

## SIVI KARBONDİOKSİTLE KAYAÇ PARÇALAMANIN MEKANİZMASI

### THE MECHANISM OF ROCK BREAKAGE BY LIQUID CARBONDIOXIDE

N. A. AKÇIN

Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, ZONGULDAK

T. ÖZKAN

TTK Genel Müdürlüğü, ZONGULDAK

**ÖZET :** Bu bildiri; özel bir tüp içinde depolanan sıvı CO<sub>2</sub> ile kayaç parçalamanın mekanizması açıklanmaya çalışılmıştır. Sıvı CO<sub>2</sub> ile dolu tüp kayaç içinde açılan bir deliğe yerleştirilmektedir. Daha sonra da, sıvı CO<sub>2</sub> kimyasal bir ısıtıcı ile genişletilerek gaz haline dönüştürülmektedir. Gaz haline geçerken hacmi 600 kat artmakta ve tüpün içinde 250 MPa'lık bir basınç oluşmaktadır. Bu basınç tüpün bir ucunda bulunan diskin kesilmesine neden olmakta ve tüpün içindeki CO<sub>2</sub> gazı özel bir deşarj kafasından kayaca aktarılmaktadır. Bu aktarma işlemi milisaniyelik bir sürede bir şok dalgası şeklinde olmaktadır. Mekanizma olarak patlayıcı maddelerle parçalamaya benzemektedir. Ancak, bu sistemde sarsıntısız bir patlatma gerçekleşmektedir. Gazın ani olarak boşalması sırasında, büyük bir soğuma etkisi görülmektedir. Bu çalışmada, kayaca ne kadar bir enerjinin aktarıldığı, enerji aktarma süresi, soğuma miktarı hesaplamaları yapılmıştır.

**ABSTRACT:** In this paper, the mechanism of breakage by liquid carbon dioxide (CARDOX) which is stored in a special tube is explained. The tube filled with liquid CO<sub>2</sub> is inserted into a hole drilled in the rock. Afterwards, the liquid CO<sub>2</sub> is expanded by a chemical energiser and during this expansion the liquid CO<sub>2</sub> changes into gas state. During this process the volume of CO<sub>2</sub> increases 600 times and the pressure in the tube reaches to 250 MPa. This pressure results in rupturing of the mild - steel disc and CO<sub>2</sub> installed in the tube is discharged into the surrounding rock via discharge head. The discharge process takes place within a millisecond period in the form of a shock pressure. In terms of breakage mechanism it resembles to explosive fracturing. But, the resulting explosion in this system is free from vibration. During the discharge of CO<sub>2</sub> a considerable cooling effect occurs. In this work, the sum of energy transferred to the rock, its transfer period and amount of cooling are calculated.

### 1. GİRİŞ

Sıvı karbondioksitle kayaç parçalama çalışması eskiden beri bilinmektedir. Sıvı karbondioksit belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılınca gaz haline geçmekte ve büyük oranda genişlemektedir. Bu genişleme anında ortaya çıkan enerji kayaç kazısında ve daha bir çok alanda kullanılmaktadır. Enerjinin ortaya çıkışı, patlayıcı maddelerin patlatılmasındaki gibi olduğu için bu sistem CARDOX olarak bilinmektedir.

Sistemin kullanımı oldukça basittir. Sıvı CO<sub>2</sub> dolu özel tüpler parçalanmak istenilen kayaç içinde açılan bir deliğe yerleştirilir. Sıvı CO<sub>2</sub>'nin genişmesi için tüpün içinde bulunan kimyasal ısıtıcı 12 V'luk bir el manyetosu ile ateşlenir. Isıtıcı 1170°'lik bir sıcaklık verir ve tüp içindeki sıvı CO<sub>2</sub>

gaz haline dönüşür. Bu esnada hacmi 600 kat artarak genişler ve tüpün içindeki basınç 250 MPa'a çıkar. Tüpün deşarj kafasına yerleştirilmiş olan özel alaşımli disk bu basıncın etkisiyle kesilir (Şekil 1). Bunun sonucunda, deşarj kafasından tüpün çevresindeki kayaca büyük bir şok dalgası uygulanır. Bu şok dalgası deşarj kafasından iki yönde yayılır. Şok dalgaları kayacın en derin ve en ince süreksizliklerine kadar etki eder ve bunun sonucunda da kayacın parçalanması sağlanır (CARDOX, 1994).

Bu çalışmada; CARDOX sisteminin kullanım alanları, bu alanlarda sağladığı yararlar ve diskin kesilmesinden itibaren sistemin parçalama mekanizması irdelenecektir.

21

## 2. CARDOX SİSTEMİNİN KULLANIM ALANLARI

CARDOX sistemi, bir patlayıcı olarak kabul edilmemektedir. Bu nedenle; taşıma, depolama ve kullanımı için özel izin veya ehliyet gerekmemektedir. Yaygın bir kullanım alanı vardır. Tüp tipi kullanılacağı yere göre belirlenmektedir (Çizelge 1).

Kömür kazısında hem yeraltı ve hem de açık işletmelerde kullanılmaktadır. Patlayıcı olarak kabul edilmediği ve ateşleme sonucunda ortaya çıkan CO<sub>2</sub> gazı çevrede soğutma etkisi yaptığı için grizulu ocaklarda güvenli olarak kullanılabilir. Toksik bir etkisi bulunmadığı için patlatmadan hemen sonra havalandırma yapmadan çalışma alanına girmek olanaklıdır. Patlatma sırasında önemli bir sarsıntı ve geri sıçratma etkisi yaratmamaktadır. Bu sayılanlar klasik patlayıcı maddelere göre üstünlükleridir. Parçalama mekanizması şok dalgalarına dayandığı için kömür iri parçalar halinde üretilmektedir. Şok dalgaları herhangi bir süreksizliğe rastlandığında sönümlenmektedir. Bu sayede arakesme ile kömür ayrımı kolaylıkla yapılabilmektedir. Ayrıca, tavan taşı ve tahkimatı bozmadan patlatma yapma olanağı sağlamaktadır (Başaran ve Başaran, 1996; CARDOX, 1998). Açık işletmelerde, yerleşim birimlerinin yakınında sarsıntı yaratmadan komple basamak atımlarında kullanılabilir.

Taş ocaklarında, çatksız iri kaya bloklarının elde edilmesinde ve ön gevşetme çalışmalarında CARDOX tüpleri başarıyla kullanılabilir. Bir tüp ile 2 m<sup>3</sup> civarında granit kazısı yapılabilmektedir. Kireçtaşı, kalsit v.b. ocaklarında da kullanılmaktadır. Tünel ve kuyu açma çalışmalarında kullanımı yaygındır. Baraj inşaatında

derivasyon tünellerinin açılmasında sarsıntı yaratmadan ve çevre kayaları bozmadan kazı yapılabilmesi büyük bir avantajdır.

En yaygın kullanım alanlarından birisi de beton parçalama çalışmalarıdır. Bina yıkımında ve betondan yapılan makina lokasyonlarının çevreye zarar vermeden sökülmesinde kullanılmaktadır. Güvenli, hızlı, etkin ve ekonomik oluşu diğer yöntemlere göre üstünlükleridir. Kıрма çalışmalarında şok dalgalarının eklemlerde sönümlenmesi ve diğer kısımların patlatmadan etkilenmemesi bir başka tercih nedenidir.

Sualtı kazı çalışmalarında patlayıcılar için iyi bir alternatiftir. Sualtı patlatmalarında kullanılmasının başlıca nedeni canlılara ve sarsıntı ile ses etkisi olmadığı için dalgıçlara zarar vermemesidir.

Tıkanan siloların açılması ve dönel fırnlarda oluşan kemerleşmelerin sökülmesinde de CARDOX sisteminden yararlanılmaktadır. Tıkanıklığın olduğu yere veya kemerleşme bölgesine yerleştirilen tüp patlatılmaktadır. Darbe etkisi olmadığı için bu patlatmadan silo veya fırın cidarı zarar görmemektedir. Toksik bir etkisi olmadığı için tahıl ve un silolarının açılmasında güvenli bir şekilde kullanılabilir.

CARDOX sistemi ülkemizde ilk kez Keban Barajı inşaatı sırasında dolu savak betonlarının yatağa zarar vermeden kırılmasında kullanılmıştır (CARDOX, 1994). Daha sonrada, Tire Linyit İşletmesi'nin Akçaşehir köyü altındaki kömür ocaklarında kullanılmıştır. Burada kullanılmasının asıl nedeni köyün altında sarsıntı yaratmadan parça kömür üretmektir (Başaran ve Başaran, 1996). Sistem halen ülkemizin tek taşkömürü üreticisi olan TTK'nın Kozlu ve Amasra Müessesesi ocaklarında pilot olarak denenmektedir (Akçın ve Kel 1999; Yamudi, 1999).

Çizelge 1 CARDOX tüpü tipleri ve kullanıma alanları (CARDOX, 1994)

Tüp Tipi	B20	B37	F57	C74
Tüp Çapı (mm)	45	45	51	64
Tüp Uzunluğu (mm)	686	1 118	1 245	1 093
Tüp Ağırlığı (kg)	5,45	8,18	12,73	16,82
Sıvı CO <sub>2</sub> Miktarı (kg)	0,29	0,60	0,82	1,25
Delik Çapı (mm)	51	51	57	76
Disk Kalınlığı (mm)	2,8-3,6	2,9-3,6	2,4-3,6-4,4-5,2	3,2-4,8
Oluşan Basınc (MPa)	190-236	190-236	126-276	126-190
Uygulama Alanı	- İnce beton kırma - İkincil kayaç parçalama	- İnce beton kırma - İkincil kayaç parçalama - Kömür kazısı - Tıkanıklık giderme	- Kömür kazısı - Masif beton kırma - Kayaç parçalama - Taş ocakları	- Poroz ve çatlaklı kayaç kazısı - Masif beton kırma işlemi - Silo ve fırın temizleme çalışmaları

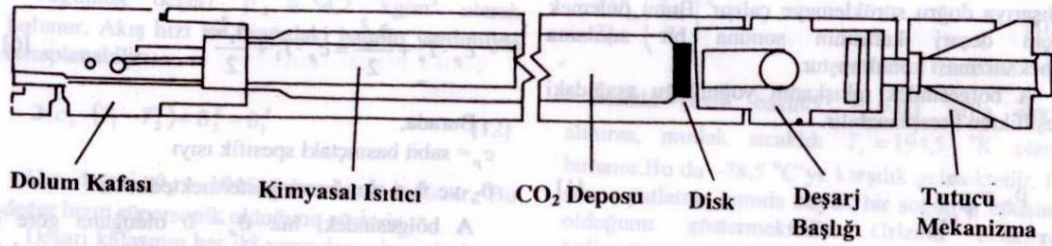
### 3. PARÇALAMA MEKANİZMASI

Sistemin parçalama mekanizması, deşarj kafasındaki diskin kesilmesinden sonra açıklanmaya çalışılacaktır. Tüpün içinde gaz haline geçen CO<sub>2</sub> disk kesildikten sonra kafanın iki yanından kayaca etki etmektedir. Bu işlemler milisaniye mertebesinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle tüp ile kayacık (çevre) arasında herhangi bir ısı alışverişi olmadığı kabul edilmektedir. Tüpün içinden çıkışa kadar olan hal değişimleri sürtünmesiz ve şok düzlemine kadar olan genişlemenin "İzantropik" olduğu kabul edilmiştir.

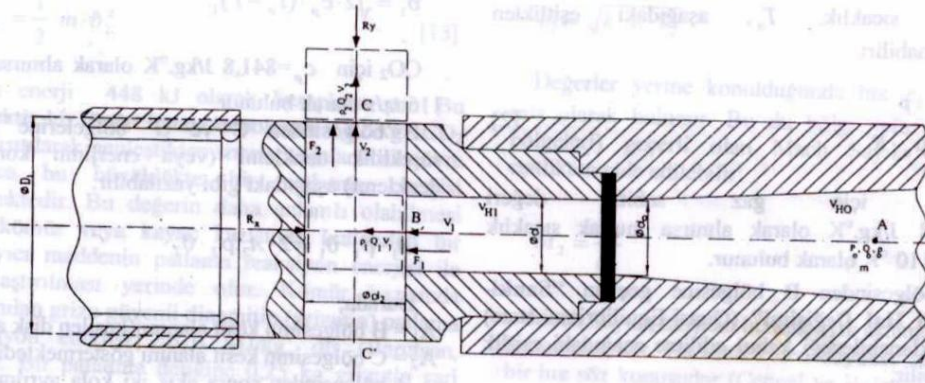
Mekanizmayı açıklamak için tüpün içinden çıkışa kadar hal değişiminin olduğu üç bölgeden söz edilecektir (Şekil 2.). Bu bölgeler sırasıyla CO<sub>2</sub>'nin depolandığı A bölgesi, diskin hemen arkasında bulunan B bölgesi ve şok dalgalarının deşarj kafasını terk ettiği C-C' bölgeleridir. Sistemde, A

bölgesinden B bölgesine ve bu bölgeden tüpün çevresindeki kayaca geçerken olmak üzere iki kontrol hacmi belirlenmiştir. Şekil 2'de kesikli çizgilerle gösterilen kontrol hacimleri için "Hareket Miktarı Kuramı" uygulanmış ve mekanizma bu yolla açıklanmaya çalışılmıştır. Bu kuram; "herhangi bir kontrol yüzeyi ile çevrili sabit ve imajiner bir kontrol bölgesine uygulanan dış kuvvetlerin toplamı bu bölge içinde birim zamanda hareket miktarındaki artma ile, birim zamanda bu bölgeden çıkan kuvvet miktarının toplamına eşittir" şeklinde tanımlanmaktadır (Özgür, 1966; Büyüktürk, 1985; Çengel ve Boles, 1994).

Sistemin mekanizması kömür kazısında kullanılan F57 tipi tüpün verilerine göre çözümlenmiştir. Bu tüple ilgili olarak Şekil 2'de belirtilen bölgelere ait bazı veriler aşağıda verilmiştir:



Şekil 1. CARDOX tüpü (F57)



Şekil 2. CARDOX sisteminin parçalama mekanizması

A bölgesinde;  
tüpün içindeki sıvı CO<sub>2</sub> miktarı, m=0,82 kg  
patlama sonucu oluşan basınç, P<sub>o</sub>= 236 MPa  
diskin kesilen kısmının çapı, d<sub>o</sub>= 23,6 mm  
bu bölgenin hacmi, V<sub>Ho</sub>=7,25x10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>  
diskin kalınlığı, S= 4,4 mm

B bölgesinde;  
bu bölgenin çapı, d<sub>1</sub>= 23,5 mm  
bu bölgenin uzunluğu, L<sub>1</sub>= 42,5 mm  
bu bölgenin hacmi, V<sub>H1</sub>= 1,8434x10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>

B bölgesinde kontrol hacmine etki eden kuvvet F<sub>1</sub>  
ile gösterilmiştir. Kontrol hacmine giren kuvvet  
miktarı ρ<sub>1</sub> · Q<sub>1</sub> · θ<sub>1</sub> şeklinde ifade edilebilir. hareket

C bölgesinde;  
deşarj kafası çıkış çapı, d<sub>2</sub>= 25 mm  
C bölgesinde kontrol hacmine etki eden kuvvet F<sub>2</sub>  
ile gösterilmiştir. Bu bölgedeki kontrol hacmine  
giren hareket miktarı ρ<sub>2</sub> · Q<sub>2</sub> · θ<sub>2</sub> şeklinde  
belirtilebilir.

Deşarj anında, düşey yönde R<sub>y</sub> tepki kuvveti ve  
yatay yönde kontrol hacmine etki eden R<sub>x</sub> tepki  
kuvveti oluşur. R<sub>x</sub> tepki kuvveti, tüpü delikten  
dışarıya doğru sürüklemeye çalışır. Bunu önlemek  
için deşarj kafasının sonuna bir sıkılama  
mekanizması konulmuştur.

A bölgesindeki akışkanın yoğunluğu aşağıdaki  
eşitlikten hesaplanabilir.

$$\rho_o = \frac{m}{V_{Ho}} \quad [1]$$

Bu eşitlikte değerler yerine konulursa  
ρ<sub>o</sub> ≅ 1131 kg/m<sup>3</sup> olarak bulunur.

Disk kesilmeden hemen önce bu bölgedeki  
mutlak sıcaklık, T<sub>o</sub>, aşağıdaki eşitlikten  
hesaplanabilir:

$$T_o = \frac{P_o}{\rho_o \cdot R} \quad [2]$$

CO<sub>2</sub> için gaz sabiti değeri  
R=188 J/kg.°K olarak alınırsa mutlak sıcaklık  
T<sub>o</sub> ≅ 1110 °K olarak bulunur.

A bölgesinden B bölgesine geçişin "Sanki-  
Dengeli Hal Değişimi" (Quasi-Equilibrium state)  
ile açıklanabileceği kabul edilirse aşağıdaki eşitlik  
yazılabilir.

$$P_o \cdot V_{Ho} = P_1 \cdot (V_{Ho} + V_{H1})^k \quad [3]$$

Değerler yerine konularak bir hesaplama yapılırsa  
B bölgesindeki basınç değeri P<sub>2</sub> = 228,5 MPa  
olarak bulunur. Mutlak sıcaklık için aşağıdaki  
bağıntı yazılabilir:

$$\frac{T_1}{T_o} = \left( \frac{P_1}{P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad [4]$$

CO<sub>2</sub> için k= 1,289 değeri kullanıldığında mutlak  
sıcaklık T = 1102 °K olarak bulunur.

B bölgesine geçen akışkanın yoğunluğu aşağıdaki  
bağıntıdan bulunabilir:

$$\rho_1 = \frac{P_1}{R \cdot T_1} \quad [5]$$

Değerler yerine konulursa yoğunluk ρ<sub>1</sub> = 1103  
kg/m<sup>3</sup> olarak bulunur.

İki bölge arasındaki enerji denklemi aşağıdaki  
gibi yazılabilir:

$$c_p \cdot T_o + \frac{\theta_o^2}{2} = c_p \cdot T_1 + \frac{\theta_1^2}{2} \quad [6]$$

Burada;

c<sub>p</sub> = sabit basıncıdaki spesifik ısıyı

θ<sub>o</sub> ve θ<sub>1</sub> = akış hızını göstermektedir.

A bölgesindeki hız θ<sub>o</sub> = 0 olduğuna göre B  
bölgesindeki akış hızı [6] nolu eşitlikten aşağıdaki  
şekilde bulunabilir:

$$\theta_1 = \sqrt{2 \cdot c_p \cdot (T_o - T_1)} \quad [7]$$

CO<sub>2</sub> için c<sub>p</sub> = 841,8 J/kg.°K olarak alınırsa θ<sub>1</sub> =  
116 m/s olarak bulunur.

B bölgesinden C ve C' bölgelerine geçişte  
süreklilik denklemi (veya enerjinin korunumu  
denklemi) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$A_1 \cdot \rho_1 \cdot \theta_1 = 2 \cdot A_2 \cdot \rho_2 \cdot \theta_2 \quad [8]$$

Burada;

A<sub>1</sub> = B bölgesinin kesit alanını (kesilen disk alanı)

A<sub>2</sub> = C bölgesinin kesit alanını göstermektedir.

B bölgesinden sonra akış iki kola ayrılmaktadır.  
Geçiş anı için enerji denklemi aşağıdaki gibi  
yazılabilir:

$$c_p \cdot T_1 + \frac{\vartheta_1^2}{2} = c_p \cdot T_2 + \frac{\vartheta_2^2}{2} \quad [9]$$

[8] ve [9] nolu eşitlikler kullanılarak bu bölgedeki mutlak sıcaklık  $T_2 \approx 461,3$  °K olarak bulunur.

C bölgesinden çevre kayaca etki eden basınç aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad [10]$$

Değerler yerine konulursa mutlak basınç  $P_2 = 4,7$  MPa olarak bulunur. Bu da önemli bir darbe etkisinin olmadığını gösterir.

Bu bölgedeki akışkanın yoğunluğu da aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$\rho_2 = \frac{P_2}{R \cdot T_2} \quad [11]$$

Yoğunluk değeri  $\rho_2 = 54,2$  kg/m<sup>3</sup> olarak bulunur. Akış hızı ise aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir:

$$2 \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2) = \vartheta_2^2 - \vartheta_1^2 \quad [12]$$

Hız değeri  $\vartheta_2 = 1045$  m/s olarak bulunur. Bu değer hızın süpersonik olduğunu gösterir.

Deşarj kafasının her iki yanından çıkan akışkanın vermiş olduğu patlama enerjisi aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vartheta_2^2 \quad [13]$$

Bu enerji 448 kJ olarak hesaplanmıştır. Bu demektir ki; tüpün içinde depolanan 0,82 kg CO<sub>2</sub> gazı ısıtılarak genişletikten sonra parçalanacak çevre kayaca bu büyüklükte bir patlama enerjisi vermektedir. Bu değer daha anlamlı olabilmesi için kömür veya kayaç kazısında kullanılan bir patlayıcı maddenin patlama reaksiyon enerjisi ile karşılaştırılması yerinde olur. Kömür kazısında kullanılan grizu güvenli dinamitin (grizutin) patlama reaksiyon enerjisi 2,620 MJ/kg'dır (Barutsan, 1999). Bir patlatma deliğine 0,25 kg grizutin şarj edildiği düşünülürse alınacak reaksiyon enerjisi  $E_{D1} = 655$  kJ olmaktadır. CARDOX sisteminde de deliğe bir tüp yerleştirildiğine göre CARDOX ile grizutin vermiş olduğu reaksiyon enerjilerinin oranı  $E_c / E_{D1} = 0,68$  'dir. Bu da CARDOX

sistemiyle daha iri parçalı ürün elde edilmesinin bir göstergesidir.

Deşarj kafasının bir tarafından çıkan CO<sub>2</sub> kütlesi aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$m_2 = A_2 \cdot \rho_2 \cdot \vartheta_2 \quad [14]$$

Değerler yerine konulursa CO<sub>2</sub> kütlesi  $m_2 = 27,8$  kg/s olarak bulunur. Deşarj süresi ise aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$t_2 = \frac{m / 2}{m_2} \quad [15]$$

Deşarj süresi yukarıdaki bağıntıdan  $t_2 = 15$  ms olarak bulunur.

4,7 MPa'lık bir basınçla ortama yayılan CO<sub>2</sub> gazının mutlak sıcaklığı  $T_e$  aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$\frac{T_2}{T_e} = \left( \frac{P_2}{P_e} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad [16]$$

Burada çevre basıncı  $P_e = 0,1$  MPa olarak alınır, mutlak sıcaklık  $T_e = 194,5$  °K olarak bulunur. Bu da -78,5 °C'ye karşılık gelmektedir. Bu sonuç patlatma anında büyük bir soğutma etkisinin olduğunu göstermektedir. Grizulu ocaklarda kullanılmasının asıl nedenlerinden birisi budur.

Şok dalgasının C bölgesindeki yayılma hızı aşağıdaki eşitlikten bulunabilir:

$$c_2 = \sqrt{k \cdot R \cdot T_2} \quad [17]$$

Değerler yerine konulduğunda hız  $c_2 = 334,35$  m/s olarak bulunur. Bu iki bölge için (C ve C' bölgeleri) geçerli olan Mach Sayısı aşağıdaki eşitlikten elde edilebilir:

$$M_2 = \frac{\vartheta_2}{c_2} \quad [18]$$

Mach Sayısı; akışkan hızının aynı ortamdaki hava hızına oranıdır. Bu oran 1'den büyükse süpersonik bir hız söz konusudur (Çengel ve Boles, 1994). Bu bağıntıdan elde edilen Mach Sayısı  $M_2 = 3,12$  'dir. Mach Sayısı birden büyük olduğu için burada süpersonik bir hız söz konusudur. Bu da deşarj kafasından çıktıda CO<sub>2</sub> gazının şok dalgalarını meydana getirdiğinin bir göstergesidir. Şok

6

dalgasının ardından basınç ve sıcaklık aniden yükselmekte ve hız ses-altı düzeye inmektedir.

CO<sub>2</sub> gazının şoktan önceki değerleri;  $\vartheta_2, P_2, T_2$  ve  $\rho_2$  ise şoktan sonraki değerleri;  $\vartheta_3, P_3, T_3$  ve  $\rho_3$  olsun. Bu geçişteki Mach Sayısı  $M_3$ , aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$M_3^2 = \frac{1 + \frac{k-1}{2} \cdot M_2^2}{k \cdot M_2^2 - \frac{k-1}{2}} \quad [19]$$

Değerler yerine konulduğunda Mach Sayısı  $M_3 = 0,44$  olarak bulunur. Bu da hızın ses-altına indiğinin bir göstergesidir. Bu bölgedeki basınç aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{1 + k \cdot M_2^2}{1 + k \cdot M_3^2} \quad [20]$$

Bu basınç  $P_3 = 50,9$  MPa olarak bulunur. Şoktan sonraki sıcaklık ise aşağıdaki eşitlikten elde edilebilir:

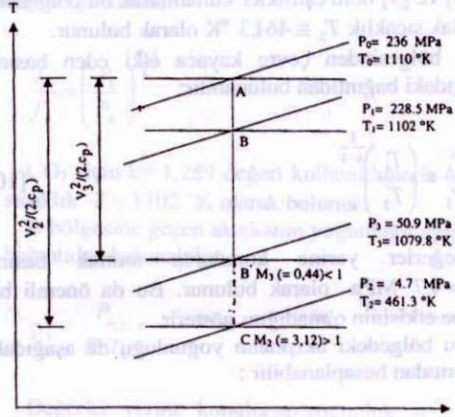
$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{1 + \frac{1}{2} \cdot (k-1) \cdot M_2^2}{1 + \frac{1}{2} \cdot (k-1) \cdot M_3^2} \quad [21]$$

Değerler yerine konulduğunda mutlak sıcaklık  $T_3 = 1079,8$  °K olarak bulunur. Bu noktadaki hız da aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$\frac{\vartheta_3}{\vartheta_2} = \frac{\frac{2}{M_2^2} + (k-1)}{k+1} \quad [22]$$

Bu bağıntı yardımıyla hız  $\vartheta_3 = 225$  m/s olarak bulunur. Bu bağlamda yapılan tüm hesaplamaların sonuçları Şekil 3'deki sıcaklık-entropi (T-s) diyagramında gösterilmiştir.

Bu hesaplamalar; deşarj kafasında kullanılan disk kalınlığı ve deşarj kafası tipi değiştirilerek tekrarlanabilir. Bu çalışmalarda çıkış çapı da büyütülebilir ve hatta iki yandan olan boşalma tek taraftan yapılabilir. Tek çıkışlı deşarj kafaları daha ziyade galeri veya tünel kazılarında sıfır tarama çalışmalarında kullanılabilir.



Şekil 3. Mutlak sıcaklık (T) ve entropi (s) değişim grafiği

#### 4. SONUÇLAR

Sistemin mekanizmasını açıklamaya yönelik çalışmalar; CARDOX sisteminde asil parçalamanın şok dalgalarıyla yapıldığını göstermektedir. Bu nedenle de patlatmadan sonra sarsıntı etkisi görülmemektedir ve darbe etkisi daha azdır. F57 tipi bir tüple yapılan patlatmada deşarj kafasının iki yanından toplam olarak 448 kJ enerji çıkmaktadır. Bu enerjisi de 0,25 kg'lık bir grizutin lokumunun reaksiyon enerjisinin % 68'ine karşılık gelmektedir. Tek bir taraftan çıkan enerji ise bunun yarısı kadardır. Patlatmadan sonra oluşan -78,5 °C'lik soğumanın oluşması kömür madenciliğinde kullanılmasının başka bir nedenidir. Ayrıca, sistem laboratuvar ortamında % 9'a kadar metan içeren ortamlarda test edilmiş ve herhangi bir riskin olmadığı tespit edilmiştir (CARDOX, 1998).

Bu çalışmanın sonuçları, sistemin halen pilot olarak denenmekte olduğu TTK ocaklarındaki kazı çalışmalarında kullanılacaktır. Kömür damarlarının sertliğine göre hangi tip tüpün kullanılacağı, disk kalınlığı ve delikler arası mesafe önceden belirlenmeye çalışılacaktır.

KAYNAKLAR

Akçın, N. A. ve Kel, K. 1999. Zonguldak Kömür Havzasında Klasik Üretim Yöntemlerine Alternatif Olarak Denenmekte Olan Yöntemler. *Türkiye'de Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, s.62-68.

Barutsan, 1999. Barutsan A.Ş.'nin Patlayıcı Ürünleri ile Orica-Nitro ve Nitromak A.Ş. Patlayıcı Ürünlerinin Teknik ve Ticari Açından Karşılaştırılması. *Barutsan Dergisi*, Yıl: 7, Sayı : 1999/1, Barutsan-Ankara, s.5-13.

Başaran, C. & Başaran, S. C. 1996. Cardox Kıрма Ünitesi ve Uygulama Sonuçları. *II. Delme Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, s.233-240.

Büyüktürk, A. R. 1985. *Termodinamik*. Cilt:2, Uludağ Üniversitesi Yayınevi, Bursa, 400 s.

CARDOX, 1994 *Technical Documentation*, Bristol, UK, 34p.

CARDOX, 1998. Cardox the Real Alternative to Explosives. *Technical Documentation*. Cardox Int. Ltd., Bristol, UK.

Çengel, Y. A. & Boles, M. A. 1994. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGrawHill, New York, 867 pp.

Özgür, C. 1966. *Uygulamalı Hidromekanik*. İTÜ Kütüphanesi No:660, İstanbul.

Yamudi, C. 1999. CARDOX Kazı Sisteminin TTK Kozlu Ocaklarında Kullanımının Araştırılması. ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yük. Müh. Tezi, Zonguldak, 78s.

**ABSTRACT:** In this paper, the mechanism of breakage by liquid carbon dioxide (CARDOX) which is used in a special tube is explained. The tube filled with liquid CO<sub>2</sub> is inserted into a hole drilled in the rock. Afterward, the liquid CO<sub>2</sub> is expanded by a chemical energizer and during this expansion the liquid CO<sub>2</sub> changes into gas state. During this process the volume of CO<sub>2</sub> increases 800 times and the pressure in the tube reaches to 150 MPa. This pressure results in rupturing of the mild- steel disc and CO<sub>2</sub> installed in the tube is discharged into the surrounding rock via discharge head. The discharge process takes place within a millisecond period in the form of a shock pressure. In terms of breakage mechanism it resembles to explosive fracturing. But, the resulting explosion in this system is free from vibration. During the discharge of CO<sub>2</sub> a considerable cooling effect occurs. In this work, the sum of energy transferred to the rock, its transfer period and amount of cooling are calculated.

GİRİŞ

Sıvı karbondioksitle kayalık parçalanma çalışmaları eskiden beri bilinmektedir. Karbondioksit belirli bir miktarda kademeli olarak gaz haline geçmekte ve büyük miktarda genişlenmektedir. Bu genişleme sonucu ortaya çıkan enerji kayalık kayanın ve diğer bir çok maddede kullanılmaktadır. Enerjisi ortaya çıkan patlayıcı maddelere parlatıcılarındaki gibi örneğin, CARDOX olarak bilinmektedir.

Sistemde kullanılan ilave bir miktar sıvı CO<sub>2</sub> dolu özel tüpe parlatıcılar aracılığıyla kayalık bölgeye bir delgeç yerleştirilir. Bu CO<sub>2</sub>'nin genişlemesi için tüpün içinde bulunan kimyasal enerji (E-V) bu el materyaliyle reaksiyon sonucu 1170° K bir sıcaklık ve bir basınçta sıvı CO<sub>2</sub>

gaz haline dönüşür. Bu sırada hacmi 800 kat artarak 150 MPa basınç seviyesine ulaşır. Bu basınç, mild-steel tüpe delgeç kafesini yırtıp çıkarır. Bu basınç, delgeç kafesini delgeçten dışarıya iterek CO<sub>2</sub> gazını delgeçten kayalık bölgeye bir delgeç başlığı aracılığıyla çıkarır. Bu gaz delgeç delgeç kafesinin etrafında yüksek basınçlı bir delgeç başlığı şeklinde kayalık bölgeye enerjiyi transfer eder. Bu enerji kayalık bölgeyi kırarak parçalanma sağlar (CARDOX, 1994).

Bu çalışmada, CARDOX sisteminin delgeç tüpü aracılığıyla kayalık bölgeye enerjiyi transfer etmesi ve delgeç kafesini yırtarak enerjiyi kayalık bölgeye transfer etmesi araştırılmaktadır.