

Yüksek Basıncılı Bir Su Jetinin Geliştirilmesi ve En uygun Kömür Kesme Koşullarının Belirlenmesi

Development of a High-Pressure Water Jet and Determination of Optimum
Coal Cutting Conditions

Nuri Ali AKÇIN(*)

ÖZET

Bu yazıda, kömür kesme amacıyla geliştirilen yüksek basınçlı bir su jeti ve onun çeşitli özellikleri tanıtılmıştır. Bu ünitenin en uygun kömür kesme koşullarının belirlenmesi için yapılan 200'den fazla kesme deneyinin sonuçları değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

ABSTRACT

In this article, a high-pressure water jet developed for coal cutting purposes and its various properties have been introduced. The results of over 200 cutting experiments have been evaluated and interpreted in order to determine the optimum coal cutting conditions of this equipment.

T

(*) YrdDoç.Dr., H.O. Zonguldak Müh. Fak., Maden Müh.Böl., ZONGULDAK

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yüksek basınçlı su jetleri laboratuvarlarda kayaçların, kömürlerin ve diğer birçok malzemenin kesilmesi ve parçalanması çalışmalarında denemekte ve elde edilen sonuçlar arazi ve endüstri uygulamalarına geçirilmektedir. En geniş uygulama alanı da kömür üretimi çalışmalarında görülmektedir. Su jetlerinin kullanılmasıyla geliştirilen ve geliştirilmekte olan üretim yöntemleri mevcuttur (Grimley, 1974; Jeremic, 1982):

Laboratuvarlarda kömür kesme ya da parçalama çalışması yapmada büyük güçlükler vardır. İlk güçlük yerindeki bakir kömürle laboratuvar örnekleri arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Üstelik, damardan alınan örneklerin bütünlük içinde korunması da oldukça zordur. Bunun için alınan örnekler ya anında deneysel işleme tabi tutulmalı ya da özel önlemlerle taşınmalıdır. Laboratuvarlarda yapılan kesme çalışmaları ancak kendi aralarında karşılaştırılmalıdır. Laboratuvar çalışmalarında dayanım özellikleri bakir kömüre yakın olan "toz kömür + çimento" karışımından hazırlanan briket örnekler de kullanılmaktadır.

Kayaç kesme ya da parçalama çalışmaları için geliştirilen kuramlar ve yapılan genellemeler kömür için de geçerlidir (Nikonov-Goldin, 1972; Crow, 1973; Chermensky, 1976). Devamlı bir su jeti ile yapılan kesme çalışmalarında etkilenmenin başlaması için gerekli jet basıncı [1] no'lu eşitlik yardımıyla bulunmaktadır (Nikonov-Goldin, 1972).

$$P_{kr} = k \cdot f \quad [1]$$

Burada

- P^{\wedge} : Kritik etkileme basıncı (MPa),
- f : Protodjakonov sertlik indeksi (tek eksenli basınç dayanımının 1/100'ü kadar),
- k : 35-50 arasında bir katsayıdır.

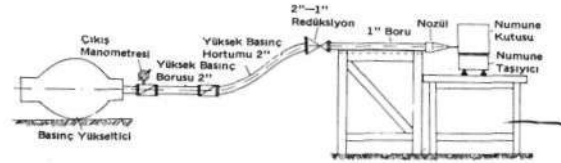
Eşitlikten görüleceği gibi kömürün sertliği kesme işleminde önemli bir etmendir. Diğer önemli bir etmen de tabakalaşma ve klivaj düzlemlerinin konumudur. Tabakalaşma ve klivaj düzlemlerine paralel doğrultuda yapılan kesme çalışmalarında daha az enerji gerektiği ve verimin daha yüksek olduğu belirtilmektedir (duPlessis-Hashish, 1980).

Bu çalışmada, kömür kesme deneylerinde kullanılmak üzere, basınçlı hava ile çalışan yüksek basınçlı bir su jeti ünitesinin geliştirilmesi ve bu ünite-

nin en uygun kesme koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için laboratuvarda hazırlanan briket kömür örnekleri üzerinde kesme deneyleri yapılmış ve sonuçları yorumlanmıştır.

2. YÜKSEK BASINÇLI SU JETİ ÜNİTESİ

Tasarımlanan su jeti ünitesi T.T.K Etüd-Tesis Şube Müdürlüğü'nün yardımlarıyla Merkez Atelyelerinde (MAZ'da) yaptırılmıştır. Ünite; bir basınç yükseltici, nozüller, bir numune taşıyıcı ve yeteri kadar boru ve hortumdan oluşmaktadır (Şekil 1). Basınç yükselticiden sağlanan yüksek basınçtaki su, boru ve hortumlarla nozüle kadar taşınmakta ve nozülden bir demet şeklinde çıkan su numune taşıyıcı üzerinde hareket halinde olan malzeme yüzeyine fışkırtılmaktadır.



Şekil 1. Deney ünitesi.

2.1. Basınç Yükseltici

Basınç yükseltici, basınçlı hava ile çalışan basit bir su cenderesinden ibarettir. Büyük bir piston ve bu pistonun her iki ucuna bağlı iki küçük piston ile suya yön veren yeteri kadar klape vardır (Şekil 2). Büyük piston, çekmeceден yönlendirilen basınçlı hava yardımıyla sağa-sola hareket ederken küçük silindirlere dolan su sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan su da klapeleer yardımıyla şebekeye sevk edilmektedir. Büyük piston arkasına P_h basıncındaki hava verilince, piston alanları arasındaki oran nedeniyle küçük piston önündeki suyun basıncı teorik olarak P_s basıncına ulaşmaktadır ([2] no'lu eşitlikte görüldüğü gibi).

$$P_h \cdot S_1 = P_s \cdot S_2 \quad [2]$$

Burada;

- P^{\wedge} : Hava basıncı (MPa),
- S_1 : Büyük piston alanı (m^2),
- P_s : Sıkıştırılan suyun basıncı (MPa),
- S_2 : Küçük piston alanı (m^2)'dir.

Tasarımlanan basınç yükselticinin boyutları ve bazı özellikleri aşağıdadır:

2" lik çelik tel örgülü bir hortum ve hortumun ucuna da 2" - 1" lik bir redüksiyonla 1" lik çelik çekme bir boru takılmaktadır (Şekil 1). Nozüller bu borunun ucuna takılarak malzeme yüzeyine yönlendirilmektedir. Boru-hortum ve boru-boru bağlantıları kelepçeli ve çift taraflı manşonludur.

3. DENEY KOŞULLARI VE DENEYLERİN YAPILIŞI

Denev ünitesi T.T.K. Üzülmöz Taşkömürü İşletme Müessesesi Çaydamar İşletme Müdürlüğünde kurulmuş ve çalışmalar orada yapılmıştır.

Geliştirilen ünite, daha önce herhangi bir çalışmada kullanılmadığı için hangi kesme koşullarında ne kadar verimli olabileceği araştırılmıştır. Bu amaçla laboratuvarında hazırlanan briket örnekler kesilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Briket örnekleri kesmenin amacı ise tüm kesme koşullarında süreksizlik içermeyen ve aynı özelliklere sahip malzeme kullanılarak elde edilen sonuçlar arasında dengeli bir ilişki kurabilmektir (Akçın, 1986).

3.1. Briket Örneklerin Özellikleri

T.T.K. Zonguldak Merkez Lavvarından alınan 6 mm'nin altındaki tıvönan toz kömüre % 10 oranında çimento karıştırılarak 30 adet 20 cm'lik küp örnekler hazırlanmıştır. Ayrıca, hazırlanan örneklerin bazı özelliklerini belirlemek için aynı karışımdan "Uluslararası Kaya Mekaniği Derneğinin (ISRM)" önerdiği boyutlarda 15 adet silindirik ve kübik test örneği hazırlanmıştır. Örnekler 28 günlük katılaşma küründen sonra naylon torbalara konularak koruma altına alınmıştır. Örnekler üzerinde yapılan testlerin sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Briket Örneklerin Özellikleri

| | |
|---------------------------------------|---|
| Karışımın dozajı | % 90 tıvönan toz kömür + % 10 çimento |
| Tane boyutu | 0-6 mm |
| Kür süresi | 28 gün |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 16-19 MPa |
| Çekme dayanımı (Brazilian yöntemiyle) | 1,2-1,8 MPa |
| Yoğunluk | 0,95-1,10gr/cm ³ |
| Rutubet | % 7-12 |
| Kül oranı | % 43 |
| Örneklerin ort. ağırlığı | 78,48 N |

3.2. Denev Koşulları

Denev koşulları üç aşamada belirlenmiştir. İlk olarak basınç yükselticinin çıkış basıncı ile nozüllerin akım formları izlenmiştir. Daha öncede belirtilmiş gibi çıkış basıncı 20-22 MPa civarında olmaktadır. Akım formu belirleme çalışmalarında ise II. Tip nozüllerin 110 cm'ye, III. Tip nozüllerin ise 140 cm'ye kadar etkili oldukları gözlenmiştir.

İkinci olarak, örneklerin geçiş hızları belirlenmiştir. Numune taşıyıcı 78,48 N ağırlığındaki örnekleri en çok 3,5 m/dak'lık bir hızla taşıyabilmektedir. Bu nedenle geçiş hızları 1,75-2,0 ve 3,5 m/dak olarak belirlenmiştir. 3,5 ve 1,75 m/dak'lık hız kademeleri katlı geçiş yapmak için 1/2 oranında seçilmiştir.

Son olarak da etkileme uzaklıkları 5, 10, 15, 20 ve 25 cm olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni ise su jetinin en yoğun olduğu kısımda kesme derinliği ve genişliğinin değişimini etkin olarak belirlemektedir. 25 cm'nin üzerindeki uzaklıklarda belirgin bir kesme yarığı elde edilememiştir.

3.3. Denevlerin Yapılışı

Deneysel çalışma koşulları belirlendikten sonra, II. Tip 3 mm çaplı nozülle 3,5 m/dak'lık geçiş hızında kesme deneylerine başlanmıştır. Kesme deneyleri yukarıda belirlenen her etkileme uzaklığı için 4'er kez tekrarlanmıştır. Her kesme deneyi sonunda nozülden çıkan su jetinin örnek yüzeyinde oluşturduğu yarıkların genişlik ve derinlikleri 5'er cm aralıkla hassas olarak ölçülmüştür. Daha sonra aynı işlemler 2 mm çaplı nozül için tekrarlanmıştır.

Numune taşıyıcının hızı 2,0 m/dak'ya ayarlanarak II. Tip 2 ve 3 mm çaplı nozüllerle iki seri deney daha yapılmış ve gerekli ölçüler alınmıştır.

III. Tip 2 mm çaplı nozülle de 3,5 ve 2,0 m/dak'lık geçiş hızlarında iki seri deney yapılarak ölçüler alınmıştır.

Son olarak da, aynı etkileme süresinde tekli ya da ikili geçiş yapıldığında kesme yarığının boyutlarının nasıl değiştiğini gözlemek için 4 seri deney daha yapılmıştır. Bunun için önce geçiş hızı 1,75 m/dak'ya ayarlanarak II. Tip 3 ve 2 mm çaplı nozüllerle, örnekler su jetinin karşısından birer kez geçirilerek kesilmiş ve gerekli ölçümler yapılmıştır. Daha sonra, geçiş hızı iki kat artırılarak 3,5 m/dak'

ya ayarlanmıştır. Aynı etkileme uzaklıklarında örnekler jetin karşısından ard arda iki kez geçirilmiş ve elde edilen yarığın boyutları ölçülmüştür.

Toplam olarak 212 deney yapılarak 2120 ölçü alınmıştır, örnek yüzeyinde açılan yarıkların hacimleri ilk 10 deney için hem hesap yoluyla hem de açılan yarığa eritilmiş balmumu doldurularak bulunmuştur. Her iki şekilde bulunan hacimler arasında \pm % 3-8 arasında bir farklılık gözlemlendiği için daha sonraki hacimler hesaplama yoluyla bulunmuştur. Kesme deneyleri sonucunda çeşitli kesme koşullarında elde edilen kesme yarıklarının derinlik, genişlik ve kesilen hacim değerleri ortalama olarak Çizelge 2'de verilmiştir.

4. BRİKET ÖRNEKLER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

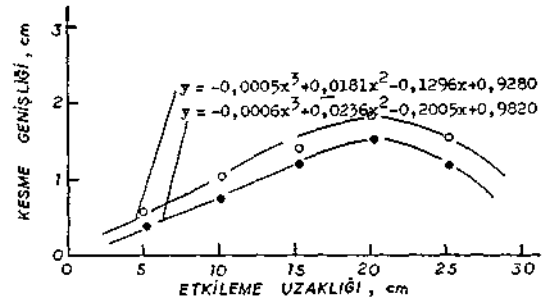
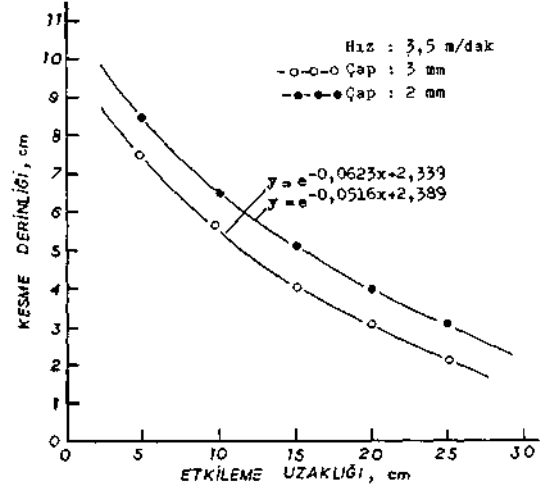
Deneyler tamamlandıktan sonra, Çizelge 2'de verilen kesme derinliği, kesme genişliği, kesilen hacim ve hesaplanan Özgül Enerji (SE) değerleri kullanılarak bunların; nozül çapı, geçiş hızı, nozül tipi, etkileme uzaklığı ve katlı geçme yapılması durumunda nasıl değiştikleri grafikler halinde gösterilmiş ve eğriler yorumlanmıştır.

4.1. Nozül Çapına Göre Değişimler

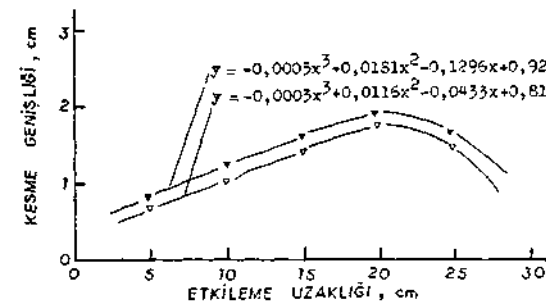
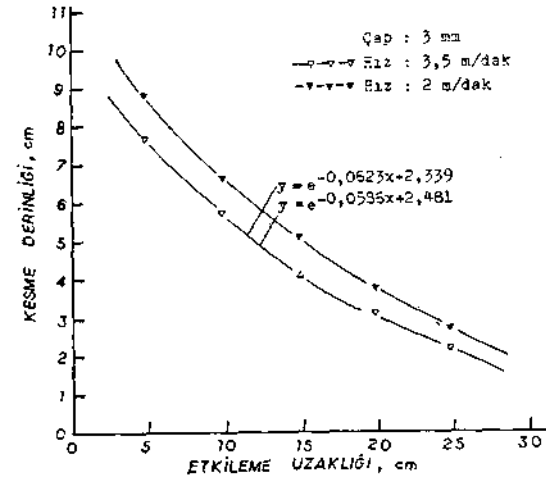
II. Tip 3 ve 2 mm çaplı nozüllerle 3,5 ve 2,0 m/dak'lık geçiş hızlarında elde edilen kesme yarıklarının boyutlarının değişiminde büyük bir paralellik vardır (Şekil 6). Çap küçüldükçe derinlik artmakta bunun yanında genişlik azalmaktadır. Kesme derinliği eğrileri etkileme uzaklığına bağlı olarak $y = e^{ax+b}$ şeklindeki bir bağıntıyla tanımlanabilmektedir. Kesme genişliği eğrileri ise üçüncü dereceden polinom eşitlikler ile tanımlanabilmektedir. 3 mm çaplı nozüllerin kesme derinlikleri 2 mm çaplıya göre ortalama % 23 daha az, bunun yanında kesme genişlikleri ortalama % 26 daha fazladır.

4.2. Geçiş Hızına Göre Değişimler

II. Tip 3 ve 2 mm çaplı nozüllerle aynı etkileme uzaklığı ve aynı geçiş hızlarında yapılan kesme çalışmalarında hızın azalmasıyla derinlik ve genişliğin arttığı saptanmıştır. 3 mm'lik nozülle 2,0 m/dak'lık geçiş hızı ve 5 cm'lik etkileme uzaklığında 8,78 cm'lik bir derinliğe ulaşılabilirken, 3,5 m/dak'lık geçiş hızında 7,49 cm'lik bir derinliğe ulaşabildiği görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 6. Nozül çapına göre kesme derinliği ve genişliği değişimi.



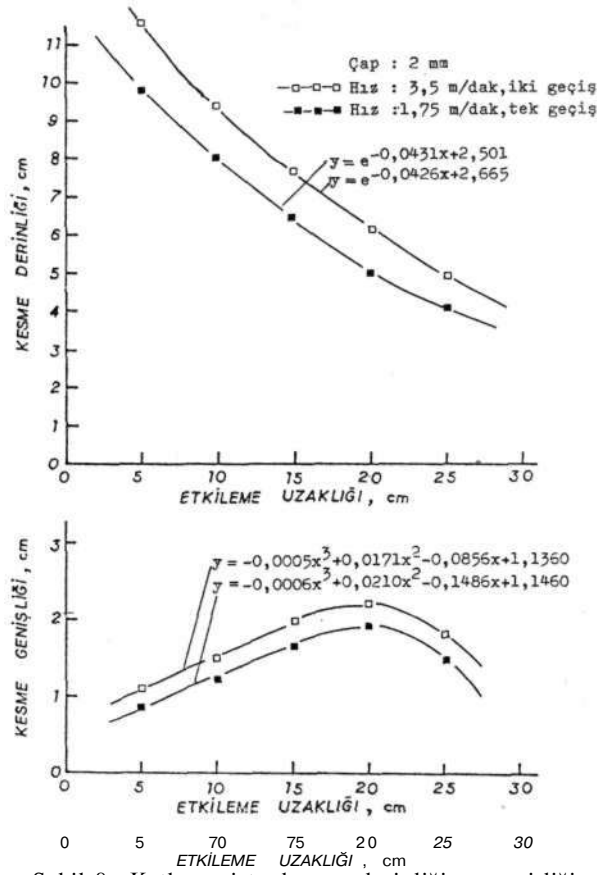
Şekil 7. Geçiş hızına göre kesme derinliği ve genişliği değişimi.

Çizelge 2. Çeşitli Kesme Koşullarında Kesme Yangının Ortalama Boyuttan ve SE Değerleri.

| Geçiş Hızı (m/dak) | Nozül Tipi/ Nozül Çapı (mm) | Çeş. İş Sayısı | Kesme Yarığının Ort. Boyutları ve SE Değerleri | Etkileme Uzaklığı (cm) | | | | |
|--------------------|-----------------------------|----------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 3,5 | II/3 | 1 | Derinlik,cm Genişlik,cm Hacim,cm ³ SE, J/cm | 7,49 0,65 98,27 1249,83 | 5,67 1,01 114,53 1072,39 | 3,99 1,36 108,52 1131,78 | 3,11 1,77 110,41 1112,41 | 2,13 1,48 67,31 1824,71 |
| 3,5 | II/2 | 1 | Derinlik,cm Geniş İlk,cm Hacim,cm ³ SE, J/cm ³ | 8,47 0,48 82,55 1478,84 | 6,54 0,74 95,20 1290,14 | 5,02 1,20 120,48 1019,43 | 3,92 1,52 119,50 1027,79 | 2,99 1,15 68,77 1785,97 |
| 2,0 | II/3 | 1 | Derinlik,cm Genişlik,cm Hacim,cm ³ SE, J/cm ³ | 8,78 0,83 114,87 1870,35 | 6,65 1,05 167,58 1282,06 | 5,10 1,55 158,10 1358,94 | 3,75 1,94 145,50 1476,62 | 2,70 1,67 90,45 2375,32 |
| 2,0 | II/2 | 1 | Derinlik,cm Genişlik,cm Hacim,cm ³ SE, J/cm ³ | 9,60 0,72 138,24 1554,17 | 7,75 1,05 162,75 1320,11 | 6,25 1,45 181,25 1185,37 | 4,90 1,80 176,40 1217,96 | 4,00 1,36 108,80 1974,70 |
| 1,75 | n/3 | 1 | Derinlik,cm Genişlik,cm Hacim,cm SE, J/cm | 8,99 0,94 169,00 1453,51 | 6,81 1,35 183,87 1355,96 | 5,28 1,67 176,59 1391,03 | 3,90 2,05 159,90 1536,22 | 2,79 1,78 99,50 2468,77 |
| 1,75 | II/2 | 1 | Derinlik,cm Genişlik,cm Hacim,cm SE, J/cm | 9,78 0,85 166,38 1476,39 | 7,96 1,20 191,04 1285,82 | 6,45 1,65 213,00 1153,25 | 5,06 1,95 197,34 1244,77 | 4,17 1,48 123,37 1991,10 |
| 3,5 | II/3 | 2 | Derinlik,cm Genişlik,cm Hacim,cm SE, J/cm | 10,35 1,15 238,05 1031,89 | 8,27 1,64 271,25 905,59 | 6,53 2,06 269,03 913,67 | 5,04 2,35 236,68 1040,86 | 3,65 2,13 155,49 1579,79 |
| 3,5 | II/2 | 2 | Derinlik,cm Genişlik,cm Hacim, cm ³ SE, J/cm | 11,56 1,07 247,38 992,98 | 9,36 1,50 280,80 874,79 | 7,65 1,98 302,94 810,86 | 6,17 2,24 276,41 888,69 | 4,90 1,79 175,42 1400,31 |
| 3,5 | III/2 | 1 | Derinlik,cm Genişlik,cm Hacim,cm SE, J/cm ³ | 8,80 0,39 68,99 1780,27 | 6,90 0,64 88,32 1390,64 | 5,35 1,05 112,35 1093,20 | 4,25 1,37 116,28 1056,25 | 3,20 0,96 61,64 1992,56 |
| 2,0 | III/2 | 1 | Derinlik,cm Genişlik,cm Hacim,cm ³ SE, J/cm ³ | 9,38 0,63 123,86 1734,60 | 7,99 0,94 150,21 1430,31 | 6,45 1,32 170,02 1263,66 | 5,20 1,58 164,32 1307,50 | 4,10 1,25 102,50 2069,07 |

4.3. Katlı Geçişte Değişimler

Aynı geçiş zamanında bir kez yerine iki kez geçildiği zaman kesme yarığı boyutlarında önemli artışların olduğu gözlenmiştir. 2 mm çaplı II. Tip nozülle 5 cm'lik etkilme uzaklığında iki geçiş yapıldığı zaman en çok 11,56 cm'lik bir kesme derinliğine ulaşılmıştır (Şekil 8).



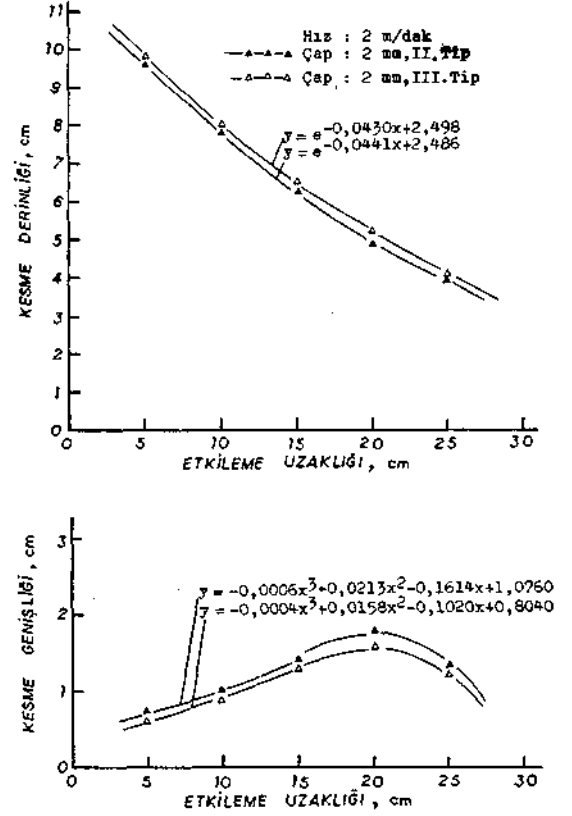
Şekil 8. Katlı geçişte kesme derinliği ve genişliği değişimi.

4.4. Nozül Tipine Göre Değişim

Bu değişimi gözlemek için II. ve III. Tip 2 mm çaplı nozüllerle yapılan kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçta, aynı kesme koşullarında III. Tip nozülle kesme derinliğinde ortalama % 5'lik bir artışın ve kesme genişliğinde % 10-13'lük bir azalmanın olduğu gözlenmiştir (Şekil 9).

4.5. Kesilen Hacimlerin ve Özgül Enerji Değerlerinin Değişimi

Daha önce de belirtildiği gibi Çizelge 2'de görülen ortalama hacim değerleri kesme yarıklarının ortalama boyutlarından gidilerek hesaplanmıştır. Öz-



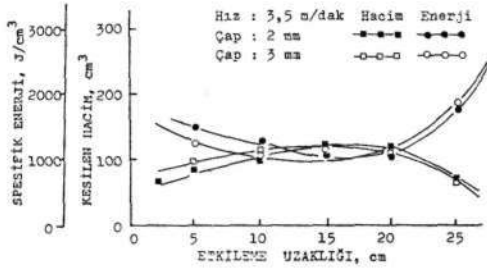
Şekil 9. Nozül tipine göre kesme derinliği ve genişliği değişimi.

gül Enerji (SE) değerleri ise çeşitli deney koşullarında kesilen hacimler ve basınç yükselticinin gücünden gidilerek bulunmuştur.

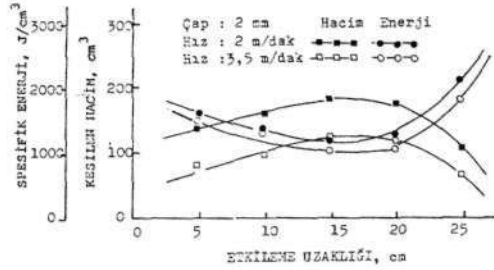
Deneysel sonuçlarında, aynı geçiş hızında 2 ve 3 mm çaplı nozüllerle kesilen hacimlerde ve SE değerlerinde büyük bir farklılık gözlenmemiştir (Şekil 10). Hızın azalmasıyla hacmin ve SE değerlerinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 11).

Katlı geçiş yapıldığı zaman hacimlerde büyük artışlar gözlenmemesine karşın SE değerleri oldukça düşmüştür (800-900 J/cm³) (Şekil 12). Nozül tipinin önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir (Şekil 13).

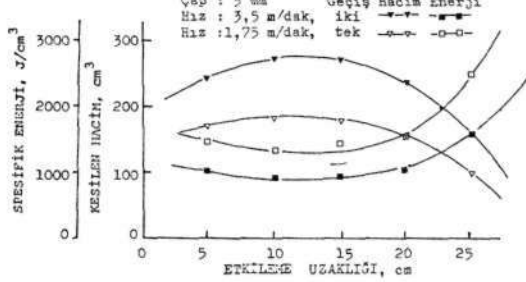
Kesilen hacim eğrileri, çan eğrisine benzer bir dağılım göstermekte ve 10-20 cm'lik etkilme uzaklıklarında en yüksek değerini almaktadır. SE değerleri ise bunun tersi bir dağılım göstererek bu uzaklıklarda en düşük değerini almaktadır (Şekil 10-13).



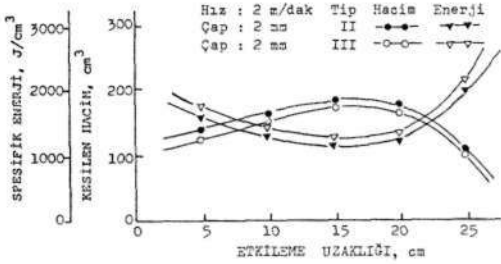
Şekil 10. Nozül çapına göre kesilen hacim ve SE değişimi.



Şekil 11. Geçiş hızına göre kesilen hacim ve SE değişimi.



Şekil 12. Katlı geçişte kesilen hacim ve SE değişimi.



Şekil 13. Nozül tipine göre kesilen hacim ve SE değişimi.

5. SONUÇLAR

Briket örnekler üzerinde yapılan deneyler sonunda, geliştirilen yüksek basınçlı su jetinin en uygun kesme koşulları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

1. Basınç yükselticinin çıkış basıncı 22 MPa civarındadır.

2. Bu basınca sahip bir su jeti ile sertliği $f = 0$, 0,4-0,5 civarında olan kömür örnekleri kesilebilir.

3. Nozüllerden çıkan su demetleri 110-140 cm' ye kadar etkili olmaktadır ve 16 m uzaklığa kadar ulaşmaktadır.

4. Çizelge 2 ve şekillerdeki grafiklerden görüldüğü gibi su jetinin en uygun etkilene uzaklığı 15 cm civarındadır. Bu uzaklıkta, kesilen hacimler azami değerini almakta ve SE değerleri de en düşük değerlerine ulaşmaktadır.

5. II. Tip 2 mm çaplı nozüller en iyi sonuçları vermektedir. Kesilen hacimler arasında büyük farklılık olmamakla birlikte kesme derinlikleri 3 mm çaplı olanlara göre % 23 daha fazladır. SE değerleri de düşüktür.

6. İkili geçiş yapılması durumunda SE değerlerinde % 14'lük bir azalma görülmektedir.

7. Briket numunelerin aynı yüzeyinde 7 cm ara ile iki kesme yarığı elde edilmeye çalışıldığında aradaki kısmın tamamen kesildiği gözlenmiştir.

8. Basınç yükseltici, basınçlı hava ile tahrik edildiği için hava basıncı düştüğünde çıkış basıncı da düşmektedir. Bu durumun çalışmalar sırasında gözönünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu sonuçların ışığında; geliştirilen su jetinin dardan alınan örneklerin kesilmesinde de kullanılabileceği ve bu kesme işlemleri sonuçlarına göre kömür damarının hidrolik olarak kazılabilirliği hakkında bir fikir sahibi olunabileceği kanısına varılmıştır.

KAYNAKLAR

- AKÇIN, NA, 1986; "T.T.K. Armutçuk Taşkömürü İşletme Müessesesi Yeraltı Ocaklarında Yüksek Basınçlı Su Jetleriyle Kömür Kazısının Araştırılması ve Uygulanabilirliği", İ.T.Ü. Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, İstanbul, 100 s.
- CHERMENSKY, G.P., 1976; "Breaking Coal and Rock With Pulsed Water Jets", Proc. 3rd. Int. Symp. on Jet Cut. Tech., Chicago, Paper D4, 17 s.
- CROW, S.C., 1973; "A Theory of Hydraulic Cutting", Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci., Cilt 10, s. 567-584.
- duPLESSIS, M.P., HASHISH, M., 1980; "Experimental and Theoretical Investigation of Hydraulic Cutting of A Western Canadian Coal", Proc. 5th. Int. Symp. on Jet Cut. Tech., Hanover, Paper E3, 17 s.
- GRIMLEY, A.W.T., 1974; "Underground Coal Mining Using The Hydraulic Method", CIM Bulletin, Jan. s. 44-47.
- JEREMIC, M.L., 1982; "Elements of Hydraulic Coal Mine Design", Trans Tech Publication, Claustal, 158 s.
- NIKONOV, G.P., GOLDIN, YuA., 1972; "Coal and Rock Penetration by Fine Continuous High Pressure Water Jets", Proc. 1st. Int. Symp. on Jet Cut. Tech., Coventry, Paper E2, 16 s.