

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AŞINDIRICI SU JETİ KESME SİSTEMLERİNİN KAYAÇ KESME
PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Müh. İzzet KARAKURT

OCAK 2007
TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AŞINDIRICI SU JETİ KESME SİSTEMLERİNİN KAYAÇ KESME
PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI**

Maden Müh. İzzet KARAKURT

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Maden Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12.01.2007
Tezin Savunma Tarihi : 31.01.2007**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kerim AYDINER
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ALP
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2007

ÖNSÖZ

Bu tez, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışma, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenen 2005.112.008.2 kod no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden ötürü K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu'na teşekkür ederim.

Tez danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi gerekse çalışmaların yönlendirilmesindeki katkılarından dolayı hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kerim AYDINER'e teşekkürü bir borç bilirim. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği CT Kesme Teknolojileri ve Makina San. ve Tic. Ltd. Şti., deney örneklerinin temin edilmesinde yardımcı olan GÜVENCEM Mermer ve Madencilik Şirketi ve KAFMER Dış Tic. Ltd. Şti. yetkililerine teşekkür ederim. Çalışma boyunca desteğini esirgemeyen arkadaşlarım Maden Müh. Ümit GÖRGÜLÜ, Maden Müh. Enver ÇAPA, Jeofizik Müh. Ali Erden BABACAN ve Arş. Gör. Ersin Yener YAZICI'ya teşekkür ederim. Aynı zamanda, öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme en derin şükranlarımı sunarım.

İzzet KARAKURT

Trabzon 2007

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| ÖNSÖZ..... | II |
| İÇİNDEKİLER..... | III |
| ÖZET..... | V |
| SUMMARY..... | VI |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | VII |
| TABLolar DİZİNİ..... | IX |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Giriş..... | 1 |
| 1.2. Doğal Taş Kesme ve İşleme Sistemleri..... | 2 |
| 1.2.1. Katraklar..... | 2 |
| 1.2.2. Köprü Kesme Makinaları..... | 4 |
| 1.2.3. Geniş Bant Cila Makinaları..... | 4 |
| 1.2.4. S/T Makinaları..... | 4 |
| 1.2.5. Kafa(Baş) Kesme Makinaları..... | 5 |
| 1.2.6. Cilalama ve Ebatlama Makinaları..... | 5 |
| 1.2.7. Mekanik Darbeli Yüzey İşleme Yöntemleri..... | 6 |
| 1.2.8. Isıl Yüzey İşleme Yöntemleri..... | 6 |
| 1.2.9. Lazerle Yüzey İşleme Yöntemleri..... | 6 |
| 1.2.10. Kimyasal Yüzey İşleme Yöntemi..... | 7 |
| 1.2.11. Su Jeti ile Kesme ve Yüzey İşleme Yöntemi..... | 7 |
| 1.3. Su Jeti ile Kesme..... | 7 |
| 1.3.1. Saf Su Jetleri..... | 8 |
| 1.3.2. Aşındırıcı Su Jetleri..... | 9 |
| 1.3.3. Su Jeti ile Kesmenin Temel Esasları..... | 11 |
| 1.3.3.1. Kesme Aşınması..... | 11 |
| 1.3.3.2. Deformasyon Aşınması..... | 13 |
| 1.3.4. Kesme Makinası..... | 13 |
| 1.3.5. Su Jeti ile Kesme Kalitesi..... | 15 |
| 1.3.6. Su Jeti ile Diğer Kesme Sistemlerinin Karşılaştırılması..... | 17 |

| | | |
|----------|---|----|
| 1.3.7. | Su Jeti Kesme Sistemlerinin Endüstrideki Uygulama Alanları..... | 19 |
| 1.3.7.1. | Gıda Endüstrisi..... | 19 |
| 1.3.7.2. | Tekstil Endüstrisi..... | 19 |
| 1.3.7.3. | Elektronik Endüstrisi..... | 19 |
| 1.3.7.4. | Paketleme Endüstrisi..... | 20 |
| 1.3.7.5. | Plastik Endüstrisi..... | 20 |
| 1.3.7.6. | Metal Endüstrisi..... | 20 |
| 1.3.7.7. | Cam Endüstrisi..... | 21 |
| 1.3.8. | Literatür Özeti..... | 21 |
| 1.3.9. | Çalışmanın Amacı..... | 29 |
| 2. | DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... | 30 |
| 2.1. | Materyal..... | 30 |
| 2.2. | Deney Düzeneği..... | 32 |
| 2.3. | Deney Çalışmaları..... | 35 |
| 2.3.1. | Deney Parametreleri..... | 36 |
| 2.3.1.1. | Pompa Basıncı..... | 36 |
| 2.3.1.2. | Kesme Hızı..... | 36 |
| 2.3.1.3. | Aşındırıcı Besleme Miktarı..... | 36 |
| 2.3.1.4. | Meme-Örnek Mesafesi..... | 36 |
| 3. | BULGULAR..... | 38 |
| 3.1. | Kesme Hızı Değişimi..... | 38 |
| 3.2. | Aşındırıcı Besleme Miktarı Değişimi..... | 45 |
| 3.3. | Meme-Örnek Mesafesi Değişimi..... | 49 |
| 4. | İRDELEME..... | 53 |
| 5. | SONUÇLAR..... | 60 |
| 6. | ÖNERİLER..... | 62 |
| 7. | KAYNAKLAR..... | 63 |
| ÖZGEÇMİŞ | | |

ÖZET

Darbe ya da basınç etkisinden faydalanılarak suyun malzemelerin kesilmesinde kullanımı 1930'lu yıllara kadar dayanır. Ancak, yöntem 1980'lerden sonra daha çok ilgi çekmiş ve endüstride çok farklı alanlarda yaygın kullanım olanağı bulmuştur. Düşük basınçlarda çalışma olanağı sunan ve aşındırıcı malzeme eklenerek uygulanan aşındırıcı su jeti yöntemi özellikle sert malzemelerin kesilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşındırıcı su jeti kesme sistemleri madencilik endüstrisinde daha çok doğal taş üretim işlemlerinde ocakta blok üretimi ya da fabrikada son ürün üretimi süreçlerinde kullanım olanağı bulmuştur. Geleneksel kesme sistemleri ile kıyaslandıklarında su jeti kesme sistemlerinin düşük çalışma basıncı gereksinimi, esnek ve çok-eksende kesme yetenekleri gibi önemli avantajlara sahip olduğu söylenebilir. Yöntem, ayrıca, geleneksel sistemlerinde olduğu gibi kesilen yüzeylerde ısı artışına sebep olmaz.

Bu çalışmada aşındırıcı su jeti kesme sistemlerinin farklı kökenden kayalarda kesme performansı araştırıldı. Çalışmada beş farklı kökenden doğal taş kullanıldı. Üç-eksende hareket edebilen, bilgisayar kontrollü bir aşındırıcı su jeti sisteminin kullanıldığı deneysel çalışmalarda sistemin çalışma parametreleri olan pompa basıncı, kesme hızı, aşındırıcı besleme miktarı ve meme-örnek mesafesi incelendi. Sistemin kesme performansı kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme-aşınma bölgesi derinliği ölçütleri tabanında analiz edilmiştir. Ayrıca yüzey dalgalılığı ya da kesilen yüzeylerin kalitesi de incelenmiştir.

Analizlerin sonucunda kullanılan kayalarda düşük kesme hızı ve meme-örnek mesafesi değerleri ile yüksek kesme performansı elde edildi. Her iki değişkenin yüksek değerleri için de kötü performans elde edildi, kesme genişliği artarken kesme derinliği değeri azaldı. Öte yandan, kesme hızı ve meme-örnek mesafesinin artışı ile örneklerin kesme yüzey kaliteleri de kötüleşti. Aşındırıcı besleme miktarının artışı ise kesme deriliğinin artışı sağlanmış ise de kesme genişliği ve kesilen yüzeylerinin kalitelerinin kötüleşmesine neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taş, Kayaç Kesme, Aşındırıcı Su Jeti, Yüksek Basınç Su Jeti, Yüzey Dalgalılığı, Yüzey Topoğrafyası

SUMMARY

Investigating Performances of Abrasive Cutting Systems in Rock Cutting

Benefiting from its impact or pressure effect, the use of water in cutting of materials dates back 30s. However, it has gained importance following 80s and water jet cutting technology has found extensive applications in diverse areas of industry. Abrasive water jets including abrasive material particles allow to use lower working pressures and has been used especially in cutting harder materials like metals. In mining industry, the water jet cutting systems are used basically in block production in natural stone quarries and final processing of slabs in marble plants. The water jet systems have important advantages over the conventional cutting systems as low working pressure requirement, flexible and multi-axis cutting ability. It also eliminates the heat accumulation on the material surfaces as is the case in the conventional systems.

This research investigates the cutting performance of the abrasive water jet systems in cutting rocks of different genesis. Five different types of natural stones were used in the research. A computer controlled water jet system capable to three-axis movement was used in the experiments. In the experiments the operating variables tested are pump pressure, cutting speed, abrasive feed rate and standoff distance. Cutting performance of the system was analyzed on three criteria as cutting depth, cutting width, smooth surface depth. Surface striation characteristics were, also, analyzed.

As a result of the analyses, low cutting speed and standoff distance variables provided improved cutting performances. When higher values were selected, the values obtained for both of the variables were worsened. Cutting width values were increased while cutting depths were decreased. Surface qualities of the samples were also worsened with the higher values of the cutting speed and standoff distances. Increase of the abrasive mass flow rate value brought the result of increased cutting depth. However, the cutting width and surface qualities affected adversely.

Keywords: Natural Stones, Rock Cutting, Abrasive Water Jet, High Pressure Water jet, Striation, Surface Topography

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Şekil 1.1. Saf su jeti ile malzeme kesilmesi..... | 9 |
| Şekil 1.2. Aşındırıcı ilavesi olan su jeti kesme kafası..... | 10 |
| Şekil 1.3. Su jeti kesme aşamaları..... | 12 |
| Şekil 1.4. Kesme ve deformasyon aşamaları..... | 13 |
| Şekil 1.5. Su jeti ile kesme sistemi şematik görünümü..... | 14 |
| Şekil 1.6. Su jeti kesme makinası genel görünümü..... | 14 |
| Şekil 1.7. Su jeti ile kesme yönteminde kesme yüzey kalitesi..... | 15 |
| Şekil 1.8. Akışa dayalı kesme sistemlerinde elde edilen yüzey görüntüsü..... | 16 |
| Şekil 1.9. Su jeti ile kesilmiş çeşitli malzemeler..... | 20 |
| Şekil 2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan örnekler..... | 30 |
| Şekil 2.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan su jeti makinası (genel görünüm)..... | 33 |
| Şekil 2.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan su jeti makinası (kesme kafaları)..... | 33 |
| Şekil 2.4. Aşındırıcı malzeme olarak kullanılan garnet/granat..... | 34 |
| Şekil 3.1. 220 MPa çalışma basıncında kesme derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi.. | 38 |
| Şekil 3.2. 220 MPa çalışma basıncında kumtaşı örneklerde kesme derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi..... | 39 |
| Şekil 3.3. 220 MPa çalışma basıncında kesme genişliğinin kesme hızına bağlı değişimi.. | 40 |
| Şekil 3.4. 220 MPa çalışma basıncında kumtaşı örneklerde kesme genişliğinin kesme hızına bağlı değişimi..... | 40 |
| Şekil 3.5. 400 MPa çalışma basıncında kesme derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi.. | 41 |
| Şekil 3.6. 400 MPa çalışma basıncında kumtaşı örneklerde kesme derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi..... | 42 |
| Şekil 3.7. 400 MPa çalışma basıncında kesme genişliğinin kesme hızına bağlı değişimi.. | 43 |
| Şekil 3.8. 400 MPa çalışma basıncında kumtaşı örneklerde kesme genişliğinin kesme hızına bağlı değişimi..... | 43 |
| Şekil 3.9. 400 MPa çalışma basıncında kesme aşınma bölgesi derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi..... | 44 |
| Şekil 3.10. 400 MPa çalışma basıncında kumtaşı örneklerinde kesme aşınma bölgesi derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi..... | 44 |
| Şekil 3.11. Kesme derinliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi..... | 45 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.12. Kumtaşı örneklerinde kesme derinliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi..... | 46 |
| Şekil 3.13. Kesme genişliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi..... | 47 |
| Şekil 3.14. Kumtaşı örneklerinde kesme genişliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi..... | 47 |
| Şekil 3.15. Kesme aşınma bölgesinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi..... | 48 |
| Şekil 3.16. Kumtaşı örneklerinde kesme aşınma bölgesi derinliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi..... | 48 |
| Şekil 3.17. Kesme derinliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi..... | 49 |
| Şekil 3.18. Kumtaşı örneklerinde kesme derinliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi..... | 50 |
| Şekil 3.19. Kesme genişliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi..... | 51 |
| Şekil 3.20. Kumtaşı örneklerinde kesme genişliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi..... | 51 |
| Şekil 3.21. Kesme aşınma bölgesi derinliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi.. | 52 |
| Şekil 3.22. Kumtaşı örneklerinde kesme aşınma bölgesi derinliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi..... | 52 |
| Şekil 4.1. Belirli çalışma koşullarında elde edilen örnek kesme yüzeyleri (diyorit, oniks, kumtaşı)..... | 57 |
| Şekil 4.2. Belirli çalışma koşullarında elde edilen örnek kesme yüzeyleri (kireçtaşı, granit)..... | 58 |

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

| | |
|--|----|
| Tablo 2.1. İkizdere (Rize) Graniti Mekanik Özellikleri..... | 31 |
| Tablo 2.2. Kumtaşı (Rize) Mekanik Özellikleri..... | 31 |
| Tablo 2.3. İspir (Erzurum) Diyoriti (Gabro) Mekanik Özellikleri..... | 31 |
| Tablo 2.4. Yaylapınar (Bayburt) Oniksi Mekanik Özellikleri..... | 32 |
| Tablo 2.5. Kireçtaşı (Gümüşhane) Mekanik Özellikleri..... | 32 |
| Tablo 2.6. Garnet/granat (Aşındırıcı malzeme) kimyasal içerikleri..... | 35 |

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Maddelerin su ile kesilebilirliği yıllardır bilinmesine rağmen bu tekniğin kullanılabilirliği ve yeterliliği ancak son yıllarda olumlu seviyelere ulaşmıştır. Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan su jeti teknolojisi, 1970'lerden sonra yaygınlaşmış ve 1980'lerden sonra aşındırıcı su jetleri ile özellikle metal gibi sert malzemelerin kesilmesinde ilerlemeler kaydedilmiştir. Daha yüksek çalışma basınçlarına çıkılması ve su jetinin dağılmasını önleyen bazı katkı maddelerinin kullanılması gibi gelişmeler sayesinde aşındırıcısız su jeti teknolojisi daha yaygın kullanım alanı bulmuştur (Geren ve Tunç, 2001).

Su jeti kesme teknolojisi, sahip olduğu önemli avantajlardan dolayı, giderek geleneksel doğal taş kesme sistemlerine bir alternatif haline gelmektedir. Bu teknoloji madencilik alanında başta doğal taşların kesilmesi ve işlenmesi olmak üzere birçok sert ve dayanıklı malzemelerin kesilmesinde verimli bir şekilde kullanılır (Miranda ve Quintino 2005). Bu teknolojinin kesme anında malzeme yüzeyinde ısıl problemi oluşturmaması, düşük kesme kuvveti gerektirmesi ve esnek, çok yönlü kesme olanağının olması nedeniyle başta mermer ya da seramik gibi malzemeler olmak üzere çeşitli alanlarda kullanım potansiyeli artmaktadır (Wang ve Guo, 2002).

Malzeme yüzeyinde bir mikro aşınma formu oluşturmak olarak tanımlanan su jeti ile kesme işleminde dar bir boru içerisinden geçen ve küçük bir ağızdan (orifis) yüksek basınçta çıkan su malzeme yüzeyine temas eder (URL-1, 2006). Meme içerisinde yüksek basınçta (300–400 MPa) ilerleyen su meme ağzına yaklaştıkça daralan kısımlarda hızını daha da arttırarak malzeme yüzeyine püskürtülür. Yüksek hızı nedeniyle su, bir katı cisim gibi davranış gösterir. Kesme işleminde anahtar eleman çok yüksek hızlara çıkarılan su jetidir. İşlem sırasında yüzeye çarpan su jeti, oluşturulan erozyon kuvveti ile yüzeyden malzeme parçacıklarını uzaklaştırarak kesme işlemini gerçekleştirir. Su jeti katı malzemeye çarptığı zaman, çarpmanın olduğu nokta çok kısa bir süre için değişken yüksek geçiş basıncına maruz kalır. Bu basıncın büyüklüğü, su jeti hızı, çapı ve akış özelliklerinin bir fonksiyonudur. Teorik olarak kesme noktasındaki basınç, meme çıkış basıncının 2 katına ulaşabilir. Verimli bir kesme işlemi için malzeme ile meme arasındaki mesafe

kesilecek malzemenin özelliklerine göre değişir. Örneğin elektronik baskı devre kartları için bu mesafe 13 mm'den 19 mm'ye kadar arttırılabilir.

Su jetleri, sabit basınç altında işlenebilen malzemeler ile suyun ilettiği basıncın etkisiyle, yapısında mikro düzeyde kırıklar meydana gelen gevrek malzemelerin işlenmesinde yaygınlıkla kullanılır. Kesilen malzemeye suyun temasının olumsuz etkilerinin olduğu durumda su yerine bitkisel yağ veya alkol gibi diğer kesme sıvıları kullanılabilir (Baltacı, 2002).

Aşındırıcı su jeti ile kesme, daha sert malzemelerin kesme işleminde kullanılır. Bu kesme işleminde, bir pompa düzeneği yardımıyla su, basıncı 400 MPa'a kadar yükseltilir ve kesme başlığına taşınır. Kesme başladığında yüksek basınçlı su akışı, bir delikten içerisinden karıştırma odasına odaklanır. Bu odada önceden dozajlanmış belli miktardaki aşındırıcı parçacıkları odaklanmış su akışına eklenir. Karıştırma odasından ayrılıştta, 0,4-1,2 mm arasındaki bir safir uçtan (meme çıkışı) geçirilen karışım malzemeye püskürtülür. Bunun sonucunda aşınma ve kırılmalar meydana gelerek işlem gerçekleştirilir.

1.2. Doğal Taş Kesme ve İşleme Sistemleri

Mermer işleme tesislerinde üretilen ürünün türü, aynı zamanda mermer fabrikalarının da temel yapısını oluşturur. Mermer işleme tesislerinde kullanılan geleneksel kesme sistemleri, "Levha (Plaka) Hattı ve Makinaları" ve "Fayans Hattı ve Makineleri" olmak üzere iki üretim bandına sahiptir. Katrak, köprü kesme makineleri ve plaka silim (geniş bant cila) makinelerinin kullanıldığı Levha Hattı, büyük kapasiteli (masa, sehpa, şömine v.b.) ürünlerin elde edilmesi için kullanılır. Döşemelik yapı malzemesi veya özel siparişlerin üretiminin gerçekleştirilmesinde de S/T, baş kesme, cilalama, ebatlama, yan kalibre+kanal açma makinelerinin kullanıldığı Fayans Hattı ve Makineleri kullanılır.

1.2.1. Katraklar

Günümüzde kullanılan Katrak tipi kesme makineleri, üzerinde lamalar dizili olan ve kolonlar arasına yerleştirilmiş bir platformun eksantrik hareket eden bir kol vasıtasıyla ileri geri (ortalama ←50 cm, 50 cm→) hareket ettirilmesi, bu esnada hidrolik bir sistem yardımıyla uygun bir hızla aşağı doğru hareketi sonucu lamaların doğal taşla belirli baskıyla sürtmesi ve aşındırma ile taşı kesmesi şeklinde çalışırlar. Blok tüm genişliği boyunca

yukarıdan aşağıya kesilebildiği gibi daha az lama ile kademeli olarak da kesilebilmektedir. Katraklardaki en büyük sorunlardan biri lamaların sökölüp, değiştirilip, yeni soketlerin kaynatılması ve yeniden lama ayarlarının yapılmasıdır. Bu nedenle uzun ömürlü soketlerin kullanılması tercih edilir. Lamalara kaynak edilmiş soketlerle de sürekli sert mermerlerde çalışılması uygun olmamaktadır. Sert mermer kesiminden sonra yumuşak mermer kesimi yapılarak sert mermerdeki kesme hızının artırılması sağlanmalıdır.

Ocaktan gelen blokların ürün haline getirilmesinde en önemli aşama olan plaka kesiminde katrakların verimli bir şekilde çalıştırılması halinde işletme ekonomisine büyük katkılar sağlanabilmektedir. Katraklarda kesim operasyonunda kesme verimini etkileyen faktörler; kesme hızı, taşın özelliği, kesici uçların aralıkları, soket yapısı, kullanılan su miktarı ve basıncı, kesilecek bloğun boyutu, kalifiye eleman ve tamir/bakım olarak sıralanabilir. Katraklarda kesim verimini etkileyen kesme hızının, uygun değerde tutulması gerekir. Taşa giriş ve çıkışlarda hızın azaltılması gerekir. Bunun nedeni taşın üst yüzeyindeki pürüzlerin soketlerin üzerine yüksek basınçla etki etmesinin önlenmesidir. Çıkış kısmında hızın azaltılmasının nedeni ise bloğun alt kısmında basınçtan dolayı çatlama ve kırılmaların önlenmesidir. Yüksek hızda çalışmak kesme verimini arttırmasına karşın mafsallara aşırı yük gelmesi nedeniyle aşınmalar artmakta ve makine ömrünü kısaltmaktadır. Bu nedenle katraklardaki kesme hızının imalatçı firmanın önerdiği değerde olması gerekir. Katraklarda kesme verimini etkileyen ana parametrelerden ikincisi ise kesilecek taşın özelliğidir. Kesilecek doğal taşın özellikleri iyi belirlenmeli ve kesim parametreleri buna göre ayarlanmalıdır. Blok halindeki doğal taşın katrak altına verilmiş yönü ve biçimde diğer bir parametredir. Katraklarda kullanılan soketlerin kesilecek taşın sertliğine bağlı olarak yumuşak, orta sertlikte ve sert soket çeşidinin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Diğer önemli bir konuda çerçeveye lamaların aralıklı dizilimidir. Eğer aralıklı dizime çok küçük seçilmiş ise bıçak göbeklerinin stabilitesi ve tüm makinelerin gerekli temas basıncı yetersiz olacaktır. Diğer yandan aralıklı dizime çok genişse parçalar aşırı yüklenecek ve elmas kristalleri yeterli iş yapmadan kırılacaktır. Soketler arası uzaklığın kesme verimine en iyi etkisi 10-15 cm aralıklarla monte edilmesiyle sağlanmaktadır. Kesme işlemi esnasında gerektiği kadar su ve iyi yönetilen soğutma, doğal taş kesme işleminde en önemli koşullardan bir tanesidir. Dakikada 8-10 lt su blok yüzeyine çok ağızlı borularla delikli borularla yayılması sağlanmalıdır. Soketlerin yıpranmasında su miktarı ve basıncının önemi büyüktür. Su basıncı oldukça üst düzeyde tutulmalıdır. Basıncın soketler

üzerine değişik yönlerde ve aynı miktarda gelmesi kesme verimini olumlu yönde etkileyecektir (Onargan, vd., 2005).

1.2.2. Köprü Kesme Makineleri

Köprü kesme makineleri, 360° dönebilen bir tabla üzerine yatay olarak yerleştirilmiş doğal taş plaka veya plakaların istenilen boyuta getirilmesinde kullanılırlar. Genellikle katrağ ürünlerinden, geometrik olarak en büyük alanı sağlayan kare veya dikdörtgen alan elde etmek için kullanılmakla birlikte, istenildiğinde kafa kesme ve yan kesme makinelerinin görevini de yapabilmektedir. Bu makineler, sağa sola hareketli bir kolon ve bu kolon üzerinde ileri geri hareket edebilen bir kesici gövdeden oluşur. Kesici olarak 300-600 mm arası dairesel testereler kullanılıyorsa da uygun boyut 450 mm olanlarıdır. Doğal taş plaka ya da plakalar perde duvarlar arasında bulunan tabla üzerine yatırıldıktan sonra istenilen ölçülerde kesilir.

1.2.3. Geniş Bant Cila Makineleri

Geniş bant cila makineleri, köprü kesme makinelerinde kenarları düzeltilen plakaların kesim işleminden kaynaklanan kalınlık farklarının ve yüzey pürüzlülüklerinin giderilerek parlatılması amacıyla kullanılan Levha hattı ekipmanlarıdır. Bu makinelerde 60 cm ve yukarı genişlikteki ürünler cilalanmaktadır.

1.2.4. S/T Makineleri

Döşemelik yapı malzemesi veya özel siparişlerin üretiminin gerçekleştirilmesinde kullanılan S/T makinelerinin ilk üretimi bir Fransız firması olan S/T tarafından yapıldığı için ülkemizde de bu isimle adlandırılırlar. S/T'ler fayans hattı için gerekli olan levhaların üretimi için kullanılırlar. Bu makineler, 1,8-3 m çapında 4-6 mm kalınlığında dairesel bir disk etrafına tutturulmuş, soketlerle kesim yapan, dönme hızları yüksek olan makinelerdir. Maksimum kesme derinliği disk çapına göre değişir. Bu makinelerle çalışmanın avantajları şu şekilde sıralanabilir;

1. Makine ilk yatırım maliyeti düşüktür

2. Düzensiz blokların verimli kesilmesi ve ekonomiye kazandırılması daha kolaydır.
3. Küçük miktarlarda üretim için uygundur.
4. Yarı mamul ve mamul elde edilmesinde avantajlıdır.
5. Dairesel testere ve blok tablasının hareketi sonucu çok eksenli kesim yapma esnekliğine sahiptir.
6. Değişik kalınlılarda plaka kesimine olanak sağlar.

1.2.5. Kafa (Baş) Kesme Makineleri

Kafa (Baş) kesme makinesi, S/T makinelerinden gelen levhaların bozuk olan uç kısımlarının düzeltilmesi amacıyla kullanılan makinelerdir. Yaklaşık 75 cm genişliğe kadar kesme yapabilirler. Bu makinelerin S/T makinelerine yakın olmaları gerekir aksi takdirde iş gücü veriminin düşmesine neden olur. Bu tip makinelerin çok çeşitli tipleri mevcut olup makineyi kullanan kişinin yüke giriş çıkışlarda hızı kesmesi ve kesim hızının malzemenin cinsine göre yapması gerekir.

1.2.6. Cilalama (Polisaj) ve Ebatlama Makineleri

Bantlı silme ve cilalama makineleri ile kesintisiz düzeltme, silme ve cilalama işlemleri yapılabilmektedir. Mermer plakaları sürekli dönen bir bant üzerinde hareket etmektedir. Silme ve cilalama işlemlerinin sağlıklı yapılabilmesi için plakaların arasındaki kalınlık farklarının giderilmesi gerekir. Bu nedenle plakalar önce kalibratörlerde düzeltilmekte, daha sonra yüzey pürüzlülükleri abrasivlerle giderilerek parlatılmaktadır.

Cilalanmış ürünlerin ebatlanması, fayans boyutlarının hassasiyetle sağlanması ebatlama ya da çoklu kesme makinelerinde yapılmaktadır. Fayans dışı özel ürünlerin ebatlanmasında da kullanılabilir. Hareketli bir gövde üzerinde bulunan ve en az iki testereden oluşan, her biri bağımsız güç ünitelerince kontrol edilen makinelerdir. Kesme hızları soketlerin durumuna, doğal taşın jeolojik ve fiziko-mekanik özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir (Onargan, vd., 2005).

1.2.7. Mekanik Darbeli Yüzey İşleme Yöntemi

Mekanik yüzey işleme uygulamaları, doğal taşın mineralojik, petrografik ve jeomekanik (yapı, doku, porozite gibi) özellikleri ile ilgili olarak uygulamayı iyi kabul edip etmemesine göre seçilen işleme yöntemleridir. Normal olarak darbe kuvvetlerini taşıyabilmeleri için bu tip ürünlerin kalınlığı fazla olmalıdır. Darbe uygulamaları ile malzemenin mekanik özellikleri zayıfladığından kalınlıktaki artış dayanım açısından bir avantaj teşkil eder. İşlem, yüzeyde oluşacak kırıkların düzgün bir biçimde dağılımını sağlayacak şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Çalışılan yüzeylerin küçük olması, üretim miktarının düşük olması ve çalışılacak yüzeyin çok kompleks olması işlemin uygulanabilirliğini artırır. Daha çok dış mekan uygulamalarında heykel, basamak, kaldırım kenarı, kaldırım döşemesi, bina kaplaması olarak kullanılacak malzemelerin elde edilmesinde kullanılır.

1.2.8. Isıl Yüzey İşleme Yöntemi

Alev yakma olarak da bilinen bu yöntem, yüksek sıcaklıktaki alevin tekli veya çoklu alev demeti şeklinde yüzeye püskürtülmesi esasına dayanır. Yakma işlemi esnasında kayaç malzemesi sıcaklığı 2500 °C'ye varan ısıl jete maruz kalır. Yöntem esas olarak yanmayı destekleyen oksijen ve yanıcı olarak propan ve tretenin oluşturduğu alev jetinin doğal taşta uygulamasından ibarettir. Uygulama yapılan yüzeyde, camlaşma ve patlamalar sonucunda karakteristik kaba ve kabartmalı bir görünüm oluşur (Kulaksız, 2005).

1.2.9. Lazerle Yüzey İşleme Yöntemi

Lazerle işleme, çok ince, görülemeyen bant aralığındaki yüksek yoğunluktaki konsantre ışık demetinin çok küçük bir alana (birkaç on mikron²) uygulanmasıyla, buradaki yüzey tabakasının kontrollü bir şekilde ısıtılarak yapısının değiştirilmesi esasına dayanır. İşlem, çarptığı yerde ani, bölgesel bir ısınmayı tetikleyerek, malzemenin çeşidine, ışık demetinin yoğunluğu ve uygulama süresine göre yüzeyin bu bölümünde erime, buharlaşma, renk değişimi, ya da diğer benzer değişikliklere yol açar Lazer demeti, bir lazer kaynağından yayılır ve türü malzemenin çeşidine göre seçilir. Son yıllarda, lazer

sistemleri özellikle yaya trafiğinin yoğun olduğu halka açık yerlerdeki döşeme fayanslarının kayganlığını azaltmak içinde kullanılmaktadır.

1.2.10. Kimyasal Yüzey İşleme Yöntemi

Kimyasal yüzey işleme yöntemi, doğal taşların fiziksel, mekanik ve görünüm özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan işlemleri kapsamaktadır. Doğal taşların yüzey işlenmesinde kimyasal kullanımı, doğal olarak çatlaklı zayıf olan doğal taşların sağlamlaştırılması, boşlukların doldurulması ile renk, yapı ve doku özelliklerinin iyileştirilmesi, sis, duman ve asit gibi dış etkilerin doğal taş üzerindeki etkilerinin azaltılması ve yüzey aşınmaya karşı direnç sağlanması açısından büyük avantajlar sağlamaktadır.

1.2.11. Su Jeti ile Kesme ve Yüzey İşleme Yöntemi

Su jeti ile doğal taşların işlenmesi denilince genellikle akla doğal taşların çok farklı formlarda kesilerek birbiri içerisine yerleştirilmesi ile oluşturulan desenler gelmektedir. Burada yapılan işlem yüzey işlemeden ziyade doğal taş kesme işlemidir. Yöntem yüksek basınçlı suyun bir başlıkla (meme) doğal taş yüzeyine verilmesi prensibine dayanır. Doğal taş görünümü doğal olarak kalır (Onargan, vd., 2005). Sistem son yıllarda mermer plakalarının, özellikle dekoratif amaçlı değişik şekillerde kesimi işleminde de kullanılmaya başlanmıştır. Burada yöntemin en önemli avantajlarından birisi, doğal taşı çok farklı şekillerde (eğri, zikzaklı ve benzeri kenarlı) kesmeye imkân sağlaması ve kesim aralığının çok dar olması sebebiyle kesilen parçaların birbiri içerisine boşluk kalmadan tam olarak oturabilmesine olanak sağlamasıdır. Oluşturulan desen ve motifler insan hayal gücü ile sınırlıdır (Kulaksız, 2005).

1.3. Su Jeti ile Kesme

Su jeti, çok farklı endüstriyel ihtiyaçlar için kullanılabilen, esnek olduğu kadar da verimli bir kesme ve temizleme yöntemidir. Su jeti ile kesme işleminde, geleneksel işleme süreçlerinde kullanılan kesme işleminde oluşan ısı ile etkilenen kısımlar, zehirli gazlar, bozulmuş katmanlar, sertleşme ve termal gerilmeler önlenir. Ayrıca daha doğru ve düzgün

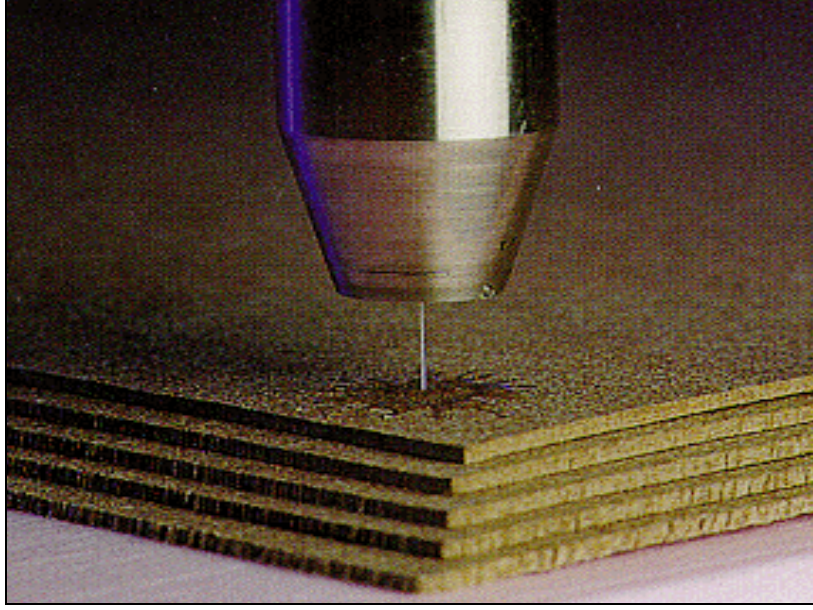
kesmeyi mümkün kılan bir yöntemdir. Tortu ve kalıntılar ile zehirli kimyasalları temizleyerek pahalı temizleme ve atık giderme problemlerini ortadan kaldırır. Su jeti çok çeşitli atölye içi ve dış ortamlarda uygulamalar için tercih edilebilir, emniyetli ve ekonomik bir kesme sistemidir. Yöntemin doğal taşların kesilmesinde kullanımı açısından bir avantajı da kesme kaybı azaltılmasıdır.

Basınçlı su jetlerinin en yaygın kullanım alanı bulunduğu yer ise daha çok sert, dayanıklı ve geleneksel kesme yöntemleri ile kesilmesi ya da işlenmesi zor olan malzemelerin kesildiği ya da işlendiği alanlardır. Daha önceleri yumuşak malzemelerin (gıda, kâğıt, köpük, tahta v.b.) kesilmesi veya işlenmesinde saf su jetleri kullanılırken son yıllarda geliştirilen teknoloji ile birlikte aşındırıcı su jetlerinin sert ve dayanıklı malzemelerin kesilmesi ve işlenmesinde kullanılması yaygınlaşmıştır (Alitavoli ve McGeough, 1998).

Değişen malzeme özelliklerinde kullanılacak iki farklı su jeti tasarımı mevcuttur; Saf Su Jetleri ve Aşındırıcı Su Jetleri.

1.3.1. Saf Su Jetleri

Saf su jetleri, genellikle sabit basınç altında işlenebilen yumuşak malzemeler ile suyun ilettiği basıncın etkisi ile yapısında mikro düzeyde kırıklar meydana gelen, gevrek malzemelerin kesilmesi ve işlenmesinde kullanılır (URL-2, 2006). Bu sistemde su, bir çift etkili pistonlu pompa vasıtasıyla basınçlandırılarak sabit bir su jeti akışı elde etmek için basınç düzenleyicisinde (akümülatör) toplanır. Basınç düzenleyicisinden gelen su 0,4–1,2 mm çapındaki bir borudan geçmeye zorlanarak su jetinin oluşturulması sağlanır. Böylelikle elde edilen yüksek hızlı su jeti düzgün ve temiz bir kesme işlemi yapmaya imkân sağlar. Bu metotla dar kenarlar ve düzensiz parçalar kesilebildiği için malzemenin maksimum verim elde edilir.

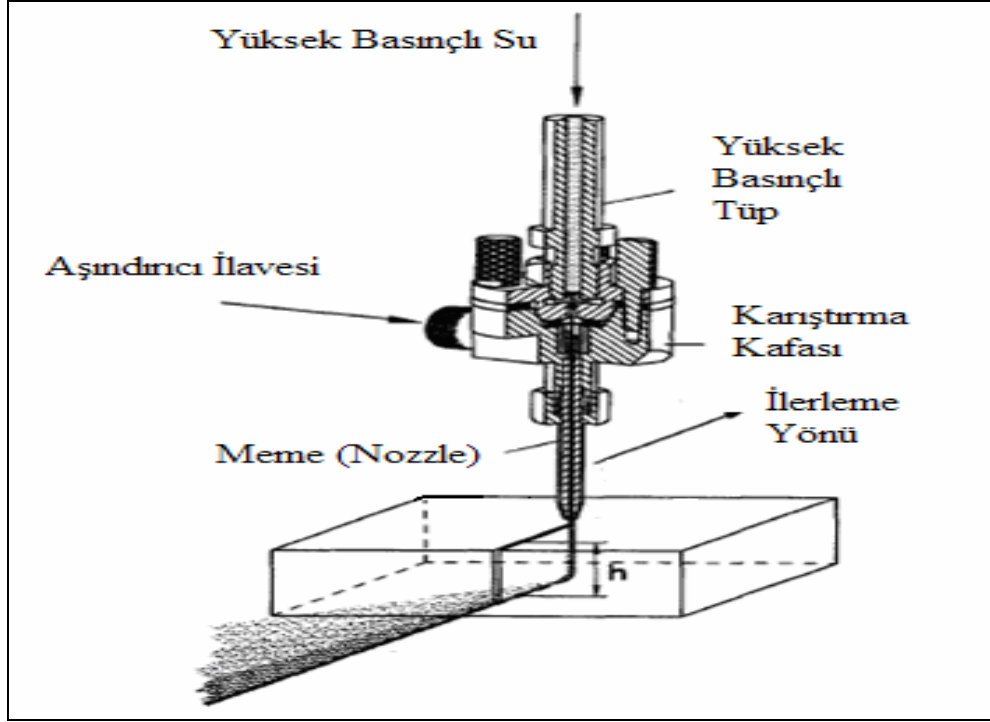


Şekil 1.1. Saf su jeti ile malzeme kesilmesi (URL–2, 2006).

Saf su jeti ile kesme; kâğıt, tekstil ürünleri, plastik, mukavva, ahşap ve benzer malzemelerde diğer kesme ve işleme metotlarından farklı olarak zarar vermeden çalışma olanağı verdiği için üretim oranlarının artmasını da sağlar. Saf su jetleri ile kesilebilen malzemeler başlıca dondurulmuş gıdalar, halı, ince levhalar, ince mum, kâğıt, köpük, mantar, plastik film, sunta, yumuşak kauçuk, poliüretan ve ahşap malzemeler olarak sıralanabilir.

1.3.2. Aşındırıcı Su Jetleri

Saf su jeti ile kesme plastik, mukavva, ahşap gibi yumuşak malzemelerin kesilmesinde yeterli olmasına rağmen metal, cam, mermer yada granit gibi sert ve dayanıklı malzemelerin kesilmesi için yeterli değildir. Bu tür malzemelerin kesilmesi veya işlenmesinde ise aşındırıcı su jetleri kullanılır. Bu sistemde sert ve dayanıklı malzemeleri kesmek için su jetine % 30 oranına kadar, aşındırıcı özelliğe sahip silisyum karbür, kum, cam parçacıklar ya da garnet/granat ilave edilir. Su jetine ilave edilen bu katı parçacıkların boyutları 10–150 μm arasında değişir (URL–2, 2006).



Şekil 1.2. Aşındırıcı ilavesi olan su jeti kesme kafası (Momber ve Kovacevic, 1997).

Aşındırıcı su jeti ve saf su jeti ile kesme sisteminin çalışma prensibi arasındaki tek fark, aşındırıcılı sistemde su jetine aşındırıcı malzeme ilave edilmesidir. Sisteme ilave edilen aşındırıcı malzeme, yüksek basınçlı suyun kesme hızını ve etki kabiliyetini büyük oranda artırır. Bu yöntemde, plazma kesme gibi bazı sistemlere nazaran hızlı olmamasına rağmen, kesme işleminden sonra kesilen parçanın ikinci bir kesme veya düzeltme işlemine tabi tutulmasına gerek kalmaz. Ayrıca çok ufak parçalar kesildiğinde çok az malzeme kaybı oluşturması nedeniyle avantajlı kesme olanağı sağlar. Yine bu yöntemde suyun kullanılması, kesme takımı ve malzeme arasındaki temasın sebep olduğu sürtünmeyi ortadan kaldırdığından, kesme esnasında malzemede meydana gelen ısıl gerilmelerin zararları da önlenmiş olur. Aşındırıcı su jeti ile dar kenarlar ve düzensiz şekilli parçalar kesilebildiği için malzemeden maksimum oranda istifade edilebilir. Aşındırıcı su jeti ile 1,6 mm ile 305 mm aralığında değişen kalınlıklarda malzemeler $\pm 0,13$ mm hassasiyetle kesilebilir. Uygun bir hareket kontrol sistemi ile geniş bir malzeme ve şekil aralığında, yüksek derecede tekrarlanabilir. Hassas doğrultuda kesme işlemi yapılabilir. Karmaşık şekiller ve cam gibi kırılgan malzemelerin kesilmesi için aşındırıcılı su jetleri ideal bir

kesme yöntemidir. Kırılgan malzemelerin diğer yöntemlerle kesilmeleri sırasında görülen köşelerde çentik ve kırılma gibi kesme kusurları bu yöntemde meydana gelmez. Alüminyum, bakır, cam, granit, mermer, traverten, karbon elyafı, kompozit malzemeler, her çeşit çelik, polikarbonat, seramik, sert kauçuk ve titanyum gibi malzemelerin kesilmesinde aşındırıcı su jeti yaygın olarak kullanılır.

1.3.3. Su Jeti ile Kesmenin Temel Esasları

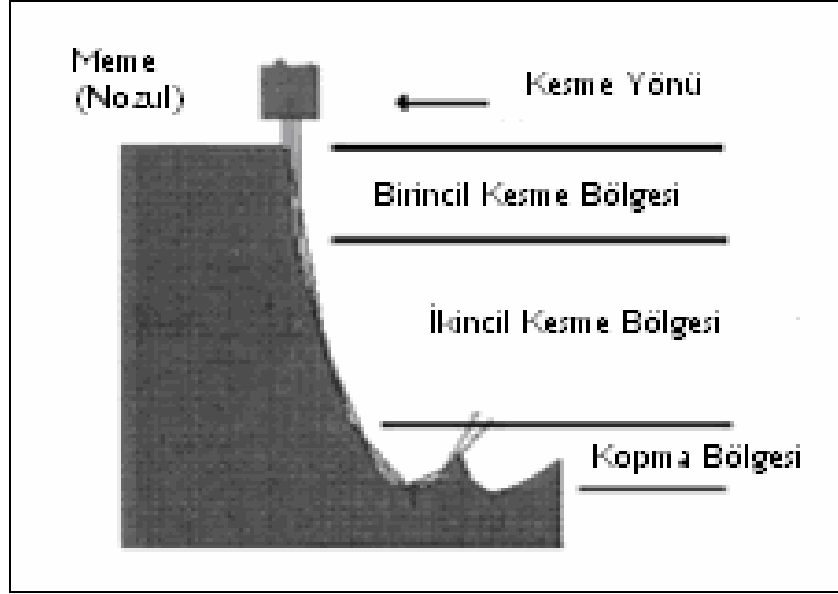
Su jeti ile kesme işleminde, küçük hacimdeki su, özel bir pompa ile yüksek bir basınca çıkarılıp 0,4-1,2 mm çapındaki bir borudan (nozzle/meme) geçirilerek malzemeye yöneltilir. Bu işlem memeden çıkan suyun hızını 900 m/sn'nin üzerine çıkarır. Bu yüksek hızlı su jeti, kesilecek malzemeye belirli bir mesafeden gönderildiği zaman kesme işlemi gerçekleşir. Su jetinin yüksek hız nedeniyle kazandığı kinetik enerji suyun katı cisim gibi davranışına neden olur (Ogan, 2001).

Su jeti ile kesmede minimum jet basıncı malzemenin maksimum basınç mukavemetine eşit veya yüksek olmalıdır. Su jeti basınç değerinin kesilecek malzemenin basınç değerinden yüksek olması, kesmeye maruz kalan malzemede yüksek hızlı erozyon oluşturur. Oluşturulan bu erozyonla uzaklaştırılan parçacıkların çapı 0,1 mm ile başlayıp arttırılan meme çıkış çapı ile orantılı bir şekilde artar (Geren ve Şahin, 1995).

Kesme işlemini oluşturan parametrelerin değiştirilmesi ile kesme işleminin performansı denetlenebilir. Akışkan/aşındırıcı cinsi, karıştırma, su jetinin çapı ve basıncı, aşındırıcı parçacıkların debisi, malzeme ile meme arasındaki mesafe bu parametrelere dâhildir.

1.3.3.1. Kesme Aşınması

Kesme işleminin esasını aşınma oluşturur. DIN 50320'de katı cisimlerin yüzeylerinden daha çok mekanik enerji etkenleriyle küçük parçacıkların ayrılması sonucu, yüzeylerinin istenilmeyen şekil değişikliği aşınma olarak tanımlanır. Kesme işleminde aşınma, iki bölgeden oluşur. Birincisi kesme aşınmasıdır ve mikro işlemede olduğu gibi parçacıkların yüzey (temas) açısında çarpmasıyla malzeme uzaklaştırılır. Küçük kesme derinliğinde parçacık hızındaki değişiklik ile jetin yayılmasının ihmal edilebilirliği ve aşındırıcı debisinin kesite düzgün dağıldığı kabul edilir.



Şekil 1.3. Su jeti kesme aşamaları (Lemma, vd., 2005).

V , parçacık hızı momentum denkleminde bulunmaktadır;

$$V = \frac{k \cdot V_i}{1 + I_r}$$

[1]

Burada,

k : Karışım verimi (%)

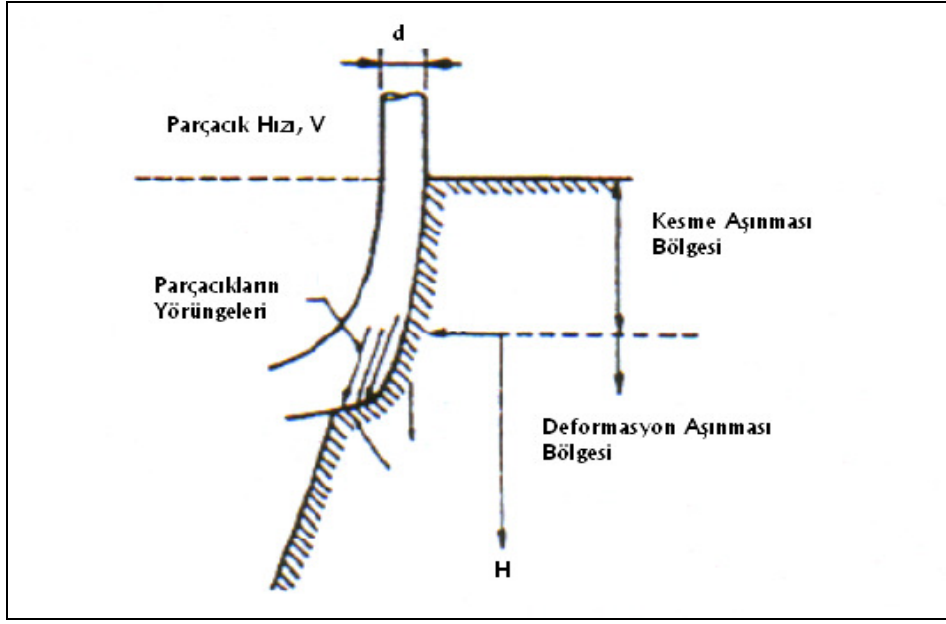
V_i : Su jetinin meme çıkış hızı (m/sn)

I_r : Yükleme oranı

Kesme aşınması esnasında su jetinin yüzeye α açısı ile çarptığı, malzeme uzaklaştırma hızının parçacık hızına ve kütle debisine bağlı olduğu kabul edilir.

1.3.3.2. Deformasyon Aşınması

Kesme işleminde aşınmanın meydana geldiği ikinci bölge ise deformasyon aşınmasıdır. Burada malzeme, büyük açılarda çarpan parçacıkların aşırı plastik deformasyonu ile ayrılmaktadır. (Yazıcıoğlu, vd., 1993).



Şekil 1.4. Kesme ve deformasyon aşınmaları (Yazıcıoğlu, vd., 1993).

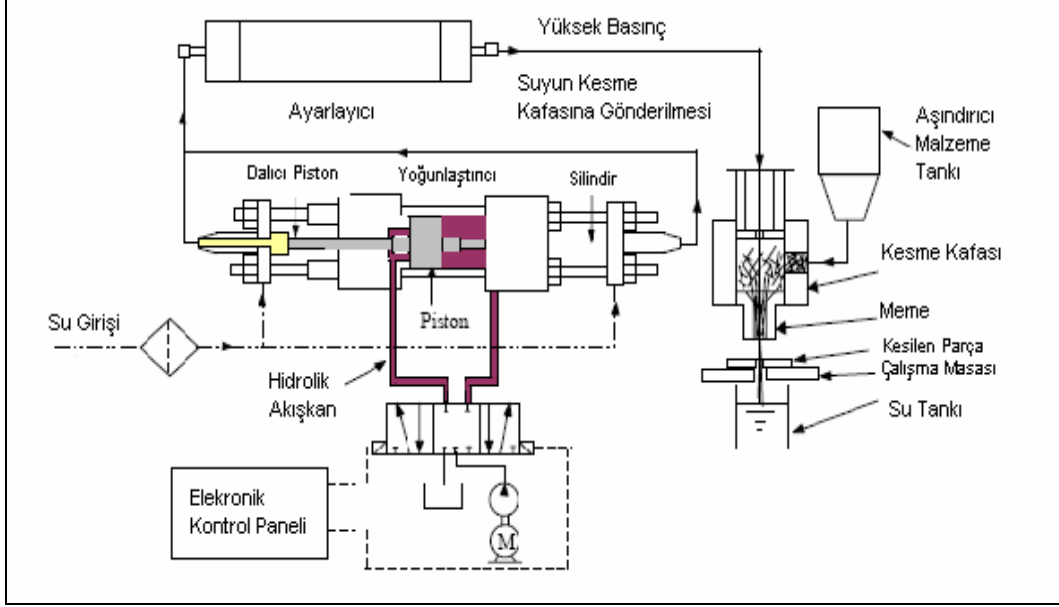
1.3.4. Kesme Makinesi

Su jeti ile kesme işleminde yüksek kesme hızlar, bazı sistem elemanları ile elde edilir. Sistemin belli başlı elemanları şu şekilde sıralanabilir (Yazıcıoğlu, vd., 1993);

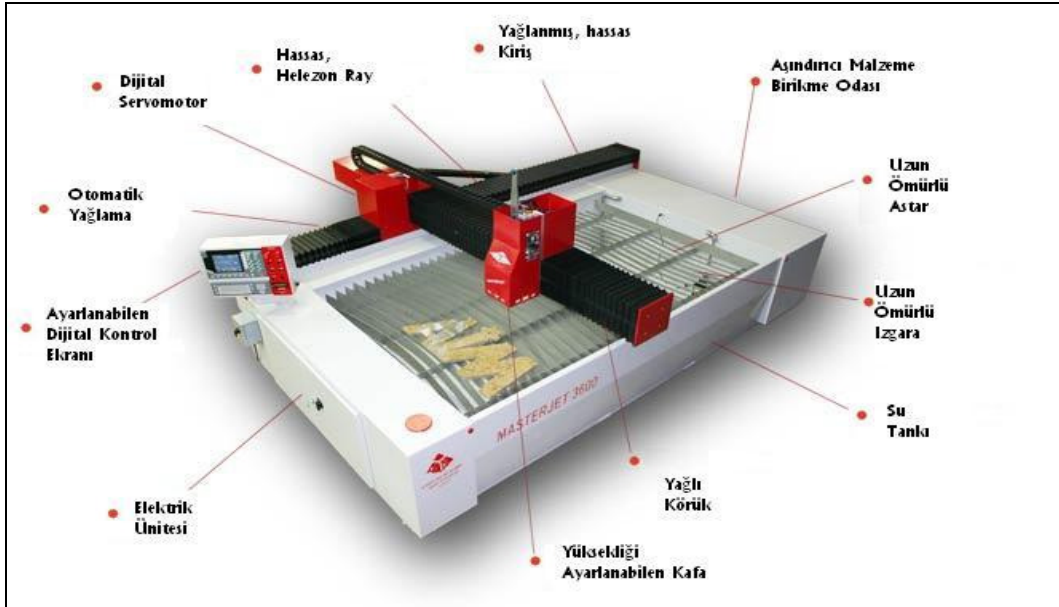
1. Su arıtma sistemi
2. Su pompası
3. Su filtresi
4. Çift taraflı çift etkili pistonlu silindir
5. Hidrolik pompa
6. Hidrolik yön kontrol valfleri ve elektronik kontrol sistemi
7. Aşındırıcı ünite (kesme metoduna bağlı olarak seçenekli)
8. Boru ve bağlantılar

9. Meme (Nozzle)

10. Talaş ve atık toplama ünitesi



Şekil 1.5. Su jeti ile kesme sistemi şematik görünümü (Akkurt vd., 2004).



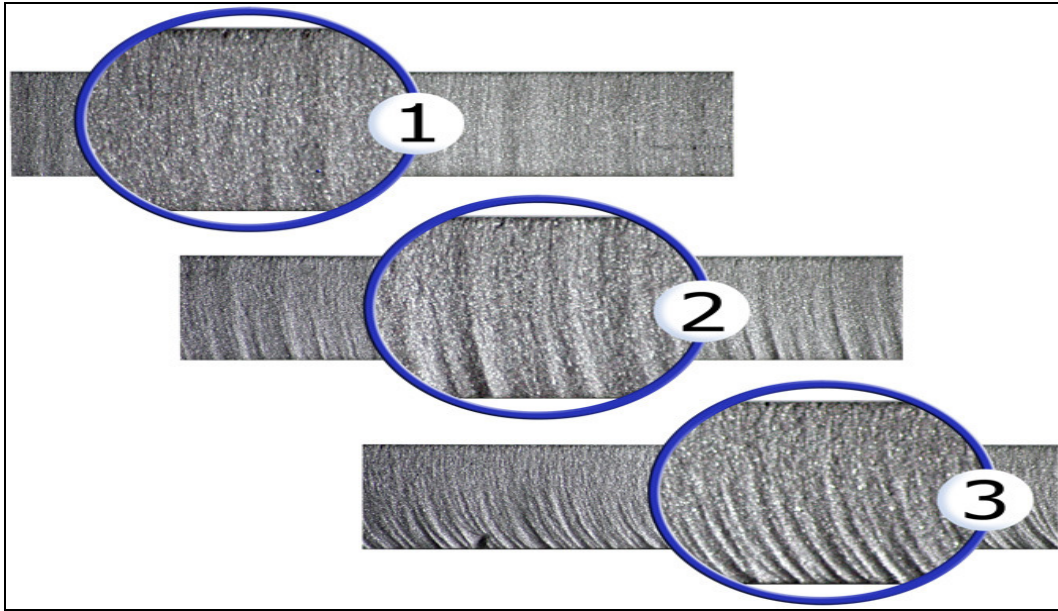
Şekil 1.6. Su jeti kesme makinesi genel görünümü (URL-5, 2006).

Sistemdeki su pompası, yaklaşık 30 kW gücünde bir elektrik motorundan güç almakta, hidrolik sistemde dolaşan yağ basıncını belirli bir değere çıkarmaktadır. Sistemde yoğunlaştırıcı (intensifier) adı verilen çift taraflı çift etkili bir hidrolik piston mevcuttur.

İleri geri hareket eden çift etkili hidrolik silindirden belirli bir değerdeki basınçlı suyu olarak maksimum basınca çıkarabilmektedir. Daha sonra yüksek basınçlı su basınç düzenleyicisine gönderilir. Burada basınç düzenleyicisinin görevi, akışın basıncını yüksek tutmak ve basınçtaki değişmeyi önlemektir. Bir başka deyişle ileri geri hareket eden pistonun yön değiştirmesi sırasında çıkış basıncının sabit değerde kalmasını ve suyun hızının düzgün olmasını basınç düzenleyicisi sağlar. Yüksek basınçtaki su, çapı 6–14 mm arasında değişen borularla kesme başlığına taşınır ve çıkış borusuna gönderilir (URL – 2, 2006).

1.3.5. Su Jeti Kesme Kalitesi

Su jeti ile kesme sistemlerinde, kesme yüzeylerinin kalitesi, suyun basıncı, aşındırıcı miktarı ve akışı, ilerleme hızı, malzeme kalınlığı ve meme titreşiminin bir fonksiyonu olarak değişim gösterir. Şekil 1.7’de 1, 2 ve 3 seviyeleri olarak tarif edilen üç değişik kalitede kesilmiş yüzeyler gösterilmiştir. Yüzeyin kalitesi (pürüzlülüğü) ilerleme hızının artması ile azalmaktadır (URL–4, 2006).



Şekil 1.7. Su jeti ile kesme yönteminde kesme yüzey kalitesi (1:Yüksek Kaliteli, 2: Orta Kaliteli, 3: Düşük Kaliteli)

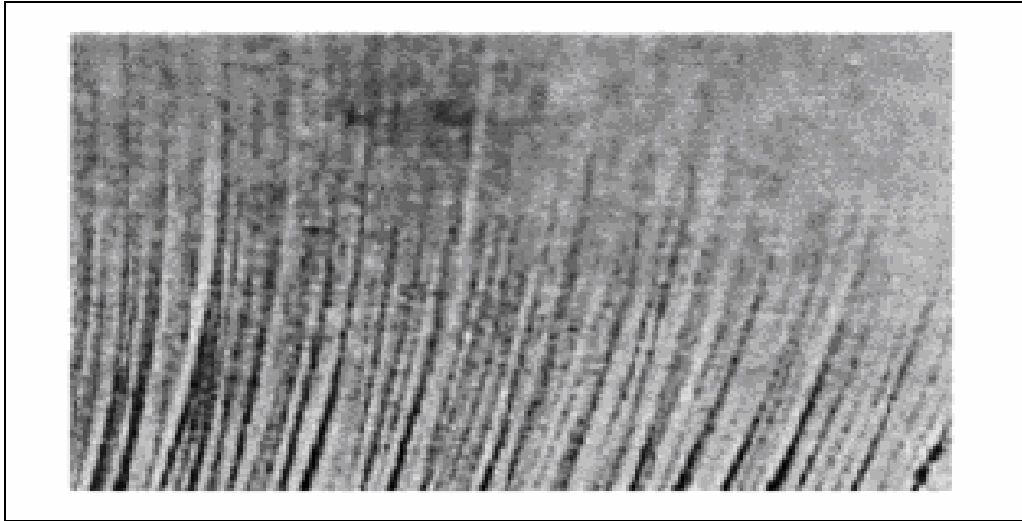
1 ile gösterilen kesme kalitesi, düzgün ve minimum pürüzlülük ya da dalgalı yüzey istendiği durumlarda elde edilen kesme yüzeyidir. Bu şekilde kesilmiş parçalar başka bir yüzey düzeltme işlemi uygulanmadan bu halde birçok uygulamada kullanılabilir.

2 ile gösterilen kesme kalitesi, bazı kabartılar ve çıkıntılar önemli olmadığı yerlerde kullanılmak üzere elde edilen bir kesme yüzeyidir.

3 ile gösterilen kesim kalitesi, en kaba ve ucuz kesme yüzeyidir. Daha sonra işlem görecekt parçaların kesilmesinde bu kesme kalitesi tercih edilir.

Elde edilen kesme kalitesi, yüzey pürüzlülüğü, düzlemsellik, diklik gibi özelliklerin ölçülmesiyle belirlenebilir. Farklı malzemelerin kesilmesinde elde edilen yüzeylerin genel makro özelliklerinde büyük farklılıklar yoktur. Örneğin camın kesilmesiyle elde edilen yüzey, metal veya seramiklerle aynıdır. Akışa dayalı kesme işlemlerinin hepsinde (su jeti, lazer v.b.) elde edilen yüzeyler paralel hatlar şeklindedir (Şekil 1.8.). Ancak mikro düzeyde malzeme incelendiğinde her bir yöntemde etkin olan kesme mekanizması farklı olduğundan yüzeyin mikro özellikleri birbirinden farklılık gösterir.

Su jeti ile elde edilen yüzey kalitesini belirleyebilmek için kesilen yüzeyler incelendiğinde, bu yüzeylerin akışa dayalı farklı yöntemlerle elde edilen yüzeylere görüntüde benzedikleri anlaşılır. Yüzey pürüzlülüğü, yüzeydeki dalgalanma ile tanımlanır, dalganın büyüklüğü çıkış borusu çapı ile orantılıdır (Juo vd., 1993).



Şekil 1.8. Akışa dayalı kesme sistemlerinde elde edilen yüzey görüntüsü (Vikram ve Babu, 2002).

Kaliteli bir kesme istendiğinde çalışma parametreleri, deformasyon aşınması bölgesine girilmeden kesme yapacak şekilde düzenlenmelidir. Parametrelerin bu tarzda düzenlenmesiyle istenmeyen parçalanmalar önlenmiş olur. Yeterince düşük bir hızın seçilmesiyle kesme işlemi esnasında meydana gelecek parçalanmalardan oldukça uzak kalınır. Aşındırıcı malzeme boyutlarının küçültülmesi, akış esnasında aşındırıcı miktarının artırılması yüzey pürüzlülük değerinin düşmesine neden olacaktır. İri boyutta aşındırıcı kullanılması kesme bölgesinin daha pürüzlü olmasına neden olacaktır.

Akış esnasında aşındırıcı miktarının artırılması veya ilerleme hızının düşürülmesi kesilen birim yüzeye çarpacak tane sayısını artırır ve daha kaliteli bir yüzeyin elde edilmesini sağlar. Daha büyük ilerleme hızlarının kullanıldığı kaba kesme işlemlerinde, yüzey üzerinde üç bölge de (Şekil 1.7.) görülebilir. Üçüncü bölgede sapmayla birlikte birbirine paralel hatların oluşması, ilerleme hızının değişmesi, aşındırıcı besleme oranı, sıvı basıncı ve seçilen meme geometrisi gibi parametrelerin etkisi altındadır. Kaba kesme işlemlerinde aşındırıcılar alt kısımlarda oyuk ve cepheler oluşturarak buralarda birikir ve gömülürler. Parça içerisinde kalan bu tanelerin işlem yapılırken kesici takıma zarar vermesi söz konusudur.

1.3.6.Su Jeti ile Diğer Kesme Sistemlerinin Karşılaştırılması

Ocaklarda üretilen blokların kesilerek şekillendirilmesi sırasında uygun kesicilerin ve kesim şeklinin tasarımı büyük öneme sahiptir. İşleme tesisine gelen doğal taş bloğunun mineralojik, petrografik ve fiziksel özelliklerine göre kesme sistemi seçimi yapılmalıdır. Kesme ya da yüzey işleme yönteminin doğru seçimi, işletme maliyeti açısından önem taşımaktadır.

Su jeti ile yapılan kesme ya da yüzey işleme de en önemli özellik ısıl gerilmelerin ortaya çıkmamasıdır. Bundan dolayı, lazer gibi diğer kesme sistemlerinde kesme anında oluşan ısının malzemeye zarar vermesi söz konusu olduğundan su jeti teknolojisi bu tür malzemelerin kesilmesinde tercih edilmektedir (Lemma vd., 2005). Ayrıca plazma kesim yönteminde olduğu gibi kesilen yüzeylerde aşırı cüruf oluşmasına neden olmadığı için ikinci bir yüzey işleme sürecine ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır. Bu da maliyet üzerinde önemli avantajlar sağlar. Su jeti kesme sistemleri diğer sistemlerle karşılaştırıldığında bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir (Karakurt vd., 2006). Sistemin kullanımını sınırlayan ve

diğer kesme sistemlerini avantajlı hale getiren bir takım özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Kesme işlemi için harcanan süre kesme maliyetinin artmasına neden olacak şekilde uzundur.
2. Çok kalın malzemelerin kesilmesinde istenen şeklin elde edilmesi zordur
3. Çok sivri ya da gittikçe incelen malzemelerin kesilmesi problemlidir.
4. İlk yatırım maliyeti oldukça yüksektir.

Su jeti teknolojisi ile çalışmanın sayılan bu dezavantajların yanı sıra aşağıda verilen koşul ve durumlarda su jeti kesme sistemleri bazı avantajlara sahiptir;

1. Delme ve kesme işlemleri birlikte yapıldığı için kısa sürede üretime geçilebilir.
2. Sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı sağlar.
3. Sistem otomatik çalıştığından bir operatörün sürekli kontrolüne gerek yoktur.
4. Ocak işletmeciliğinde, çok düzgün ve istenen boyutta blok mermer ve granit üretimine olanak sağlar.
5. Kesme işlemi esnasında, malzeme ısı gerilmelerin oluşması söz konusu değildir.
6. Malzeme kaybı oldukça azdır.
7. Diğer kesme sistemlerine göre daha hafif ekipmanlar kullanılır.
8. Kurma ve sökme kolaylığına sahiptir.
9. Kesme işlemi su ile yapıldığından yanıcı ve tehlikeli malzemelerin kesilmesi daha rahat yapılabilir.
10. Düzgün kesme yüzeyleri elde edilir
11. Kesici uç problemi yoktur.
12. İşlem sırasında uygulanan kesme kuvveti düşüktür.

Su jeti ile kesme sistemleri, birçok kesme yöntemleri arasında en fazla çevre dostu olan kesme yöntemidir. 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 kesme sistemleri gibi duman ve kirlilik meydana getirmez.

1.3.7. Su Jeti Kesme Sistemlerinin Endüstrideki Uygulama Alanları

Su jeti ile kesme yönteminin, birçok sektörde üretimi kalite ve hız yönünden arttıran ve bunun sonucunda maliyetleri düşüren kullanım alanları vardır (URL-3, 2006).

1.3.7.1. Gıda Endüstrisi

Gıda endüstrisinde çok yaygın kullanım alanları bulan su jeti ile kesim sistemleri, temiz kesim yöntemi nedeniyle yiyecek ve gıda parçalarının metal bıçaklara yapışması olanağını ortadan kaldırmıştır. Çikolata kesiminden balık ve donmuş gıdaların kesimine kadar her çeşit gıda maddelerin kesilmesi su jeti kesme sistemleri ile mümkün hale gelmiştir.

1.3.7.2. Tekstil Endüstrisi

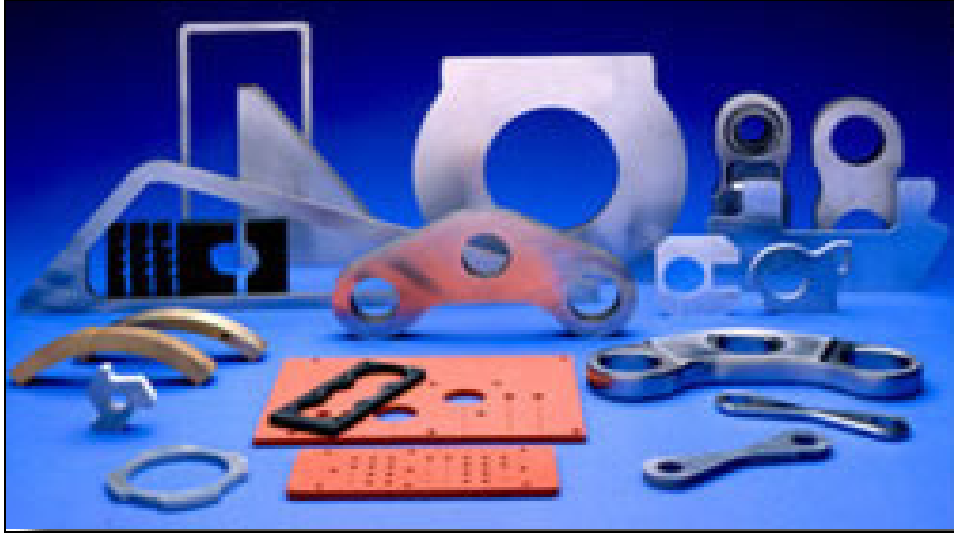
Tekstil ürünleri esnek ve yumuşak bir yapıya sahip olmaları nedeniyle malzeme ilerletme ve kesme işlemlerinde zorluk yaratırlar. Klasik bıçakla kesme yöntemine göre su jeti ile kesme sistemi tekstil ürünlerinin kesilmesinde kolaylık sağlar. Lünenin bilgisayar kontrollü X-Y düzlemlerinde hareketli bir tablaya bağlanmasıyla da çok karışık şekilli kesme işlemi klasik kesme tezgâhlarında olduğu gibi bıçak değiştirmeye gerek duyulmadan gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda çocuk bezleri de bu metot kullanılarak kesilmekte ve kesilen kısımların yumuşak ve kabarık şekilde kalması sağlanmaktadır.

1.3.7.3. Elektronik Endüstrisi

Basılı devre olarak bilinen Printed-Circuit Board (PSB), epoksi-cam, kâğıt içerikli, polyamid, teflon ve levha malzemelerinden herhangi birinden imal edilmekte ve genelde birleşik olarak imal edilen bu basılı devreler daha sonra su jeti kullanılarak kesilmektedir.

1.3.7.4. Paketleme Endüstrisi

Su jeti ile aşındırıcı malzeme kullanılmadan karton, mukavva, petek malzemeler, köpük, lastik ve poliüretan köpükleri gibi yumuşak malzemeler işlenebilmektedir. Başlıca uygulama alanları ise takım çantaları, narin, hassas parçaların ambalajlarıdır.



Şekil 1.9. Su jeti ile kesilmiş çeşitli malzemeler

1.3.7.5. Plastik Endüstrisi

Sert, yoğun ve cam gibi yapıya sahip olan plastik malzemelerin kesitleri boyunca kesilmesi verimli bir şekilde gerçekleştirilememekle birlikte diğer tip plastik malzemeler çok iyi bir şekilde kesilebilmektedir. Poliüretan, seramik, fiberglas, laminantlar, grafit, kauçuk gibi malzemelerin kesilmesi verimli bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu malzemelerin bazıları aşındırıcı su jeti ile kesilmesine rağmen çoğu saf su jeti ile kesilmektedir.

1.3.7.6. Metal Endüstrisi

Su jeti ile kesme sistemleri, en yaygın kullanım alanını, çeşitli metal malzemelerin kesilmesinde bulmuştur. Bunun nedeni ise kesme esnasında yüksek ısı oluşmaması ve malzemelerin kristal yapısının bozulmamasıdır. Uygulama alanı kalaydan tungsten karbüre

kadar olan geniş bir yelpazeyi içine alır. Su jeti teknolojisi kullanılarak her tipte metalin işlenmesi yapılabilir. Alüminyum, yumuşak çelikler, paslanmaz çelikler, titanyum ve pirinç yaygın olarak bu alanda işlenebilen metallerdir. Büyük parçalar çarpılma ve eğrilik olmadan işlenebilir. Basınç altında çalışan malzemeler, uzay endüstrisinde kullanılan alaşımlar ve tıbbi parçaların zayıflatılmadan ve kirletilmeden bu yolla işlenmesi söz konusudur.

1.3.7.7. Cam Endüstrisi

Su jeti kesme sistemlerinin bu kadar ilerlemediği zamanlarda cam imalatındaki seçenekler sıcak dökümle sınırlı idi ve iyiler seçilip kötü çıkan ürünler kırılıp öğütülmekte idi. Günümüzde ise karmaşık ve düzgün işlenmesi gereken cam parçaları 0,8 mm ile 100 mm arasındaki kalınlıklarda su jeti teknolojisi ile işlenebilmektedir. Kurşungeçirmez cam ve dekoratif parçalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3.8. Literatür Özeti

Kullanım alanı son yıllarda genişleyen su jeti ile kesme yöntemi ile ilgili araştırmalar farklı malzemelerde elde edilebilecek kesme performansı yada belli bir malzemenin kesilmesi için optimum çalışma parametrelerinin tanımlanması, farklı malzemelerde su jeti ile kesmenin mekanizması ve kesme kalitesinin etkileyen malzeme ve çalışma parametrelerinin tanımlanması olarak yapılmıştır. Erken dönem çalışmaları yöntemin geleneksel kesme yöntemlerine göre verimli kesme sağladığı ortak sonucunu göstermektedir. Ancak su jeti ile kesmenin henüz gelişme aşamasında bir yöntem olması nedeniyle yapılan çalışmaların henüz genel konular üzerinde yoğunlaştığı söylenebilir.

Literatürde su jeti ile kesme teknolojisinde, kesme sırasında kullanılan elemanlardan pompaların çalışma şartlarına, madencilik endüstrisinden gıda endüstrisine, işlenmesi zor metallere cam gibi kırılabilir malzemelerin kesilmesi ve işlenmesine kadar geniş bir yelpazede çalışmalar bulunmaktadır. Su jeti kesme sistemlerinin kayaçların kesiminde kullanılabilirliğini araştıran az sayıda araştırmacı başlıca kesme mekanizmasının açıklanması ve optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi üzerinde durmuşlardır (Vijay, 1995; Liu ve Chen, 2002, Miranda ve Quintino , 2005 ve Huang vd., 2006). Vijay, 1995; Bortolussi vd., 1988; Hagan, 1992; Miranda ve Quintino, 2005; Liu ve Chen, 2002;

Huan vd., 2006; Savanick ve Krawza, 1996; Summers ve Peters, 1974; Momber, 2003; Ma ve Deam, 2006) yüksek basınçlı su jeti ile kesme performansını etkileyen çalışma parametrelerini araştırdığı çalışmada kesme kalitesinin özgül enerji ile değişimini incelemiştir. Çalışmada, granit ve benzeri kayalarda yüksek basınçlı su jeti ile düzgün yüzeylere sahip kesme ya da delme yüzeyleri için etkin parametreler belirlenmiştir.

Su jetli kesme sistemlerinin kayaların kesilmesinde kullanılabilirliği konusunda erken dönem çalışmalarından birisi Bortolussi vd. (1988) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bortolussi vd. su jeti sistemlerinin granitlerin kesilmesindeki performansını araştıran ilk araştırmacılar arasında yer almaktadır. Araştırmacılar, ilk aşamada, saf su jeti sistemlerinin kesme performansını etkileyen parametreleri belirlemişlerdir. Daha sonra bu parametreler ile su jeti sistemlerinin kesme performansı araştırılmıştır. Sonraki aşamada aşındırıcı ilavesinin oluşturduğu performans değişimi gözlenmiştir. Deney çalışmalarında kullanılan granit örnekleri farklı su jeti basınç değerleri, meme çapları, kesme hızları kullanılarak kesilmiş ve her bir aşamada kesme derinliği ile kesme genişliği ölçülmüştür. Bortolussi vd. (1988), yüksek basınçlı su jetlerinin granitlerin (ya da kayaların) kesilmesinde ticari olarak pratik bir kesme yöntemi olduğunu, ayrıca aşındırıcı ilavesinin granit kesme performansını arttırdığı gözlemlemişlerdir.

Hagan (1992), şeyl ve kumtaşı örnekler kullanarak gerçekleştirdiği araştırmada, çalışma parametrelerinin değişiminin kesme performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Hagan, kesme performansı üzerinde en etkin parametrenin jet basıncı olduğunu belirlemiştir. Su basıncından sonra önemli parametrelerin ise kesme (ilerleme) hızı ve meme çapı olduğunu kaydetmiştir. Meme çapının en önemli etkisinin kesme genişliği üzerindeki belirleyiciliği olduğunu ifade eden Hagan (1992), kesme genişliğinin düşük basınçlarda artan meme çapı ile birlikte arttığı ancak bu artışın yüksek basınçlarda daha önemli değerlere ulaştığının vurgulanmıştır. Belli bir değerden (optimum meme çapı) sonra meme çapı artışının önemli bir etkisinin olmadığı ve optimum meme çapının basınç artışı ile artış gösterdiği de yapılan çalışmanın önemli sonuçlarındandır.

Miranda ve Quintino (2005), malzeme özelliklerinin kalkerli kayaların aşındırıcı su jeti ile kesilebilirliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Köken, yapı ve mekanik özellikleri farklı iki kireç taşı ile yapılan deneyler sonucunda iki kayacın farklı davranışlar gösterdiği gözlenmiştir. Kayaç sertliğinin ve boşluk oranının kesme performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilen çalışmada kesme/aşınma mekanizmaları için önemli bir ilişki belirlenmemiştir. Her iki kayacın kesilen yüzeylerinin düzgünlükler

farklılıklar göstermiştir. Kristalin mermerler gibi sert ve homojen malzemelerde kesmenin taneler arası değme yüzeyleri boyunca ve kalsitik tanelerin yerinden ayrılması şeklinde gerçekleştiği ortaya konulmuştur. Kireç taşında ise kesmenin tanelerin de kesildiği bir süre olarak geliştiği görülmüştür.

Liu ve Chen (2002) ise jet basıncı, aşındırıcı miktarı, kesme hızı ve jet çapı gibi parametrelerin kesme mekanizması ve kesme performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Granit örneklerin kullanıldığı deneylerde akustik yayılım (AE) ölçümleri ile farklı sinyal özellikleri analiz edilerek, yüksek yüzey kalitesi ve verimli kesme amaçları için bir kılavuz önermişlerdir.

Bir başka araştırmada Huang vd. (2006) granit örnekler kullanarak aşındırıcı su jeti sistemlerinin çalışma parametrelerinin kesme kalitesi ve kesme verimliliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla jet basıncının artırılmasının sadece yarı genişliğini arttırdığını belirten araştırmacılar yarı ağzındaki kavisliliğin azalan basınçla arttığını belirlemişlerdir. Yüzey kalitesi, kesme derinliği ve yarı ağzı kavisliliğinin kabul edilebilir değerlerde olmasını sağlamak üzere etkin parametrelerin bazılarının birlikte değiştirilmesini öneren araştırmacılar kesme yüzeylerindeki pürüzlülüğün kesme hızı ve basınç parametrelerinin kontrolünde değiştiğini belirlemişlerdir.

Savanick ve Krawza (1996), aşındırıcı su jeti sistemlerinin özellikle metal madenlerinde seçimli kazı çalışmalarında cevher yâda yan kayaç içerisinde patlatmaya yardımcı olabilecek delik yâda yarıkların oluşturulmak üzere kullanılmasının etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, aşındırıcı malzeme ilave edilmiş su jetlerinin saf su jetlerine göre daha az basınçla çalışabileceğini belirlemişlerdir. Saf su jeti ile kayaçta delik yâda yarı oluşturmak için gerekli basıncın kayaç basınç dayanımından büyük olduğu halde, aşındırıcı ilave edilmiş su jetleri ile daha düşük su basıncı değerlerinde etkin bir kazı ya da delme performansı elde edilmiştir. Bu tür delik delme yâda yarı oluşturmada fiziksel bir temas olmadığından geleneksel delme sistemlerinde olduğu gibi kayaç ile delici arasında bir etkileşim olmayacağı ve delme işleminin daha verimli yapılacağı belirtilmektedir. Bu sistemle gerçekleştirilen delme işlemlerinde bir delici uca gerek olmadığından uç aşınma probleminin de ortadan kalktığı öne sürüldüğü çalışmada araştırmacılar aşındırıcı su jeti ile daha küçük çaplı delikler açılabileceğini de belirlemişlerdir.

Barre graniti kullanılarak gerçekleştirilen bir deneysel çalışmada kayaç anizotropisinin su jeti ile kesme performansına etkileri araştırılmıştır (Summers ve Peters, 1974). İlk aşamada kayaç yöneliminin su jeti ile kesme performansı üzerine etkileri araştırılmış ikinci aşamada ise granit örnekleri meme altında sırayla döndürülerek değişen yönelimlerde meydana gelen değişim izlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre su jeti yönü ile dikey olan örneklerde yapılan kesme yâda yarık açma işleminde açılan delikler yâda yarıklar geniş olurken su jetine yâda örneğe açı verildikçe daha dar delik yâda yarıklar elde edilmiştir. Çalışma, kayaç ve su jeti temas açısının kesme performansında etkili olduğu ve kısmen azalan su basıncı, artan meme çapı ile birlikte Barre granitlerinin su jeti ile verimli bir şekilde kesilebileceğini göstermiştir.

Momber (2003), kayaç ve kayaç gibi sert bazı çimento bileşimli malzemelerde malzeme yüzeyinde oluşan aşınma ve erozyon mekanizmasını açıklayan bir çalışma yapmıştır. Kesme işleminde etken olan erozyon mekanizması üzerinde yoğunlaşan çalışmada triboloji prensiplerinin kesme anında oluşan erozyon ve aşınma mekanizmasını açıklamak için kullanılabileceği belirtilmiştir. Ek olarak, aşınma ve erozyon mekanizmasının seçimli bir yolla meydana geldiği bunda da etken olan parametrenin kayacın yapısında var olan kırık, çatlak gibi yapısal kusurların olduğu ve bu parametrelerin aşınma ve erozyon mekanizmasına olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir. Çalışmanın bir başka önemli sonucu da her kayacın su jeti ile kesilebilmesi için belirli eşik değerlerin olduğu ve kayaç içinde meydana gelen doğrusal olmayan çatlak yâda kırıkların aşınma işleminde önemli bir yeri olduğudur.

Ma ve Deam (2006), en uygun kesme hızı ve kesme kalitesi için temel alınabilecek bir tolerans değerinin belirlenmesini amaçladıkları çalışmalarında, diğer parametreler sabit tutularak kesme hızı değişimi ile kesik geometrisi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Kesme hızının 1–2 mm/sn aralıklarla artışı ile kesik geometrisinin ıraksaklıktan yakınsaklığa doğru bir değişim gösterdiği ve yüzey dalgalılığının da yüksek hızlarda belirginleştiği görülmüştür. Kesme genişliği ve derinliği ile hız değişimi arasında 200 mm/sn'nin altı ve üstündeki hızlar için tanımlanan iki farklı korelasyon yanında bir de genel korelasyon tanımlanmıştır. Çalışmanın genel bir sonucu olarak meme-örnek arası mesafenin artışı ile kesik genişliğinin arttığı belirlenmiştir.

Su jeti sistemlerinin madencilikte kullanımı ile ilgili olarak gerçekleştirilmiş kısıtlı sayıda araştırmaya karşılık su jeti sistemlerin farklı alanlarda kullanım olanaklarının araştırıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Ayrıca su jeti sistemlerinin kesme

performansının geliştirilmesi amacına yönelik önemli sayıda araştırmaya rastlamak mümkündür. İzleyen kısımda su jeti teknolojisi ve su jeti kesme sistemlerinin performansını etkileyen parametrelerin belirlenmesine yönelik çalışmalara ait bir derleme sunulmaktadır.

Hu vd. (2002), Momber ve Kovaçeviç (1997) ve Momber (2004), beton örneklerle gerçekleştirdikleri çalışmalarında su jetli kesme sistemlerinin performansını analiz etmişlerdir. Hu vd. (2002), iki farklı bileşimde çelik lif katkılı betonların kesilmesinde aşındırıcı miktarı, temas açısı ve kesme hızı parametrelerinin değişiminin etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, 15°'nin altındaki temas açılarında kesme derinliğinin düşük kaldığını yüksek açılarda ise lif katkısının kesme hızını önemli oranda düşürmediğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca kesmenin düşük temas açılarında mikro-kesme yüksek açılarda ise bölgesel yorulma sonucunda geliştiği gözlenmiştir. Momber ve Kovaçeviç (1997) ise malzeme özellikleri ve çalışma parametrelerini araştırmışlardır. Beş farklı bileşimdeki beton örneklerle yapılan deneylerde her beton tipi için yüksek jet basıncı, düşük kesme hızı ve yüksek aşındırıcı oranları ile ifade edilebilecek bir “kesme doygunluk değeri” tanımlanmıştır. Çalışma parametreleri ile kesme derinliği arasında doğrusal bir ilişkinin bulunmadığı belirlenen çalışmada kesik oluşma hızının su jeti ile kesmeye direncin bir ifadesi olarak kullanılabilceği ve kayaç ya da benzeri malzemelerde özgül enerji ve kritik pompa basıncının belirlenmesinde kesme hızının kullanılabilceği sonuçları elde edilmiştir.

Aşındırıcılı su jeti sistemlerinde farklı çalışma parametrelerinin seramikler için optimum kesme derinliği üzerindeki etkisini araştıran Abdel-Rahman ve El-Domiaty (1998), üç farklı seramik örneği ile su basıncı, kesme hızı ve su miktarının değişiminin kesme performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada artan basınçla birlikte kesme derinliğinin arttığı, belli bir basınç değerinde artan akış oranı ile de kesme derinliğinin arttığını göstermiştir. Ayrıca, artan hızla birlikte su jetinin örnek yüzeyinde aşınma oluşturma süresinin azalması nedeniyle kesme hızının artışı sonucunda kesme derinliğinin azaldığı belirlenmiştir. Sabit jet basıncında kesme derinliğinin akış oranının pik değerine kadar arttığı ve bu değerden sonra da azalmaya başladığı gözlenmiştir.

Alaşımli saf alüminyum ve paslanmaz çelik örneklerle gerçekleştirdiği çalışmasında, örnek kalınlığı ve aşındırıcı besleme oranının kesme yüzeyinin pürüzlülüğüne etkisini araştıran Akkurt vd. (2004), alaşımli alüminyumun saf alüminyuma göre daha düzgün bir yüzey kalitesine sahip olduğunu, buna sebep olan etkenin de alaşımli alüminyum imalinde

kullanılan elementler olduğunu öne sürmüşlerdir. Kalınlıkları aynı olan alaşımli alüminyum örneklerde aşındırıcı ilavesi büyük ölçülerde azaltıldığı zaman yüzey kalitesinde belirgin bir kötüleşme meydana geldiği görülmüştür. Çelik örneklerde ise kalınlığın azalması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı arttıkça yüzey kalitesinin azaldığı görülmüştür. Aşındırıcı besleme miktarındaki düşüş ince örneklerde yüzey pürüzlülüğünde önemli ölçüde azalmaya neden olurken kalın örneklerde yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır

Chen and Siores (2003), alüminyum katkılı seramik, akrilik cam (perspex), yumuşak çelik ve alüminyum gibi farklı özelliklere sahip örnekler üzerinde saf su ve aşındırıcı kesme sistemlerinin etkinliklerini araştırmışlardır. Saf su jeti sistemlerinin aksine aşındırıcı su jeti sistemleri ile malzeme yüzeyinde önemli oranda malzeme kaybına neden olduklarını belirlemişlerdir. Kesme işleminde etkin parametrenin aşındırıcı tanelerin kinetik enerjileri olduğunu ve jet içinde yer alan tanelerin kinetik enerjilerinin homojen olmaması nedeniyle etkin diğer parametrelerin de katkıları (jet basıncı, kesme hızı, mesafe gibi) sonucu örnek kalınlığının artmasına bağlı olarak kesme yüzeylerindeki dalgalanmaların şekil ve geometrik özelliklerin de değiştiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, memeye titreşim verilmesi sonucunda düzgün kesme bölgesinin derinliğinin %30 civarında arttırılabileceğini belirlemişlerdir.

Chen vd., (2003), kesime yüzeylerinde oluşan dalgalanmaların nedenlerini ve bunların önlenmesi için uygun yöntemleri tartıştıkları çalışmalarında dalgalanmanın üç önemli kaynağının su jeti kesme sisteminde memenin ötelenme mekanizması, su jetinin dinamik özellikleri ve kesme sisteminde meydana gelen sarsıntılar olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar yüzey dalgalanmalarının oluşmasının önlenmesi konusunda da çalışma parametrelerinin malzeme özelliklerine uygun olarak seçiminin aşındırıcı karıştırma sürecinin jet içindeki aşındırıcının dağılımını homojenliğini sağlayacak şekilde gerçekleştirilmesi ve makinede oluşacak sarsıntılarının azaltılmasının yüzey düzgünlüğünün istenen seviyede olması için uygun önlemler olduğunu ifade etmişlerdir. Monno ve Ravasio (2004) ise makinede oluşan sarsıntılarının kesilen malzeme yüzeyindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, titreşim nedenlerini iç ve dış kaynaklı olarak ayırdıktan sonra yapılan deneysel çalışma sonuçlarına dayanarak geliştirdikleri kesme makinesi geometrisinin kullanılması ile titreşimin neden olduğu olumsuzlukların ortadan kaldırılacağını belirtmişlerdir.

Chen vd. (2002), Chen vd (1998), Chen and Siores (2003) ve Lemma vd., (2006)' de su jetli kesme sistemlerinde memeye titreşim verilmesinin kesme yüzeylerinin düzgünlüğü

ve kesme performansının geliştirilmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Chen vd. (2002) yumuşak çelik levhalarla gerçekleştirdikleri çalışmalarında aşındırıcılı su jeti kesme sistemleri için değişik titreşim yöntemlerinin performanslarını değerlendirmişler (ileriye eşit aralıklı titreşim ve ileri ve geri eşit aralıklı titreşim) ileri ve geri eşit aralıklı titreşim yöntemi ile yüzey düzgünlüğü %10 oranında iyileştirilme sağlamışlardır. Genel olarak titreşim açısının 5° ve titreşim frekansının 2–5 Hz olduğu koşullarda optimum kesme performansının elde eden araştırmacılar $2,5^\circ$ titreşim açısı ve 3 Hz titreşim frekansının X ve Y yönlerindeki kesme işlemlerinde optimum performans değerleri olduğunu ortaya koymuşlardır. Lemma vd. (2005) hem titreşimli hem de titreşimsiz meme tasarımları için kesme derinliğini tahmin etmeye yönelik olarak geliştirilmiş bir yarı-ampirik modeli sundukları çalışmalarında titreşimli meme tasarımlarına sahip sistemlerle 3° civarındaki titreşim açılarının optimum değer olduğunu belirlemişlerdir. 3° civarındaki titreşim açıları ve 5 Hz'den daha yüksek frekanslarda yüksek kesme derinliklerin elde edildiği araştırmada en yüksek titreşim frekansı 10 Hz olarak belirlenmiştir. Titreşimli meme tasarımları sabit meme tasarımlarına oranla yumuşak çeliklerde %30 ve alüminyumda %20 performans artışı sağlanan araştırmada elde edilen önemli bir sonuç ta optimum çalışma koşulları dışındaki çalışma parametrelerinde titreşimli meme tasarımlarının sabit meme tasarımlarının çalışma performanslarının altında değerler ürettiğidir. Chen vd. (1998) seramik örneklerle gerçekleştirdikleri çalışmada jet temas açısının ve titreşimli meme kullanımının etkilerini araştırmışlar, titreşimin kesme performansı üzerinde benzer iyileşmeleri sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Jet temas açısının $80-85^\circ$ olduğu kesme işlemlerinde optimum kesme performansının sağlanabileceği gözlenmiştir.

Sünek malzemelerle yaptıkları deneysel çalışmalarda kesme işlemi sırasında titreşimli meme kullanılmasının yüzey kalitesi üzerindeki etkileri araştıran Lemma vd. (2002), yumuşak çelik ve alüminyum örnekler kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında ilerleme hızı, titreşim açısı ve titreşim frekansı parametrelerinin ortaya koyduğu değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada memeye titreşim verilmesinin kesme yüzey kalitesinde geleneksel su jeti sistemlerine göre %30'a varan oranlarda iyileştirme sağlayacağı belirlenmiştir. Titreşimli meme tasarımları ile gerçekleştirilecek kesme işlemlerinde kalın malzemelerin kesilmesinde yüksek verim için yüksek kesme hızlarının seçilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Yüksek basınçlı su jetlerinin boyut küçültme işlemlerinde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada sistemin çalışma koşulları ve çalışma performansı analiz

edilmiştir (Kuyumcu ve Rolf, 2004). Çalışmada yüksek basınçlı su jetlerinin çalışma mekanizmasının yanı sıra su jeti ile katı malzeme arasındaki etkileşime ait detaylı bir analizden sonra boyut küçültme işlemlerinde su jeti kullanımını etkileyen koşullar tanımlanmıştır. Boyut küçültmede etkin parametrelerden birisinin tane boyutu olduğunu belirten araştırmacılar su jetinin deneylerde kullanılan seramik malzemede öncelikle bir yüzey temizleme, daha sonra da seçici bir boyut küçültme işlemi gerçekleştirdiğini saptamışlardır. Ayrıca, basınçlı su jeti sistemlerinin henüz geleneksel boyut küçültme sistemlerinin yerini alamayacağı fakat geliştirilme olanaklarının araştırılması için teşvik edici koşulların var olduğu ifade edilmiştir.

Yukarıda verilen çalışmalara ek olarak, literatürde et (Alitavoli ve McGeough, 1998), köpük (stiroport) (Yazıcı ve Summers, 1992), metal ve benzeri sert malzemeler (Yazıcıoğlu vd., 1993), metalik kaplamalı çelik levhalar (Wang ve Wong, 1998) ve seramik (Wang ve Guo, 2002; Gudimetla vd., 2002) gibi çok değişik türden malzemelerin kesilmesinde optimum çalışma parametrelerinin belirlenmesi, kesme mekanizmasının açıklanması yada kesik profilinin modellenmesi gibi amaçlar için gerçekleştirilmiş çalışmalara rastlamak mümkündür. Bu gruptan çalışmalarda başlıca değişen malzeme özellikleri ve çalışma parametrelerinin kesme performansı üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. Kesilen yüzeylerin kalitesi ile malzeme özellikleri ve çalışma parametreleri arasındaki ilişki de önemli bir çaba konusudur.

Alitavoli ve McGough (1998) et, Yazıcı ve Summers (1992), köpük ve Gudimetla vd. (2002), seramik kesme işlemlerinde su jeti ile kesme sistemlerinin uygunluğunu araştırmışlar ve optimum çalışma koşullarını tanımlamışlardır. Yazıcı ve Summers (1998), kesme işleminin performansını özgül enerji tüketimi temelinde analiz etmiştir. Metalik kaplamalı çelik levhaların kesiminde su jeti sistemlerinin kullanılabilirliğini araştıran Wang ve Wong (1998), kesme mekanizması ve değişen çalışma parametrelerinin kesme yüzeylerinin kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışmaları sonucunda elde ettikleri verilere dayanan tahmin modelleri de geliştirmişlerdir. Wang ve Guo (2002), kesme derinliği ve kesik profilinin analizlerine dayanan modelleme çalışmalarında tek (single-pass) ve çok geçişli (multi-pass) kesme yöntemlerinin performanslarını araştırmışlardır. Çalışma parametrelerinin uygun kombinasyonu ile çok geçişli kesme yöntemi ile tek geçişli kesme yöntemine göre daha yüksek performans elde edilebileceğini ortaya koymuşlardır. Mazurkiewicz (2000), son yıllarda kullanımı yaygınlaşan su jetleri tarihi gelişimi hakkında genel bir değerlendirme yapmış ve çalışma

koşulları, çalışma alanlarından bahsetmiştir. Çalışmada geleneksel kesme sistemlerine göre su jetlerinin avantajlarından bahsedilmiş olup, kesme veriminin artırılması için göz önünde bulundurulması gereken koşullar da belirtilmiştir.

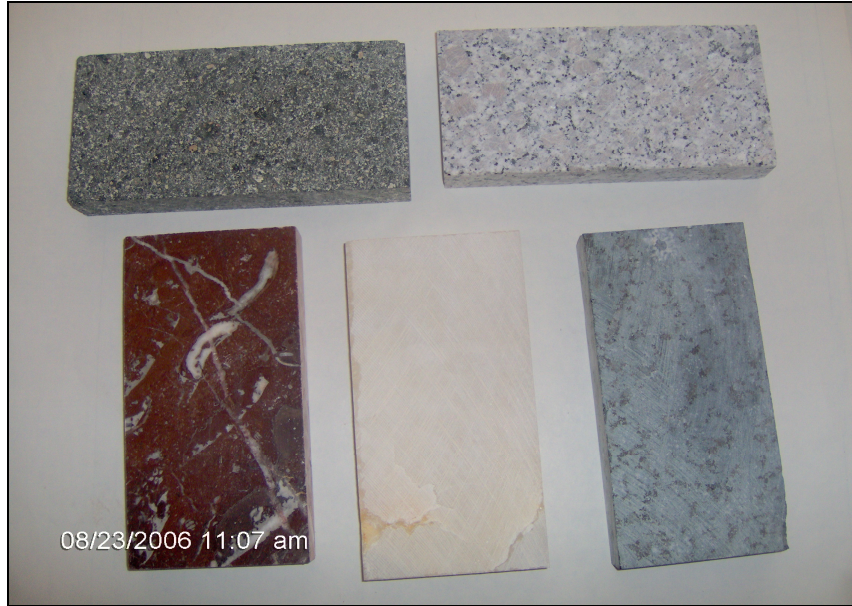
1.3.9. Çalışmanın Amacı

Madencilik endüstrisinde, özellikle doğal taş üretim süreçlerinde, geleneksel kesme sistemlerine karşı uzun zaman önce fark edilen bir seçenek olsa da su jeti kesme sistemlerinin kayaçların kesilmesi ya da işlenmesinde kullanımına yönelik çalışma sayısının sınırlı sayıda kalması bu çalışmayı teşvik eden en temel unsurdur. Konu ile ilgili çalışmaların artışı yöntemin doğal taş işleme süreçlerinde kullanımını kısıtlayan dezavantajlarını azaltarak bu sistemlerin kayaç kesme ve işleme süreçlerinde kullanımını olanağını arttırabilecektir. Bu çalışmada, bir malzeme işleme yöntemi olarak çok farklı alanlarda başarıyla kullanılan aşındırıcı su jeti kesme sistemlerinin farklı kökenden kayaçlardaki kesme performanslarının araştırılması amaçlanmıştır. Tamamı Doğu Karadeniz Bölgesi'nden sağlanan beş farklı kökenden kayacın kullanıldığı çalışma aşındırıcı su jeti kesme yöntemi ile farklı özelliklere sahip kayaçlarda ulaşılacak kesme performansının karşılaştırılmalı bir analizini de amaçlamaktadır. Deneylerde kullanılan kayaçlar üretim yapılan işletmelerden temin edilmiştir. Çalışma bu yönüyle de doğal taşların işlenmesinde aşındırıcı su jeti sistemlerinin performansının araştırıldığı bir çalışma olmak özelliğine de sahiptir. Ayrıca, kullanılan taşların Doğu Karadeniz Bölgesi'nden temin edilmesi, su jeti kesme sistemlerinin bu bölgedeki doğal taşların işlenmesinde kullanılabilirliklerinin araştırılması gibi bir özel amacı da taşımaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda bir granit (İkizdere, Rize), bir kumtaşı (İyidere, Rize), bir oniks (Yaylapınar, Bayburt), bir kireçtaşı (Gümüşhane) ve bir diyorit (İspir, Erzurum) olmak üzere beş (5) farklı doğal taş örneği kullanılmıştır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan örnekler. İyidere kumtaşı (sol üst), İkizdere graniti (sağ üst), Gümüşhane vişne kireçtaşı (sol alt), Bayburt oniksi (alt orta) ve İspir diyoriti (sağ alt)

Kullanılan kayaçların temel fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.1–2.5’te verilmektedir. Kireçtaşı (Gümüşhane) ve Kumtaşı (Rize) örneklerinin mekanik özellikleri M.T.A: laboratuvarlarında TSE’ne göre belirlenmiştir. Deneylerde boyutları 3 x 10 x 20 cm (kalınlık x genişlik x uzunluk) olan örnekler kullanılmıştır. Kullanılan örnekler Trabzon’da faaliyetlerini sürdüren GÜVENCEM Mermer Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti. ile KAFMER Dış Tic. Ltd. Şti.’den temin edilmiştir.

Tablo 2.1. İkizdere (Rize) Graniti Mekanik Özellikleri (Tüdeş, 1994).

| Özellik | Değer |
|---|---------|
| Çekme Dayanımı (MPa) | 11,26 |
| Basınç Dayanımı (MPa) | 130,00 |
| Eğilme Dayanımı (MPa) | 16,17 |
| Yüzey Aşındırma Direnci (%) | 13,12 |
| Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³) | 12,00 |
| Doluluk Oranı (%) | 98,65 |
| Ultrasonik Hız (m/sn) | 4148,28 |

Tablo 2.2. Kumtaşı (Rize) Mekanik Özellikleri

| Özellik | Değer |
|---|---------|
| Çekme Dayanımı (MPa) | 6,81 |
| Basınç Dayanımı (MPa) | 68,13 |
| Eğilme Dayanımı (MPa) | 7,84 |
| Yüzey Aşındırma Direnci (%) | 32,10 |
| Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³) | 17,00 |
| Doluluk Oranı (%) | 87,49 |
| Ultrasonik Hız (m/s) | 3623,00 |

Tablo 2.3. İspir (Erzurum) Diyoriti/Gabro Mekanik Özellikleri (Görgülü vd., 2006).

| Özellik | Değer |
|---|---------|
| Çekme Dayanımı (MPa) | 14,75 |
| Basınç Dayanımı (MPa) | 153,50 |
| Eğilme Dayanımı (MPa) | 27,00 |
| Yüzey Aşındırma Direnci (%) | 6,91 |
| Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³) | 65,00 |
| Doluluk Oranı (%) | 96,90 |
| Ultrasonik Hız (m/s) | 6730,07 |

Tablo 2.4. Yaylapınar (Bayburt) Oniksi Mekanik Özellikleri (Alp vd., 2006).

| Özellik | Değer |
|---|---------|
| Çekme Dayanımı (MPa) | 7,30 |
| Basınç Dayanımı (MPa) | 73,12 |
| Eğilme Dayanımı (MPa) | 5,95 |
| Yüzey Aşındırma Direnci (%) | 16,39 |
| Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³) | 2,50 |
| Doluluk Oranı (%) | 98,82 |
| Ultrasonik Hız (m/s) | 6380,42 |

Tablo 2.5. Kireçtaşı (Gümüşhane) Mekanik Özellikleri

| Özellik | Değer |
|---|--------|
| Çekme Dayanımı (MPa) | 9,80 |
| Basınç Dayanımı (MPa) | 100,00 |
| Eğilme Dayanımı (MPa) | 8,80 |
| Yüzey Aşındırma Direnci (%) | 12,47 |
| Darbe Dayanımı (kg.cm/cm ³) | 8,00 |
| Doluluk Oranı (%) | 96,85 |
| Ultrasonik Hız (m/s) | 5833 |

2.2. Deney Düzenegi

Deneyisel çalışmalar, İstanbul İmes Sanayi Sitesi'nde faaliyetini sürdüren CT Kesme Teknolojileri ve Makine San. ve Tic. Ltd. Şti'nde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan su jeti makinesi Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Bir su jeti makinesi aslında bilgisayar kontrollü bir CNC tezgâhdır. Çalışma planı kontrol odasında bulunan bilgisayarda programlanarak tezgâha gönderilir. Tezgâh iki adet kesme kafasına sahiptir. İkinci kafa birinci kafa ile eşzamanlı hareket ederek kesme işlemini gerçekleştirir. Kesme işlemi iki kafa ile yapılacaksa iş parçalarının konumu ve ikinci kafa konumu çok iyi

ayarlanmalıdır. Tezgâh, üç eksenli olarak (X, Y, Z) hareket etme ve karmaşık şekilli kesme işlemlerini gerçekleştirebilme yeteneğine sahiptir.



Şekil 2.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan su jeti makinesi (genel görünüm)
(CT Kesme Tek. ve Mak. San ve Tic. Ltd. Şti. izniyle, 2006).



Şekil 2.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan su jeti makinesi (Kesme kafaları)
(CT Kesme Tek. ve Mak. San ve Tic. Ltd. Şti. izniyle, 2006).

Kesme işlemi gerçekleştirilirken, basınçlı su malzemeyi deldikten sonra, malzemenin altında kalan parçalar da basınçlı sudan etkilenmektedir. Bundan dolayı kesme işlemi suyla doldurulmuş bir tank içerisindeki ızgaralar üzerinde yapılır. Tank içerisindeki su basıncı absorbe ettiğinden altta kalan parçaların zarar görmesi ve basınçlı suyun etrafa çarparak zarar vermesi engellenir. Ancak basınçlı su, ızgaralara çarparak işlenen malzemeye (özellikle cam gibi kırılgen malzemelere) zarar verebilmektedir. Bu tür malzemelerin kesilmesi sırasında da malzeme altına karton veya köpük (stiro pore) gibi malzemelerin konulması ızgaralara çarparak dönen suyun malzemeye zarar vermesini büyük ölçüde engeller. Deneysel çalışmalarda, aşındırıcı malzeme olarak Avustralya'dan ithal edilen garnet/granat kullanılmıştır (Şekil 2.4). Sertliği 7,5-8 Mohs arasında olan garnetin kimyasal içeriği ise Tablo 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.4. Aşındırıcı malzeme olarak kullanılan garnet/granat (Karakurt vd., 2006).

Tablo 2.6. Garnet/granat (Aşındırıcı malzeme) kimyasal içerikleri

| Kimyasal Bileşik | Oran (%) |
|--------------------------------|-----------------|
| FeO | 36 |
| SiO ₂ | 33 |
| Al ₂ O ₃ | 20 |
| MgO | 4 |
| TiO ₂ | 3 |
| CaO | 2 |
| MnO ₂ | 2 |

2.3. Deney Çalışmaları

Deneysel çalışmalarda su jeti sistemine ait çalışma parametrelerini farklı değerleri için oluşan performans değerleri belirlenmiştir. Su jeti kesme sistemlerinin performansını ifade edebilecek olan parametre kesme derinliğidir. Ancak, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesinin genişliği gibi parametreler de performansın bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Çalışmalarda her üç parametre de belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar her kayaç türünden 27 adet kesme işleminin sonuçlarının elde edilmesi planlanmıştır. Ancak, deneme kesmeleri sırasında farklı çalışma değerleri ile yapılan kesmelerde değişik çalışma basıncı (pompa basıncı, jet basıncı) değerlerinde diğer parametrelerin ortaya koydukları eğilimin aynı olduğu görülmüştür. Bu nedenle, 220 MPa ve 400 MPa jet basıncı değerlerinde genel eğilimi yansıtan deneyler gerçekleştirildikten sonra 400 MPa çalışma basıncında diğer parametrelerin değişimi gözlenmiştir.

3 x 10 x 20 cm boyutlarında hazırlanmış olan örnekler kesme deneylerinde uzunlukları boyunca, kalınlığı 3 cm olan 5 dilim halinde kesilmiştir. Ağırlıklı olarak, 400 MPa sabit jet basıncı kullanılarak kesme hızı (kafanın yanal geçiş hızı), aşındırıcı miktarı ve meme-örnek mesafesi değişkenlerinin kesme performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2.3.1. Deney Parametreleri

2.3.1.1. Pompa Basıncı

Kesme işleminde, basınç değişiminin kesme performansına etkisini gözlemlemek amacıyla farklı basınç değerleri kullanılarak deney çalışmasının yapılması amaçlanmıştır. Ancak çalışılan su jeti makinesinde jet basıncı için fazla sayıda basınç değeri denemek olanağı bulunmadığı ve deneme kesmelerinde iki farklı basınçta gözlenen değişimler benzerlikler gösterdiği için 220 MPa (düşük basınç) ile 400 MPa (yüksek basınç) değerleri kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, deneyler ağırlıklı olarak yüksek pompa basıncında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan basınç 400 MPa basınç değeri literatürde mevcut çalışmalarda kayaç ya da benzeri malzemeler için seçilen basınç değerleri ile uyumludur.

2.3.1.2. Kesme Hızı

Deney aşamalarında çalışılan diğer bir parametre kesme hızıdır. Hız sabit iken, 400 MPa çalışma basıncında sırasıyla aşındırıcı ve meme-örnek mesafesinin değişiminin etkileri araştırılmıştır. Yüksek (400 MPa) ve düşük (220 MPa) çalışma basıncında, diğer parametreler sabit iken hız değişiminin kesme üzerindeki etkisi de araştırılmıştır.

2.3.1.3. Aşındırıcı Malzeme Besleme Miktarı

Su jetine aşındırıcı malzeme ilave edilmesi saf su jetlerine göre daha düşük basınçta kesme ve bağlı olarak ekonomik kesme olanağı sağladığı için kesme işlemi esnasında su jetine ilave edilen aşındırıcı malzeme miktarı önem kazanmaktadır. Bu nedenle deneylerde, 400 MPa çalışma basıncında diğer parametreler sabit iken 200, 250, 300 ve 350 gr/dk aşındırıcı beslemesi yapılarak kesme performansı ölçülmüştür.

2.3.1.4. Meme-Örnek Mesafesi

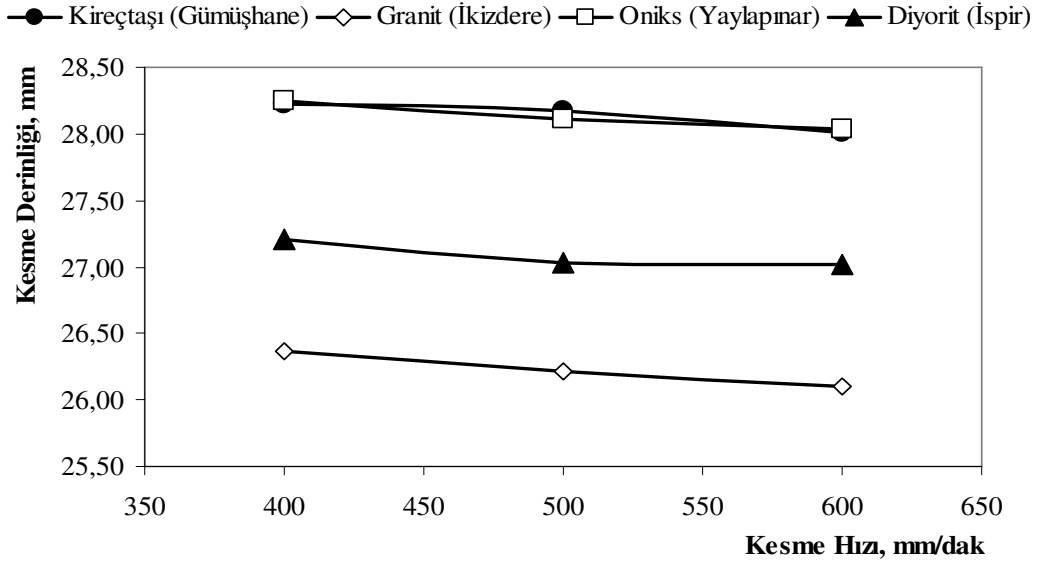
Yüksek basınçta malzemeye uygulanan suyun malzeme yüzeyine çarpma mesafesinin kesme performansı üzerinde etkisi önemlidir. Çok yakın mesafeden yapılan

kesme işlemlerinde, kesme kafası hareket halinde iken meme gibi makine parçalarının malzemeye çarpması ve zarar görmesi söz konusu olabileceği gibi uzak mesafelerde kesme kalitesinde düşüşler olacaktır. Bu nedenle, meme-örnek mesafenin uygun değerde seçilmesi gerekir. Çalışmada, diğer parametreler sabit olmak kaydıyla 2, 5, 7 ve 9 mm mesafeler kullanılarak deneyler yapılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Kesme Hızı Değişimi

Çalışmada kesme hızı değişiminin etkisi iki farklı pompa basıncı değerinde araştırılmıştır. Şekil 3.1’de kumtaşı (İyidere) dışındaki kayalarda düşük pompa (220 MPa) basıncında kesme hızının değişimi gösterilmektedir. Bu örneklerde kesme hızı 400, 500 ve 600 mm/dak olarak seçilirken kumtaşı örnekler için daha yüksek kesme hızları kullanılmıştır. Kumtaşı örnekler için yüksek hızların seçilmesinin sebebi taneli bir yapıya sahip olan bu kayaçta düşük hızlarda malzeme yüzeyinde yüksek oranda ve kontrolsüz erozyonların gelişmesidir. Deneyde meme-örnek mesafesi 2 mm ve aşındırıcı besleme miktarı 200 gr/dak olarak seçilmiştir.

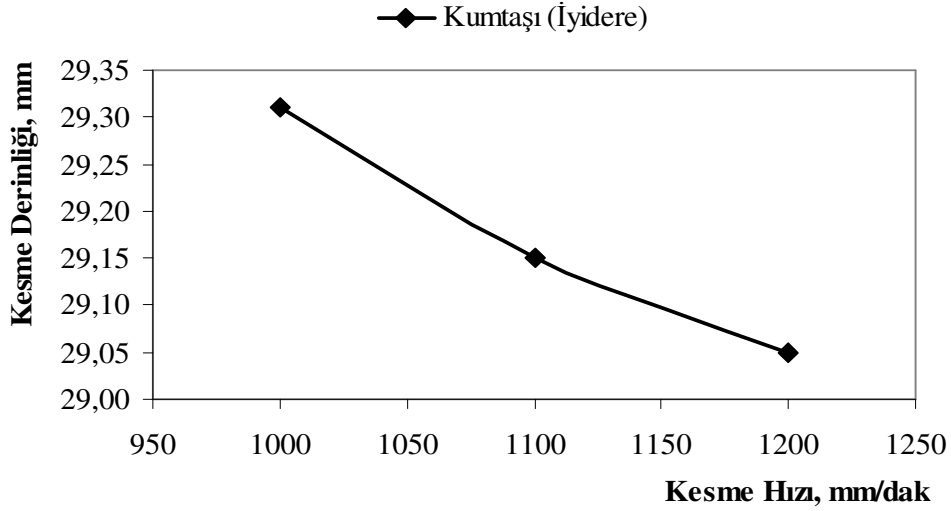


Şekil 3.1. 220 MPa çalışma basıncında kesme derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi

İzlenen aralıkta kesme derinliğinde meydana gelen değişim sınırlı bir seviyede kalmıştır (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Hızın % 50 oranında artışı sonucunda kesme derinliği % 1 ve daha altında azalmıştır. Granit ve diyoritte elde edilen kesme derinlikleri diğer üç örneğe göre daha düşük değerlerde gerçekleşmiştir. Kireçtaşı ve oniks örneklerinde (28

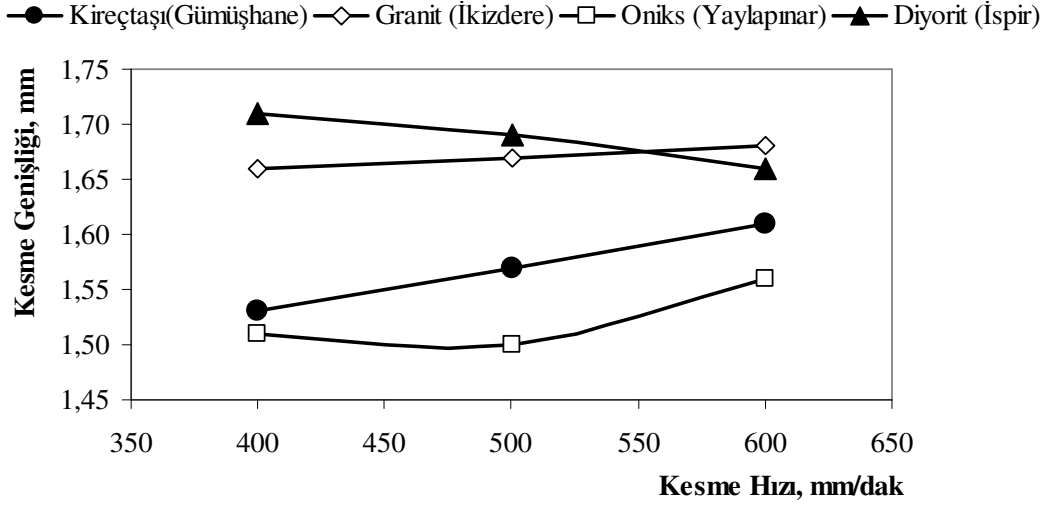
mm'den daha fazla) örnek kalınlığına yakın kesme derinlikleri elde edildiği halde diyorit ve granit örneklerde kesme derinliği değerleri düşük seviyelerde kalmıştır.

Kumtaşı örneklerin kesme deneylerinde 1000, 1100 ve 1200 mm/dak kesme hızları kullanılmıştır. Kesme hızı dışında aynı çalışma parametreleri ile kesilen kumtaşı örneklerinde de kesme hızı artışı kesme derinliğinde % 1'in altında bir düşüşe neden olmuştur (Şekil 3.2).

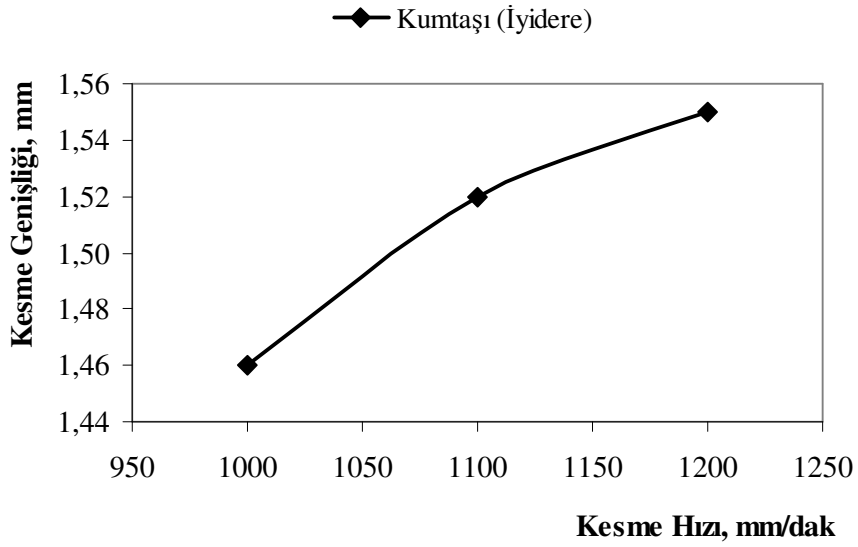


Şekil 3.2. 220 MPa çalışma basıncında kumtaşı örneklerde kesme derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi

Kesme hızındaki artışın kesme derinliğinde neden olduğu kısıtlı seviyedeki azalmanın aksine diyorit dışındaki kayaların kesme genişliklerinde yüksek oranlarda artışlar gerçekleşmiştir (Şekil 3.3, Şekil 3.4). Kesme hızının artışı ile diyoritin kesme genişliği % 3 oranında azalmıştır. Oniks ve kireçtaşında gerçekleşen kesme genişliği diyorit ve granitten daha düşük seviyede kalmıştır. Onikte meydana gelen değişim 400-500 mm/dak aralığında çok kısıtlı bir seviyede azalma ve 500 mm/dak'dan sonra % 3 oranında artış şeklinde gerçekleşmiştir. En yüksek artışın gerçekleştiği kumtaşında ise oran % 6 civarında gerçekleşmiştir.



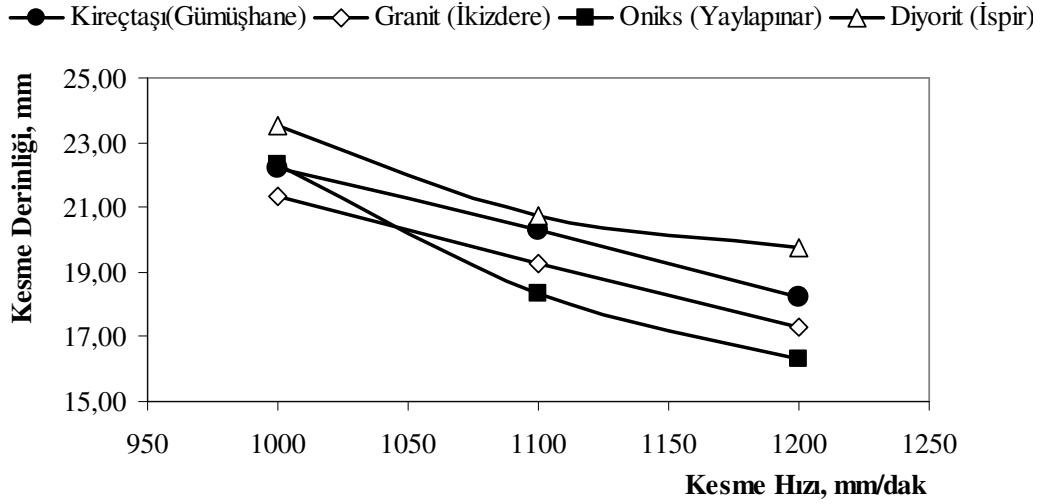
Şekil 3.3. 220 MPa çalışma basıncında kesme genişliğinin kesme hızına bağlı değişimi



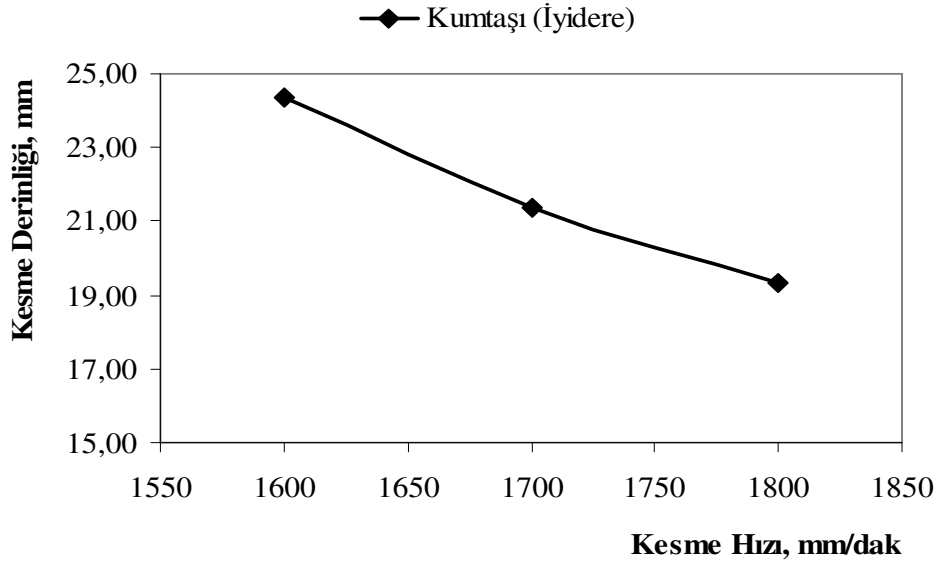
Şekil 3.4. 220 MPa çalışma basıncında kumtaşı örneklerde kesme genişliğinin kesme hızına bağlı değişimi

400 MPa pompa basıncında kesme hızı değişimini araştırmak üzere gerçekleştirilen deneylerde meme-örnek mesafesi 5 mm alınmıştır. Bu şekilde iki farklı meme-örnek mesafesi (2 mm ve 5 mm) ve iki farklı pompa (220 MPa ve 400 MPa) basıncı kullanılarak

eğilimin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu deneylerde kesme hızı kumtaşında 1600, 1700 ve 1800 mm/dak seçilirken diğer örneklerde 1000, 1100 ve 1200 mm/dak seçilmiştir. Şekil 3.5 (kumtaşı hariç) ve 3.6 'da kesme hızı değişimine bağlı olarak kesme derinliğinin değişimi verilmektedir. Kesme hızının artışı ile kesme derinliğinde önemli oranlarda düşüşler gözlenmiştir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). İncelenen tüm kayalarda elde edilen değerler birbirine yakın olmakla birlikte diyorit ve granitte nispeten daha düşük değerler elde edilmiştir. Diyoritte meydana gelen düşüş % 16 seviyesinde iken onikte % 26 oranındadır. 1100 mm/dak'dan diyoritte kesme derinliğindeki değişme yavaşlamıştır. Granit ve kireçtaşında ise aynı değerler (% 18) elde edilmiştir.

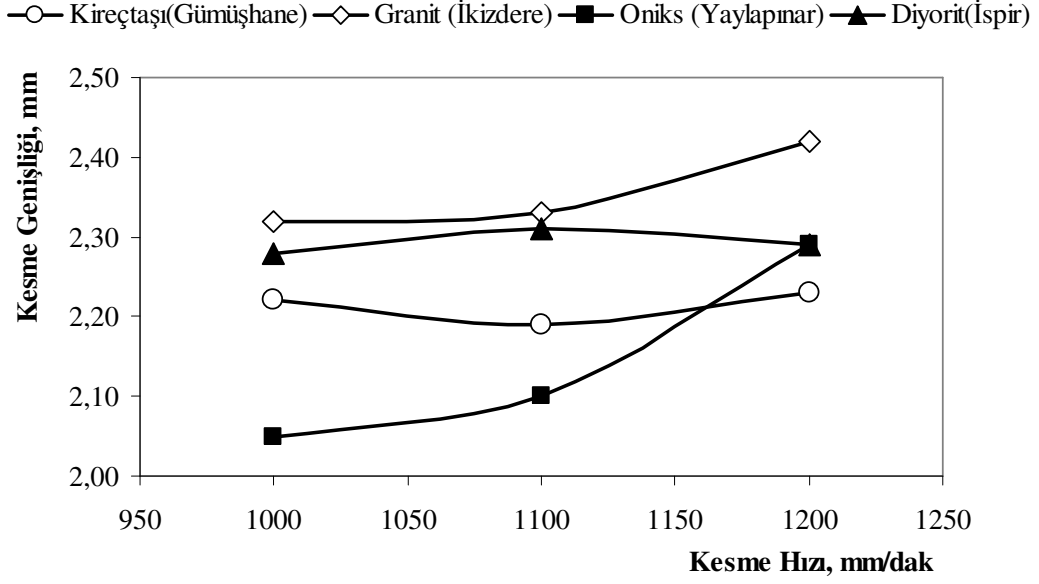


Şekil 3.5. 400 MPa çalışma basıncında kesme derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi

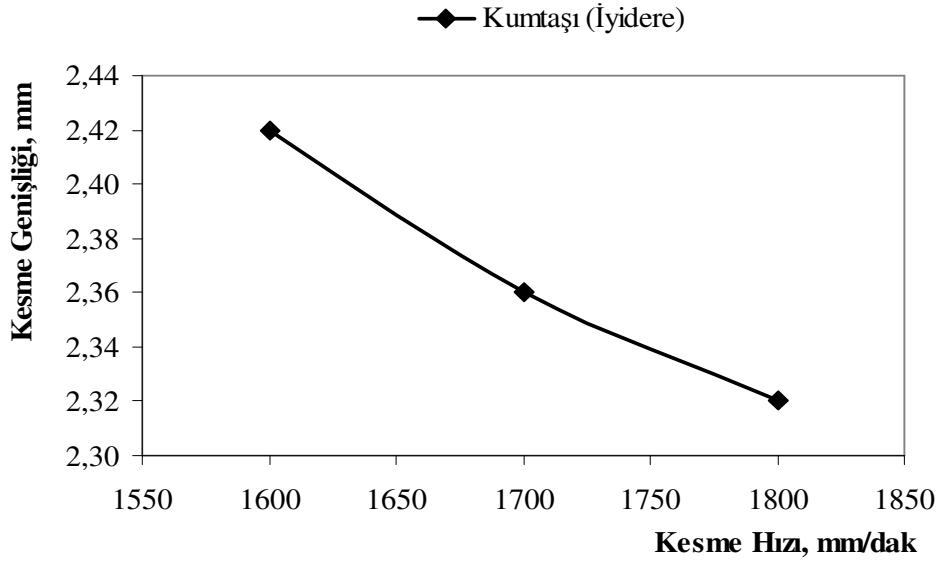


Şekil 3.6. 400 MPa çalışma basıncında kum taşı örneklerinde kesme derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi

Deneylerde elde edilen kesme genişlikleri kayaçtan kayaca az çok farklılık göstermektedir (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8). 1000-1200 mm/dak aralığında kesme genişliğinin toplam değişimi kireçtaşında sıfır, diyoritte sıfıra yakındır (% 0,40). Ancak her iki kayaçta gözlenen değişim farklılık göstermektedir. Diyoritte kesme genişliği 1100 mm/dak'ya kadar artmış bu değerden sonra ise azalmıştır. Kireçtaşında gerçekleşen değişim ise diyoritte gözlenenin tersidir. Kesme genişliğinde belirgin değişimler kumtaşı, granit ve onikte meydana gelmiştir. Onikte kesme genişliği toplam olarak %11 oranında artmış bu artışın büyük kısmı 1100 mm/dak'dan sonra meydana gelmiştir. Granitteki kesme genişliği artışı da (% 4,3) aynı karakterdedir. Kumtaşında ise diğer kayaçların aksine kesme genişliği artan kesme hızı ile birlikte % 4 civarında azalmıştır.



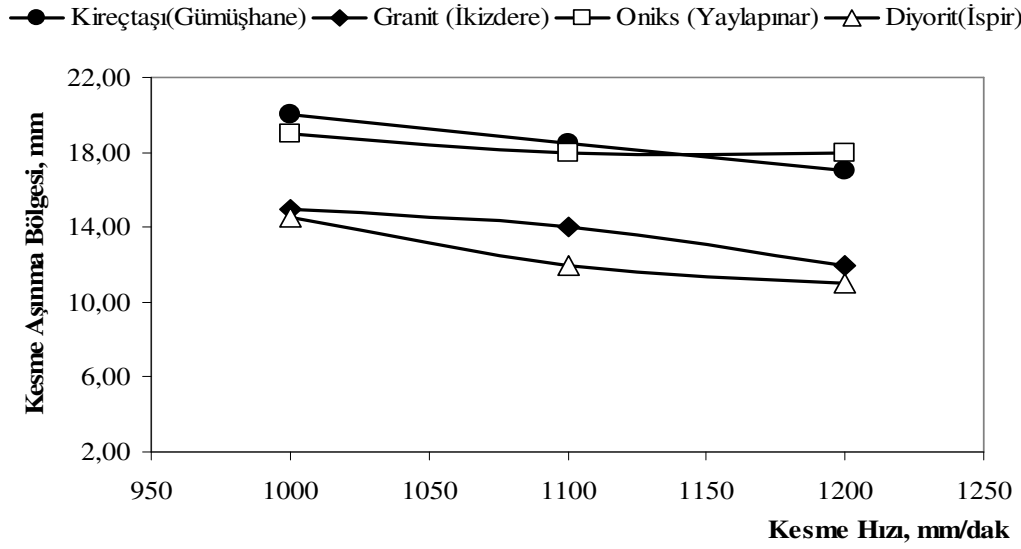
Şekil 3.7. 400 MPa çalışma basıncında kesme genişliğinin kesme hızına bağlı değişimi



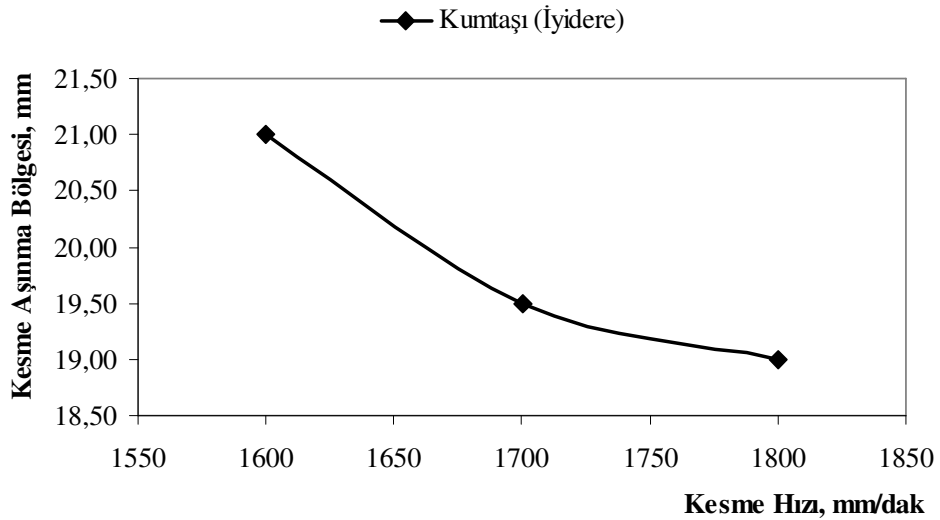
Şekil 3.8. 400 MPa çalışma basıncında kumtaşı örneklerde kesme genişliğinin kesme hızına bağlı değişimi

Kesme performansının önemli ölçütlerinden birisi de kesme aşınma bölgesi genişliğidir. 400 MPa çalışma basıncında gerçekleştirilen deneylerde kesme-aşınma

bölgesinin artan kesme hızı ile değişimi incelendiğinde, kesme-aşınma bölgesi derinliğinin granit ve diyoritte örnek kalınlığının yarısına yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Kesme hızının artışı bu değerlerin azalması yönünde bir etki yapmış ve incelenen aralıkta her iki kayada kesme-aşınma bölgesi yaklaşık % 15 civarında azalmıştır (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10). Diğer kayalarda ise kesme-aşınma bölgesi kalınlığı toplam örnek kalınlığının yaklaşık % 60 ve üstünde gerçekleşmiştir. Ancak artan kesme hızı ile kayadan kayaca az çok farklılık göstermekle birlikte yaklaşık % 10 oranında bir azalma meydana gelmiştir.



Şekil 3.9. 400 MPa çalışma basıncında kesme-aşınma bölgesi derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi

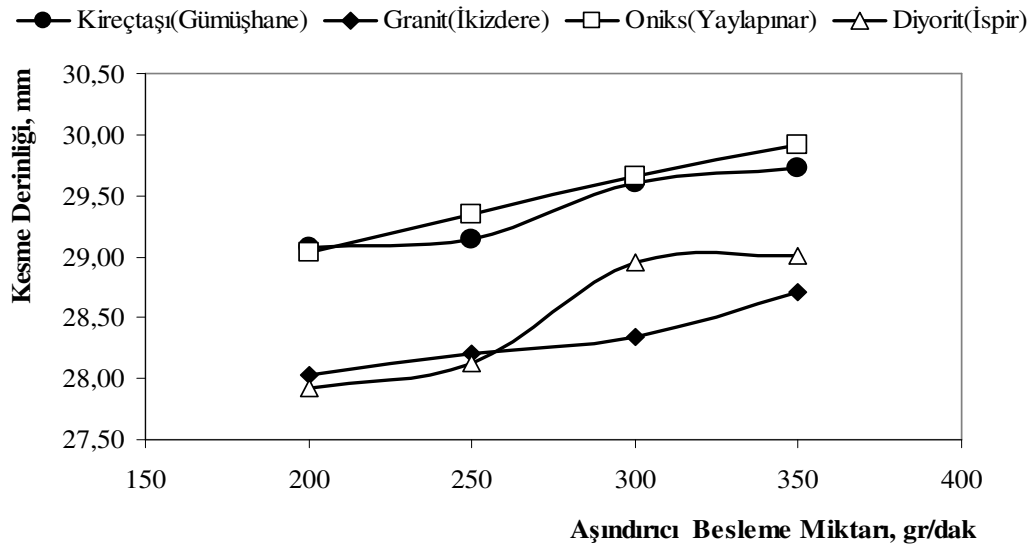


Şekil 3.10. 400 MPa çalışma basıncında kumtaşı örneklerde kesme aşınma bölgesi derinliğinin kesme hızına bağlı değişimi

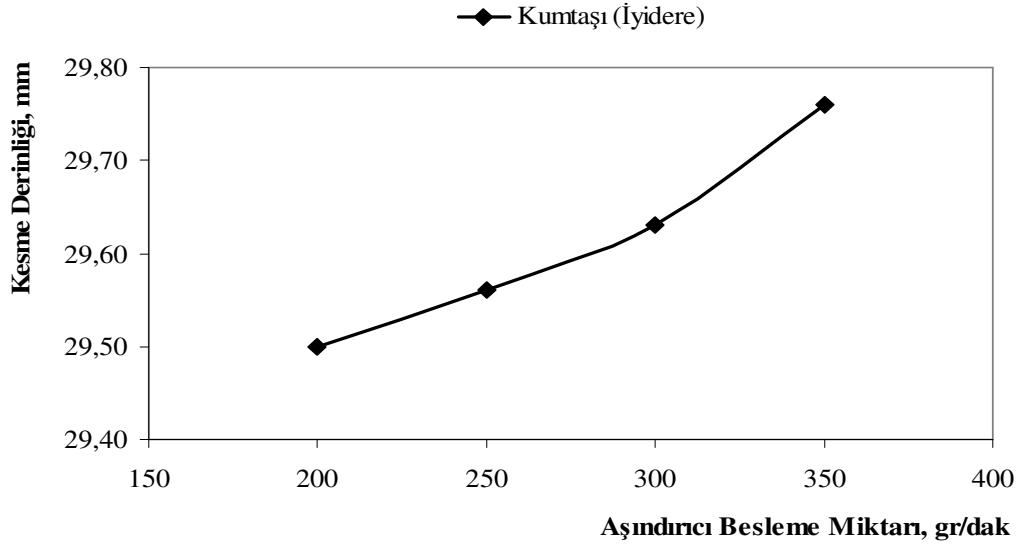
3.2 Aşındırıcı Besleme Miktarı Değişimi

Çalışmada aşındırıcı miktarının etkisini incelemek amacıyla 200, 250, 300 ve 350 gr/dak miktarlarında aşındırıcı beslemesi yapılmıştır. Meme-örnek mesafesi 2 mm, basınç 400 MPa ve kumtaşı hariç diğer örneklerde kesme hızı 600 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Kumtaşı örneği için kesme hızı ise 1200 mm/dak olarak seçilmiştir. Şekil 3.11’de kumtaşı hariç diğer örneklerde aşındırıcı değişiminin kesme derinliğine olan etkisi gösterilmiştir.

Aşındırıcı besleme miktarının artışı tüm örneklerde kesme derinliğinin artmasına neden olmuştur. Granit ve diyoritte elde edilen derinlikler oniks ve kireçtaşı örneklerde elde edilen yüksek değerlerin altında kalmıştır (Şekil 3.11). İncelenen kayaların aşındırıcı besleme miktarı değişimine karşı davranışları birbirleri ile benzerlik arz etmektedir. Artan aşındırıcı miktarının etkisi kesme derinliğinin artmasına neden olmuştur. Ancak, kumtaşında gerçekleşen artış diğer kayalara kıyasla daha kısıtlı bir oranda kalmıştır (Şekil 3.12). Kumtaşı dışındaki kayalarda artış doğrusal bir eğilim gösterdiği halde kireçtaşı ve diyoritte elde edilen kesme derinlikleri 250-300 gr/dak aralığında keskin bir artış göstermiştir (Şekil 3.11). Bu aralıkta gerçekleşen artış oranları kireçtaşında % 2 diyoritte ise % 3 oranındadır. Her iki kayaçta kesme derinliği incelenen aşındırıcı miktarı aralığında, sırasıyla, % 2,30 ve % 3,90 oranlarında artmıştır. Artış granitte % 2,40, onikte %3,10 ve kireçtaşında % 0,88 olmuştur.

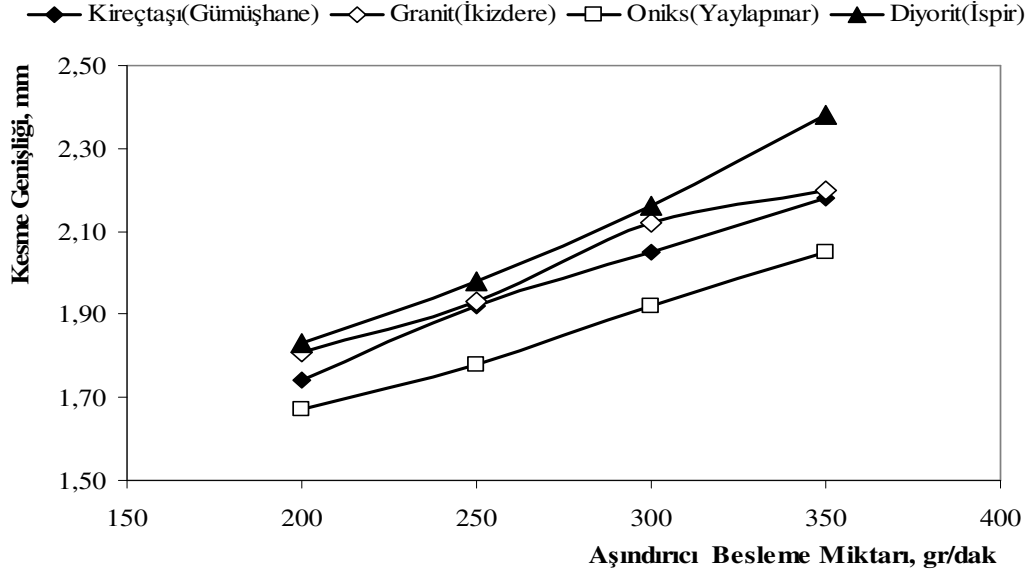


Şekil 3.11. Kesme derinliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi

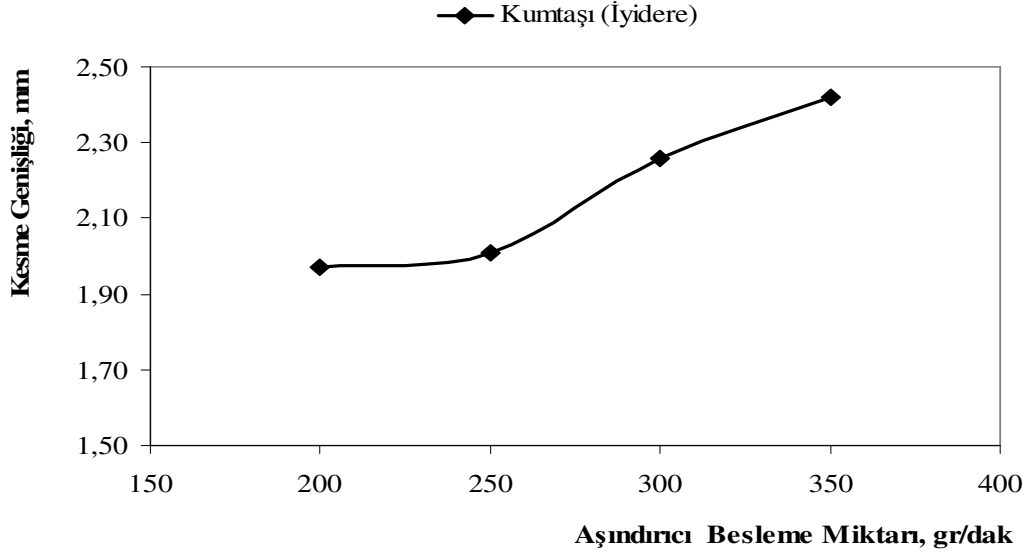


Şekil 3.12. Kumtaşı örneklerinde kesme derinliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi

Aşındırıcı besleme miktarının artışının en önemli etkisi kesme genişliği üzerinde görülmüştür. İncelenen tüm kayalarda kesme genişliği artan aşındırıcı miktarı ile artmış ve artışlar % 20'den daha fazla olmuştur (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14). Kesme genişliğinin en fazla artış gösterdiği kayaç diyorittir (% 30). Granitte % 21,50, kireçtaşında % 25,30 ve onikte % 22,75 oranında artışlar gerçekleşmiştir. Kumtaşında gerçekleşen artış (% 22,90) ise iki parçalı bir karakter arz eder. 200-250 gr/dak aralığında hemen hemen değişmeyen kesme genişliği 250 gr/dak'dan sonra % 20 oranında atmıştır.



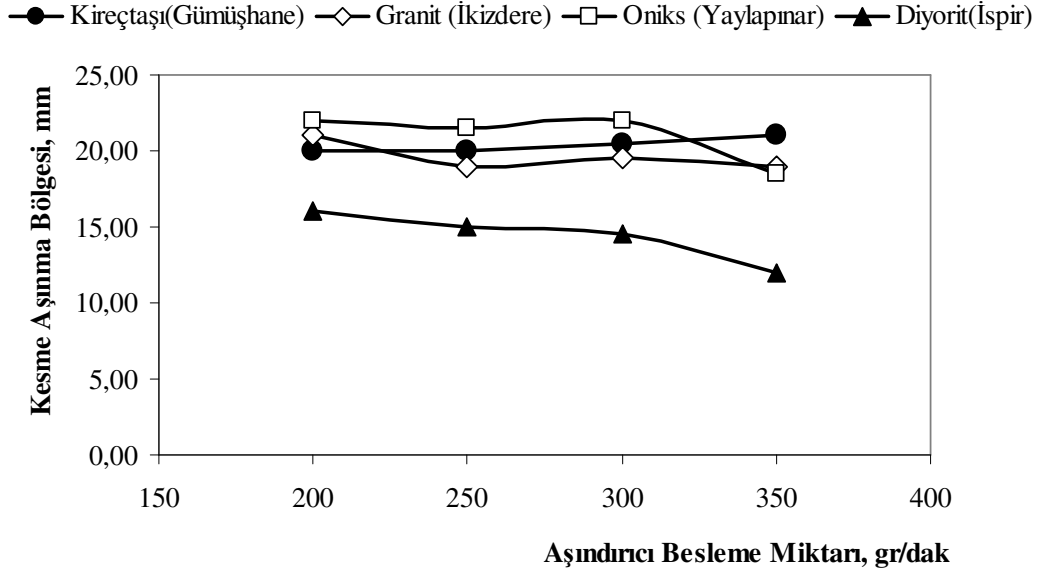
Şekil 3.13. Kesme genişliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi.



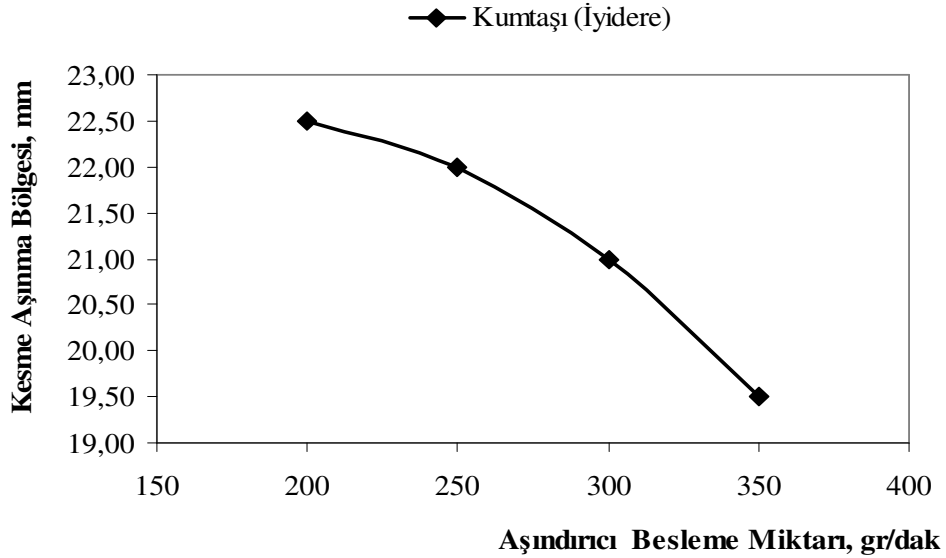
Şekil 3.14. Kumtaşı örneklerinde kesme genişliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi

Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 aşındırıcı besleme miktarı değişiminin kesme-aşınma bölgesinin genişliğine etkisini göstermektedir. Şekillerden de görüleceği gibi aşındırıcı besleme miktarının artışı ile kesme-aşınma bölgesinin kalınlığında genel olarak belirgin bir değişme meydana gelmemiştir. Oniks ve her aşındırıcı besleme miktarında en düşük

kesme-aşınma bölgesi genişliğinin elde edildiği diyoritte 300 gr/dak'dan sonra kesme-aşınma bölgesinin kalınlığı azalmaya başlamıştır. Bu aralıktaki değişme her iki kayada da %15 civarında olmuştur. Kumtaşında ise incelenen aralıkta düzgün bir azalma gözlenmiş ve toplam değişme % 13 civarında gerçekleşmiştir (Şekil 3.16).



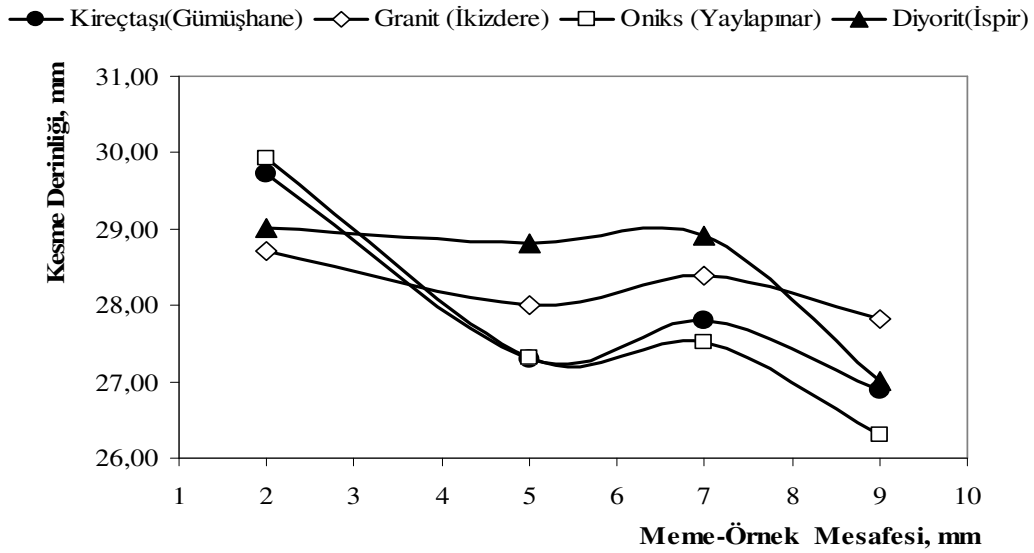
Şekil 3.15. Kesme-aşınma bölgesi derinliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi



Şekil 3.16. Kumtaşı örneklerinde kesme-aşınma bölgesi derinliğinin aşındırıcı besleme miktarına bağlı değişimi

3.3. Meme-Örnek Mesafesi Değişimi

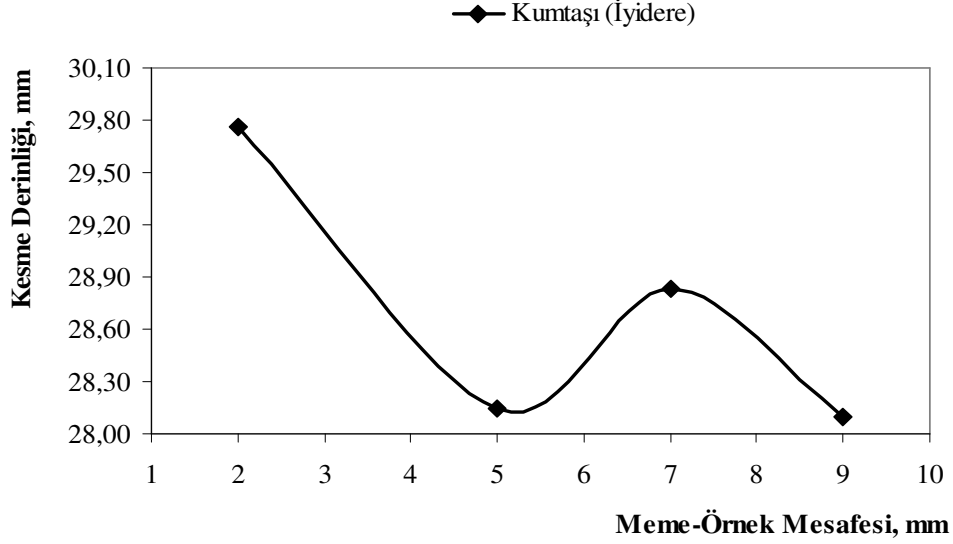
Meme-örnek arası mesafe değişiminin etkisinin araştırıldığı deneylerde çalışma parametreleri 400 MPa pompa basıncı, 350 gr/dak aşındırıcı besleme miktarı ve (kumtaşı örnekleri) hariç kesme hızı ise 600 mm/dak olarak seçilmiştir. Kumtaşı örnekler için kesme hızı 1200 mm/dak alınmıştır. 2, 5, 7 ve 9 mm meme-örnek mesafesi değerlerinde gerçekleştirilen kesme deneylerinde elde edilen sonuçlar izleyen grafiklerde sunulmaktadır.



Şekil 3.17. Kesme derinliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi

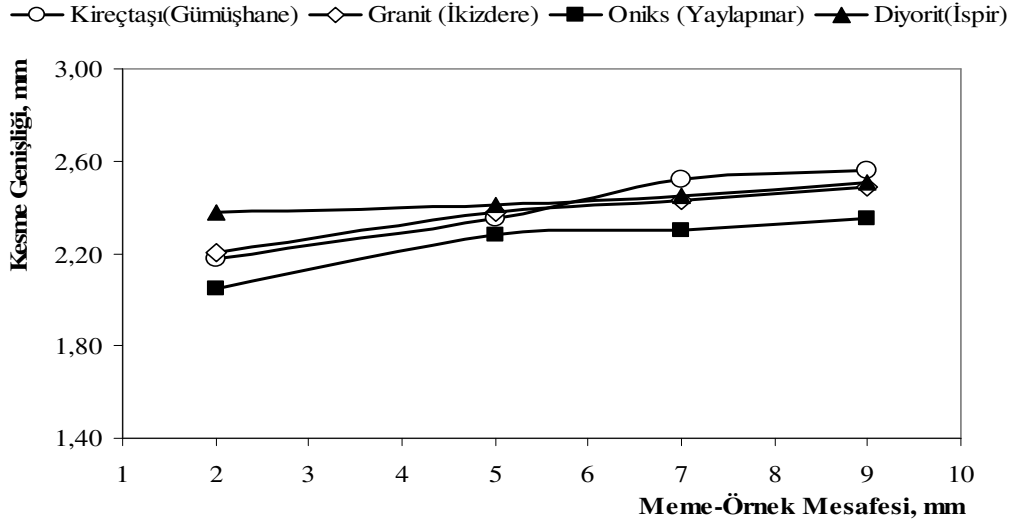
Genel olarak meme-örnek mesafesinin artışı ile incelenen kayaçların tamamında kesme derinliği azalmıştır (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18). Ancak, kayaçların davranışları değişim sürecinin seyri açısından farklılık göstermiştir. Oniks ve kireçtaşında 2 mm meme-örnek mesafesinde kesme derinliği örnek kalınlığına eşittir. Bu değerden sonra 5 mm'ye kadar hızlı bir azalma gösteren kesme derinliği 7mm'ye kadar artmış ancak bu değerden sonra yine belirgin bir düşüş göstermiştir. Aynı değişim kumtaşında da gözlenmiştir. Kumtaşında gerçekleşen değişim % 5,6, onikte % 12 ve kireçtaşında %9,5 oranlarına erişmiştir. Diyorit ve granitte meydana gelen değişim de genel karakteristik itibarı ile aynıdır. Ancak, 2-5 mm arasındaki değişim daha ılımlıdır. Yine 7-9 mm arasındaki azalma

da sınırlı bir aralıkta gerçekleşmiştir. Her iki kayaçta da kesme derinlikleri diğer kayaçlara oranla daha düşük değerlerde gerçekleşmiştir. Kesme derinliğindeki değişme granitte %3,1 ve diyoritte % 6,9 olmuştur.

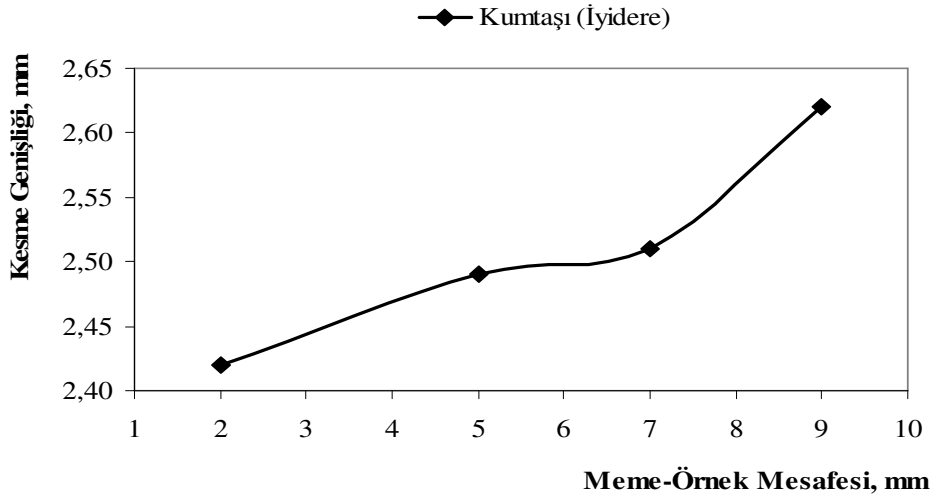


Şekil 3.18. Kumtaşı örneklerinde kesme derinliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi

Meme-örnek mesafesi artışının kesme genişliği üzerindeki etkisi kesme genişliğinin artışı yönünde olmuştur (Şekil 3.19 ve Şekil 3.20). İncelenen bütün kayaçlarda artan meme-örnek mesafesi ile kesme genişliği artmıştır. Artış 5-7 mm arasında genel eğilimin aksine çok az yavaşlama eğilimi göstermiştir. Granitte % 13,20, diyoritte %14,60, kireçtaşında % 17,40 ve kumtaşında onikste % 8,30 oranlarında artışlar meydana gelmiştir.



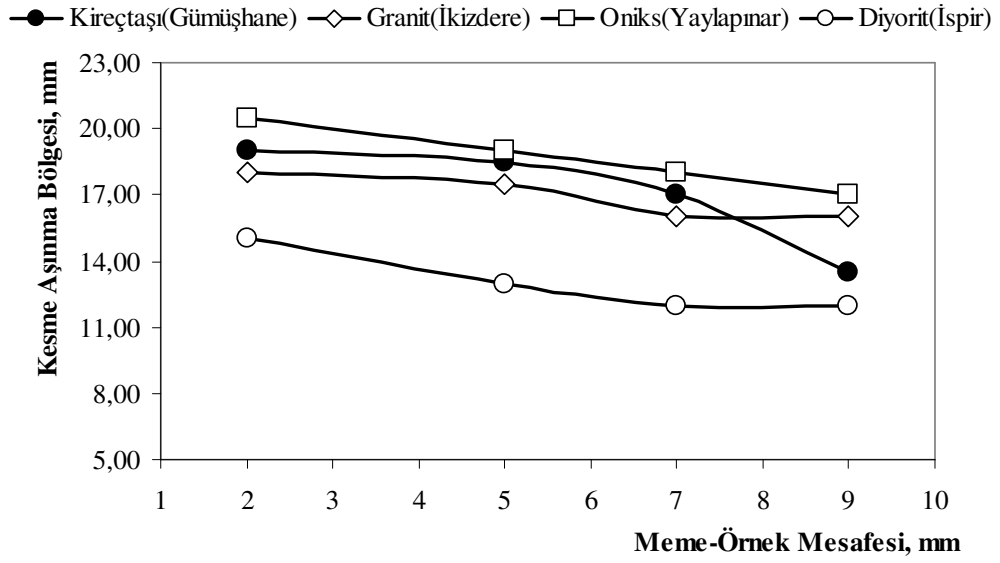
şekil 3.19. Kesme genişliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi



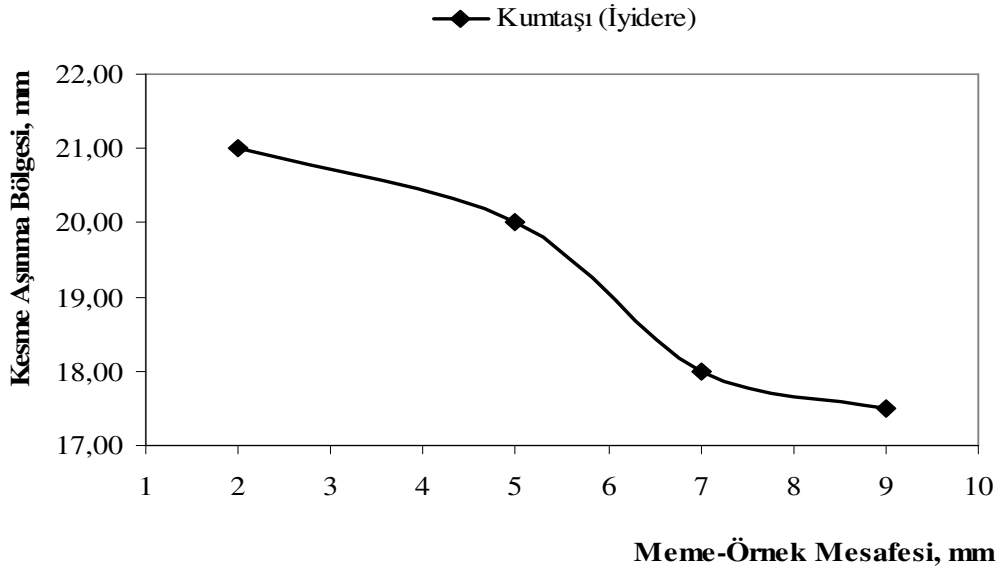
şekil 3.20. Kumtaşı örneklerinde kesme genişliğinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi.

Meme-örnek mesafesinin değişimi ile kesme-aşınma bölgesinin değişiminde meydana gelen değişim şekil 3.21 ve 3.22'de gösterilmektedir. Genel olarak, tüm kayaçlarda meme-örnek mesafesinin artışı ile kesme-aşınma bölgesinin derinliğinde

azalmalar meydana gelmiştir. Granit ve gabbroda meydana gelen değişim benzerlik göstermektedir. Her iki kayada da azalma 7 mm'den sonra yavaş bir değişim hatta bir sabit gidiş eğilimi göstermektedir. Öte yandan, kireçtaşında gözlenen azalma özellikle 5 mm mesafeden sonra dikkat çekici bir seviyededir. Onikte gözlenen değişim kireçtaşı ile benzerlik gösterse de değişim dar bir aralıkta gerçekleşmiştir.



Şekil 3.21. Kesme aşınma bölgesinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi



Şekil 3.22. Kumtaşı örneklerinde kesme aşınma bölgesinin meme-örnek mesafesine bağlı değişimi

4. İRDELEME

Deneysel çalışmalarda incelenen çalışma parametreleri meme-örnek mesafesi, kesme hızı ve aşındırıcı miktarının değişimi kesme derinliği, kesme genişliği, kesme aşınma bölgesinin derinliği ve yüzey düzgünlüğü ölçütleri temelinde değerlendirilmiştir. Genel bir sonuç olarak aşındırıcı besleme miktarı ve meme-örnek mesafesi değişimlerinin kesme hızına oranla daha belirgin değişimler ortaya koyduğu söylenebilir. Ancak kesme performansı ile incelenen kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasında net bir ilişkinin tanımlanması mümkün değildir. Bu sonucun en önemli nedenleri, homojen bir malzeme olmayan kaya malzemesinin aşınma davranışının fiziksel ve mekanik özellikleri yanında mineralojik ve dokusal özellikleri tarafından da kontrol edilmesidir.

Kesme hızı ile kesme performansı arasındaki ilişki en temel haliyle malzemenin su jetinin aşındırma/kesme etkisine maruz kalma süresi ile ifade edilebilir. Kesme hızının azalması malzeme üzerindeki bir noktanın daha uzun süre su jeti etkisinde kalması anlamına gelir. Bu durumda örnek tüm kalınlığına yakın değerlerde kesilebilecektir. Literatürde gerek kayaçlar gerekse de başka malzemelerle yapılan çalışmalarda kesme hızının artışı ile kesme derinliğinin düştüğü belirlenmiştir. Granitlerle gerçekleştirdikleri çalışmalarında Bortolussi vd. (1988) ve Huang vd. (2006), kumtaşı ile Hagan (1992) ve değişik su-çimento oranlarında hazırlanmış beton örnekleri kullandıkları çalışmalarında Momber (2005) ve Momber ve Kovacevic (1997) artan kesme hızı ile kesme derinliğinin azaldığını belirlemişlerdir. Lemma vd. (2005) ise hem yumuşak çelik, hem de alüminyum malzeme ile aynı davranışı belirlemiştir.

Kesme hızı artışı ile kesme derinliği azalırken kesme genişliği artmıştır. Düşük pompa basıncında kısıtlı bir değişim aralığı elde edilirken (Şekil 3.1, ve Şekil 3.2) yüksek basınçta gerçekleşen değişim daha yüksek olmuştur (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Mekanik ve fiziksel özellikleri kireçtaşı, kumtaşı ve onikse göre genel olarak daha yüksek olan diyorit ve granitte elde edilen kesme derinliği değerleri ve kesme derinliğinin değişim davranışı çalışma koşullarının değişmesi ile farklılıklar göstermiştir. Örnek olarak, 220 MPa basınçta gerçekleştirilen deneyde en düşük kesme derinliği granit ve sonra da diyoritte elde edilmişken (Şekil 3.1) 400 MPa basınçta artan kesme hızı ile birlikte oniksin kesme derinliği diğer kayaçlardan daha düşük değerlere ulaşmıştır. Keza, diyorit bu çalışma koşullarında en yüksek kesme derinliklerinin elde edildiği kayaç olmuştur.

Kesme hızı değişiminin kesme genişliği üzerindeki etkisi kesme derinliğine oranla daha yüksek olmuştur. Artan kesme hızı ile incelenen kayaçların tamamında kesme genişlikleri artmıştır. Kısmen aşındırıcı su jeti yönteminin kesme aşındırma mekanizması kısmen de kayaçların malzeme özellikleri bu değişimde rol oynamıştır. Kesme genişliği değişiminin bu davranışı literatürle uyumluluk arz etmektedir (Huang, 2006; Ma ve Deam, 2006). Ancak kayaçların davranışı genel bir uyum içerisinde değildir. Granit ve onikte düzenli bir artış gözlenirken diyorit ve kireçtaşında kesme derinliği, incelenen aralıkta kısa aralıklarda artma ya da azalma eğilimi göstermişse de toplamda belirgin bir artış göstermemiştir. Yine, incelenen kayaçlarda artan kesme hızı ile kesme-aşınma bölgesi derinlikleri de azalmıştır. Genel bir durum olarak diyorit ve granitte gerçekleşen kesme-aşınma bölgesi kalınlıkları diğer kayaçlardan daha düşük seviyelerdedir.

Aşındırıcı besleme miktarının kesme performansına etkisi kesme derinliğinden daha çok yüzey dalgalılığı ve kesme genişliği ile ilgilidir. Chen ve Siores (2003) ve Chen ve vd. (2003), aşındırma ile malzemedan koparılan parçacık miktarının aşındırıcı taneciklerin kinetik enerjisi tarafından kontrol edildiğini belirlemiştir. Jet içinde aşındırıcı taneciklerin dalgalı bir dağılım gösterdiği ve bağlı olarak kesilen malzeme yüzeyinde oluşan dalgalılığa da bu dağılımın katkı yaptığını öne sürmüşlerdir. Öte yandan, Momber (2006) sert kaya (hard rock) ve minerallerin (granit, kuvars ve feldspat) bir mikro çatlak ağının oluşumu, yumuşak kayaçların (kireçtaşı, şist ve matriks malzemeler) ise plastik akma mekanizması ile deforme olduklarını belirtmişlerdir. Benzeri bir tespit Miranda ve Quintino (2005) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar kireçtaşı ve hakiki mermerlerin aşındırıcı su jeti ile kesilmesi sonucunda oluşan yüzey kalitesini araştırdıkları çalışmalarında kesmenin iki kayaçta iki farklı aşınma mekanizması ile gerçekleştiğini ileri sürmüşlerdir. Kireçtaşında tanelerin kesildiği bir mekanizma hâkim iken hakiki mermerlerde tanelerin erozyonun neden olan bir süreç etkindir. Her iki çalışmanın önemli bir sonucu taneliliğin kayaçların erozyon davranışını etkileyen bir özellik olduğudur. Taneli yapılarda taneler arası bağ ve yapıdaki tanelerin boyut dağılımı gibi özellikler başlıca aşındırıcı taneciklerin etkisi nedeniyle granit ve diyorit gibi kayaçların davranışında genel eğilimin aksine sapmaların ortaya çıkmasına neden olarak görülebilir. Tane boyut dağılımı yanında yapıdaki mineral türleri de bu tür etkilere katkı yapabilecek faktörlerdir.

Deneysel çalışmalarda aşındırıcı besleme miktarının artışı ile kesme derinliğinde artışlar meydana gelmiştir (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12). Yüksek dayanım özelliklerine sahip diyorit ve granitte kesme derinlikleri beklenildiği gibi düşük olduğu halde 250 gr/dak

aşındırıcı besleme değerinden sonra diyoritte elde edilen kesme derinliği granitin üzerine çıkmıştır. Ancak aşındırıcı besleme miktarı artışı önemli etkisini kesme genişliği üzerinde göstermiştir. Granit ve diyoritte daha fazla olmak üzere artan aşındırıcı miktarı ile kesme genişlikleri artmıştır. 200-300 gr/dak aralığında kesme-aşınma bölgesinin kalınlığı hemen hemen sabit bir gidiş gösterirken 300 gr/dak'dan sonra oniks ve diyoritte diğer kayaçların aksine önemli düşüşler gözlenmiştir. Momber ve Kovacevic'in (1997) değişik su-çimento oranlarında hazırlanmış betonlarla yaptıkları çalışmada kesme derinlikleri artan aşındırıcı miktarı ile artış göstermişse de beton örnekler kompozisyonlarına bağlı olarak yukarıda bahsedilen sapsmalara benzer davranışlar göstermiştir.

Meme-örnek mesafesi su jetinin malzemeye temas ettiği alanın genişliğini belirlemesi açısından önemli bir parametredir. Yüksek meme-örnek mesafesi değerlerinde su jeti malzemeye temas ettiği an, meme çıkış anındaki çapından daha geniştir. Bu ise aşındırıcı taneciklerinin daha geniş bir alanda dağılmalarına sebep olur. Artan meme örnek mesafesi dağılma/yayılma durumuna bağlı olarak su jetinin temas ettiği yüzeyde birim alana uygulayacağı darbe etkisinin azalmasına neden olur. Bağlı olarak kesilen yüzeylerde pürüzlülük artar, kesme derinliği ve kesme-aşınma bölgesi derinliklerinde düşüşler beklenir.

Deneysel çalışmalarda artan meme-örnek mesafesi ile kesme derinliği değişimi incelendiğinde kayaçların iki farklı davranış ortaya koyduğu görülmüştür. Diyorit ve granitte kesme derinliği 7 mm/dak'ya kadar nispeten sabit bir seyir izlemiş ve bu değerden sonra özellikle diyoritte yüksek bir düşüş göstermiştir. Öte yandan, kireçtaşı, oniks ve kumtaşında 5-7 mm arasında bir artma, bu aralığın her iki tarafında da bir azalma gözlenmiştir. Bu farklılık kayaç özellikleri ile aşınma mekanizmasının toplam sonucudur. Meme-örnek mesafesinin artışı ile kesme genişliği de artış göstermiştir. Kesme derinliğinin aksine, artan meme-örnek mesafesi ile kesme genişliğinde en yüksek artış oniks ve diyoritte gerçekleşmiştir. Ancak genel olarak kesme genişliği değerleri tüm kayaçlarda yakın değerlerdedir (Şekil 3.19 ve Şekil 3.20). Meme-örnek mesafesinin artışı ile kesme-aşınma bölgesinin kalınlığı azalma göstermiştir. Özellikle 7 mm'den sonra oniks ve kireçtaşında gözlenen ciddi düşüşe karşılık, kesme-aşınma bölgesi kalınlığı granit ve diyoritte sabit kalma ya da yavaş bir artış eğilimi göstermiştir. Önceki çalışmalarda meme-örnek mesafesi değişimi farklı örnekler kullanılarak araştırılmıştır (Ma ve Deam, 2006; Arola ve Ramulu, 1997; Momber ve Kovacevic, 1997). Bu çalışmalarda meme-örnek mesafesinin düşük seçilmesinin kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme-aşınma bölgesi

derinliği olduğu kadar kesme yüzey kalitesinin iyileştirilmesi için de uygun seçenек olduğu belirlenmiştir. Ma ve Deam'in (2006) akrilik örneklerle yaptıkları çalışmada aynı kesme derinliği için meme-örnek mesafesinin artışı ile kesme genişliği de artmış, ancak artış belli bir değerden sonra yavaş bir seyir izlemiştir.

Aşındırıcı su jeti kesme sistemlerini diğer yöntemler karşısındaki en büyük dezavantajı kesilen yüzeylerin kalitesidir. Kesme hızı, meme-örnek mesafesi ve aşındırıcı besleme miktarı parametrelerinin yüksek seçildiği çalışma koşulları yüzey dalgalılığı, düşük kesme ve kesme-aşınma bölgesi derinliği değerlerinin gerçekleşmesine neden olur. Bu durumun yöntemin yüksek üretim kapasiteleri hedeflenen kesme süreçlerinde kullanımını kısıtlamak gibi bir etkisi vardır.

Aşındırıcı su jeti ile kesme işlemi aslında aşındırıcı ilave edilmiş su jeti ve malzeme arasındaki etkileşimin kontrolünde gelişen bir süreçtir (Chen ve Siores, 2003). Bu açıdan bakıldığında, süreç kesilen malzemenin türüne bağlı olarak iki farklı şekilde gelişen bir erozyon sürecidir. Kırılgan/gevrek erozyon olarak tarif edilen birinci süreçte kesme, aşındırıcı parçacıkların malzeme yüzeyinde temas ettikleri noktanın etrafında gelişen mikro çatlakların kesişmesi ile malzeme yüzeyinden parçacıkların kopması sonucunda meydana gelir. İkinci süreç ise sünek erozyon olarak adlandırılır. Bu süreçte aşındırıcı parçacıklar kesilen malzeme yüzeyinde saban hareketine benzer bir etkiyle (kazıyarak/yırtarak) malzemeyi yavaş yavaş keser. Yukarıda bahsedildiği gibi Momber (2006) de Chen ve Siores (2003) tarafından önerilen aşınma mekanizmasına benzer bir aşınma mekanizmasını kayalar için tanımlamıştır. Ancak, Chen ve Siores (2003) aşındırıcı su jeti ile kesme işleminde kesilen malzemenin türüne bağlı olarak bahsedilen iki kesme mekanizmasının bir kombinasyonu ile kesmenin meydana gelebileceğini belirtmişlerdir.

DeneySEL çalışmalarda farklı çalışma koşullarında örneklerde elde edilen yüzey özellikleri analiz edildiğinde artan kesme hızı, aşındırıcı miktarı ve meme-örnek mesafesi değerlerinde yüzey dalgalılığının arttığı gözlenmiştir. Aşındırıcı besleme miktarının yüksek seçildiği çalışma koşullarında kesilen kayalarda elde edilen deformasyon bölgesi yapısı Chen ve Siores (2003) tarafından ileri sürülen ve aşındırıcı taneciklerin etkinliğinde gelişen aşındırma sürecine işaret eder özelliktedir. Bu bölgede oluşan kaba dalgaların arasındaki bölgede yer alan ve nispeten daha düzgün olması beklenen kısımlarda ince dalgalar yer almıştır. Bu durum tüm kayalarda gözlenmiş ise de granit ve diyoritte daha belirgindir. Özellikle granit ve diyoritte aşınma bölgesinde yüzey pürüzlülüğü artmış yer yer oyuklar

oluşmuştur. Granitte ise gerek kesme-aşınma gerekse de deformasyon bölgesindeki bazı tanelerde çıplak gözle izlenebilir çatlaklar mevcuttur. Daha küçük taneli kayalar olan kumtaşı, oniks ve kireçtaşının yüzey kalitesi kesilen yüzeyde genel olarak homojenlik (dalga genişliği ve dalga şekli) arz etmektedir. Granit ve diyoritte elde edilen yüzey kalitesi ile diğer kayalarda elde edilen yüzey kalitesi karşılaştırıldığında başka araştırmacılar tarafında ileri sürülen kesme mekanizmasının genel olarak kayalarda meydana gelen aşınma mekanizmasını açıklamaya yeterli olduğu ancak kayacın mineralojik ve dokusal özelliklerinin de bu süreçte etkin olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Belirli çalışma koşullarında elde edilen örnek kesme yüzeyleri [400 MPa pompa basıncı, 500 mm/dak kesme hızı, 2 mm meme-örnek mesafesi ve 200 gr/dak aşındırıcı besleme koşullarında kesilmiş diyorit (üst), oniks (orta) ve kumtaşı (alt, 1100 mm/dak)]



Şekil 4.2. Belirli çalışma koşullarında elde edilen örnek kesme yüzeyleri [400 MPa pompa basıncı, 500 mm/dak kesme hızı, 2 mm meme-örnek mesafesi ve 200 gr/dak aşındırıcı besleme koşullarında kesilmiş kireçtaşı (üst), ve granit (alt)]

Deneysel çalışmaların analizi sırasında kayaç fiziksel ve mekanik özellikleri (Tablo 2.1-2.5) ile kesme performans ölçütleri (kesme derinliği, kesme genişliği, kesme-aşınma bölgesi derinliği) arasında bir korelasyon tanımlamak olanağı bulunamamıştır. Değerlendirilen her üç ölçüt ile ilgili analizlerde genel olarak diyorit-granit ve kumtaşı-kireçtaşı-oniks gruplaşması gözlenmiş ise de tek başına kayaçların aşınma davranışını ifade edebilecek bir özellik mevcut değildir. Aşındırıcı su jeti yöntemi için önerilen kesme mekanizmaları (Arola ve Ramulu 1997; Chen ve Siores, 2003; Miranda ve Quintino, 2005) değerlendirildiğinde birden çok faktörün kontrolünde gelişen bir aşınma mekanizması için tek bir parametreye bağlı performans tanımlamanın güçlüğü açıktır. Bileşen minerallerin cinsi, tanelerin şekli, tane boyut dağılımı ve taneler arası bağın özellikleri kayaçların mekanik etkiler altında homojen bir davranış göstermesini engellemektedir. Kayaçların davranışları ile ilgili olarak yukarıda bahsedilen sapmaların önemli bir kaynağı olarak ta bu heterojen yapı görülmelidir. Miranda ve Quintino (2005) da kireçtaşı ve hakiki mermerlerin aşınma mekanizmalarındaki farklılığa işaret ettikten sonra mikro sertlik ve doluluk oranının önemli etkilerine vurgu yapmışlardır. Kayaçların fiziksel ve mekanik

özellikleri (Tablo 2.1-2.5) incelendiğinde çalışmada kullanılan kayaçların tüm özellikleri ile birlikte kategorize edilmesinin güç olduğu görülecektir. Örnek olarak, basınç dayanımı diyoritten düşük olan granitin doluluk oranı diyorite oranla daha yüksektir. Ancak ultrasonik hızı diyoritin yaklaşık % 50'sine karşılık gelmektedir. Benzer şekilde darbe dayanımı oniksten daha yüksek olan kumtaşının kesme performansı genel olarak oniksten daha kötüdür. Tüm kayaçların özellikleri arasında benzer uyumsuzluklar belirleyebilmek mümkündür.

5. SONUÇLAR

Aşındırıcı su jeti yöntemi özellikle şekilli kesme işleri için doğal taş üretim sektöründe kullanım potansiyeli olan bir işleme yöntemidir. Geleneksel kesme yöntemleri ile kıyaslandıklarında önemli üstünlükleri olan yöntemde kabul edilebilir yüzey kalitesi için düşük performansta çalışma gereği önemli bir handikaptır. Gerçekleştirilen çalışmada aşındırıcı su jeti kesme sistemlerinin değişik kayalardaki kesme performansı araştırılmıştır. Çalışmada, kesme sisteminin çalışma parametreleri olan kesme hızı, meme-örnek mesafesi, aşındırıcı besleme miktarı ve pompa basıncı parametreleri incelenmiştir. Bu amaçla, kesme performans göstergesi olan kesme derinliği, kesme genişliği ve kesme aşınma bölgesi derinliğinin ölçülmesi ile elde edilen değerler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. İncelenen kayalar ve denenen çalışma parametreleri temel alındığında optimum yüzey kalitesi ve kesme performansı için kumtaşı dışındaki kayalarda kesme hızının 350-400 mm/dak (kumtaşı 950-1000 mm/dak), aşındırıcı besleme miktarının 150–200 gr/dk ve meme örnek mesafesinin 1-3 mm olduğu belirlenmiştir.
2. Kesme hızı, aşındırıcı besleme miktarı ve meme-örnek mesafesi parametrelerinin artırılması tüm kayalarda kesme ve kesme-aşınma bölgesi derinliği değerlerinin azalması, kesme genişliğinin artması ve yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmuştur. Aynı çalışma koşulları için granit ve diyoritte elde edilen yüzey kalitesi diğer kayalara nazaran daha kötüdür.
3. İncelenen çalışma parametreleri içinde aşındırıcı besleme miktarı ve meme-örnek mesafesinin değişimi kesme hızına göre kesme derinliği ve kesme-aşınma bölgesi derinliği üzerinde daha etkindir. Düşük çalışma basıncında (220 MPa) kesme hızının değişimi kesme derinliği ve kesme aşınma bölgesinde önemli değişmelere neden olmamıştır. Öte yandan, her üç parametre de kesme genişliği üzerinde etkilidir. En önemli etki aşındırıcı besleme miktarıdır. Artan aşındırıcı miktarı ile tüm kayaların kesme derinliği düzgün bir artış göstermiştir. Ancak, aşındırıcı besleme miktarının artışı tüm kayalarda (özellikle granit ve diyorit) yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olmuştur.

4. Tüm kayaçlarda kesme performansı için temel alınabilecek bir fiziksel ve mekanik özellik tanımlamak olanağı yoktur. Bu, literatürde de işaret edilen bir durumdur.
5. Kayaçlarda aşındırıcı su jeti ile kesme uygulamalarında yüksek performans için belli bir çalışma basıncında meme-örnek mesafesinin ve kesme hızının düşük tutulmalıdır. Uygun aşındırıcı besleme miktarı ise malzeme özelliklerine bağlı olarak seçilmelidir. Bu seçim için kayacı oluşturan minerallerin cinsi, tane şekli ve boyut dağılımı, taneler arası bağlılığın derecesi ve doluluk oranı gibi özelliklerin değerlendirilmesi gereklidir.

6. ÖNERİLER

Konu ile ilgili çalışmaları daha ileri seviyelere ulaştırmak amacı ile aşağıda belirtilen konularda araştırılması önemli katkılar sağlayacaktır.

- i. Gerek incelenen kayaçların türlerinin gerekse de aynı türden seçilen örnek sayısının artırılması, mineralojik ve dokusal özellikleri itibarıyla homojenlik arz etmeyen kaya malzemedeki kesme performansına etki eden faktörlerin tanımlanabilmesi için faydalı olacaktır.
- ii. Meme çapı, meme-örnek mesafesi, kesme hızı ve aşındırıcı miktarı için fazla sayıda değer alınarak deneyler gerçekleştirilmelidir. Bu, konu ile ilgili az sayıda çalışmada elde edilen sonuçların tutarlılığın arttırmak yanında, özellikle aşındırıcı, pompa basıncı, kayaç mineralojik ve dokusal özellikleri arasındaki etkileşimin araştırılması için önemli katkılar sağlayacaktır.
- iii. Meme titreşimli makine tasarımları ile araştırmalar gerçekleştirilmelidir. Son yıllarda farklı araştırmacılar meme titreşimli makine tasarımları ile kesme yüzey kalitesinin iyileştirildiği sonuçlarına ulaşmışlardır. Bu konuda kayaçlarla ilgili çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Titreşimli makine tasarımı ile çok sayıda örnek kullanılarak gerçekleştirilecek çalışmaların konuya önemli katkılar sağlama olanağı mevcuttur.

7. KAYNAKLAR

- Abdel-Rahman, A. A. ve El-Domiaty, A. A., 1998, Maximum Depth of Cut Ceramics Using Abrasive Waterjet Technique, Wear, 218, 216-222.
- Akkurt, A., Kulekci, K. M., Seker, U. ve Ercan F., 2004, Effect of Feed Rate on Surface Roughness in Abrasive Waterjet Cutting Applications, Journal of Materials Processing Technology, 147, 389 -396.
- Alitavoli, M. ve 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.
- Alp, İ., Yılmaz, A. O., Çavuşoğlu, İ., Arslan, M., Kolaylı, H. ve Er, M., 2006, Bayburt Yaylapınar Oniksinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Ed., Ersoy, M. ve Ergün, E., Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, 2 – 3 Mart 2006, Afyonkarahisar.
- Baltacı, S., 2002, Cam Malzemelerin Aşındırıcı Su Jeti İle Kesilebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, G. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bortolussi, A., Yazici, S. ve Summers, D.A., 1988, The Use of Waterjets in Cutting Granite, 9th International Symposium on Jet Cutting Technology, 4 – 6 October, Sendai – Japan.
- Chen, L. F., Siores, E. ve Patel, K., 2002, Improving The Cut Surface Qualities Using Different Controlled Nozzle Oscillation Techniques, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Design, Research and Application, 42, 717 – 722.
- Chen, L., Siores, E. ve Wong, W.C.K., 1998, Optimising Abrasive Waterjet Cutting of Ceramic Materials, Journal of Materials Processing Technology, 74, 251-254.
- Chen, L. F., Siores, E., Patel, K. ve Momber, W. A., 2002, Minimising Particle Contamination at Abrasive Waterjet Machined Surfaces by a Nozzle Oscillation Technique, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Design, Research and Application, 42, 1385 – 1390.
- Chen, L. F. ve Siores, E., 2003, The Effect of Cutting Jet Variation on Surface Striation Formation in Abrasive Water jet Cutting, Journal of Materials Processing Technology, 135, 1-5.
- Chen, L. F., Wang, J., Lemma, E. ve Siores E., 2003, Striation Formation Mechanisms on The Jet Cutting Surface, Journal of Materials Processing Technology, 141, 213-218.

- Geren, N. ve Şahin, B., 1995, Su Jeti ile Kesme Teknolojisi ve Endüstriyel Uygulamaları, *Mühendis Makine Dergisi*, 35, 37-41.
- Geren, N. ve Tunç, T., 2001, Yapısal Farklılıklar İçeren Su Jeti Kesme Sistemlerinin En Uygununun Belirlenmesi, *Mühendis ve Makine*, 42, 42-49.
- Görgülü, Ü., Alp, İ., Çavuşoğlu, İ., Kolaylı, H. ve Arslan, M., 2006, Papatya Desenli Diyoritlerin Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliği, Ed; Demir, C. ve Yılmaz, A.O., Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, 14-16 Eylül 2006, Trabzon.
- Gudimetla, P., Wang, J. ve Wong, W., 2002, Kerf Formation Analysis in The Abrasive Waterjet Cutting of Industrial Ceramics, *Journal of Materials Processing Technology*, 128, 123 – 129.
- Hagan, P.C., 1992, The Cuttability of Rock Using a High Pressure Water Jet, The University of New South Wales (UNSW), Sydney, Australia.
- Hu, G. X., Momber, W. A. ve Yin, G. Y., 2002, Hydro-Abrasive Erosion of Steel-Fibre Reinforced Hydraulic Concrete, *Wear*, 253, 848-854.
- Huang, Z. C., Hou, G. R., Wang, J. ve Feng, X. Y., 2006, The Effect of High Pressure Abrasive Water Jet Cutting Parameters on Cutting Performance of Granite, *Key Engineering Materials*, 304-305, 560-564.
- Juo, N.S., Louis, H. ve Meier, G., 1993, Surface Structure And Kerf Geometry in Abrasive Water Jet Cutting, Proceedings of the 7th American Waterjet Conference, Seattle - Washington, U.S.A.
- Karakurt, İ., Aydın, 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 2006, Trabzon.
- Kulaksız, S., Doğal Taş Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 2005.
- Kuyumcu, H.Z. ve Rolf, L., 2004, Application of High Pressure Waterjets for Comminution, *International Journal of Mineral Processing*, 74, 191-198.
- Lemma, E., Chen, L., Siores, E. ve Wang, J., 2002, Optimising The AWJ Cutting Process of Ductile Materials Using Nozzle Oscillation Technique, *International Journal of Machine Tools and Manufacture, Design, Research and Application*, 42, 781 – 789.
- Lemma, E., Deam, R. ve Chen, L., 2005, Maximum Depth of Cut and Mechanics of Erosion in AWJ Oscillation Cutting of Ductile Materials, *Journal of Materials Processing Technology*, 160, 188-197.

- Lemma, E., Deam, R., Chen, L. F. ve Wang, J., 2005, Maximum Depth of Cut and Other Performance Characteristics of The AWJ Oscillation Cutting Process of Ductile Materials, Industrial Research Institute Swinburne, Australia.
- Liu, Y. ve Chen, X., 2004, A Study on The Abrasive Water Jet Cutting for Granite, Key Engineering Materials, 257-258, 527-532.
- Ma, C. ve Deam, R. T., 2006, A Correlation for Predicting The Kerf Profile from Abrasive Water Jet Cutting, Experimental Thermal and Fluid Science, 30, 337-343.
- Mazurkiewicz, M., 2006, A Manufacturing Tool for a New Century, Journal of Materials Processing Technology, 106, 112 – 118.
- Miranda, M. R. ve Quintino, L., 2005, Microstructural Study of Material Removal Mechanisms Observed in Abrasive Waterjet Cutting of Calcareous Stones, Materials Characterization, 54, 370 – 377.
- Momber, W. A. ve Kovacevic, R., 1997, Test Parameter Analysis in Abrasive Water Jet Cutting of Rocklike Materials, International Journal of Rock Mechanic and Minerals Science, 34, 17-25.
- Momber, W. A., 2004, Wear of Rocks by Water Flow, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41, 51 – 68.
- Monno, M. ve Ravasio, C., 2004, The Effect of Cutting Head Vibrations on the Surfaces Generated by Waterjet Cutting, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Design, Research and Application, 45, 355 – 363.
- Nural, D., 2001, Cutting of Ceramics with use of Abrasive Waterjet, Yüksek Lisans Tezi, B.U. Graduate Studies in Science and Engineering, İstanbul.
- Ogan, D.A., 2001, Su Jeti ile Kesme Yönteminde Kesmeye Etki Eden Faktörlerin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, E. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Onargan, T., Köse, H. ve Deliormanlı, A. H., Mermer, Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 2006.
- Savanick, A. G. ve 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, A. D. ve Peters, F. J., 1974, The Effect of Rock Anisotropy on The Excavation Rate in Barre Granite, 2nd International Symposium on Jet Cutting Technology, 2 – 4 April 1974, Cambridge, England.

- Tüdeş, Ş.,1994, İkizdere (Rize) Yöresindeki Granitik Kayaçların Mermer Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- URL-1, http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/machining/non_trad/waterjet, Waterjet Cutting, 25.09.2006.
- URL-2, <http://www.jetedge.com>, Jet Edge, Ultra – High Pressure Waterjet Systems, 27.09.2006.
- URL-3, http://www.boztas.com/katalog/pdf/flow/FlowSuJeti_tr.pdf, Su Jeti İle Kesim Çözümleri, Boztaş, 29.09.2006.
- URL-4, http://www.sharpleddie.com/sharples/website3/pages/edge_quality.html, Edge Quality with Abrasive Water-Jet Cutting, 02.10.2006.
- URL-5, http://www.agmusa.com/mach/stone_mach/waterjet, AGM–Stone Machining, 22.12.2006.
- Vijay, M. M., 1995, Considerations in The Use of High Speed Water Jets for Deep Slotting of Granite, Gas Dynamics Laboratory, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario Canada.
- Vikram, G. ve Babu, R.N., 2002, Modelling and Analysis of Abrasive Water Jet Cut Surface Topography, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Design, Research and Application, 42, 1345 – 1354.
- Wang, J. ve Guo, M. D., 2002, The Cutting Performance in Multipass Abrasive Waterjet Machining of Industrial Ceramics, Journal of Materials Processing Technology, 133, 371 – 377.
- Wang, J. ve Wong, K. C. W., 1998, A Study of Abrasive Waterjet Cutting of Metallic Coated Sheet Steels, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Design, Research and Application, 39, 855 – 870.
- Yazıcı, S. ve Summers, A.D., 1992, The Use of High Pressure Waterjets Cutting Foam, High Pressure Waterjet Laboratory, University of Missouri, Rolla, Missouri.
- Yazıcıoğlu, O., Kurt, M. ve Çetinkaya, Y.U., 1993, Sert Parçaların Kesilmesinde Basınçlı Su Jetinin Kullanılması, 6. Makine Teorisi Sempozyumu, Eylül 1993, Trabzon.

ÖZGEÇMİŞ

19 Mayıs 1980'de Erzurum'un Horasan ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Horasan'da tamamladı. 1999'da Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. Üniversite eğitimi süresince belirli dönemlerde Türkiye Taş Kömürü Kurumu Kozlu Müessese Müdürlüğü ve Karadeniz Bakır İşletmeleri Murgul İşletme Müdürlüğü'nde meslek stajlarını tamamladı. 20 Haziran 2003'de lisans eğitimini bitirdi. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Bir yıl K.T.Ü. Yabancı Diller Yüksek Okulu'nda İngilizce hazırlık programına devam etti. Halen aynı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam eden İzzet KARAKURT'un yabancı dili İngilizcedir.