

Su Jeti Teknolojisinin Madencilik Sektöründeki Uygulamalarının Değerlendirilmesi

Assessment of the Applications of Water Jet Technology in Mining Sector

İzzet KARAKURT*, Gökhan AYDIN ve Kerim AYDINER

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, 61080, Trabzon

Geliş Tarihi/Received : 03.09.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 15.10.2009

ÖZET

Farklı alanlarda yaygın kullanım olanağı bulan su jeti teknolojisi; düşük kesme kuvveti gerektirmesi, esnek ve çok yönlü kesme olanağına sahip olması nedeniyle geleneksel kesme sistemlerine alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Madencilik alanında ilk olarak yumuşak kayaların kazılması işleminde kullanılan su jeti teknolojisi, kömürün hidrolik kazılabilirliği ile bu alandaki kullanımını arttırmıştır. Günümüzde ise doğal taş ocak işletmeciliğinde blok kesimi ve doğal taş işleme süreçlerinde dekoratif üretim amaçları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntem delik delme ve tünel açma işlemlerinde de kullanım olanağı bulmuştur. Son yıllarda, su jeti teknolojisinin boyut küçültme işlemlerinde kullanımını yaygınlaştırmak için araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, su jeti teknolojisinin madencilik sektöründeki bazı kullanım alanlarına yönelik bir değerlendirme sunulmuştur. Ek olarak su jeti teknolojisinin madencilikte kullanılan diğer kesme sistemlerine göre çeşitli açılardan karşılaştırılması da yapılmıştır. Çalışma sonucunda, su jeti teknolojisi ile yapılan kesme işleminde malzeme kaybının az olması, kesim sonrası ikincil işlem gerektirmemesi, toz problemini ortadan kaldırması, kayaç veya kömür parçalanma veriminin artması ve aşınma kaynaklı maliyetlerin azaltılması gibi avantajları nedeniyle madencilik sektöründe verimli bir şekilde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : *Su jeti teknolojisi, Madencilik, Doğal taş, Kömür.*

ABSTRACT

Waterjet technology finding broad application potential in different areas, due to having low cutting force required and the possibility of flexible and multi-directional cutting, is used as an alternative method over the conventional cutting systems. Waterjet technology, used firstly in excavation processes of soft rocks in mining, has increased its usability with the hydraulic excavation of coal. Nowadays, it is commonly used for block cutting in quarries and processing of natural stones for the purposes of decorative production. The method has the potential use in drilling and tunneling processes too. Recently, investigations have been carried out to enhance the usability of the technology in milling processes. In this study, an assessment of some applications of waterjet technology in mining is presented. Additionally, the technology is compared with other cutting systems used in mining in terms of various aspects as well. As a result of the study, it is determined that the cutting process with waterjet technology could be efficiently used in mining sector because of the advantages such as little material losses, not requiring any additional processes after cutting, eliminating the dust, increasing the fragmentation efficiency of rock or coal, decreasing the costs resulted from wear.

Keywords : *Waterjet technology, Mining, Natural stone, Coal.*

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : karakurt@ktu.edu.tr (İ. Karakurt)

1. GİRİŞ

Su jeti kesme teknolojisi, sahip olduğu önemli avantajlardan ötürü geleneksel kesme sistemlerine alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Yöntem düşük kesme kuvveti gerektirmesi, esnek ve çok yönlü kesim yapabilmesi nedeniyle çeşitli alanlarda malzemelerin kesilmesi ve işlenmesinde verimli bir şekilde kullanım olanağı bulmuştur. 1980'lerden sonra sisteme aşındırıcı eklenmesiyle uygulanan aşındırıcı su jeti yöntemi, metal veya kayaç gibi sert ve dayanıklı malzemelerin kesilmesine olanak sağlamıştır (Alitavoli ve McGeough, 1998).

Madencilik alanında ilk olarak yumuşak kayaçların kazılmasında kullanılmaya başlanan su jeti, kömürün hidrolik madenciliği ile bu alandaki kullanımını arttırmıştır. Günümüzde ise daha çok doğal taşların hassas kesim çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemin doğal taşların kesilmesinde kullanımı açısından en önemli avantajları kesme kaybının az olması ve çok farklı şekillerde (eğri, zikzaklı ve benzeri kenarlı) kesmeye imkân sağlamasıdır. Oluşturulabilecek desen ve motifler insan hayal gücü ile sınırlıdır (Kulaksız, 2005).

Su jeti ile kesme işleminde; basınç yükseltiden çıkan su dar bir boru içerisinden geçerek meme içerisinden yüksek basınçta ilerler ve meme ağzına yaklaştıkça daralan kısımlarda hızını daha da arttırarak malzeme yüzeyine püskürtülür. İşlem sırasında yüzeye çarpan su jeti huzmesi ile oluşturulan deformasyon kuvveti malzeme yüzeyinden parçacık kopararak kesme işlemini gerçekleştirir. Yüzeyden aşındırma ile uzaklaştırılan parçacık oranı; jet basıncına, kesilen malzeme özelliğine, su jeti içerisindeki katkı maddesi (aşındırıcı malzeme) ve oranına bağlı olarak değişir (Wakuda, v.d., 2003; Hasçalık v.d., 2007; Karakurt, 2007).

Kullanım amacı ve aşındırıcı ilavesine bağlı olarak saf ve aşındırıcı katkılı su jetleri olmak üzere iki farklı su jeti tasarımı mevcuttur. Her iki tasarımın çalışma prensibi arasındaki temel fark, kesme yeteneğinin artırılması amacıyla sisteme ilave edilen aşındırıcıdır (Külekçi, 2002). Tablo 1'de her iki tip su jetinin uygulama alanlarına yönelik bir değerlendirme sunulmuştur.

Klasik bir su jeti kesme sisteminde yüksek basınç ve hızlar, belli sistem elemanları tarafından sağlanır (Yazıcıoğlu v.d., 1993). Bu sistem elemanları başlıca basınç ünitesi, aşındırıcı ünitesi, kesme kafası ve bilgisayar kontrol ünitesi olarak dört ana grupta toplamak mümkündür. Sistemin şematik bir görünümü Şekil 1'de verilmiştir.

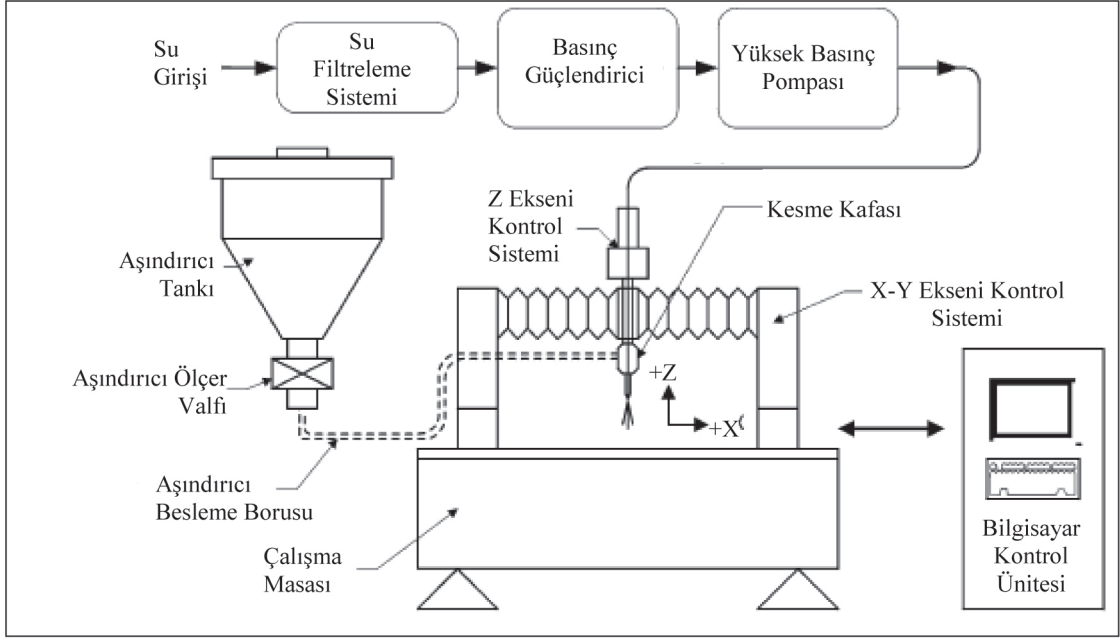
Madencilik sektöründe; delik delme, kayaç veya kömürün kazılması-kesilmesi, hidrolik veya hidromekanik kazı, tünel açma, doğal taş ocak işletmeciliğinde blok çıkarma ve hassas kesim çalışmalarında su jeti kesme teknolojisi kullanım potansiyeline sahiptir.

Son yıllarda, cevher hazırlama alanında boyut küçültme işlemlerinde de kullanılmasını sağlamak amacıyla araştırmalara başlanmıştır (Engin, 2006; Galecki ve Mazurkiewichz, 1989).

Bu çalışmada, su jeti teknolojisinin madencilik sektöründeki bazı kullanım alanlarına yönelik bir değerlendirme sunulmuştur. Ek olarak su jeti teknolojisinin madencilikte kullanılan diğer kesme sistemlerine göre çeşitli açılardan karşılaştırılması da yapılmıştır.

Tablo 1. Su jeti teknolojisinin uygulama alanları (Külekçi, 2002 ve Akkurt, 2004).

Çeşit	Kullanım Alanı	Örnekler
Saf Su Jetleri	Plastiklerin Kesilmesi	Kalıp endüstrisindeki mühendislik plastikleri, yerli kullanım için parça endüstrisi, film endüstrisi, kablo vb kesimi
	Kâğıt ve Kağıt Hamurunun Kesilmesi	Oluklu kağıt, çocuk bezi ve diğer sağlıkla ilgili kağıt kesimi, artık kağıt geri dönüşümü
	Fiber ve Kumaş Kesilmesi	Fiber ve spor malzemeleri endüstrisi, giyim endüstrisi
	Kaucuk ve Deri Kesilmesi	Kaucuk, deri ve suni deri endüstrisi, ayakkabı endüstrisi
	Gıda ve Donmuş Yiyeceklerin Kesilmesi	Gıda, donmuş yiyecekler endüstrisi
	Kereste ve Kontrplak Kesilmesi	Ormancılık, kereste endüstrisi, ev yapım endüstrisi, iç dekoratif uygulamalar
	Diğer	Patlayıcı endüstrisi, asbest malzemelerin kesilmesi, katı yakacakların kesilmesi buz kırıcı
Aşındırıcı Su Jetleri	Metalik Yaprak Kesme, Titanyum, Alüminyum, Paslanmaz Çelik, Süper Alaşımlar v.b.	Havacılık endüstrisi, otomobil endüstrisi, gemi inşa endüstrisi, köprü imalatı, demir endüstrisi, metalik ürünlerin üretimi vb.
	Tel, Puslu, Laminatlı Cam Kesilmesi	Cam endüstrisi, iç Dekorasyon, ev yapım endüstrisi, tıbbi cihazların üretimi
	Gelişmiş Malzemelerin Kesilmesi, Kompozit Malzemeler, Seramikler, Mıknatıslı Malzemeler	Seramik ve kaliteli seramik endüstrisi, Elektronik parçaları endüstrisi, optik fiber endüstrisi
	Beton, Takviye Beton, Çimento Harcının Kesilmesi	İnşaat endüstrisi, de montaj, ev yapım endüstrisi.
	Kayaç, Doğal Taş, Kömür Kesilmesi	Madencilik endüstrisi, Taş ocakçılığı,, kömür madenciliği (Hidrolik Kazı), seramik endüstrisi, bahçecilik
	Hurda Parça	Hurda parça kesim ve taşıma
	Diğer	Çapak alma ve temizleme, boya kaplama kazıma ve deliklerin temizlenmesi vb.



Şekil 1. Su jeti kesme sisteminin çalışma prensibi ve temel elemanları (Duflou v.d., 2001).

2. SU JETİ TEKNOLOJİSİNİN MADENCİLİKTE KULLANIMI

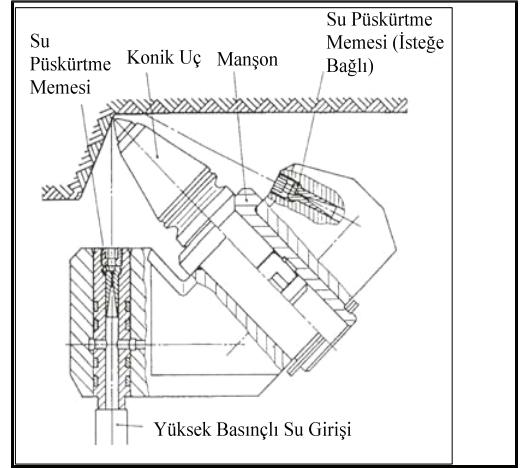
Su jeti teknolojisi; madencilik sektöründe delik delme, kayaç ve kömürün kazılması-kesilmesi, hidrolik madencilik, tünel açma, boyut küçültme, doğal taş blok çıkarma ve fabrikada dekoratif amaçlı üretim süreçlerinde kullanılmaktadır (Engin, 2006).

2. 1. Kömür Madenciliği

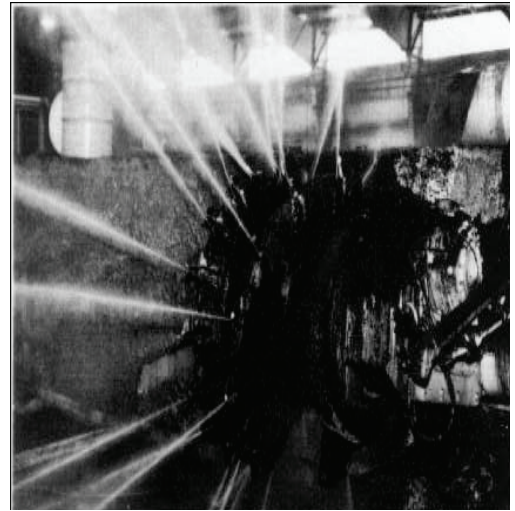
Su jeti teknolojisinin kullanıldığı hidrolik kazı yöntemi, kömür işletmeciliği alanında başarıyla uygulanmaktadır (Jianchi, 1991). Özellikle bilinen işletme yöntemleri ile işletilemeyen çok ince ve çok kalın damarlarda hidrolik üretim yöntemleri ekonomik ve güvenli bir işletme olanağı sunmaktadır.

Hidrolik Madencilik, cevherin arından su gücüyle kazılmasından su-cevher karışımının hidrolik olarak taşınmasına kadar olan tüm çalışmaları kapsar (Parkes ve Fişekçi, 1984).

Nispeten yumuşak kömürler saf su jetleri ile kazılabilirken sert ve çok sert kömürlerin kazısı, bilinen kazı araçları ile birlikte (saban ya da kesici yükleyici) yüksek basınçlı su jetleri kullanılarak hidromekanik kazı yapılmaktadır (Akçın, 1986). Şekil 2'de su jeti monte edilmiş tamburlu kesicinin görünümü sunulmuştur.



(a)



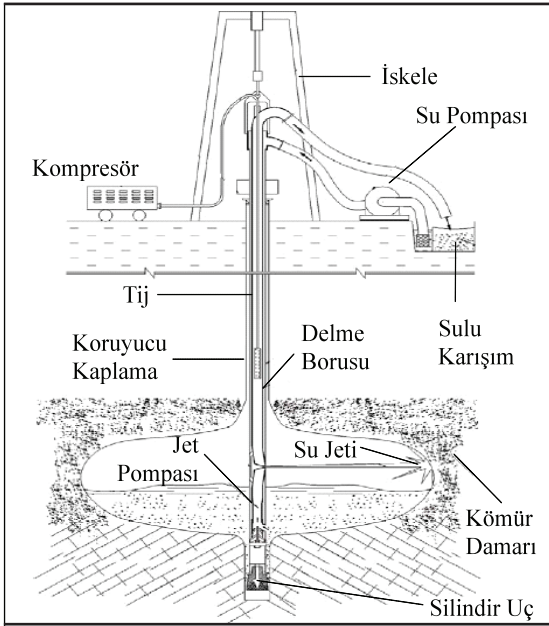
(b)

Şekil 2. a) Su jeti monte edilmiş tamburlu kesici şematik görünümü b) su jeti monteli tamburlu kesicinin çalışma anındaki görünümü (Handewith v.d., 1985; Thimons v.d., 1987).

Hidrolik kömür madenciliği, özellikle çok ince ve çok kalın damarlarda ekonomik ve güvenli bir işletmecilik yapma olanağı vermesi ve gazlı kömür damarlarında metan drenajı için açılan kuyularda su jeti ile hidrolik çatlaklandırma yapılarak metan drenaj veriminin artırılması nedeniyle hızlı bir gelişme halindedir. Bunun yanı sıra, mekanik kazı araçları ile üretilen kömürde ufak bir kıvılcım metan patlama riskini ortaya çıkarır. Su jeti teknolojisi ile yapılan kazıda kayaç ekipman etkileşimi olmayacağından metan patlama riski ortadan kalkar ve ayrıca toz sorununun da önüne geçilmiş olur (Lu v.d., 2009).

Hidrolik madenciliğin yukarıda bahsedilen önemli avantajları olmasına rağmen, kazı ve taşıma için yeterli suyun sağlanması, kömürün susuzlaştırıldıktan sonra bile fazla nem içermesi, kazılan kömürün kükürt oranına göre suyunda etkisiyle asitliğin artması ve ekipmanların zarar görmesi gibi dezavantajları da vardır (Akçın, 1987).

Hidrolik kömür madenciliğinin diğer bir uygulama şekli yüzeyden damara açılan kuyularla kömürün üretilmesidir (Şekil 3). Yöntemde, yüksek basınçlı jeti kullanılarak parçalanmış kömür kuyu aracılığı ile kömür+su karışımı olarak yüzeye taşınır ve yüzeyle ayırım işlemine tabi tutulur (Bairu v.d., 2008).



Şekil 3. Yüzeyden damara açılan kuyularla kömürün üretilmesi (Bairu v.d., 2008).

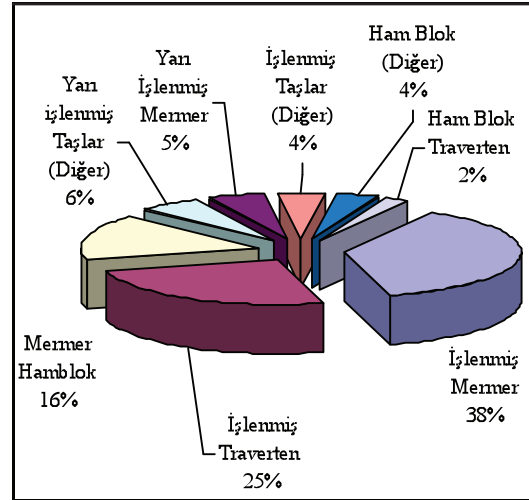
2. 2. Doğal Taşların Kesilmesi ve İşlenmesi

Ülkemiz doğal taş potansiyeli, ihracatı ve özellikle ihracattaki işlenmiş ürün payı (Şekil 4) dikkate alındığında geleneksel kesme yöntemlerindeki yüksek işletim maliyetleri nedeniyle yeni teknoloji arayışları son dönemlerde hız kazanmıştır.

Geleneksel kesme yöntemleri ile üretimi yapılan doğal taşlarda özellikle blok üretimi esnasında

zaman zaman çatlaklıklar oluşmaktadır. Blok verimini olumsuz etkileyen bu durumun yanı sıra geleneksel kesme yöntemleri çevreyi daha çok tahrip etmektedir. Ayrıca, granit gibi sert magmatik kayaçların geleneksel kesme sistemleri ile üretiminde yüksek ekipman aşınmaları buna bağlı olarak yüksek maliyetler oluşur (Magyari v.d., 1999; Çetin, 2003).

Ocaktan blok çıkarma işlemlerinde uygulama olanağı az olsa da son yıllarda aşındırıcı katkılı su jeti kesme yönteminin geliştirilmesiyle doğal taşların fabrikada dekoratif amaçlı üretim süreçlerinde su jeti teknolojisi kullanımı hızla artmaktadır.



Şekil 4. Türkiye doğal taş ihracatının ürün gruplarına göre dağılımı (İMMİB, 2008).

Su jeti teknolojisi, ocakta blok işletmeciliğinde genellikle granit ocaklarında;

- Yeni bir basamak oluşturulurken ilk blok kesiminde,
- Soğumayla birlikte oluşan kayaç gerilmelerinin elmaslı teli sıkıştırdığı için kullanılmadığı durumlarda blok üretiminde,
- Elmaslı tele yardımcı üretim yöntemi olarak elmaslı teli rahatlıkla içerisinden geçirmek için geniş kesim aralığı oluşturulmak istenen durumlarda kullanılmaktadır (Karakurt v.d., 2006).

Büyük miktarda su ve ekipman çalışabilirliğinin temiz bir çevre gerektirmesi gibi özellikler, yöntemin ocakta kullanımını sınırlamaktadır. Bu tür olumsuzlukların ortadan kaldırılması son yıllarda geliştirilen ve bir su jeti tasarımı olan DIA jetlerle mümkün olabilmektedir (Yazıcı ve Summers, 1989). Aşındırıcı besleme şekli farklı olan ama daha düşük basınçlarda (70 MPa) çalışma olanağı sunan DIA jetler, aşındırıcı geri kazanımının söz konusu olduğu durumlarda avantajlı olması nedeniyle de tercih edilebilmektedir (Agus v.d., 1995).

Geleneksel kesme yöntemleri ile kesilip işlenen doğal taşlarda kesme yüzeylerinin temizlenmesi, kesim hattı boyunca oluşan çatlaklıkların ya da

kırıkların düzeltilmesi gibi ikincil işlemler gerekir. Su jeti teknolojisi ile kesim sonrası yeniden işleme gereksinimi ortaya çıkmamaktadır. Ayrıca, yöntemde kesme aralığının dar olması nedeniyle malzeme kaybı oldukça azdır. Su jeti teknolojisi ile doğal taş kesme ve işlemede ikincil işlemler gerekmemesi yöntemin uygulanabilirliğini arttırmaktadır (Bortolussi v.d., 1989).

2. 3. Boyut Küçültme

Geleneksel öğütme sistemleri yüksek miktarlarda enerji gerektiren verimsiz sistemlerdir. Sıradan bir bilyalı değirmende 2 mm boyutundaki kömürün 20 µm boyutuna indirmek ortalama iki saat sürmektedir. Öğütme işlemi tekrar isteyen bir süreçtir. Bu işlemin tekrar tekrar yapıldığı düşünülüğünde harcanan enerji miktarını tahmin etmek çok daha kolay olacaktır. Ayrıca mevcut öğütme sistemlerinde beslenen malzeme tane şeklinin, öğütme sonrası tahrip edilmesi ve malzeme kirlenmesi de söz konusudur (Longlian v.d., 2006).

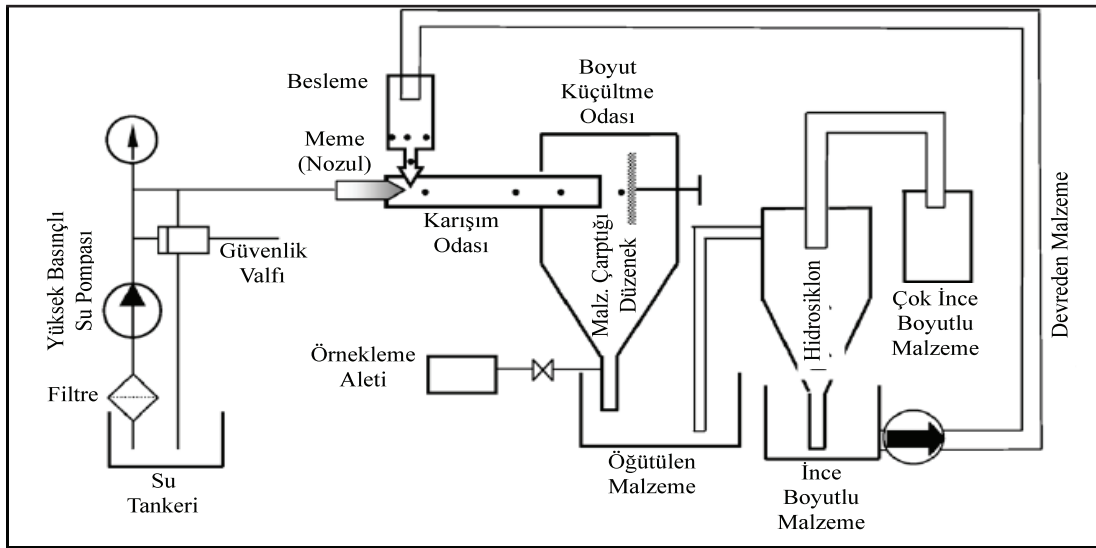
Yüksek basınçlı su jeti ile boyut küçültme, hemen her alanda kullanılabilen yüksek basınçlı su jeti teknolojisinin bir koludur ve düşük enerji gerektirmeleri nedeniyle boyut küçültme işlemlerinde uygulanabilirliği araştırılmaktadır. (Kuyumcu ve Rolf, 2004). Şekil 5'te yüksek basınçlı su jeti ile boyut küçültme yönteminin şematik bir görünümü verilmiştir.

Boyut küçültme mekanizması geleneksel sistemlere göre farklı olan yüksek basınçlı su jeti ile boyut küçültme işleminde sisteme beslenen malzeme, yüksek hız nedeniyle sistem içindeki bir düzeneğe çarpar ve küçük parçalara ayrılır. Böylelikle geleneksel sistemlerde olduğu gibi malzeme topaklanması ya da kirlenmesi söz konusu değildir.

Yüksek basınçlı su jeti ile boyut küçültme işleminin önemli avantajları arasında; düşük enerji gerektirmesi, malzeme kirliliğinin olmaması, toz ve çevresel kirlilik probleminin ortadan kalkması, beslenen malzemenin orijinal kristal şeklinin korunması ve düşük ekipman aşınması gibi özellikler sayılabilir (Galecki ve Mazurkiewicz, 1989; Longlian v.d., 2007).

2. 4. Delik Delme ve Tünel Açma

Madencilikte, zaman ve maliyet açısından kar sağlamak için sondaj veya ateşleme deliklerinin hızlı ve ekonomik olarak açılması istenir. Delik delme ve sondaj işlemleri oldukça zaman alır ve maliyeti arttırır. Bu nedenle son yıllarda yeni delik delme metodları geliştirilmektedir. Su jeti teknolojisi delik delme ve tünel açma işlemlerinde de kullanılmaktadır. Delme işlemi sadece su jeti ile yapılabildiği gibi su jeti memelerinin mekanik delicilere yerleştirilmesiyle uygulanan yardımcı yöntem olarak da kullanılabilir.



Şekil 5. Yüksek basınçlı su jeti ile boyut küçültme yöntemi şematik gösterimi (Longlian v.d., 2006).

Özellikle matkap uçlarına belirli bir düzene göre yerleştirilen su jeti memeleri (nozulları) delik delme verimini önemli ölçüde arttırmaktadır. Maurer ve arkadaşlarının (1974) yürüttüğü bir çalışmada, matkap uçlarına yerleştirilen memeler ile delik delmede normal delik delmeye göre daha fazla ilerleme kaydedildiği görülmüştür. Benzer şekilde, madencilikte geleneksel patlayıcılarla yapılan

kayaç parçalama işlemine alternatif yöntem olarak geliştirilen su jeti ile kayaç parçalama çalışması yapan bir grup araştırmacı, mevcut delikler içerisinde yüksek basınçlı su jetleri ile hidrolik çatlaklandırma yapmanın patlatma verimini önemli ölçüde etkileyeceğini belirtmişlerdir (Summers v.d., 1992; Genet v.d., 2008).

Metal madenlerinde seçimli kazı çalışmalarında cevher ya da yan kayaç içerisinde patlatmaya yardımcı olabilecek delik ya da yarıkların oluşturulması amacı ile de yüksek basınçlı su jetleri kullanılabilir. Bu tür delik delme işleminde daha küçük çaplı delikler delinebilmekte ve kayaç -ekipman arasında herhangi bir fiziksel temas olmadığından yöntemde delici uç aşınma problemi de olmamaktadır (Savanick ve Krawza, 1996; Xu v.d., 2009).

Düşük basınçlarda çalışma olanağı sunması nedeniyle geleneksel su jeti kesme yöntemine göre avantajlar sunabilen DIA jetler, geleneksel yöntemlerle delinemeyen kayaçların daha düşük basınçlarda delinmesine de imkân tanır. Ayrıca aşındırıcı tüketimi daha azdır (Engin, 2006).

3. SU JETİ TEKNOLOJİSİNİN DİĞER SİSTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Su jeti ile kesme sistemlerinin madencilikte kullanılan diğer kesme sistemleri ile karşılaştırılmalarında önemli üstünlükleri aşağıda sunulmuştur.

- i. Delik delme işlemlerinde uç sıkışması ya da uç ısınması gibi problemler yoktur.
- ii. Özellikle kömür madenciliğinde toz problemi olmayışı sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturur.
- iii. Kazı esnasında mekanik ekipmanların çıkardığı kıvılcıklar ocak yangınlarına (metan patlamasını takiben ocak yangını gibi) sebep olabilmektedir. Su jeti kesme yönteminde bu problem ortadan kalkmaktadır (Summers, 2009).
- iv. Kesme aralığının dar olması nedeniyle malzeme kaybı oldukça azdır.
- v. Ocak işletmeciliğinde çok düzgün ve istenen boyutta blok mermer veya granit üretimine olanak sağlar.
- vi. Kesme işleminde malzemede ısıl gerilmelerin oluşması söz konusu değildir.
- vii. Sistem otomatik çalışabildiğinden sürekli bir operatörün kontrolüne gerek yoktur.
- viii. Dekoratif amaçlı çok çeşitli kesme yapılabilir.

Su jeti ile kesme sistemlerinin diğer kesme sistemlerine göre önemli üstünlükleri olmasına rağmen, yöntemin kullanımını sınırlayan bazı dezavantajlar aşağıda sunulmuştur.

- i. Kesme işlemi için harcama süre kesme maliyetinin artmasına sebep olacak şekilde uzundur.
- ii. Çok kalın malzemelerin kesilmesinde istenen şeklin elde edilmesi zordur.

- iii. Çok sivri ya da gittikçe incelen malzemelerin kesilmesi problemlidir.
- iv. İlk yatırım maliyeti oldukça yüksektir.

Su jeti teknolojisi, diğer sistemler arasında en fazla çevre dostu olan teknolojidir. Sürecin temiz olması, toz, kırıntı ya da kimyasal hava kirliliği meydana getirmemesi yöntemin kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Su aşındırılmış malzemeyi uzaklaştırır, tozu pratik olarak elimine eder ve diğer sistemler gibi duman ve kirlilik meydana getirmez.

4. SONUÇLAR

Son yıllarda kullanım alanı giderek artan su jeti teknolojisi geleneksel kesme yöntemlerinin ekonomik olmadığı uygulamalarda alternatif bir yöntemdir. Yöntemin madencilik alanındaki kullanımına yönelik bir değerlendirmenin yapıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar öne çıkmaktadır.

- i. Su jeti teknolojisi ile çok ince ve çok kalın kömür damarlarının (yüzeyden damara açılan kuyularla vb.) işletilmesi mümkün olabilmektedir.
- ii. Gazlı kömür damarlarında küçük bir kıvılcımla meydana gelebilecek metan patlama riski su jeti teknolojisi ile ortadan kalkmaktadır.
- iii. Su jeti teknolojisinin malzeme topaklanmasını önlemesi, tane kristal yapısının korunması, düşük enerji ve yüksek verimleri nedeniyle boyut küçültme işlemlerinde kullanımına yönelik araştırma ve geliştirmeler devam etmektedir.
- iv. Malzeme kaybının az olması ve istenen şekillerde kesme olanağı sunması, doğal taşların dekoratif amaçlı üretimlerinde kullanımını arttırmaktadır.
- v. Yöntemde, ocakta blok üretim süreçlerinde daha düzgün bloklar elde edilir. Ayrıca geleneksel kesme yöntemlerinde oluşacak ısınma ya da sıkışma (elmas telin sıkışması) durumları için yardımcı yöntem olarak kullanım söz konusudur.
- vi. Delik delme veya tünel açma işlemlerinde kayaç delici etkileşimi olmayacağından daha verimli delme işlemi yapılır. Yöntemle daha küçük çaplı delikler açılabilir. Ayrıca su jeti ile ateşleme deliklerinde hidrolik çatlaklandırma yapılması, kayaç parçalanmasının daha verimli olması sağlanır.

KAYNAKLAR

- Agus, M., Bortolussi, A., Ciccu, R., Imolesi, E. and Vargiu, A. 1995. "Stone Cutting with Diajet, International Mining Congress of Turkey, 6-9 June, Ankara, Turkey.
- Akçın, N.A. 1986. "Batı Karadeniz Taşkömürü Havzasında Hidrolik Kömür Madenciliğinin Uygulanabilirliği", Türkiye 5. Kömür Kongresi. 5-9 Mayıs, Zonguldak.
- Akçın, N.A. 1987. "Yüksek Basıncılı Su Jetleri ile Yapılan Kesme ve Parçalanma Çalışmaları", Madencilik. 26 (2), 27-35.
- Akkurt, A. 2004. "Su Jeti ile Kesme Sistemleri ve Uygulama Alanlarının Değerlendirilmesi", Politeknik Dergisi. (7), 129-139.
- Alitavoli, M. and McGeough, J.A. 1998. "An Expert Process Planning System for Meat Cutting by High Pressure Water Jet", Journal of Materials Processing Technology. (76), 146-152.
- Bairu, X., Xiping, Z. and Zhixin, M. 2008. "Research on One Borehole Hydraulic Coal Mining System", Earth Science Frontiers. 15 (4), 222-226.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P. and Massacci, G. 1989. "Granite Quarrying with Water Jets: A Viable Technique, 5th American Water Jet Conference, 29-31 August, Toronto, Canada.
- Çetin, T. 2003. "Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi ve İhracatı", Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, G.Ü. 23 (3), 243-256.
- Duflou, J.R., Kruth, J.P and Bohez, E.L. 2001. "Contour Cutting of Pre-formed Parts with Abrasive Waterjet Using 3-axis Nozzle Control", Journal of Materials Processing Technology. (115), 38-43.
- Engin, İ. C. 2006. "Bazı Türk Mermerlerinin Aşındırıcı Su Demeti ile Kesilebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Galecki, G. and Mazurkiewicz, M. 1989. "Effectiveness of Coal Comminution by High Pressure Waterjet", 5th American Water Jet Conference, 29-31 August, Toronto, Canada.
- Genet, M., Yan, W. and Tran-Cong, T. 2008. "Investigation of a Hydraulic Impact: A Technology in Rock Breaking", Arch Appl. Mech. (79), 825-841.
- Geren, N. ve Tunç, T. 2008. "Su Jeti Kesme Sistemlerinde Kullanılan Basıncı Arttırıcılarda Gerilme Analizleri ve Tasarım Sınırları", 13. Uluslar Arası Makine Tasarımı ve İmalatı Kongresi, UMTİK, 3-5 Eylül, İstanbul-Türkiye.
- Handewith, H.J., Evans, R.J. and Thimons, E.D. 1985. "An Overview of Water jet Assisted Rock Cutting at Pittsburg Research Center, 3rd U.S. Water Jet Conference. May 21-23, Pittsburg.
- Hasçalık, A., Çaydaş, U. and Gürün, H. 2007. "Effect of Traverse Speed on Abrasive Waterjet Machining of Ti-6Al-4V Alloy" Materials & Design. (28), 1953-1957.
- İMMİB, 2008. "İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri", Türk Doğal Taş Sektörü.
- Jianchi, Y. 1991. "High Pressure Water jets in Rock Excavation, PhD Thesis, University of Missouri-Rolla.
- Karakurt, İ., Aydınar, K., Alp, İ. ve Görgülü, Ü. 2006. Doğal Taşların Kesilmesi ve İşlenmesinde Su jeti Kullanımı, Ed; Demir, C. ve Yılmaz, A.O., Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, 14-16 Eylül, Trabzon.
- Karakurt, İ. 2007. "Aşındırıcı Su Jeti Kesme Sistemlerinin Kayaç Kesme Performanslarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kulaksız, S. 2005. "Doğal Taş Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri", TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara. s. 634.
- Külekçi, K. M. 2002. "Process and Apparatus Developments in Industrial Waterjet Applications", International Journal of Machine Tools and Manufacture. (42), 1297-1306.
- Kuyumcu, H.Z. and Rolf, L. 2004. "Application of High Pressure Waterjets for Comminution", International Journal of Mineral Processing. (74), 191-198.
- Longlian, C., Ligian, A. and Gong, W. 2006. "Effects of Process Parameters on Comminution Capability of High Pressure Water Jet Mill", International Journal of Mineral Processing. (81), 113-121.
- Longlian, C., Ligian, A., Gong, W. and Jiang, H. 2007. "A Novel Process for Preparation of Ultra-Clean Micronized Coal by High Pressure Water jet Comminution Technique", Fuel. (86), 750-757.
- Lu, T., Yu, H., Zhou, T., Mao, J. and Guo, B. 2009. "Improvement of Methane Drainage in High Gassy Coal Seam Using Waterjet Technique", International Journal of Coal Geology. (79), 40-48.
- Magyari, A., Ilias, N., Radu, S. and Magyari, A.A. 1999. "The Influence of Rocks Parameters During the Cutting Process Using high Pressure Water Jets",

10th American Waterjet Conference, August. 14-17, Houston, Texas.

Maurer, W.C., Heilhecker, J.K. and Love W.W. 1974. High-Pressure Drilling, Proceedings of 2nd International Symposium on Jet Cutting Technology, Cambridge Page : 80-89.

Parkes, D.M. ve Fişekçi, M.Y. 1984. "Hidrolik Madencilik Güvenirliği", Türkiye 4. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Savanick, A. G. and Krawza, G. W. 1996. "An Abrasive Water Jet Rock Drill", Twin Cities Research Center Bureau of Mines,U.S. Department of the Interior Minneapolis, Minnesota.

Summers, D.A. 2009. "Water Jet Coal Mining Related to the Mining Environment", <http://www.rockmech.mst.edu/documents/paper9.pdf>

Summers, D.A., Yao, J., Blaine, J.G., Fossey, R.G. and Tyler, L.J. 1992. "Low Pressure Abrasive Waterjet Use for Precision Drilling and Cutting of Rock", <http://rockmech.mst.edu/documents/paper179.pdf>

Thimons, E. D., Hauer, K.F. and Neinhaus, K. 1987. "Water jet Assisted Longwall Shearer Development and Underground Test, 4th U.S. Water jet Conference, Berkeley, CA.

Wakuda, M., Yamauchi, Y. and Kanzaki, S. 2003. "Material Response to Particle Impact During Abrasive Jet Machining of Alumina Ceramics", Journal of Materials Processing Technology. (132), 177-183.

Xu, J., Summers, D.A., Macneil, W. and Schmidt, M. 2009. "The Use of Waterjets in the Pre-Profiling of Underground Excavation", <http://www.umr.edu/~rockmech/faculty/papers/paper2>.

Yazıcı, S. and Summers, D.A. 1989. "The investigation of diajet (Direct Injection of Abrasive Jet) Cutting of Granite", 5th American Water Jet Conference. 29-31 August, Toronto, Canada.

Yazıcıoğlu, O., Kurt, M. ve Çetinkaya, Y.U. 1993. Sert parçaların kesilmesinde basınçlı su jetinin kullanılması, 6. Makine Teorisi Sempozyumu, Eylül 1993.Trabzon.