

**YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDEKİ OLASI KAYA
PATLAMA TEHLİKELERİNİN YERİNDE VE
LABORATUVAR ÇALIŞMALARLA SAPTANMASI**

**DETERMINATION OF THE POTENTIAL HAZARDS
OF ROCK BURST IN UNDERGROUND COAL MINES
BY IN-SITU AND LABORATORY TESTS**

Araş. Gör. Nuray TOKGÖZ, *İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden
Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar- İstanbul.*

ÖZET

Kömür-kaya patlamaları sorunu, dünya madenciliği bilimsel platformlarında son iki yüz yıldan beri bilinmekte ve tartışılmaktadır.

Olası kaya patlama tehlikelerinin değerlendirilmesi için, tavan kayacının mekanik büyüklüklerinin saptanması gerekmektedir. Bu çalışmada, kumtaşının temel fiziksel ve mekanik özelliklerine yönelik yerinde ölçüm (Silesia Yeraltı Kömür Madeni'nde 86 adet ölçüm) verileri elde etmek üzere, delik penetrometresi kullanılmıştır. Ayrıca, kömürün yan kayaçlarına (toplam 130 farklı kayaç numunesi) ait katı - yükleme makinası MTS 810 da gerçekleştirilen laboratuvar (Polonya Merkez Madencilik Enstitüsü, Jeomekanik Laboratuvarı) deney sonuçları bu bildiriye verilmiştir. Tüm gerilme - birim kısalma eğrisi bazındaki karakteristik bu verilerle, kömür-kaya patlamalarındaki kaya hassasiyet indekslerinin (PES, W_{ET} , X), istatistik analiz yöntemi ile saptanması ve değerlendirilmesi de yapılmıştır.

ABSTRACT

Problems of coal - rock bumps have been known and discussed by the world mining scientific platforms for some two hundred years.

It is necessary to determine, the mechanical parameters of roof rocks evaluation the potential hazard of rock burst. In this study, data from a borehole penetrometer are used to obtain insitu values (86 measurement values were performed in the Silesia Underground Coal Mine) of principle physico - mechanical properties of sandstone. Additionally, the result of laboratory tests (from Geomechanics Laboratory of Central Mining Institute in Poland) carried out in the stiff testing machine MTS 810 on surrounding rocks of coal (total 130 different rock samples) are given in this paper. With these characteristic data based on a complete stress - strain curve determination and evaluation of rock susceptibility indexes (PES, WET, A) to coal bumps were made by statistical analysis.

1. GİRİŞ

Kaya patlama olayları, dünyanın birçok derin yeraltı kömür madenlerinde oldukça önemli sayılabilecek tehlikelerindendir. Bu tür dinamik karakterli olayların sonuçları, kaya kütlesi içindeki gerilme durum ve dağılımları yanında kayacın mekanik özellikleri ile büyük ölçüde ilişkilendirilebilmektedir. Bununla beraber, anılan bu tür karakterdeki olayların önceden kestirimi çok zor olup, bunların bağlı olduğu faktörler şöyle sıralanabilir:

- Doğal jeolojik şartlar (litoloji, tektonik, vd.)
- Jeomekanik şartlar (çalışma alanı içinde gerilmelerin durum ve dağılımları)
- Madencilik yöntemleri (makinalar veya delme-patlatma ile üretimin etkisi)
- Gerilme - birim kısalma (birim şekil değiştirme - birim deformasyon) büyüklükleri.

Yukarıda ilk üç sırada anılan faktörler, gerek kömürde kaya patlama olaylarının oluşum mekanizması ve sınıflandırılmasına baz oluşturmak açısından, gerekse konu ile ilgili özet ve genel bir görüş sunmak üzere, belli bir ayrıntıda ele alınmıştır.

Çalışmanın ağırlıklı bölümünü ise, kaya kütesinin özelliği yanında kayacın temel mekanik büyüklükleri "R_c" yerinde basınç dayanımı ve "R_t" yerinde çekme dayanımı, delik penetromesi (batma ölçeri) yardımıyla, yerinde bir dizi ölçümler alınmıştır. Ayrıca, MTS 810 yükleme makinasından elde edilen laboratuvar ölçekli gerilme-birim kısalma verilerinden ("C_T" basınç dayanımı, "E_s" elastisite modülü, "e_r" maksimum gerilmedeki birim kısalma - birim şekil değiştirme değeri - kritik deformasyon, "M" kırılma sonrası dinamik modül) hareketle türetilen ve kaya patlama olaylarının bir ölçüde kestirimine ışık tutabilecek "PES" potansiyel elastik deformasyon enerjisi, "W_ET" enerji - patlama indeksi, "n" dinamik yenilme indeksi gibi kaya hassasiyet (duyarlılık) indeksleri ve bunların birbirleri ile olan ilintileri gerek kömür ve kömürün yan kayaçları gerekse farklı yeraltı kömür ocakları bazında, regresyon matematiği ile araştırılıp, değerlendirilmiştir.

2. KAYA PATLAMALARININ TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Kömür patlamaları, kaya içinde depolanan elastik-deformasyon enerjisinin aniden açığa çıkmasının bir sonucu olarak tanımlanmaktadır.

Kömürdeki kaya patlamaları, Rice (1935), Holland (1958) ve Peng (1986) kaynaklarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

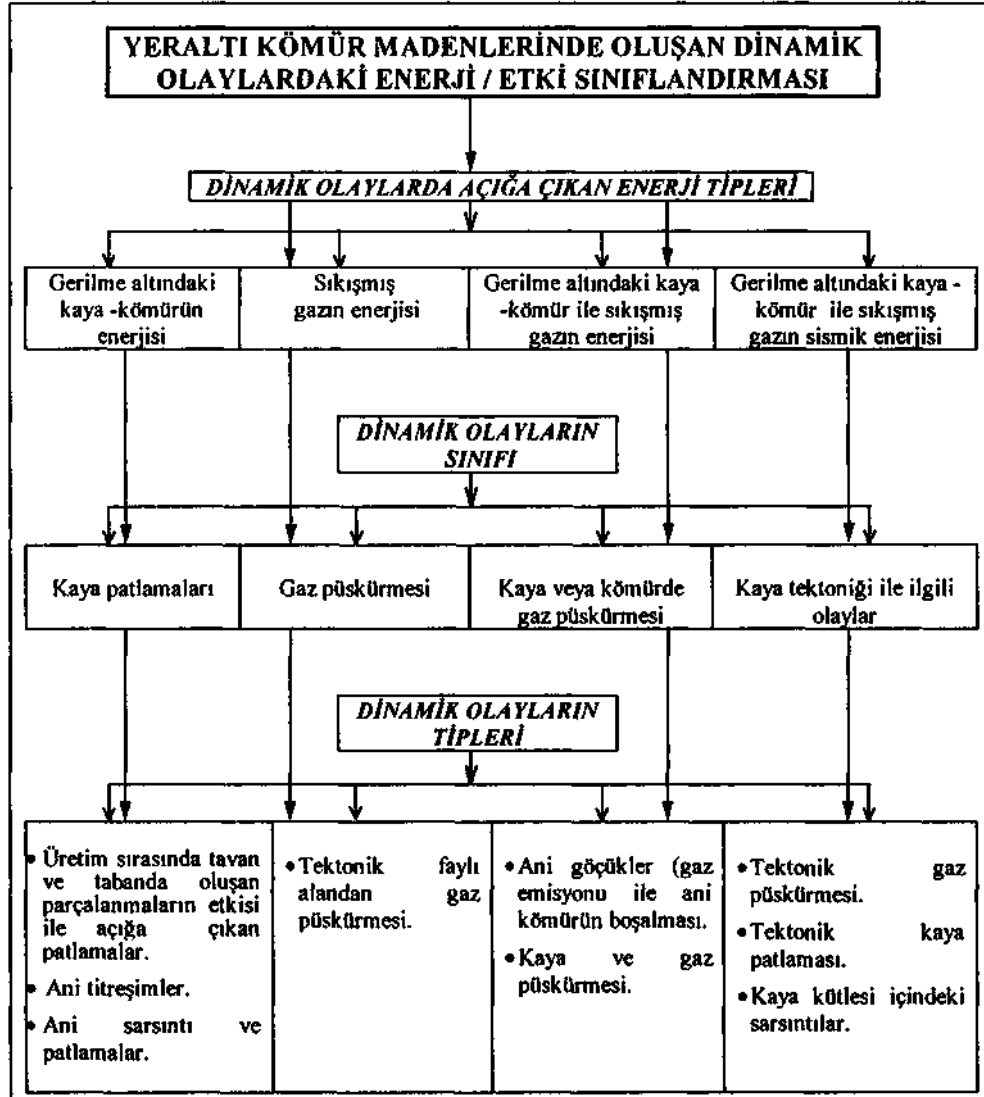
- Birdenbire oluşan (shock) patlamalar: Kömür damarının arın ilerleme doğrultusu boyunca ve ani ve aşırı yüklenmeler sonucunda, tavan kayacının dinamik olarak yenilmesinden oluşmaktadır.
- Basınç etkisi ile oluşan patlamalar: Çok sert veya gevrek topuklardaki gerilme değeri, kayacın dayanım değerini aştığında ani ve tahripkar olarak yenilmekte ve bu tür patlamalar oluşmaktadır.

Bununla beraber, G.Afrika'da kaya patlamaları kesme gerilmeleri veya topuklardaki yenilmelerde olduğu gibi genel anlamda gerilme ve yenilme mekanizmasına

bağlanmaktadır (Cook, 1963). Polonya'da ise bu patlamalar (özellikle yeraltı kömür madenlerindeki kaya patlamaları), damar patlamaları adıyla yeraltı ile birlikte tavan ve taban patlamaları şeklinde, yenilme alanlarına bağlı olarak da sınıflandırılmaktadır (Haramy v.d., 1988; Kleczek-Zorychta, 1993).

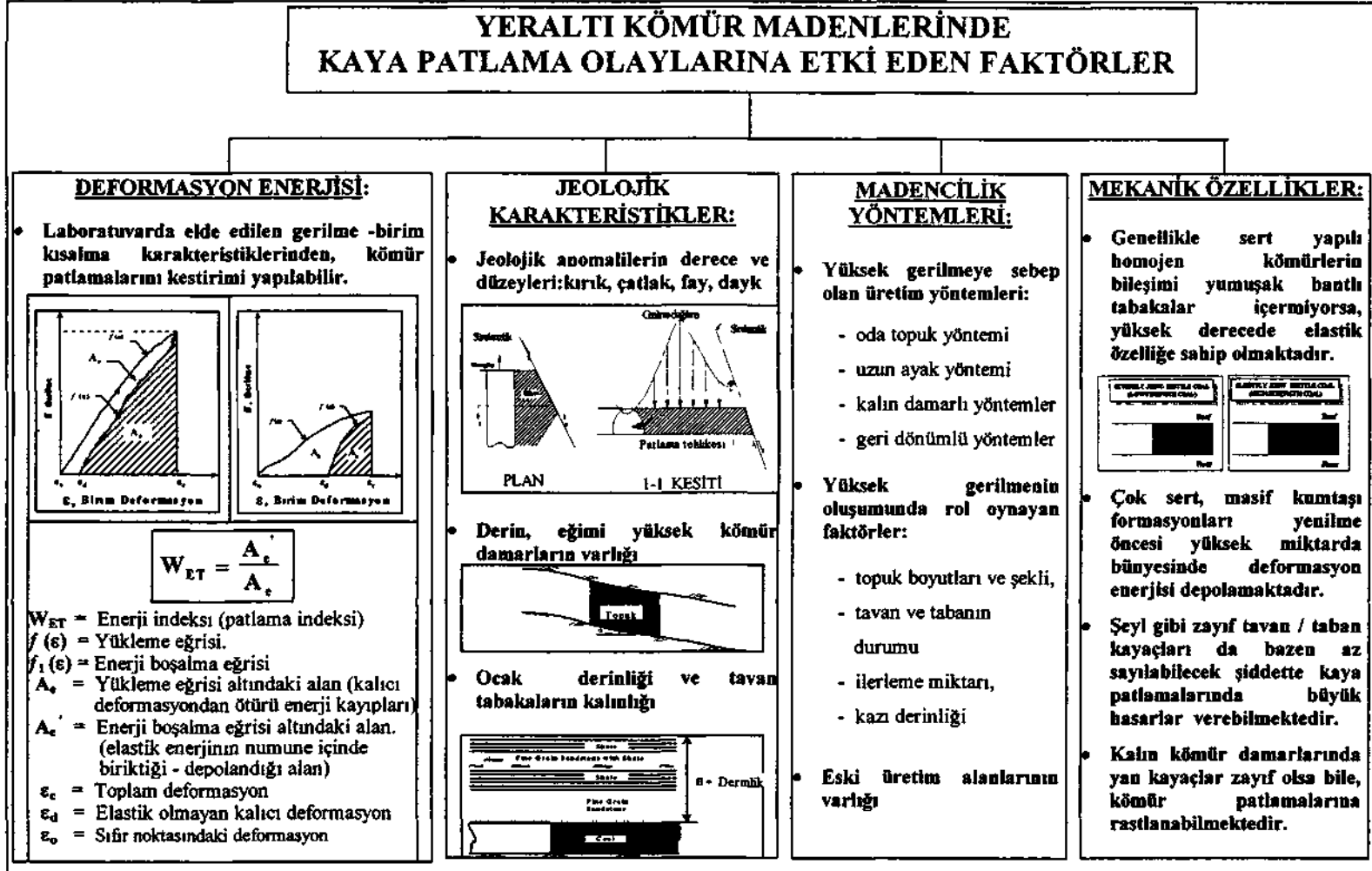
Bu tür tüm dinamik olayları kapsayan ve enerji / etki büyüklüğü esasına dayanan en son sınıflamalardan biri, Çizelge 1'de verilmiştir (ECE, 1993).

Çizelge 1. Yeraltı kömür madenlerindeki dinamik olayların sınıflandırılması (ECE, 1993).



Kömürde kaya patlaması olaylarına etki eden faktörler ise, deformasyon enerjisi, jeolojik karakteristikler, madencilik yöntemleri ve mekanik özellikler adlı dört alt başlık altında ve Çizelge 2 çerçevesinde şematize edilerek incelenmiştir (Anoğlu, 1995; Tokgöz, 1997).

Çizelge 2. Yeraltı kömür madenlerinde kaya patlama olaylarına etki eden faktörler



3. YERİNDE - LABORATUVAR ÇALIŞMALAR

3.1 Kayacın Mekanik Büyüklüklerinin Yerinde Yapılan Çalışmalarla Belirlenmesi

Kaya patlamaları ile ilgili olarak var olabilecek tehlikenin araştırılıp değerlendirilebilmesi için, uzunayak arını boyunca 20 m'lik yükseklikteki tavan kayaçlarının veya tavan tabakasını karakterize edebilecek şekilde, mekanik büyüklüklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Kayaçların, gerek fiziksel gerekse mekanik özelliklerinin yerinde saptanması, ölçümlerde penetrasyon (yüze batma, gömülme) dirençlerinin esas alındığı, delik penetrometresi yoluyla gerçekleştirilmektedir.

Söz konusu bu aletin mekanik işlevi; yeraltında tavan kayacı içinde açılacak deliğin (delik çapı yaklaşık 86 - 90 mm) iç yüzeylerine, 10 cm aralıklarla bir konik uç aracılığı ile uygulanacak darbe etkisine (vuruş) karşı, kaya yüzeyinin gösterdiği direnç, şeklinde kısaca açıklanabilir. Yeraltı çalışma alanlarında gerçekleştirilecek tavan tabakası ile ilgili bu penetrometrik ölçümlerde 86-90 mm boyutunda delik çapma gereksinim duyulmakta ve penetrometrenin başı, delik içine bir kablo aracılığı ile uzatılmaktadır. Söz konusu bu kablonun uzunluğu, delik boyutuna göre kolaylıkla ayarlanabilmektedir (GIG, 1978).

Nitekim, bu çalışmada Polonya'daki Yukarı Silesia Kömür Havzası'na ait Yeraltı Silesia Kömür Madeni'nde ve tavan kayacı kumtaşı olan formasyonda 8.6 m delik uzunluğunda yerinde 86 adet penetrometrik ölçümler gerçekleştirilerek, anılan kayacın yerinde basınç (Re) ve çekme (Rr) dayanım değerleri elde edilmiştir. Bu ölçümlere ilişkin veri ve değerlendirmeler gerek matematiksel gerekse grafiksel olarak Çizelge 3'de topluca gösterilmiştir.

3.2 Laboratuvar Ölçekli Kayacın Gerilme - Birim Deformasyon (Birim Kısılma-Birim Şekil Değiştirme) Eğrisi Mekanik Büyüklükleri ile Buradan Elde Edilen Kaya Hassasiyet İndeksleri

Patlamalardaki kaya hassasiyeti, kayacın yenilme öncesi - yenilme sonrası davranışı olarak tanımladığı tüm gerilme - birim şekil değiştirme büyüklüklerinden elde edilen birçok parametre bazında belirlenmektedir. Söz konusu bu mekanik büyüklüklerin saptanmasında MTS 810 katı yükleme makinası kullanılmıştır. Anılan bu makinanın mekanik işlevi ise kısaca şu şekilde özetlenebilir:

Kaya numunesi, standart olarak 0.3 MPa / s gerilme hızına karşılık gelen tek eksenli kuvvetin etkisi ile yenilme değerine kadar uniform olarak yüklenmektedir. Bu kuvvet, kritik değer %75'ine eşit olduğunda ortadan kalkmakta ve numune, kritik değer %5'ine ulaşıncaya kadar boşalmaktadır. Bu aşama sonrası, söz konusu aynı numune; maksimum yenilme (kırılma) kuvvet değerine ulaşmaya kadar tekrar yüklenmektedir.

Çizelge 3. Delik penetrometresi ile yerinde alınan ölçümler (Silesia Yeraltı Kömür Madeni-Polonya).

l , (m)	R_m , (kg/cm^2)	R_c , [MPa] ($R_c=1.2 \times R_m$)	R_r , [MPa] ($R_r=0.077 \times R_m$)	Çalışma Alanı
8,6	20	24,0	1,54	
8,5	23	27,6	1,77	
8,4	21	25,2	1,62	
8,3	27	32,4	2,08	
8,2	18	21,6	1,39	
8,1	21	25,2	1,62	
8,0	16	19,2	1,23	
7,9	24	28,8	1,85	
7,8	21	25,2	1,62	
7,7	24	28,8	1,85	
7,6	30	36,0	2,31	
7,5	44	52,8	3,39	
7,4	34	40,8	2,62	
7,3	27	32,4	2,08	
7,2	30	36,0	2,31	
7,1	24	28,8	1,85	
7,0	24	28,8	1,85	
6,9	24	28,8	1,85	
6,8	34	40,8	2,62	
6,7	38	45,6	2,93	
6,6	31	37,2	2,39	
6,5	33	39,6	2,54	
6,4	45	54,0	3,47	
6,3	32	38,4	2,46	
6,2	28	33,6	2,16	
6,1	32	38,4	2,46	
6,0	33	39,6	2,54	
5,9	28	33,6	2,16	
5,8	27	32,4	2,08	
5,7	26	31,2	2,00	
5,6	24	28,8	1,85	
5,5	26	31,2	2,00	
5,4	27	32,4	1,85	
5,3	24	28,8	2,00	
5,2	27	32,4	2,08	
5,1	30	36,0	2,31	
5,0	24	28,8	1,85	
4,9	26	31,2	2,00	
4,8	28	33,6	2,16	
4,7	28	33,6	2,16	
4,6	33	39,6	2,54	
4,5	34	40,8	2,62	
4,4	38	45,6	2,93	
4,3	30	36,0	2,31	
4,2	24	28,8	1,85	
4,1	27	32,4	2,08	
4,0	38	45,6	2,93	
3,9	39	46,8	3,00	
3,8	33	39,6	2,54	
3,7	36	43,2	2,77	
3,6	31	37,2	2,39	
3,5	33	39,6	2,54	
3,4	32	38,4	2,46	
3,3	30	36,0	2,31	
3,2	28	33,6	2,16	
3,1	30	36,0	2,31	
3,0	32	38,4	2,46	
2,9	30	36,0	2,31	
2,8	28	33,6	2,16	
2,7	32	38,4	2,46	
2,6	29	34,8	2,23	
2,5	30	36,0	2,31	
2,4	26	31,2	2,00	
2,3	32	38,4	2,46	
2,2	31	37,2	2,39	
2,1	30	36,0	2,31	
2,0	26	31,2	2,00	
1,9	22	26,4	1,69	
1,8	24	28,8	1,85	
1,7	22	26,4	1,69	
1,6	21	25,2	1,62	
1,5	20	24,0	1,54	
1,4	18	21,6	1,39	
1,3	21	25,2	1,62	
1,2	20	24,0	1,54	
1,1	17	20,4	1,31	
1,0	15	18,0	1,16	
0,9	24	28,8	1,85	
0,8	21	25,2	1,62	
0,7	22	26,4	1,69	
0,6	17	20,4	1,31	
0,5	28	33,6	2,16	
0,4	34	40,8	2,62	
0,3	38	45,6	2,93	
0,2	20	24,0	1,54	
0,1	15	18,0	1,16	

Açıklamalar:
 R_m = Manometreden okunan kritik penetrasyon değeri, [kg/cm^2]
 R_c = Tek eksenli basınç dayanımı, [MPa]
 R_r = Çekme dayanımı, [MPa]
 l = Delik uzunluğu, [m]

Gerilme -birim deformasyon (birim şekil değiştirme, birim kısalma) mekanik büyüklükleri ile bunlardan elde edilen ve patlamalarda kestirim amacıyla kullanılan kaya hassasiyet indekslerine ilişkin temel kavramlar, Çizelge 4 çerçevesinde topluca verilmiştir.

Çizelge 4. Gerilme - birim deformasyon büyüklükleri ve kaya hassasiyet indeksleri.

Tanım	Şekil	Kavram ve Açıklamaları
Gerilme - birim kısalma (birim şekil değiştirme) karakteristikleri		<ul style="list-style-type: none"> Elastisite modülü (E_s) Tek eksenli basınç dayanımı, (kritik gerilme, maksimum gerilme), (σ_c) Kalıcı dayanım, (σ_{kal}) Kırılma sonrası dinamik modül, (M) Maksimum gerilmedeki birim kısalma (birim şekil değiştirme - birim deformasyon) değeri, (ϵ_{cr})
Patlamalardaki kaya hassasiyet büyüklükleri (Krzyszton 1996)		<ul style="list-style-type: none"> Potansiyel patlama indisi, (K) $\rightarrow K = \epsilon_{el} / \epsilon_{cr}$ Dinamik yenilme indisi, (λ) $\rightarrow \lambda = M / E_s$ Potansiyel elastik deformasyon enerjisi, (PES) $PES = 500 (R_c^2 / E_s) \text{ , [kJ/m}^2\text{]}$ Sınır dayanım değerindeki kaya hassasiyet büyüklüğü, $W_{FT} = (A_{el} / A_n)$ Patlama tehlikesi indeksi (Kırılganlık indisi), $W_{ZT} = (A_{el} / W_1)$ Patlama tehlikesi yumuşatma (sönümlenme) indeksi, W_{OT} $W_{OT} = (A_{el} / W_2)$

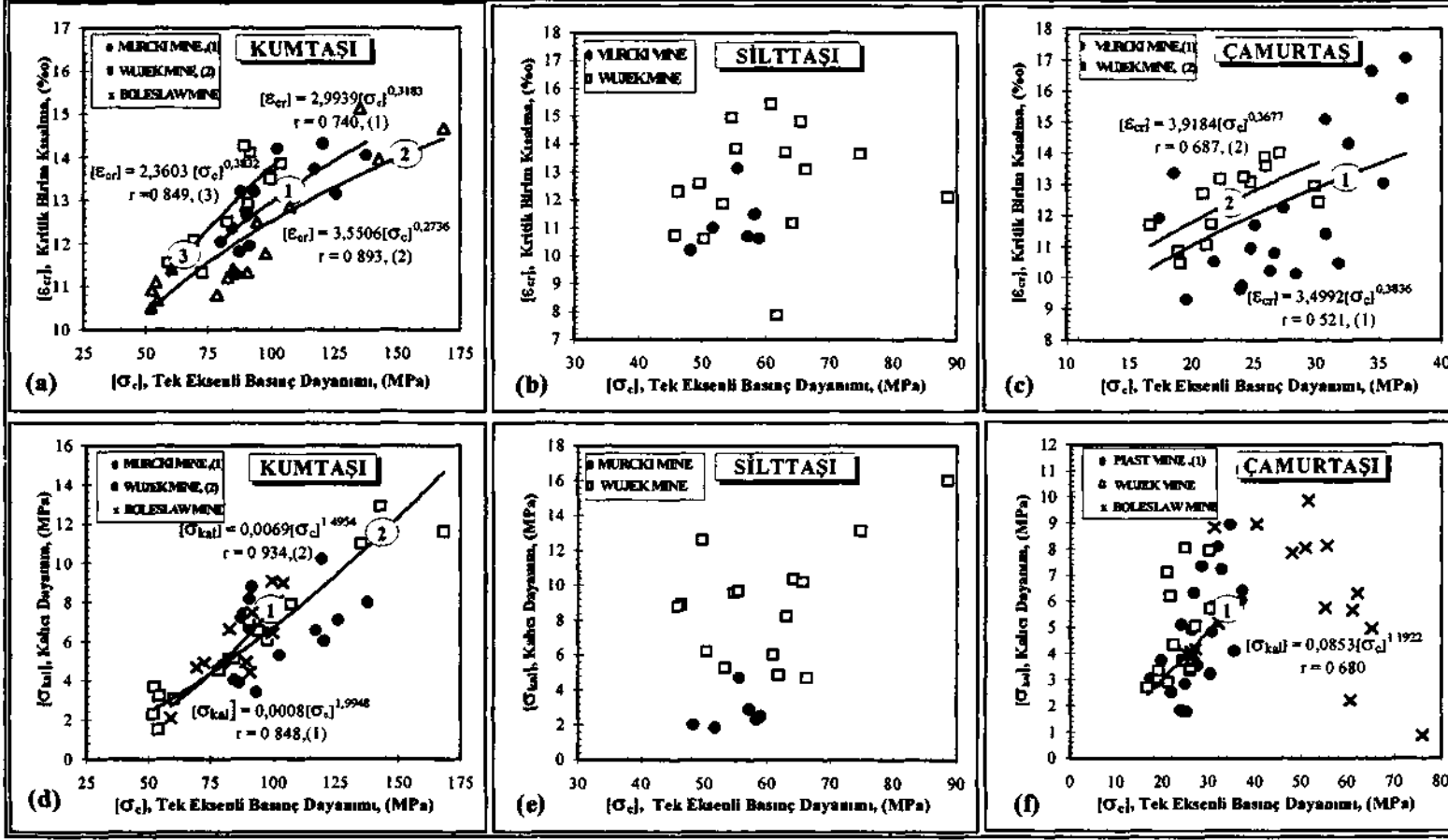
Bu çalışmada, Polonya Merkez Madencilik Enstitüsü, Jeomekanik Laboratuvarlarından elde edilen toplam 130 adet (50 mm boyutunda küp numune) kömürün yan kayaçlarına ilişkin gerilme - birim kısalma mekanik büyüklük verileri ve bunların birbirleri ile olan ilişkileri, regresyon analiz yöntemiyle araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Tüm bu verilerin, kayaç bazında dağılımları ise; kumtaşı : 33 adet, çamurtaşı : 53 adet, silttaşı : 20 adet, kömür : 24 adet olup, adları; Piast, Murcki, Wujek, Boleslaw ve Lompa olan, beş farklı maden ocağı içermektedir.

Anılan bu büyüklükler arasında denenen ve korelasyon katsayısı en yüksek olan regresyon modeli, aşağıda Çizelge 5' de verilmiştir (Tokgöz, 1997).

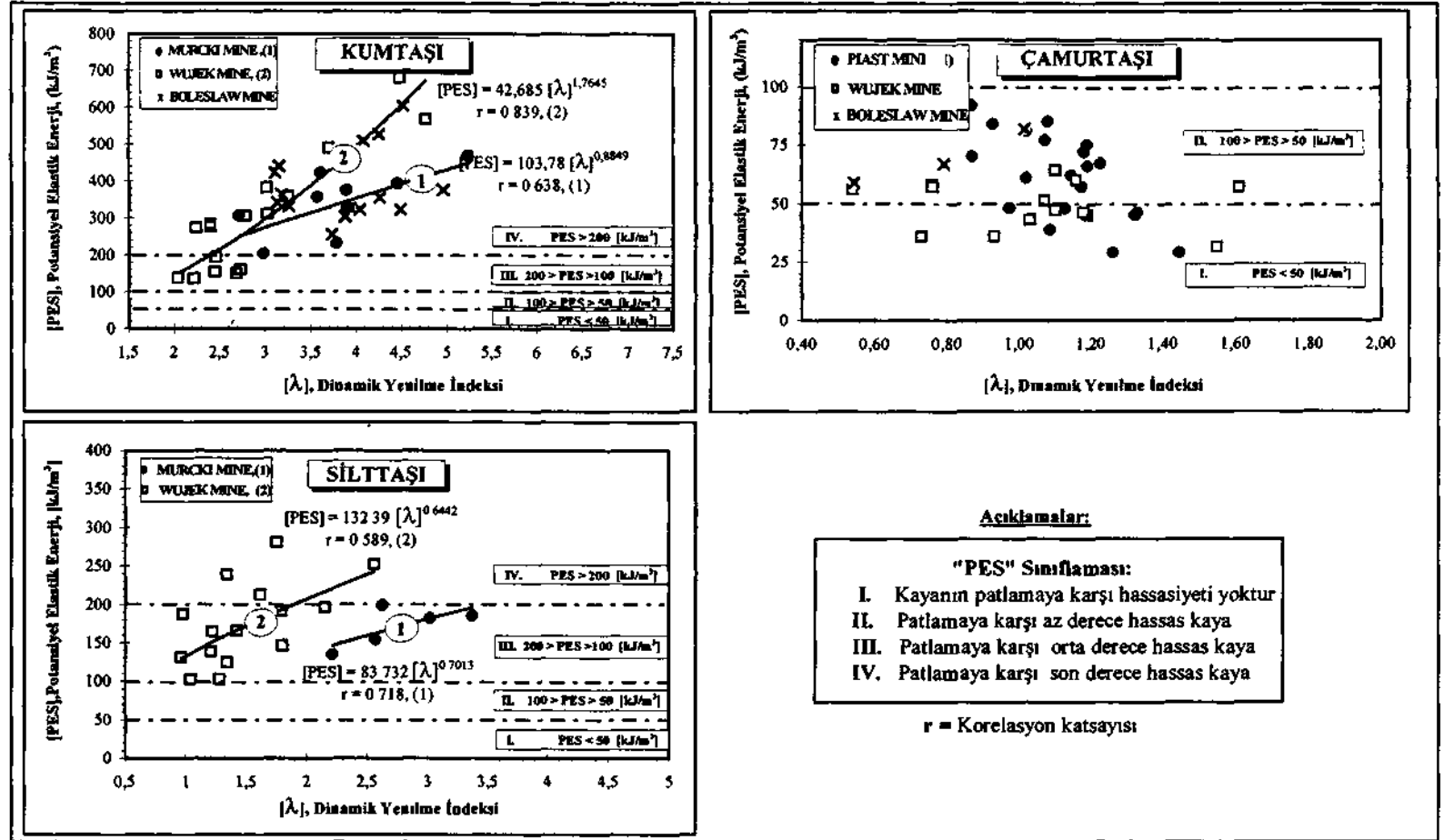
Çizelge 5. Regresyon model ve büyüklükleri.

Regresyon modeli	Regresyon büyüklükleri	Açıklamalar
$y = k (x)^m$	$\epsilon_{cr} = f(\sigma_c)$ $\sigma_{kal} = f(\sigma_c)$ $PES = f(\lambda)$ $PES = f(\epsilon_{cr})$ $W_{FT} = f(\epsilon_{cr})$	k, m = regresyon sabitleri

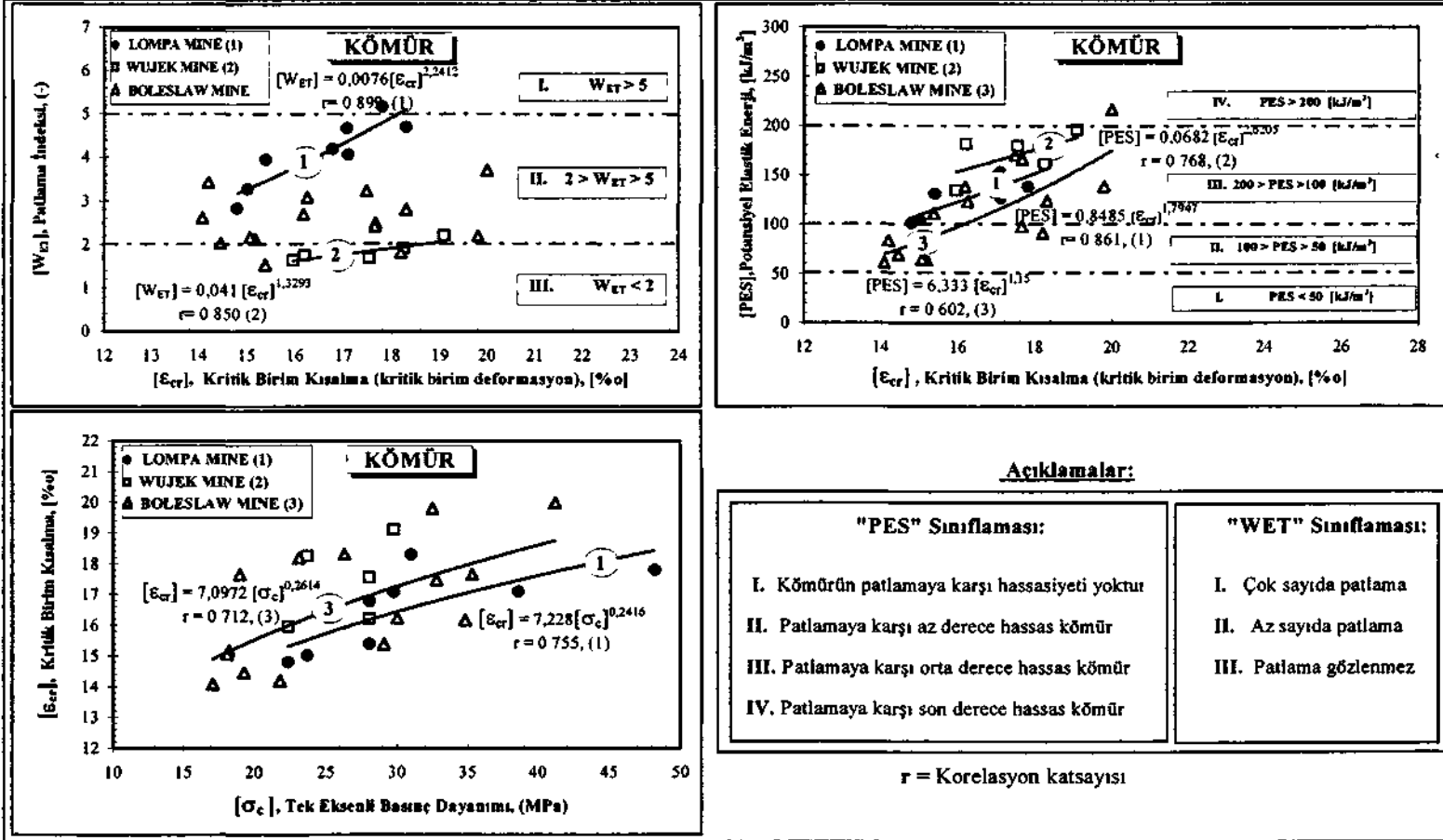
Tüm bu regresyon analiz sonuçlarına grafiksel olarak Şekil 1, 2 ve 3'de yer verilmiştir.



Şekil 1. " $\epsilon_{cr} - \sigma_c$ " (a, b, c) ve " $\sigma_{kal} - \sigma_c$ " (d, e, f) büyüklüklerinin, farklı kayaç ve farklı maden ocağı bazında regresyon analizleri



Şekil 2. "PES" ve " λ " büyüklüklerinin, farklı kayaç ve farklı maden ocağı bazında regresyon analizleri



Şekil 3. Kömüre ilişkin, " $W_{ET} - \epsilon_{cr}$ ", " $PES - \epsilon_{cr}$ " ve " $\epsilon_{cr} - \sigma_c$ " büyüklüklerinin, farklı maden ocağı bazında regresyon analizleri.

Bu analizlerden elde edilebilecek bazı önemli değerlendirmeler, kısaca şöyle özetlenebilir:

- $\epsilon_{cr} - \sigma_c$ ve $\sigma_{kai} - \sigma_c$ mekanik büyüklükleri arasında pozitif korelasyonlar elde edilmiştir. Bu regresyon analizi sonuçlarına göre, e_{cr} ve a_c büyüklükleri, kömürün bütün yan kayaçları için (sittası haricinde) artan a_c değerlerinde artmaktadır. Farklı kayaç ve farklı maden ocağı bazında elde edilen bu analizlerin korelasyon katsayıları, $r = 0.521 - 0.934$ mertebeleri arasında değişmektedir (çamurtaşı formasyonunda $r = 0.521 - 0.680$ gibi düşük sayılabilecek ilişkiler elde edilmiş olmasına rağmen, burada yalnızca korelasyon mertebesi ile ilgili bir fikir vermek üzere, sözkonusu korelasyon katsayılarına ait ifadelerin eğrisi çizilmiştir). Dikkat edileceği üzere, basınç dayanım değeri yüksek olan kumtaşı formasyonundan ($\sigma_c = 50 - 175$ MPa), dayanım değeri düşük ($\sigma_c = 17 - 38$ Mpa) olan çamurtaşı formasyonuna doğru gidildikçe, artan plastiktik özelliğine bağlı olarak, sözkonusu bu büyüklükler arasındaki ilişkilerin azaldığı ve grafiklerde deki deneysel verilerin dağınık bir görünüm kazandığı, Şekil 1'den de hemen farkedilmektedir. Ancak, silttaşında $\sigma_c = 45 - 90$ MPa arasında değişen değerler elde edilmesine karşın, anılan aynı büyüklüklere ilişkin herhangi bir ilintinin elde edilememesi, keza dikkat çekicidir. Tüm bu değerlendirmeler, basınç dayanımı yüksek olan tavan kayaçlarının (kumtaşı gibi) düşük dayanım değerli olan kayaçlara göre patlamaya karşı daha büyük risk taşıyabileceğini, açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 1).

- Kumtaşları bazında, PES (potansiyel elastik deformasyon enerjisi, [kJ/m^3]) ile “ λ ” (dinamik yenilme indeksi) arasında da güçlü bir ilinti ($r = 0.738 - 0.839$) belirlenmiştir. Dikkat edileceği üzere, artan “X” değerlerinde PES değeri Murcki ve Wujek Madeni'de artmakta ve özellikle Wujek Maden Ocağı "PES" sınıflamasında yüksek mertebeler içinde yer almaktadır. Bu durum ise, sözkonusu bu ocağın diğer lerine göre potansiyel kaya patlamasına karşı büyük ölçüde tehlikeli olduğuna işaret etmektedir (Şekil 2).

- Kömür formasyonu için yeterli sayıda "gerilme - birim kısalma mekanik" verisi elde edilemediğinden yalnızca, “ $W_{ET} - \epsilon_{cr}$ ” ve “ $PES - \epsilon_{cr}$ ” büyüklükleri regresyon matematiği ile değerlendirilmiştir (Şekil 3). Ancak, Polonya'daki Yukarı Silesia Kömür Havzası'm tanımlayan ve yaklaşık 2000 veri için “ $W_{ET} - Re$ ” büyüklükleri arasında oldukça anlamlı sayılabilecek bir matematiksel bağıntı elde edilmiştir (Konopka - Kabies 1996). Sözkonusu bu bağıntı aşağıda verilmiştir:

$$W_{ET} = -6.4 + e^{[0.017R_c + 1.887]} \quad [1]$$

W_{ET} = Patlama indeksi (Enerji indeksi).

Re = Tek eksenli basınç dayanımı, [MPa].

4. SONUÇLAR

Bu çalışma genelinde elde edilen belli başlı önemli değerlendirmeler şöyle özetlenebilir:

- Doğal jeolojik karakteristikler, madencilik yöntemleri, deformasyon enerjisi ve kömür yan kayaçlarının gerilme - birim kısalma (birim şekil değiştirme - deformasyon) mekanik büyüklükleri, kömürdeki kaya patlama olaylarının oluşumunu denetleyebilecek ölçüde, önemli dört parametredir (Çizelge 2).

- Kömür damarlarında karşılaşılan temel jeolojik sokulumlar ve bunların dağılımlarının (fay, dayk, v.d) derece ve mertebeleri, yüksek gerilme anomalilerinin oluşmasına ve lokal olarak patlama riskinin artmasına neden olmaktadır. Bu açıdan, jeolojik ve jeofizik etüdlerin (jeofiziksel tomografi yöntemi), tüm maden sahası genelinde ve titizlikle gerçekleştirildikten sonra, maden planlamasına geçilmelidir (Çizelge 2).

- Kaya patlamadan ile ilgili, olası tehlikenin yerinde araştırılıp değerlendirilebilmesi için, uzunayak anm boyunca tavan kayaçlarını ve/veya tavan tabakasını karakterize edebilecek şekilde alınacak ölçümler, delik penetrometresi ile gerçekleştirilebilmekte, yapılacak tavan kayacı sınırlamasıyla da gerilme yoğunluğunun etkin olduğu bölgeler, kolaylıkla belirlenebilmektedir (Çizelge 3).

- Patlamalardaki kaya hassasiyeti (duyarlılığı), kayacın yenilme öncesi - yenilme sonrası davranışı olarak tanımlandığı tüm gerilme - birim kısalma mekanik büyüklüklerinden elde edilen birçok parametre bazında saptayabilmektedir (Çizelge 4).

- Kayaçların basınç dayanım değerinde (en yüksek gerilme miktarında) sahip oldukları kritik birim kısalma değerleri (birim şekil değiştirme), genellikle yüksektir (Figure 1 a, b, c). Örneğin; kumtaşı: %₀10 -16, silttaşı: %₀ 8 -16, çamurtaşı: %₀ > 9 -18.

- Laboratuvar analiz verilerine göre yapılan değerlendirmeler göstermiştir ki; kayaç, yüksek düzeyde elastisite modülü ile deformasyon (birim şekil değiştirme - birim kısalma) gibi büyüklükleri içerdiğinde (kumtaşında olduğu gibi), yüksek mertebede potansiyel elastik deformasyon enerjisine (PES) sahip olmaktadır. Diğer bir anlatımla, yeraltı şartlarında tavan taşı kolaylıkla göçebildiğinde, kömür anm aşın gerilme etkisinde olmayıp patlamaya karşı tehlike içermemektedir (Şekil 2).

- Kumtaşları bazında, PES (potansiyel elastik deformasyon enerjisi, [kJ/m³]) ile "X" (dinamik yenilme indeksi) arasında da güçlü bir ilinti ($r = 0.738 - 0.839$) belirlenmiştir. Dikkat edileceği üzere, artan "X" değerlerinde PES değeri Murcki ve Wujek Madeni'de artmakta ve özellikle Wujek Maden Ocağı "PES" sınıflamasında yüksek mertebeler içinde yer almaktadır (Şekil 2).

- PES büyüklüğü, kumtaşında 100 - 700 [kJ/m³], silttaşında 100 - 300[kJ/m³] çamurtaşında 20-100 [kJ/m³] mertebelerinde hesaplanmıştır. Bu değerlere, kömür yan

kayaçlan içinde, çamurtaşı hariç diğer iki formasyon, kaya patlamaları açısından olası tehlikeye dikkat çekmektedir (Şekil 2).

• Kömürde, " $W_{ET} - \epsilon_{cr}$ " ve " $PES - \epsilon_{cr}$ " büyüklükleri arasında anlamlı sayılabilecek ilintiler elde edilmiştir (Şekil 3). Nitekim, kömür numunesi, gerilmenin en yüksek değerinde (basınç dayanımında) bir plastikleşme göstermekte ve en yüksek birim kısalma değerine ulaşmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu bildiriye konu olan araştırma raporu, Polonya Madencilik ve Metalürji Üniversitesi, Madencilik Fakültesi, Jeomekanik ve Jeoteknik Anabilim Dalında, 14 Şubat 1997 - 15 Mayıs 1997 tarihleri arasında, Türkiye - Polonya Milli Eğitim Bakanlıklarının Kültürel İşbirliği çerçevesinde elde edilen araştırma bursu kapsamında hazırlanmıştır.

Araştırmanın yazarı, sözkonusu bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde gösterdikleri yakın ilgi ve yardımlardan ötürü danışman Madencilik ve Metalürji Üniversitesi Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Müh. H. FILCEK'e ve ilgili üniversitenin Jeomekanik ve Jeoteknik Anabilim Dalında Öğretim Üyesi olan Sayın Prof. Dr. Müh. D. KRZYSZTON'a ve Polonya Merkez Madencilik Enstitüsü Jeomekanik ve Jeoteknik Bölüm Sorumlusu Sayın Dr. Müh. J. SMOLKA'ya ve ilgili birimdeki tüm elemanlara en derin teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

Anoğlu, A. (1995) Kaya patlamaları - gaz püskürmesi, *Kaya mekaniği ders notları*, istanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maslak, İstanbul.

Cook, N.W. (1963) The basic mechanics of rock burst., *J S Afr, Ins Min Metall*, pp: 192-195

ECE. (1993) ECE Classification dynamic phenomena in mines, *Economic Commission for Europe, Committee on Energy*, 29 September - 1 October, 17 pp.

GIG. (1978) Instruction for determination of properties of rocks surrounded by workings by means of a borehole penetrometer, *Central Mining Institute*, Katowice, Poland

Haramy, K.Y.and Mc Donnel, J. P., (1988) Causes and control of coal mine bumps, *Bu Mines RI 9225*, 35 pp.

Holland, C.T. and Thomas, E. (1954) Coal mine bumps some aspects of occurrence, Cause and Control, *Bu Mines RI 535*, pp:65

Holland, C.T. (1958) Cause and occurrence of coal mine bumps, *Mining Engineering*, September, pp: 994 -1004.

Kleczek, Z. and Zorychta, A. (1993) Coal bumps induced by mining tremors, *Rock burst and Seismicity in Mines*, (Ed Young) Balkema-Rotterdam, pp: 87-89.

Konopka, W. and Kabiesz, J. (1996) Modification possibility for technological properties of rock around excavations, (in press).

Krzyszton, D. (1996) Analysis of parameters determining the susceptibility of rock to bumps, *Seminoria Notes*, 30 p.

Peng, S. S. (1986) Bump in the coal mine ground control, *Second Editions*, John Wiley - Sons, New York.

Rice, G. S. (1935) Bump in the Coal Mines of the Cumberland Field, Kentucky and Virginia - Causes and Remedy, *Bu Mines RI3167*, 27 pp.

Tokgöz N. (1997) Coal bumps in underground deep mining conditions, Researching Report, *University of Mining and Metallurgy, Faculty of Mining, Dept of Geomechanics and Geotechnics*, Cracow - Poland, 35 p. (Unpublished).