

Hidromekanik Kazıda Gelişmeler

Developments in Hydromechanic Mining

Hürriyet AKTAŞ (*)

ÖZET

Bu yazıda basınçlı su ile kömür damarlarının kazısı açıklanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde hidrolik kazı üzerine geniş çapta araştırma ve pilot çalışmalar yapılmaktadır. Bazı ülkelerde uygulamalara da geçilmiştir.

Kömür madenciliğinde basınçlı su jetlerinin genel bir sınıflandırması özellikleri ile birlikte verilmiştir. SSCB, Japonya, Çin, Kanada, Almanya ve ABD'deki uygulamalar ve elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.

ABSTRACT

In this paper, excavation of coal seams using high pressure water jets are reviewed. Successful investigations have been done on hydraulic coal excavation in developed countries. Moreover, field applications have been started in some countries.

A general classification of high pressure water jets is given in coal mining and different applications in USSR, China, Japan, Canada, Germany and USA are discussed.

(*) Maden Y. Müh., Arş. Görv., AÜMMF Maden Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR

1. GİRİŞ

Son yıllarda büyük gelişmeler gösteren basınçlı su jetleri, yalnız madencilikte değil diğer endüstri dallarında da kullanılmaya başlanmıştır. İnşaatçılıkta daha çok betonların kesilmesi ya da koparılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Elastik ve plastik davranış gösteren demir, çinko, alüminyum gibi yumuşak metal levhaların kesilmesinde de başarı elde edilmiştir. Madencilikte ise yüksek basınçlı su, kazıda kullanıldığı gibi aynı anda taşımacılık sorununu da çözümlenmektedir. Ancak, uygulama için cevherin sertliği, çatlak durumu ve damar eğimi gibi bazı koşulların belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle araştırmalar mekanik kesiciler ile yüksek basınçlı jetlerin uygun birleşimi üzerinde yoğunlaşmıştır.

2. BASINÇLI SU JETLERİ

Kömür madenciliğinde kullanılan ve geliştirilmekte olan başlıca üç tip basınçlı su jeti vardır (Çizelge 1). Bunlar:

- 1 - Monitör jetleri
- 2- Kesici jetler
- 3- Süper yüksek basınçlı jetlerdir.

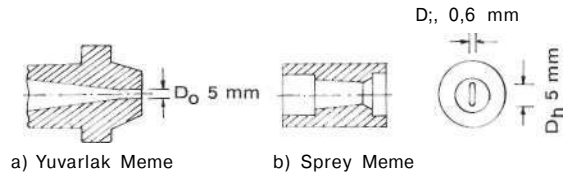
2.1. Monitör Jetleri

Monitör jetleri, bilinen hidrolik kazı yönteminde kullanılan jetlerdir. Monitör jetlerinin debileri yüksektir. Ancak, genel olarak basınç 140 kg/cm^2 'nin altındadır. Bu nedenle gevşek, çatlaklı ve sertliği az olan kayaçların kazılmasında uygulanmaktadır. Kayaçın bulunduğu yerden su basıncı ile koparılması için gerekli olan basınç kayaç cinsine göre değişir. Bu kum yığının kazılması için $2-3 \text{ kg/cm}^2$ 'lik bir su basıncının yeterli olmasına karşın, kaolin için bu basınç $20-50 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Gevşek kömür tabakaları için ise daha fazla basınca gerek duyulmaktadır. Kömür madenciliğinde uygulanması öncelikle jeolojik koşullara bağlıdır. Bu koşulların başında kömür tabakalarının 2 metreden daha kalın, kolay kırılabilir ve damar eğiminin fazla olması gelmektedir. En iyi uygulama şartları 20° 'den büyük eğimlerdedir. Bununla birlikte, yöntem, kömürün gevşetilmesi için bir ön çalışmayı gerektirebilir (1).

Yöntemin güvenlik ve verimlilik bakımından üstünlükleri çok fazladır. Üretim maliyetinin, klasik yöntemlere göre % 30-35 daha düşük olduğu kaydedilmektedir.

2.2. Kesici Jetler

Bu jetlerin çapı monitör jetlerin çapından daha küçüktür (Şekil 1). Ancak, su basıncı oldukça yüksektir. Meme çapı küçük basınç yüksek olduğu için kayacı, kömürü veya cevheri yalnızca ince bir yarık halinde kesmektedir. Kesme derinliği jetin basıncına, jetin yer değiştirme hızına, meme çapına ve kesilen cevherin basınç direncine bağlıdır. Monitör jetleri ile doğrudan kazı yapılabilmesine karşın kesici jetler ile yapılamamaktadır. Ancak, kesici jetlerin mekanik kesicilerle uygun bir birleşiminde oldukça doyurucu sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan su miktarı çok azdır.



Şekil 1. Kesici jetlerde meme tipleri

2.2.1. Basınçlı Su Jetleri ile Kayaçların Kazısı

Her kayaç üzerinde çatlaklar, mikroçatlaklar ve zayıflık düzlemleri bulunabilir. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- a) Klivaj düzlemleri ve çatlaklar
- b) Kristaller arasındaki sınırlar ve gözenekler
- c) Kristaller ve bağlayıcı maddeler arasındaki sınırlar

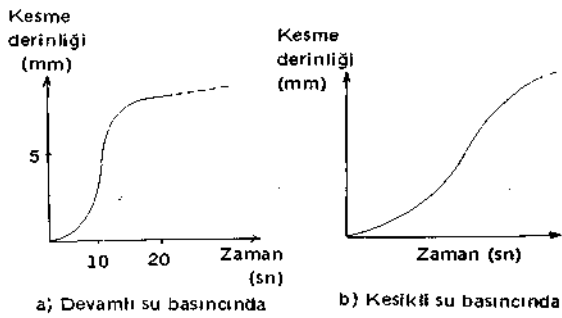
Yüksek basınçlı jetler, kayaç yüzeyinin yakınında, olası çatlak formasyon bölgelerinde ve mikro çatlakların uç kısmında bir gerilim birikimine neden olurlar. Bu gerilim nedeniyle mikroçatlaklar açılmaya ve çoğalmaya başlar. Mikroçatlakların çoğalması jet uzaklığına bağlı olarak azalır. Diğer bir deyişle, kesme derinliği arttıkça basınçlı suyun etkisi azalır (Şekil 2). Kazı yapılacak kayaçın özelliklerinin yanı sıra çatlakların bilinmesinde de yarar vardır. Çatlakların tanınmasının amacı en uygun kazı basıncını belirlemektir.

2.2.2. Kesikli Çalışan Jetlerle Kesme

Hanover Üniversitesi'nden F. Erdman - Jesnitzer, H. Louis ve W. Schikorr yüksek basınçlı su jetleri ile bir malzeme üzerine devamlı su basıncı verme yerine kesikli olarak vermeyi denemişler ve etkilerini incelemişlerdir.

Çizelge 1 — Kömür Madencilğinde Basıncılı Su Jetleri

	Tipik Çalışma Özellikleri	Uygulama Koşulları
MONİTÖR JETLERİ	Basınç: 50 — 140 kg/cm ² Meme Çapı: 15 — 35 mm Üretim : 4 m ile 15 m arasında olan damarlarda kişi başına 20-30 ton 0,5-5 m olan damarlarda 6 ton.	Gevşek, kolay kırılabilir kömür damarları gerektirir. Su empenyesi ile veya patlatma" yolu ile kömürü gevşetmek için bir ön çalışma gerekebilir. 20 'den daha büyük eğimler ve 2 metreden daha kalın damarlar en uygundur.
KESİCİ JETLER	Basınç: 800 kg/cm 'ye kadar Meme Çapı: 5 mm'ye kadar Üretim: 320 t/sa (S.S.C.B. de uzun ayak makineleri ile)	Küçük manevra kabiliyeti iyi makineler gerektiren ince damarlarda (1-2 m) küçük girişler açmak için ve mekanik kesiciler ile kombine edilerek continuous miner veya uzun ayak makineleri ile kullanılmaktadır. En avantajlı kullanma şekli mekanik kesicilerle birlikte kullanılmasıdır.
a) Yüksek debili	Basınç: 1380—8600 kg/cm ² Meme Çapı: 0,13-0,5 mm	'; Başlıca ABD'de gelişme halindedir. Mekanik kesiciler olmaksızın sert kömür ve kayaların kesilebildiği belirtilmektedir.
b) Düşük debili	Basınç: 1380—8600 kg/cm ² Meme Çapı: 0,13-0,5 mm	
SÜPER YÜKSEK BASINÇLI JETLER	Kapalı hacimde basınç: 2500—5800 kg/cm ² Yığılma basıncı: 2000—10000 kg/cm ² Kapalı hacim: 0,5—1,5 dm Su miktarı: 1060 m ³ /sa Meme Çapı: 11—13 mm Üretim: 400 kW makine için 6-8 t/sa 600 kW makine için 9-12 t/sa Kömürün basınç direnci: 170—330 kg/cm ²	Sovyetler Birliği'nde birkaç makina gelişme halindedir.



Şekil 2. Nüfuz etme zamanı ile kesme derinliği arasındaki ilişki

Kesici jetlerde malzeme üzerine aralıklı olarak su basıncının verilmesi durumunda devamlı basınç ve çarpma basıncının bileşimi söz konusudur. Özel bir düzenleme ile jetin kesikli çalışmasını ve çarpma basıncı ile devamlı basınç arasındaki ilişkiyi değiştirmek mümkündür. Alüminyum, çinko ve demir metalleri model olarak ele alınmıştır.

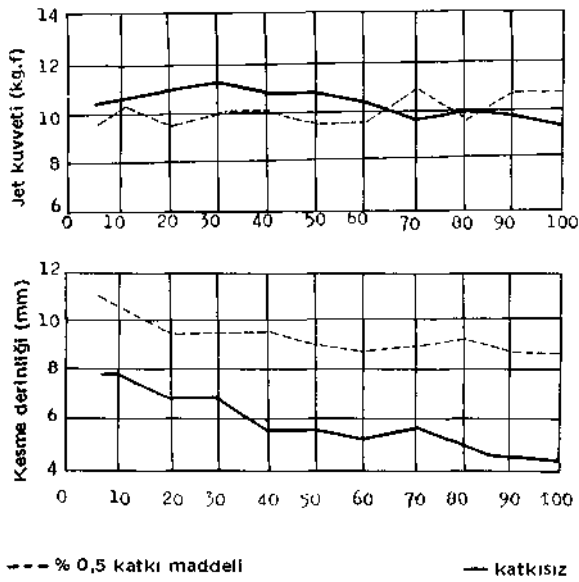
Bu metaller plastik davranışlardan elastik davranışlara kadar değişen özellikler gösterirler. Eğer devamlı basınç malzemeyi aşındırmak için yeteri kadar yüksek değilse, basıncın kesikli olarak verilmesi ile malzeme bozulabilir. Amaç malzemeye aralıklı yükleme yaparak aşınmasını sağlamaktır. Madencilikte de elastik ve plastik davranış gösteren tabakaları basınçlı su ile delmek ve kesmek için en iyi parametreleri saptamak mümkündür.

Yapılan deneylerde çinko, 1,5 mm'lik meme çapında ve 750 kg/cm² 'lik su basıncında bozulmamıştır. Oysa aynı meme çapında 500 kg/cm² 'lik su basıncının kesikli olarak uygulanmasıyla çinkonun aşındığı gözlenmiştir. Alüminyum için 750 kg/cm² 'lik bir devamlı su basıncı yeterli değildir. Ancak 200 kg/cm² 'lik kesikli su basıncıyla kuvvetli bir aşınmaya uğramıştır. İçinde % 0,03' den daha az yabancı madde olan ve teknik yönden saf kabul edilen demir için ise 710 kg/cm²

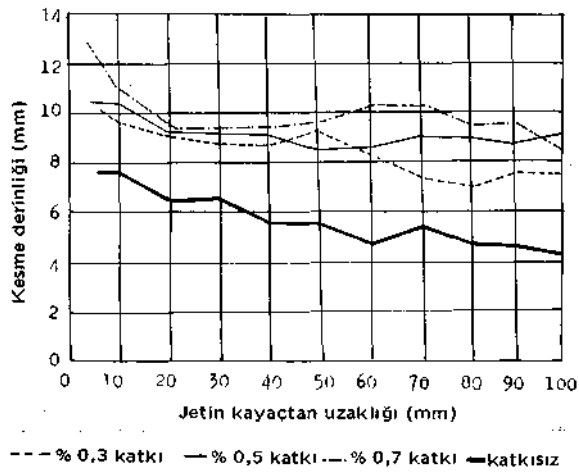
lik bir kesikli su basıncının yeterli olduğu anlaşılmıştır (3).

2.2.3. Katkı Maddelerinin Kesmeye Etkisi

Basıncılı suyun kesme işinde etkisini artırmak için bazı polimer katkı maddeleri kullanılabilir. Basıncılı su içine % 0,5 oranında polimer maddeler katılarak yapılan deneylerde suyun daha düzgün püskürdüğü, kayacı kesmek için gerekli kuvvetin azaldığı ve kesme derinliğinin arttığı bulunmuştur (Şekil 3). Değişik oranlarda katkı maddelerinin kullanılması ile elde edilen kesme derinlikleri Şekil 4'de verilmektedir (9).



Şekil 3. 0,63 mm meme çapı ve 200 kg/cm²'lik su basıncında kum taşı üzerinde elde edilen kesme derinliği.



Şekil 4. Değişik oranlardaki katkı maddelerinin kesme derinliğine etkisi.

2.3. Süper Yüksek Basıncılı Jetler

Sovyetler Birliği'nde geliştirilen bu jetlerin çalışma ilkesi kısaca şöyledir. Kapalı bir hacimde bulunan su mekanik yolla sıkıştırılır ve bir piston aracılığıyla hızlandırılır. Yüksek hız kazanan su bir mermi gibi kazı yüzeyine çarparak şok etkisi ile kömürün kırılmasına neden olur. Kapalı hacimde bulunan su 5800 kg/cm²'ye kadar sıkıştırılmaktadır. Yüksek üretim oranlarının elde edildiği kaydedilmekte, kırma etkisinin diğer jetlerden ve mekanik kesicilerden daha iyi olduğu belirtilmektedir (Çizelge 1).

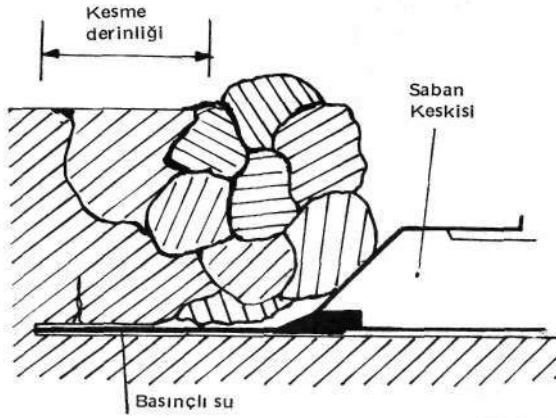
3. BASINÇLI SU JETLERİNİN KÖMÜR SABANI İLE BİRLİKTE UYGULANMASI

Almanya'da kömür madenciliğinde kullanılan teknikler uygulama alanlarında sınırlı kalmaktadır. Bu tekniklerin bazıları performans açısından doyurucu olmamaktadır. Ayrıca toplam kömür rezervleri gittikçe ince damarlarda yoğunluk kazanmaktadır. Bu nedenle bu damarların ekonomik olarak elde edilmesi önem kazanmaktadır.

Saban ile ince damarlarda kazı yapılabilen ancak, kömür sert olduğunda uygulanamamaktadır. Kesici - yükleyicilerin ise yükleme kapasitesi ve makinenin yüksekliği nedeniyle ince damarlarda uygulanması zor olmaktadır. Genellikle bu tekniklerin hiçbiri kömürün sert olduğu yerlerde, sınır kalınlıklar için uygun değildir. Her iki yöntemde de birkaç cm'lik kazı derinliğinde pik kesiciler üzerinde mekanik gerilmeler oluşmaktadır. Bundan başka ince ve küçük parça oranı artmakta yüksek oranda toz meydana gelmektedir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı 1,3 m kalınlıktan daha az damarlarda ve sabanlı kazının güçlükle uygulanabildiği ya da uygulanmadığı yerlerde kullanmak amacıyla yeni bir makinenin geliştirilmesine gidilmiştir.

İlk deneyler yalnız yüksek basınçlı su jetleri ile sert kömürleri kazmanın çok yüksek bir enerjiyi gerektirdiğini göstermiştir. Bu nedenle basınçlı su jetlerinin sabanla birlikte kullanımı yoluna gidilmiştir. Basıncılı su jetlerinin kazı sırasında iki görevi yerine getirmesi istenmiştir. Birincisi su jetleri kesici takımı uygun bir yüzeyi önceden hazırlamalıdır. İkincisi ise verilen kazı derinliğinde kömürü kesmelidir. Böylece hemen arkadan gelen kesiciler ile kömür arından koparılır. Araştır-



Şekil 5. Sabanlı kazıda basınçlı su jeti (6)

malar sonucunda basınçlı suyun kesici takımların ucundan kömür yüzeyine paralel olarak verilmesinin en uygun yöntem olduğu bulunmuştur (Şekil 5).

3.1. Yerüstünde Yapılan Denemeler

Bu bilgilerin ışığı altında 1,6 m kalınlığa kadar olan damarların kazısı için bir deney makinesi geliştirilmiştir. Üç adet kesici başlıktan ve bir adet taban kesiciden oluşan makine sabanlı kazıda olduğu gibi zincirli band boyunca hareket ederek kazı işini yapmaktadır. Zincirli banda bağlanan gövde yüksek basınçlı suyu üretebilmek için bir elektrik motoru ile iki pompayı içermektedir. Besleme suyu ve elektrik esnek hortumlar yardımıyla sağlanmıştır. Deney için yerüstünde hazırlanan kazı yüzeyinin ve makinenin özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Kazı derinliği 32 cm, kesme basıncı 750 kg/cm² ve ilerleme hızı 0,1 m/sn seçilmiştir. Deney sırasında elde edilen parça boyutlarının büyük olduğu anlaşılmıştır. Kazılan parçaların banda yüklenmesinde herhangi bir güçlük karşılaşılmamıştır. Ayrıca önemli bir toz da oluşmamıştır.

Çizelge 2 — Kazı Makinesi ve Kazı Yüzeyinin Özellikleri

Ayak Uzunluğu	30 m
Damar Kalınlığı	1,5 m
Kazı Yüzeyinin Özelliği	Sabanla güçlkle kazılabilir
Makinanın Gücü	160 kW (Hidrolik Tahrir)
Zincirli Band Gücü	1 x 63 kW
Pompaların Tahrir Gücü	100 kW
Zincirli Band	EKF-3
Su Basıncı	750 kg/cm ²

Basınçlı su uzun mesafelerde tehlikesiz kısa mesafelerde çok etkili ve tehlikelidir. Bu nedenle güvenlik açısından kazı işine başlamadan önce basınç ünitesi ve tahrik ünitesi ön-başlama uyarısı ile donatılmıştır. Ayak başlarında ve ayak sonlarında basınçlı suyun etkisini önlemek için engelleme plakaları yerleştirilmiştir.

3.2. Yeraltı Denemeleri

Yerüstünde yapılan deneylerin paralellğinde bu yeni yöntemin en iyi parametrelerini belirlemek ve verimliliğini saptamak için bir yeraltı deneyi yapılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3 — Pilot Ayağın ve Makinenin Teknik Özellikleri

Damar Kalınlığı	1,6-1,7 m
Ayak Uzunluğu	52 m
Ayak Bandı	EKF-3
Band Tahriki	1x 70/120 kW
Band Hızı	0,74-1,32 m/sn
Saban Tahriki	1x 160 kW (Hidrolik)

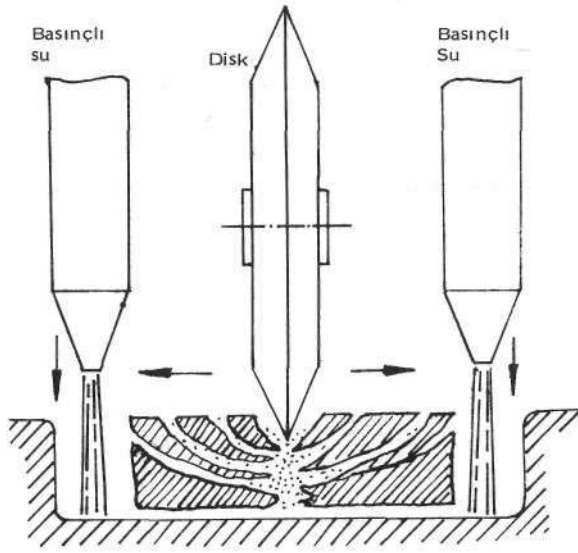
Bir kaç kazı denemesinden sonra deney makinesinin kazı yönünden son derece etkin olduğu açıkça gözlenmiştir. Makine arkasında kalan kesilmiş kömür yüzeyi temiz ve düzgün olarak elde edilmiştir. Kesme işini basınçlı su gerçekleştirmiş, saban keskesi ise yalnızca koparma etkisi ile kömürü yüzeyden serbest duruma getirmiştir. Tavan ve tabandaki kayacı kesmek için 750 kg/cm²'lik su basıncının yetersiz kaldığı anlaşılmıştır. Su basıncını azaltmak için yapılan girişimler sonucu 600 kg/cm²'lik basınç altında kazı veriminin önemli ölçüde düştüğü izlenmiştir. Kolaylıkla kazılan kömürde, 0,3-0,4 m/sn ilerleme hızı ve 40 cm'lik kazı derinliğinde 8,4 - 9,6 m²/dak'lık kazı alanı elde edilmiştir. Basınçlı su için belli bir süre gerektiğinden ilerleme hızının rastgele artırılması sakıncalıdır. Yeraltında yapılan deneylerde parça boyutu diğer kazı yöntemlerine göre daha büyük olmuştur. Sistemde kullanılan su bir problem teşkil etmemiştir. Deneyler sonucu makine boyutunun ve kesici donanımının küçültülebileceği anlaşılmıştır (6).

4. TAM CEPHE GALERİ AÇMA MAKİNALARINDAKİ UYGULAMASI

Tam cephe galeri açma makinelerinin bazı sakıncaları vardır. Bu sakıncalar makinenin ekonomikliğinde büyük rol oynamaktadır. Kısa uzunluk-

lar için ekonomik olmayan donanımın ağırlığı çok olup, bir yerden başka bir yere taşınması, sökölüp takılması oldukça zaman almaktadır. Donanım tam cephe kazı yaptığı için kesici diskler aşındığında değıştirilmesi uarin zaman alan bir işlemdir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı yüksek basınçlı su jetleri ile disklere gelen yükü azaltmak yoluna gidilmektedir. Kazma ilkesi kesici diskler ile basınçlı su jetlerinin uygun bir birleşimde kazı işini birlikte yapmaları esasına dayanır (Şekil 6).



Şekil 6. Kesici disk ile yüksek basınçlı su jetlerinin birleşiminde kesme etkisi

Pilot çaptaki denemeler bir kum taşında TB-I-260 tipinde, 2,6 metre çapında galeri açabilen tam cephe galeri açma makinesi ile yapılmıştır. Bu denemelerin amacı kayacı kesmek ve kırmak için gerekli itme gücünü azaltmak ve kesici disklerin verimliliğini arttırmak ve buna bağlı olarak daha hafif ve daha esnek tam cephe galeri makinelerinin tasarımlarını geliştirmektir.

Normal mekanize kazıda 3,5-4,0 cm kazı derinliği için 60 tonluk itme kuvveti gerekmektedir. Oysa basınçlı su birleşimi ile aynı kazı derinliği için 25 tonluk itme kuvvetinin yeterli olduğu bulunmuştur. Bu sonuç normal mekanize kazıya göre itme kuvvetinde % 50'den daha çok bir azalma elde edilebileceğini göstermektedir. Bundan başka donanımın ağırlığı orantılı olarak azaltılabileceğinden makinenin daha esnek çalışmasına olanak verecektir. Basınçlı su, toz yoğunluğunu önemli ölçüde etkilemiştir; basınç arttıkça tozun azaldığı kaydedilmiştir. 3600 kg/cm²lik su basıncında harcanan su miktarı 120 lt/dk'dır (5). Deney parametreleri aşağıda verilmiştir.

İtme kuvveti	0-150 t
Dist tipi	Basit ve ikiz diskler
Kullanılan memelerin çapları	0,25-0,35-0,41-0,50-0,63 mm
Memelerin Kayaçtan uzaklıkları	25-37, 5-50 mm
Memelerin konumu	Disklerin önünde ve arasında
Su basıncı	0-3600 kg/cm ²

5. SONUÇ

Mekanize kazı ile yüksek basınçlı su jetlerinin birleşimi oldukça etkili bir yöntemin gelişmesini sağlamıştır. Basınçlı su jetlerinin kullanılması ile saban üzerinde etkili olan mekanik gerilmeler ve titreşimler azalmıştır. Kazı kolaylığı zor olan sert kömürlerde bu yöntemin uygulanabileceği ortaya çıkmıştır. Kesici donanımlardaki aşınmalar azaltılmıştır. Büyük bir kazı derinliği ilerleme hızına bağlı olarak seçilebilmektedir. Normal sabanlı kazıya göre aynı kazı derinliği için daha az güç gerektiği bulunmuştur. Tam cephe galeri açma makineleri ile uygulandığında, arına doğru olan itme ve döner kafa tahrik gereksinimlerinin daha düşük ve tozun bağlanması daha etkili olduğu, kazı sırasında oluşan kıvılcımların yok edildiği ve kazıda küçük parça oranının azaldığı bulunmuştur.

KAYNAKLAR

1. SALTOĞLU, S., Madenlerde Hazırlık ve Kazı, İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 1062, 1976.
2. SUNU, M., Hidrolik Kazı ile Mekanize Kazının Birlikte Uygulanması, Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın Organı, Eylül, 1980.
3. ERDMAN-JESNİTZER, F., LOUIS, H., SCHIKORR, W., Cleaning, Drilling and cutting by interrupted jets, 5th International Symposium on Jet Cutting Technology, June 1980.
4. ERDMAN-JESNİTZER, F., LOUIS, H., WIEDERMİER, J., Rock Excavation with High Speed Water Jets, 5th International Symposium on Jet Cutting Technology, June 1980.
5. BAUMANN, L., HENEKE, J., Attempt of Technical Economical Optimization of High pressure Jet Assistance for Tunnelling Machines, 5th international Symposium on Jet Cutting Technology June 1980.

6. SCHWARTING, K.h., High-pressure Water Jet Coal Cutting, MAN GHH Sterkrade, Tanıtma Yayını.
7. SUMMERS, D.A., The Use of High Pressure Water Jets in the Mining Industry, Colliery Guardian, October 1978.
8. CHOSE, A.K., Hydraulic Coal Mining in China, Coal International, January 1980.
9. BAUMANN, L., LEHMKUHL, J., SALTERT, G., Highpressure Waterjets in Heading: Effect Increased by Additives, Glückauf, 1981.
10. PARKERS, D.M., History of Hydraulic Mining at Kaiser, First International Symposium on Thick and Steep Seam Coal Mining, May 18 to 21 1980, London.

