D.J. 1989. *Subsidence*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam -Oxford-Newyork-Tokyo.

