



**T.C.
BİLECİK ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU**

**SU JETİ İLE DELME VE KESME İŞLEMİ PARAMETRELERİNİN YÜZEY
KALİTESİNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ: Yrd.Doç.Dr.Birol AKYÜZ

ARAŞTIRMACI: Oğuzhan DEMİR

BAŞLAMA TARİHİ: 01 Ekim 2010

BİTİŞ TARİHİ: 01 Nisan 2012

**BİLECİK ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK, 2012**

ÖZET

Su Jeti Kesme Sistemleri 2. Dünya savaşından sonra gelişerek uygulama alanı bulmuştur. İşleme mekanizması olarak alışılmış imalat yöntemlerinden tamamen farklı özelliklere sahip, çağdaş teknolojide vazgeçilmez ve birincil derecede rol oynayan işleme yöntemleridir. Bu yöntemler işleme ilkelerinin farklı olması ve tasarım mühendisliğine sağladıkları olanaklar ile günümüz ekonomisinde çok önemli etkisi olan minyatürleşme, olağanüstü malzemeleri kullanabilme ve esnek üretim olanakları sağlamışlardır.

Alternatif bir üretim yöntemi olarak gündeme gelen su jeti (SJ) ile kesme, endüstriyel amaçlı malzemelerdeki gelişmelere paralellik gösterecek şekilde, işlenmesi güç malzemelerin biçimlendirilmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, endüstride yaygın kullanılan malzemeden hazırlanan farklı kalınlıklardaki numuneler su basıncı, nozul ilerleme hızı ve aşındırıcı besleme oranı gibi kesme parametrelerinin kesilen yüzeyin pürüzlülüğü ve kesme derinliklerine etkileri deneysel olarak incelenecektir.

ABSTRACT

Water Jet Cutting Systems developed after World War II, has found the application areas. Processing mechanism is completely different as the features of conventional manufacturing methods, indispensable in modern technology and processing methods that are primarily involved. These methods have different processing principles and design engineering with the opportunity they provide a very significant impact in today's economy, the miniature recovery, emergency supplies were provided to use and flexible production facilities.

Came up as an alternative production method of water jet (SJ) and cutting for industrial purposes in a way that parallels developments in materials, processing power supplies are used as an effective method of shaping. In this study, the industry commonly used materials made of different thicknesses in the samples of water pressure, nozzle feed rate and abrasive feed rate such as the cutting parameters of cut surface roughness and cutting deep into the effects of experimentally be studied.

1.Giriş

Su jeti kesme teknolojisinde kesici eleman yüksek basınç ve hıza sahip su demetidir. Yöntem, su demetini bir kesme aracı olarak kullanarak çeşitli malzemelerde aşındırma etkisiyle kesme (Aşındırıcı Su Kesme-ASJ) ve işlemeyi kapsamaktadır (Engin, 2006). Geleneksel olmayan ya da ileri üretim teknolojileri olarak da isimlendirilen su jeti kesme teknolojileri son yıllarda farklı endüstrilerde kullanılmaktadır (Akkurt ve diğ., 2004).

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 (Kalpakjian ve Schmid,2006; Karakurt, 2006).

Suyun aşındırma etkisini gören araştırmacılar, çakıl taşlarını topraktan ayırmak için kullanılan ilk sistemin ardından, 1930' lu yıllarda suyun kuvvetini kömür, taş ve toprağın birbirinden ayrılması için kullanmışlardır. Su jeti haline gelmesi 1970' li yıllarda olmuştur. Yaygın

kullanımı ise 1990' lı yılları bulmuştur. Geleneksel işleme sistemlerine göre üstünlüklerinin olması nedeniyle, kullanımı hızla artmaktadır. Kesilecek ürünün metale yapışıp deforme olmaması yönüyle gıda sektöründe (www.ttconsultant.com, 2010); buruşma kenar yırtıkları ve katların açılmaması yönüyle kağıt ve mukavva sanayinde (www.waterjettingdirectory.com, 2010) ; kesici bıçak ile zor kesilen kumaşı basitçe kesmesi yönüyle tekstil ve giyim sektöründe (www.ttconsultant.com, 2010); pvc, plastik, kauçuk, sünger gibi malzemeleri hızlı kesmesi yönüyle plastik sanayinde (www.waterjettingdirectory.com, 2010); malzeme sarfiyatını azaltması yönüyle ayakkabı sektöründe (www.ttconsultant.com, 2010) ; metallerin işlenmesinde ortaya ısı çıkmaması nedeniyle özellikle metal işleme sanayinde (www.waterjettingdirectory.com, 2010); kırılğan olan cam, mermer, granit ve seramik malzemeleri deforme olmadan ve malzeme kaybını önleyerek kesmesi nedeniyle cam-mermer-granit ve seramik sanayinde kullanılmaktadır (www.waterjets.org, 2010) ASJ ile kesmede ısıdan etkilenen bölgenin oluşmaması (soğuk kesme), malzemelerde sertleşmenin gözlenmemesi, başlangıç deliğinin açılmasına ihtiyaç duyulmadan çok sayıda malzemenin çok yönlü kesilmesi, her türlü malzeme kesiminde kullanılması, ikinci bir işlem gerekmeden imalatın gerçekleşmesi, işleme için az sayıda aparat gereksinimi, çevre dostu olması, kesme sonunda gerilmenin söz konusu olmaması ve soğuk kesme ile ulaşılan kalite, ASJ ile kesme yönteminin tercih edilme nedenleridir (www.formingfabricating.com). Bu proje çalışmasında ileri üretim yöntemlerinden birisi olan suyla kesme yöntemiyle farklı malzemelerin, farklı işleme parametrelerinde kesme uygulamaları yapılmıştır. En uygun kesme işlemlerinin hangi parametrelerde ve malzemelerde sağlandığının bulunması hedeflenmiştir. Farklı sektörler için suyla kesme sisteminin önemi üzerine durulmuştur. Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar farklı uygulama alanlarının çıkmasına katkı sağlayacaktır.

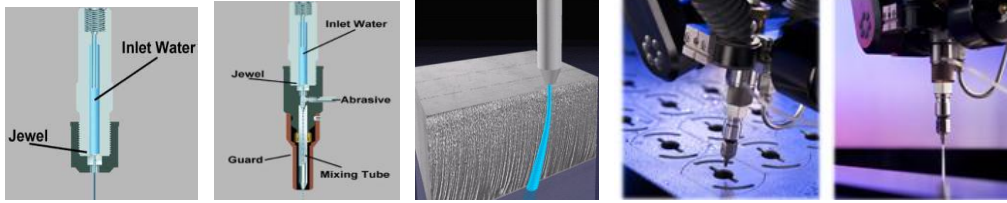
2.Su Jetiyle İşlemede Kullanılan Kesme Makineleri ve Donanımları

Suyun aşındırma etkisiyle oluşturduğu akarsuları, vadileri gören araştırmacılar bu gücü kontrol altına alarak endüstride kullanma yollarını araştırmışlardır.70'li yıllarda kullanılmaya başlanan bu sistem başlangıçta pahalı, gürültülü çalışan, ortamı kirleten, karmaşık kesme sistemi iken teknolojinin gelişmesiyle her alanda tercih edilen bir sistem haline gelmiştir. Sistemin en belirgin özelliği kesim işlemi esnasında işlem gören yüzeyin ısıdan etkilenmemesidir. Su jeti sistemleri; kesilen yüzeylerin kalitesi, kesme hızı, kesme tozu çıkarmaması, aşındırıcısız olanların gıda endüstrisi gibi sıhhi uygulamalarda kullanılabilir olması, kesme kuvvetlerinin çok küçük olması, farklı fiziksel özelliklerdeki malzemelerin aynı nozulla kesilebilmesi gibi çok sayıda üstünlük sağlar. Geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden biri olan su jetiyle kesim diğer kesme yöntemlerine göre üstünlüklerinin olmasından dolayı tercih edildiği alanlar sürekli artmaktadır (Çakır ve Akyüz,2010).

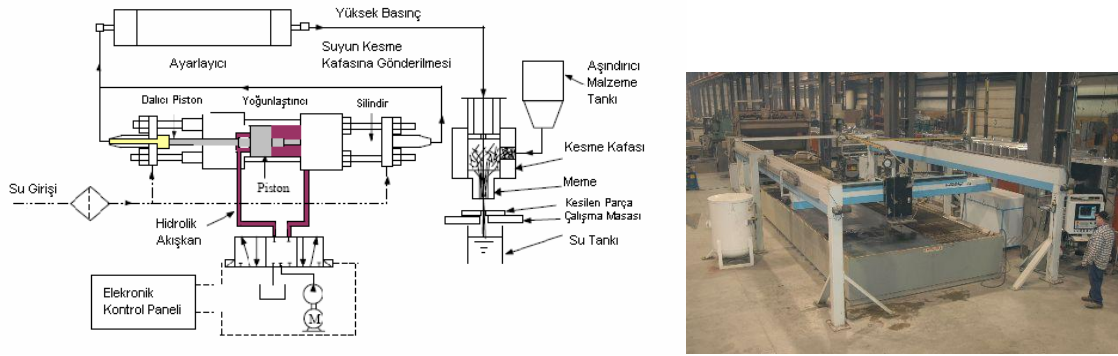
Su demetli kesme makinelerinde (Water Jet Cutting Machine) kullanım yeri ve amacı, makine boyutları ne olursa olsun iki temel bileşen mevcuttur. Bunlar; basınç üreten pompa ve suyun yüksek hızla sistemi terk ettiği dar bir aralık içeren püskürtme memesidir. Yapılan işin amacına göre pompa basıncı, püskürtme memesi (nozül) çapı ve yapısı ve bunlarla birlikte diğer yardımcı ünitelerin yapısı da değişmektedir (Hofy, 2005). Genel olarak su demetli kesme makineleri; düzlemsel parçalar kesebilen 2 veya 3 eksenli makineler, özellikle havacılık ve uzay sanayinde kullanılan 3 boyutlu hacimsel parçalar kesebilen 5 eksenli makineler veya su demeti ile 6 eksenli robotların birleştirilmesiyle oluşturulan kesme hücreleri olarak gruplandırılabilir (Geren ve Tunç, 2001; Black, 1996).

Düzlemsel parçaların kesilmesinde kullanılan makineler dört temel eleman ve buna bağlı diğer yardımcı bileşenlerden oluşmaktadır. Temel bileşenler; yüksek basınç pompası,

aşındırıcı besleme ünitesi, kesme kafası (aşındırıcılı su demeti püskürtme memesi) ve bilgisayarlı kontrol ünitesidir. Makineyi oluşturan diğer bileşenler ise yüksek basınçlı su iletim boruları, tezgâh ve sönümleyicilerdir. Şekil 1.'de su jeti ile kesme işlemi, Şekil 2.'de su jeti kesme makinesi genel görünümü ve Şekil 3.'te su jeti ile kesme işlemi sisteminin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 1. Su Jeti Kesme İşlemi



Şekil 2. Su Jeti İle Kesme Sistemi Şematik Görünümü (www.jetedge.com, 2009).

Sujeti ile işleme sisteminin avantajları:

- Diğer kesme işlemlerinden daha ucuzdur.
- Her tür malzemenin kesimi yapılabilmektedir (sertleştirilmiş çelik, yumuşak çelik, bakır, pirinç, alüminyum, cam gibi kırılğan malzemeler, seramik)
- Tek bir uç ile ister ince ister kalın tüm malzemeler istenilen her türlü geometrik şekilde kesilebilir.
- Kesim sırasında hiç ısı oluşmaz.
- Pürüzsüz işleme yüzeyi elde edildiğinden kesme yüzeyinde zımparalama gibi ikincil bir işlem gerektirmez.
- Yağ veya gaz gerekmeden temiz kesim sağlar.
- Teknolojinin gelişmesiyle güvenli ve kolay kullanım sağlamaktadır.
- Tek bir nozul kullanılarak şekillendirilen iş parçasında yuvaların, deliklerin ve profilin tamamlanması iki dakikada gerçekleşmiştir.
- Sistem taşlamanın aksine zararlı olabilecek hiçbir toz veya parçacık üretmez.
- Çentik genişliği çok küçüktür dolayısıyla malzeme kaybı çok azdır.
- Prototip parçalar üretmek için pratik ve verimli bir sistemdir.
- Operatörün kontrol sistemine parçanın boyutlarını programlamasıyla sistem parçayı istenilen boyutta kesebilmektedir.
- Malzemelerde çok güzel kenar kalitesi elde edilir.

Sujeti ile işleme sisteminin dezavantajları:

- İşlenecek malzeme sayısının artmasıyla kesim maliyeti artmaktadır bu yüzden sistem ancak sınırlı sayıda malzeme kesimi için ekonomiktir.
- Takım çeliklerinin ve diğer sert malzemelerin kesme hızı düşük olduğundan bir parçayı kesmek çok uzun zaman gerektirir. Bu nedenle, su jetiyle kesim çok pahalıya mal olmaktadır.
- Çok kalın parçaların kesimi jetin dağılmasına, alt kısımlarda üst kısımlara göre daha geniş bir kesim oluşmasına sebep olur. Bu sebepten kesim yüzeyinde kaba kesim dalgaları oluşur.
- Su jetinin iş parçasına girdiği noktadan belli bir açı oluşturarak çıkması su jeti gecikmesine sebep olur bu da kalın malzemelerin boyutunda hatalar doğurur. Kesim hızını azaltmak hata payını azaltmasına rağmen ölçü hassasiyeti istenen parçalarda problem devam edebilir.
- Giriş noktası ile çıkış noktası arasındaki gecikmeden kaynaklanan farklılık köşelerde usulsüzlüklere neden olmaktadır.

3.Su Jetinin Kullanım Alanları

3.1. Gıda Sektörü

Su jeti kesme sistemleri, değişik kesme problemlerini yok etmek üzere gıda sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu sistemle, kesilecek ürünün kesici metale yapışarak deforme olması ve bu nedenle meydana gelecek ürün kaybı önlenir. Ayrıca, taze, kuru, paketlenmiş ya da dondurulmuş gıdalar kolaylıkla işlenebilir. Su jeti ile kesme sisteminin çok başarılı uygulamalarının yapıldığı gıda sektöründe, karşılaşılabilecek problem, kesilen üründe herhangi bir nem artısının söz konusu olup olmayacağıdır. Ancak, yapılan deneyler göstermiştir ki, üründe gözlemlenebilir hiçbir nem artısı söz konusu olmamaktadır (Bu sonuçlar, gıda prosesi ekipmanları tasarımı yapan Design Systems Inc. tarafından açıklanmıştır).

Yapılan uygulamalardan biri donmuş balıkların paketlenmesi için yapılan kesme işlemidir. Bu uygulamada Su jeti kesme sistemi kullanımı sayesinde ürün kaybı %20 daha az olmuştur. (www.ttconsultant.com, 2010).

3.2. Kâğıt ve Mukavva Sanayi

Buruşma, kenarlarda yırtılma ve imalatta katların açılmasını önleyen Su jeti sistemleri, kâğıt ve mukavva sanayinde tercih edilirler. En büyük özellik, mekanik sistemlerin kesim sırasında malzemede yaratacağı hasarı yok edebilmesidir. Diğer metotlarda katlanma ve yırtılma miktarı yaklaşık 0,5 mm olurken, Su jetinde yırtılma yaklaşık 0,1 mm' ye iner. Ayrıca, Su jeti ile kesme sırasında nem artışı ve toz oluşması söz konusu değildir (www.waterjettingdirectory.com, 2010).

3.3. Tekstil ve Giyim Sektörü

Kumaş, çok esnek ve yumuşak olduğu için sistemde beslenmesi ve kesimi geleneksel yöntemlerle oldukça zordur. Çünkü kumaşla temas halindeki kesici bıçak kesimi güçleştirir. Bu işlemi basitleştirmesi ve hızlandırması nedeniyle su jeti kesme sistemleri daha uygundur.

Normal kesicilerle daha doğrusal kesimler yapılabilirken, Su jeti kesme sistemiyle daha kompleks ve detaylı parçalar daha hassas şekilde işlenebilmektedir. Farklı modeller arasında geçiş bilgisayar kontrollü su jeti sistemleriyle daha da kolay olmakta, işlem hızı, kesici uç

değiştirme gibi bir problem söz konusu olmadığı için oldukça artmaktadır (www.ttconsultant.com, 2010).

3.4. Plastik Sanayi

Su Jeti kesme sistemleriyle gözenekli, taneli ve yumuşak malzemeleri üç boyutta işlemek mümkündür. Özellikle kapı ve pencere imalatında kullanılan PVC türü malzemeler, cam takviyeli plastik, kauçuk, pleksiglas, neopren, sünger ve makrolon gibi plastik ve türevleri olan malzemelerin yüksek hızlarda kesilmelerine olanak sağlarlar (www.waterjettingdirectory.com, 2010).

3.5. Temizlik Sanayi

Su Jeti sistemleri; büyük eşanjörlerin kireçlenmiş iç yüzeylerinin temizlenmesi, zamanla paslanan ya da kararan anıt ya da büstlerin temizlenip parlatılması, taş kırma tesislerinde, kömürün kömür tozlarından ayrılması gibi birçok endüstriyel temizleme işlemlerinde başarıyla kullanılırlar. Temizlik işlerinde kullanılan Su Jeti sisteminde, nozul çapının büyütülmesi ve sistem debisinin artırılması gerekir (www.waterjettingdirectory.com, 2010).

3.6. Ayakkabı Sektörü

Su Jeti kesme sistemleri ayakkabı imalatı yapılan iki fabrikada malzemeler üzerinde denemiş ve %5 ile %15 arasında malzeme sarfiyatının azaldığını tespit etmiştir. Böylece, ayakkabı kalıbı hazırlama masrafları, zaman kaybı ve kalıplar çıkarılırken meydana gelecek malzeme israfı da bu şekilde en aza indirilmiştir (www.ttconsultant.com, 2010).

3.7. İzolasyon Sanayi

Su Jeti sistemi özellikle, tavan ve taban döşemelerinde kullanılan cam yünü malzemelerinin kesilmesinde kullanılır. İzolasyon malzemesi imalatında Su jeti sistemi kullanıldığında, geleneksel kesme yöntemlerine oranla, malzemenin % 12'lik bir kazanç elde edilmiştir (Ergür, 2007).

3.8. Metal İşleme Sanayi

Yüksek sıcaklık, malzemelerin mekanik özelliklerini değiştiren önemli bir etkidir. Bundan dolayı ısı artış, tüm malzeme işleme yöntemlerinde ayrılmaz bir parça kabul edilir. Bu artış, malzemenin soğuması sırasında iç gerilmelere neden olacağından, tasarımları olumsuz yönde etkiler. Su Jeti sistemleri, bu tür bir ısı artışına neden olmadığı için metal işleme sektöründe özellikle tercih edilmektedir (www.waterjettingdirectory.com, 2010).

3.9. Elektrik-Elektronik Sanayi

Su Jeti sistemleri elektronik sektörde, elektronik kart ve bilgisayar üreticileri tarafından kullanılır. Tüm elektronik kart malzemeleri üzerinde denenilen Su Jeti sisteminin, üretim hızını önemli ölçüde artırdığı, kesme yüzey kalitesini iyileştirdiği ve toz oluşumunu ortadan kaldırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, kesme işlemi için malzemelerde bir başlangıç deliği açmaya da gerek yoktur (www.waterjettingdirectory.com, 2010).

3.10. Cam–Mermer–Granit–Seramik Sanayi

Cam, mermer, granit ve seramik türü malzemelerin en büyük özelliği kırılma olmalarıdır. Geleneksel yöntemlerle yapılan işlemlerde malzemeler çok kolay deforme olduklarından, hurda yüzdesi yüksek olmaktadır. Bu nedenle, bu sektör su jeti ile kesme sistemlerinin yaygın kullanım alanlarından birini oluşturur. Su Jeti kesme sisteminin, işlem sırasında malzeme üzerine gelen kesme kuvvetlerini azaltarak, malzeme deformasyonunu ve malzeme kaybını önlediği bilinmektedir (www.waterjets.org, 2010).

3.11. Otomotiv Sanayi

Su Jeti ile kesme sistemleri otomotiv sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sistem halı, araba on paneli, gösterge panosu, fiberglas ve yaylar, yakıt tankı korumaları, koltuk arkalıkları ve asbest fren balataları gibi metal, kompozit ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır (www.waterjets.org, 2010).

3.12. Uzay ve Havacılık Sektörü

SKORSKY Havacılık, Su Jeti kesme sistemini, başlangıçta sadece askeri ve ticari helikopterlerde kullanılan aramid (kevlar) destekli kompozit parçaları işlemekte kullanırken, üretkenliklerinin % 80 oranında artması nedeniyle sistemi şimdi tüm kompozit parçaları işlemek için kullanmaktadır. Su Jeti kesme sistemleri, AIRBUS Havacılık tarafından da kullanılmaktadır. Sistem, çok hassas işleme yapabildiği için üretilen parçaların ağırlıklarında ortalama % 23 oranında düşme olmuş ve üretim süresi % 15 - % 20 oranında azalmıştır (www.ttconsultant.com, 2010).

4.Su Jeti ile Diğer Kesme Sistemlerinin Karşılaştırılması

Su jeti ile yapılan kesme ya da yüzey işleme de en önemli özellik ısı gerilmelerin ortaya çıkmamasıdır. Bundan dolayı, diğer kesme sistemlerinde kesme anında oluşan ısının malzemeye zarar vermesi söz konusu olduğundan su jeti teknolojisi bu tür malzemelerin kesilmesinde tercih edilmektedir (Lemma ve diğ., 2005). Ayrıca 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 sisteminin diğer sistemlerle karşılaştırılması sonucu üstünlükleri rahatlıkla görülebilmektedir. (Ergür, 2007)

4.1.Lazerle Kesme

- Lazere göre, birçok malzemenin kesimi mümkündür (parlak malzemeler, alüminyum ve bakır gibi).
- Malzeme yüzeyindeki pürüzlülük, su jetinde sorun yaratmaz.
- Su jeti parçayı ısıtmadığı için, malzemede ısıl çarpılma veya sertleşme söz konusu değildir.
- Kalınlık arttıkça, lazere göre aynı veya daha yüksek toleranslara çıkılabilir.
- İlk yatırım maliyeti, aşındırıcı su jetinde daha düşüktür.
- ASJ ile daha kalın malzeme kesilebilir.
- ASJ ile kesme daha emniyetlidir; yanma, zehirli gaz söz konusu değildir.
- Çevreyle uyumludur.
- ASJ sistemindeki nozulun bakımı daha kolaydır.
- Düzgün yüzey olmaması halinde, aşındırıcı su jetinde jet odak ayarı gerekmez.

4.2. EDM ile Kesme (Elektro Discharge Machining)

- ASJ daha hızlı işlem yapabilir.
- ASJ ile çok daha çeşitli malzeme kesilebilir.
- ASJ ile malzeme yapısı çok sorun yaratmaz.
- ASJ işleme başlangıç deliğini kendisi açar.
- ASJ sistemleriyle işlenen yüzeylerde, ısıl problem yoktur.
- ASJ sistemine benzer çamur jetleriyle daha büyük hacimli parça işlenebilir.
- ASJ daha az ayar gerektirir.

4.3. Plazma ile Kesme

- ASJ sisteminde işleme hızı plazmaya göre çok daha düşük olduğundan, daha iyi yüzey elde edilebilir.
- ASJ ile parçada ısınma olmadığı için çok daha hassas kesme yapılabilir.
- ASJ ile her türlü malzeme kesimi mümkündür.

4.4. Alevle Kesme

- ASJ ile çok daha iyi bir yüzey elde edilebilir.
- ASJ ile kesmede parçanın ısınması söz konusu değildir.
- ASJ ile her türlü malzeme kesimi mümkündür.
- Alevle kesmede daha hızlı işlem yapılabilir.
- Alevle kesme daha ucuz, fakat düşük kalitededir.

4.5. Konvansiyonel Tornalama

- ASJ ile kesmede ayarlama ve kalıp düzenleme çok daha hızlı yapılabilir.
- Tornalamada çok daha yüksek hızlara çıkılabilir.
- Birçok ASJ sisteminde programlama çok daha kolay ve hızlı olmaktadır.
- Takım değiştirme sorununu yoktur.

5. Farklı Malzemelerin Aşındırıcılı Sujeti (Abrasive Waterjet) İle İşlenebilirliği

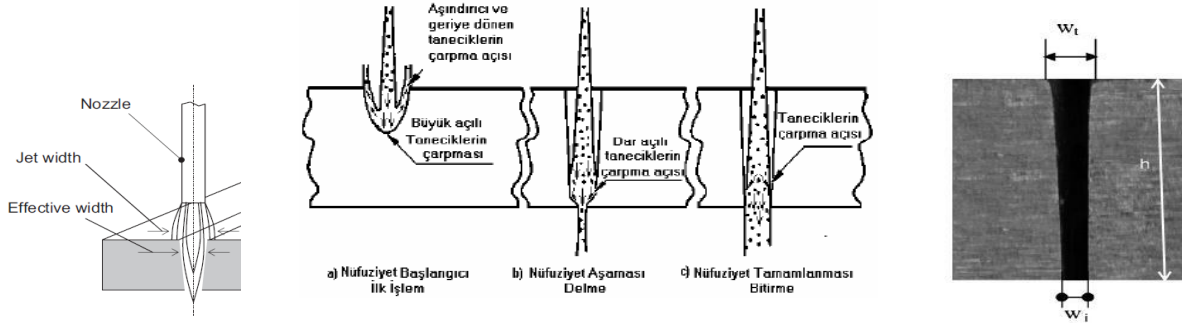
5.1. Aşındırıcılı Su Jeti

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

Su jeti kesme teknolojisinde kesici eleman yüksek basınç ve hıza sahip su demetidir. Yöntem, su demetini bir kesme aracı olarak kullanarak çeşitli malzemelerde aşındırma etkisiyle kesme ve işlemeyi kapsamaktadır (Engin, 2006). Su jeti ile kesilen malzemenin yüzeyine bakıldığında, düzgün olan üst kısım ve onu takip eden çizgili, dalgalı bir bölge görülür. Düzgün görülen üst kısım kesme aşınma bölgesi olarak adlandırılırken daha çok çizgili ya da dalgalı görünen alt kısım deformasyon aşınma bölgesi olarak adlandırılır. Birinci bölge daha düzgün bir yüzey olup, malzeme pürüzlülük kalitesinin belirlendiği bölgedir. Bu bölgenin yüzey kalitesi, başlıca aşındırıcı tanelerin malzeme yüzeyine dik acılarla çarpmasının bir sonucudur. İkinci bölge ise, aşındırıcı parçacıklarının malzeme yüzeyine geniş acılarda çarpmasıyla oluştuğu bölgedir. Şekil 1'de aşındırıcılı su jeti ile işlenmiş yüzeylerde meydana gelen kesme aşınması ve deformasyon bölgelerinde oluşan aşınmalar görülmektedir (Liu ve Chen, 2004; Akkurt, 2009).

Su Jeti Kesme Kalitesi incelendiğinde; 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. Yüzeyin kalitesi (pürüzlülüğü) ilerleme hızının artması ile azalmaktadır (www.sharpleydie.com, 2009). Şekil.3.a'da işlenecek olan malzeme üzerine su jetinin ilerlemesi, Şekil.3.b'de kesme sırasında meydana gelen kesme

aşınma bölgesi ve daha çok çizgili ya da dalgalı görünen alt kısımda bulunan deformasyon aşınma bölgesi, Şekil.3.c'de malzeme kalınlığına bağlı olarak aşınma sonucu oluşan ölçü değişimi görülmektedir.



Şekil.3 a) Suyla Kesme b) Kesme ve Deformasyon Aşınması (Akkurt,2006) c) Kesme Derinliği Ölçü değişimi (Hasçalık ve ark., 2007).

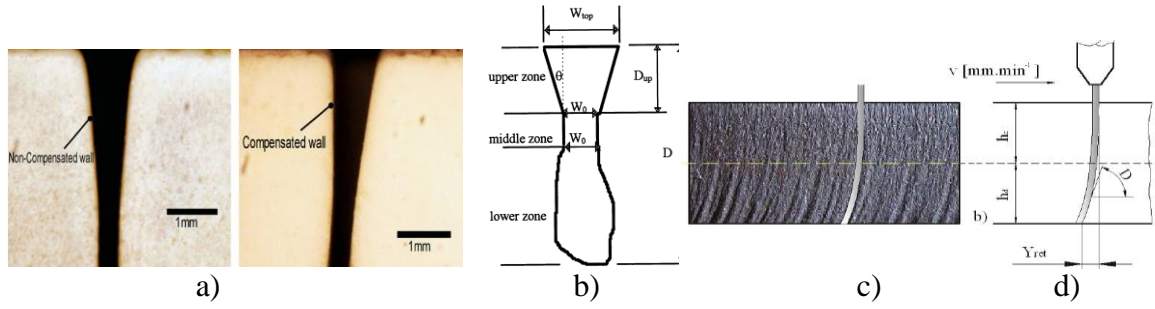
6.Deneysel Çalışma

Yapılan deneysel çalışmada 10 mm sabit kalınlıklarda altı farklı malzeme kullanılmıştır. Bu malzemeler metal grubu olarak; alüminyum, St37 ve çeliktir. Diğer grup malzemeler; cam, granit ve seramiktir. Çalışmada nozul yüksekliği 5 ve 10 mm olarak sabit tutulmuştur. Sırasıyla bu altı farklı malzeme üzerinde 180MPa ve 280MPa basınçlarda 60, 120 ve 240 mm/dak ilerleme hızlarında, her numuneden 10x10mm ölçülerinde kesme işlemi yapılmıştır. Kesme işleminde seçilen parametrelere bağlı olarak malzemelerden kare biçimde numuneler elde edilmiştir. Aşındırıcı su jetiyle kesilerek elde edilen bu numuneler üzerinde kesme ve deformasyon aşınma bölgeleri incelenmiştir. Deneysel çalışmada numune yüzeyleri ve ölçümler Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler grafiklere dönüştürülmüştür. Deneysel çalışmada işleme parametreleri Tablo 1.'de görülmektedir.

Tablo.1 İşleme Parametreleri

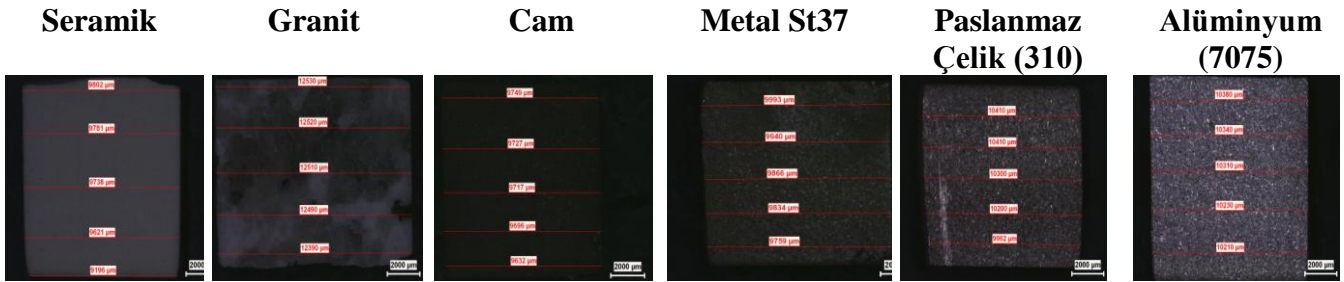
Değişkenler	Değerler
Basınç (MPa)	180, 280
İlerleme Hızı (mm/ dak)	60, 120, 240
Nozul Yüksekliği (mm)	5, 10
Malzemeler	Granit, seramik, cam, St37, Alüminyum, Paslanmaz Çelik(310)
Malzeme Kalınlığı (mm)	10

Aşındırıcılı su jeti ile kesme malzeme yüzeyinde çizikli bir yapı (kerf) oluşturmaktadır. Bu durum kesme sisteminin kullanımını sınırlayan bir durumdur (Chen ve Siores, 2003). Şekil.4 a ve b de kesme ve deformasyon Aşınması ve Şekil 4 c ve d'de deformasyon bölgesinden itibaren oluşan çizikli yapı (kerf) görülmektedir. Kesilen numuneler üzerinde kesmeye başlama yüzeyi ile sujetinin kesme işlemi parça kalınlığını tamamlayarak çıktığı alt yüzey arasında ölçü farkları nozul üst den bu şekilde ölçümle elde edilen rakamsal değerlere göre çalışma yorumlanmıştır.



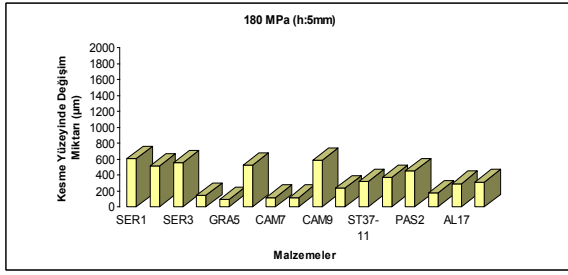
Şekil 4. a-b) Kesme ve Deformasyon Aşınması c-d) Deformasyon bölgesinde oluşan çizikli yapı (kerf)

Malzemelerin sujetinin (waterjetin) kesmeye başladığı (malzemeyi delmeye başladığı) üst yüzey ile alt kenar arasında meydana gelen ölçü farklılıkları ve kerf oluşumu araştırılarak, seçilen parametrelere göre kesilen numuneler üzerindeki değişimler incelenmiştir. Şekil.5'te su jetinin kestiği yüzeyler üzerinde beş farklı noktadan (kesme ve deformasyon bölgelerinde) yapılan ölçümlere ilişkin fotoğraflar görülmektedir. Kesilen numuneler üzerinde kesmeye başlama yüzeyi ile sujetinin kesme işlemi parça kalınlığını tamamlayarak çıktığı alt yüzey arasında ölçü farkları belirlenerek bu şekilde elde edilen rakamsal değerler incelenmiştir. Elektron mikroskopunda yapılan ölçümlerden elde edilen değerler grafikler halinde düzenlenmiştir.

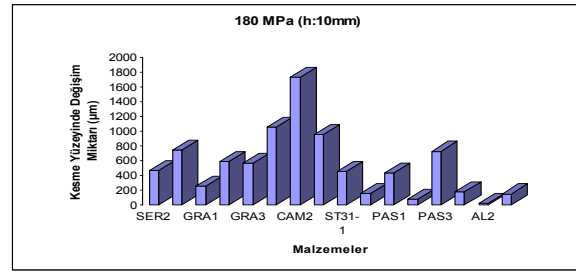


Şekil.5 Malzemelerin Su jetiyle Kesilmesi sonucu oluşan aşınma görüntüleri

Su jeti ile kesme işleminde kesme parametrelerine ve malzemelere göre, kesilen yüzeyde meydana gelen değişikliklerin grafikleri aşağıdaki gibidir (Şekil.6). Grafikte görüldüğü gibi, 180 MPa basınç ve 5 mm nozul yüksekliğinde kesilen malzemelerin yüzeyinde meydana gelen dalgalanmaların sonucunda, kesim genişlik mesafelerinde oluşan farklılıkları ifade etmektedir. Suyun girdiği ve kesim işlemi bitirdiği noktalar arasındaki bu farklılıklara göre SER1 kodlu seramik malzeme en fazla farka sahip olan numunedir. SER1'in ilerleme hızı 60 mm/dak'dır. Seramik malzemedan 120 mm/dak ve 240 mm/dak ilerleme hızlarında kesilen diğer parçalara bakıldığında, aynı şekilde sapmalarının grafikte üst sıralarda aldığı görülmektedir. Şekil 6 b'de, 180 MPa basınçta fakat 10 mm nozul yüksekliğinde kesilen parçaların kesim yüzeyi sapmalarını ise en büyük ölçü farklılığın CAM2 kodlu malzemede olduğu görülmektedir. Buradan seramik malzemenin nozul yüksekliğinin artmasına bağlı olarak daha az yüzey sapması ile kesildiği görülmektedir. Akkurt ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda (2004), örnek kalınlığına yakın kesme derinliklerinde yüzey pürüzlülüğünün giderek en yüksek değere ulaştığını rapor etmişlerdir.



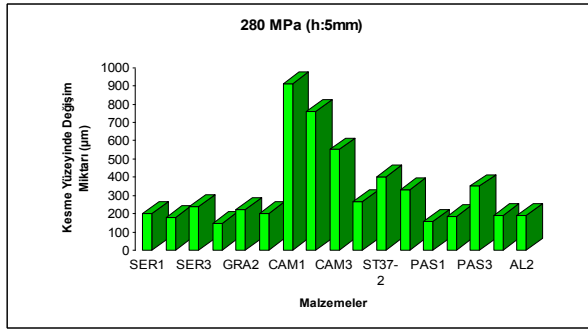
a)



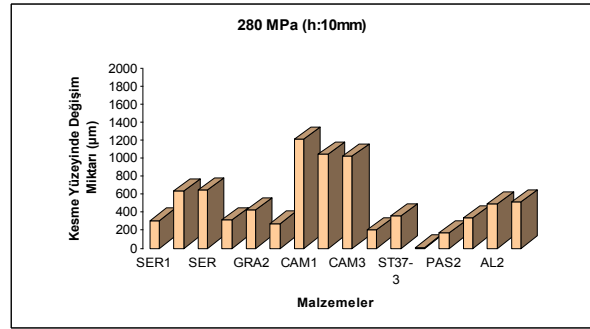
b)

Şekil.6:Suyla Kesme (Waterjet) Malzemelerde Kesme Sırasında Meydana Gelen Aşınma Miktarı (180Mpa basınç, İlerleme Hızı, 60,120 ve 240 mm/dak) (Onur ve Akyüz,2011)

Şekil. 7 a'da görülen grafikte, 280 MPa basınç ve 5 mm nozul yüksekliğinde kesilen malzemelerin yüzeyinde meydana gelen dalgalanmaların sonucunda, kesim genişlik mesafelerinde oluşan farklılıkları ifade etmektedir. Malzeme kesitinde en çok sapmanın görüldüğü CAM1 kodlu numunedir. CAM1'i,CAM2 ve CAM3 kodlu numune takip etmektedir. Bu numunelerin kesim hızları sırasıyla 60 mm/dak, 120 mm/dak ve 240 mm/dak'dır. Buradan kırılğan yapıya sahip olan cam malzemenin hızı arttıkça ölçü sapmasının ters yönlü olarak azaldığı sonuca varıyoruz. Şekil.7.b'de 280 MPa ve 10 mm nozul yüksekliğinde yapılan kesimlerde de en fazla ölçü sapmasının cam malzemede olduğunu görüyoruz. Nozul yüksekliği arttıkça cam malzemenin ölçü sapmaları da artmıştır.



a)



b)

Şekil. 7:Suyla Kesme (Waterjet) Malzemelerde Kesme Sırasında Meydana Gelen Aşınma Miktarı (280Mpa basınç, İlerleme Hızı, 60,120,240 mm/dak, Nozul Yüksekliği 10 mm) Onur ve Akyüz, 2011)

7.Sonuçlar

Bu proje çalışmasında ileri üretim yöntemlerinden birisi olan suyla kesme yöntemiyle farklı malzemelerin, farklı işleme parametrelerinde kesme uygulamaları yapılmıştır. En uygun kesme işlemlerinin hangi parametrelerde ve malzemelerde sağlandığının bulunması hedeflenmiştir. Farklı sektörler için suyla kesme sisteminin önemi üzerine durulmuştur. Bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar farklı uygulama alanlarının çıkmasına katkı sağlayacaktır. Yapılan literatür araştırma ve incelemelerinden elde edilen bilgilere göre, kesme parametreleri belirlenmiş ve konun kavramsal boyutu deneysel çalışmaya yansıtılarak değerlendirme yapılmıştır.

Günümüzde su jetinin birçok alanda kullanılmasının özellikle Eko-Tasarım ve sürdürülebilirlik açısından önemi çok büyüktür. Su jeti ile kesme sistemleri, diğer kesme yöntemleri ile karşılaştırıldığında çevre dostu olan kesme yöntemlerinin başında gelir. Sürecin

temiz olması, toz, kırıntı ya da kimyasal hava kirliliği meydana getirmemesi yöntemin kullanılabilirliğini arttırmaktadır. İşlenen parçanın metalürjik yapısının bozulması, mikro yapısının değişmesi, parçada mekanik ya da ısıl gerilmelerin oluşması mümkün değildir. Kesim sırasında, kesilen malzemelerde direkt basınç etkisi oluşturmaz, malzemelerde deformasyona neden olmaz ve çapak bırakmayan bir kesme işlemi gerçekleştirilir. Bu nedenle son işlem(ler)e (Finishing Operations) operasyonuna gerek duyulmaz. Otomasyona uygunluğu ile de Su jeti kesme sistemleri farklı üretim sistemlerinin kullanılmasında; örneğin Esnek İmalat Sistemlerinin (FMS) kullanımında önemlidir. Başlangıçta ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu düşünülse de, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte yatırım maliyetleri düşecek ve sahip olduğu üstün özellikler sayesinde kullanım alanları artarak devam edecek ve yapılan yatırımların geri dönüş oranı (Return on Investment-ROI) hızla artacaktır.

Proje çalışmasında elde edilen deneysel çalışma verilerinin sonuçlarını genel olarak şöyle sıralamak mümkündür; Suyla kesme ve işleme yönteminin bir çok sektörde kullanım alanının olduğu, özellikle gıda sektörü başta olmak üzere bir çok sektörde çevre dostu bir işleme yöntemi olduğu görülmüştür. Diğer kesme yöntemleri ile kıyaslandığında en önemli özelliklerinden birisinin kesme işlemleri sonrası çevresel atık oluşmaması ve daha ucuz olması gelmektedir. Bir diğer üstün özelliği, diğer kesme sistemleri ile karşılaştırıldığında kesme sırasında metallerin mikro yapısında sürtünmeden kaynaklanan sıcaklık artışına bağlı deformasyonların olmaması gelmektedir.

Deneysel çalışmadan elde edilen diğer sonuçlar:

- Kesme aşınması ve deformasyon bölgelerinin Malzemelere göre değiştiği,
- Kesme aşınması ve deformasyon bölgelerinin ilerleme hızı, basınç ve nozul yüksekliğine bağlı olarak değiştiği ve bunun yüzey kalitesini etkilediği,
- Kesme kalınlığına ve malzeme özellikleri ve işleme parametrelerine bağlı olarak kerf oluşumun ve kesme aşınması ve deformasyon bölgelerinin değiştiği,
- İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğümü etkileyen önemli parametrelerden biri olduğu, İlerleme hızının artmasına bağlı olarak Yüzey pürüzlülüğünün arttığı,
- Yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme hızlarında kesme aşınması bölgelerinde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı

Projeden çalışmasından elde edilen önemli sonuçlardır.

8. Kaynaklar

1. Akçın, N.A.," Yüksek Basıncılı Su Jetleri İle Yapılan Kesme ve Parçalama Çalışmaları", Madencilik, Cilt: 26, Sayı 2, 1987.
2. Akkurt A., "Aşındırıcılı su jeti uygulamaları ve üretimde yoğun kullanıma sahip malzemelerin delinmesi", Trakya Univ J. Sci, 7(2): 161-169, H.Ü. Hacettepe Meslek Yüksekokulu, 2006 .
3. Akkurt, A., "AISI 1030 çeliğinin aşındırıcılı su jeti ile kesilmesinde yüzey pürüzlülüğünün ve kesme önü geometrisinin incelenmesi ", Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 15, Sayı: 1,s. 1-11, Ankara, 2009.
4. Akkurt, A., Kulekci, K. M., Seker, U. ve Ercan F., "Effect of Feed Rate on Surface Roughness in Abrasive Waterjet Cutting Applications", Journal of Materials Processing Technology, 147, 389 -396, 2004.

5. Black, S. C., Chiles, V. Lissaman, A. J., Martin, S. J., Principles of Engineering Manufacture, Third edition, Butterworth-Heinemann, UK, 1996.
6. Boud, C. Carpenter, J. Folkes, P.H. Shipway,, “Abrasive waterjet cutting of a titanium alloy: The influence of abrasive morphology and mechanical properties on workpiece grit embedment and cut quality”, Journal of Materials Processing Technology, 2010.
7. Chen, F. L., and Siores, E., The effect of cutting jet variation on surface striation formation in abrasive waterjet cutting. Journal of Material Processing Technology, 135, 1-5, 2003.
8. Çakır, G., Akyüz, B.: Su Jeti Kesme Sistemi Kullanım Alanları ve Diğer Kesme Yöntemleriyle Karşılaştırılması, 3. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Çankaya Üniversitesi, 29-30 Nisan 2010, Ankara, Türkiye.
9. Engin, İ. C., “Bazı Türk Mermerlerinin Aşındırıcılı Su Demeti İle Kesilebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2006.
10. Engin, İ. C.:” Bazı Türk Mermerlerinin Aşındırıcılı Su Demeti İle Kesilebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2006.
11. Ergür, H.S.,”Aşındırıcı su jetinin teorik analizi ve yapay sinir ağı yöntemiyle modellenmesi”, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2007.
12. Geren, N. ve Sahin, B., “Su Jeti ile Kesme Teknolojisi ve Endüstriyel Uygulamaları”, Mühendis Makine Dergisi, 1995.
13. Geren, N. ve Tunç, T., “Yapısal farklılıklar içeren su jeti kesme sistemlerinin en uygununun belirlenmesi”, Mühendis ve Makine, Sayı 500, cilt 42, Eylül 2001.
14. Hascalık A., Caydaş U., and Gurun H., Effect of traverse speed on abrasive waterjet machining of Ti-6Al-4V alloy. Materials and Design, 28, 1953-1957, 2007.
15. Hlavac, L.M., Hlavacova, I.M., Gembalova, L., Kalicinsky, J. , Fabian, S. , Mestanek, J. , Kmec, J., Madr, V., “Experimental method for the investigation of the abrasive water jet cutting quality”, Journal of Materials Processing Technology 209 pp.6190–6195, 2009.
16. Hofy, H.A.G., Advanced Machining Process, Mc.Graw-Hill., USA, 2005.
17. Kalpakjian, S. Ve Schmid, R.S., Manufacturing Technology, Fifth Edi.Pearson Prentice Hall, USA, 2006.
18. Karakurt, İ.:” Aşındırıcı su jeti kesme sistemlerinin kayaç kesme performanslarının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2007.
19. Khan, A.A., Haque, M.M., “Performance of different abrasive materials during abrasive water jet machining of glass”, Journal of Material Processing Technology 191 (2007) 404–407, Department of Manufacturing and Materials Engineering, International Islamic University Malaysia, 2007.
20. Lemma, E., Deam, R. ve Chen, L., “Maximum Depth of Cut and Mechanics of Erosion in AWJ Oscillation Cutting of Ductile Materials”, Journal of Materials Processing Technology, 2005.
21. Liu, H.-T., “Waterjet technology for machining fine features pertaining to micromachining “, Journal of Manufacturing Processe, 2010.
22. Liu, Y., and Chen, X., A study on the abrasive water jet cutting for granite. Key Engineering Materials, 257-258, 527-532, 2004.

23. Ma, C. ve Deam, R. T., “A Correlation for Predicting The Kerf Profile from Abrasive Water Jet Cutting, Experimental”, Thermal and Fluid Science, 30, 337-343, 2006.
24. Onur, A., Akyuz, B. “Farklı Malzemelerin Aşındırıcılı Sujeti ile işlenebilirliğinin Araştırılması (Investigation of Machinability Different Materials by Abrasive Waterjet)”, ISTEK 2011-*International Science and Technology Conferance 2011 İstanbul, Sakarya Üniversitesi, 7-9 Aralık 2011.*
25. Ozcelik, Y., Ciccu, R., Costa, G. “Comparison of the water jet and some traditional stone surface treatment methods in different lithotypes”, Construction and Building Materials 25, pp 678–687, 2011.
26. Shanmugama, D.K. and Masood, S.H., “An investigation on kerf characteristics in abrasive waterjet cutting of layered composites” Journal Of Materials Processing Technology, 2009.
27. Wakuda, M., Yamauchi, Y., and Kanzaki, S., Material response to particle impact during abrasive jet machining of alumina ceramics, Journal of Materials Processing Technology, 132, 177-183, 2003.
28. www.formingfabricating.com “Forming Fabricating”, 2011.
29. www.haberortak.com/Haber/Teknik-Makale/11122009/Sujeti-waterjet-ile-kesme-teknolojileri.php 10/01/2010
30. www.jetedge.com/includes/show_gallery.cfm?ID=73, 2011.
31. www.majet.com.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=17 10/01/2010
32. www.sharpleddie.com/sharples/website3/pages/edge_quality.html, 2011.
33. www.ttconsultant.com/sujeti%20kesme%206.pdf, 2010.
34. www.waterjets.org/, 2010.
35. www.waterjettingdirectory.com/ 2010.
36. Zeng, J., and Kim, T.J., “Development of an AWJ kerf cutting model for brittle materials”, Proc. of the 11th Int. Conf. on Jetting Techn., 483-501.1992.

PROJEDEN FAYDALANARAK ELDE EDİLEN YAYINLAR:

Onur, A., Akyuz, B. “Farklı Malzemelerin Aşındırıcılı Sujeti ile işlenebilirliğinin Araştırılması (Investigation of Machinability Different Materials by Abrasive Waterjet)”, ISTEK 2011-*International Science and Technology Conferance 2011 İstanbul ve Sakarya Üniversitesi, 7-9 Aralık 2011.*

Çakır, G., Akyüz, B.: Su Jeti Kesme Sistemi Kullanım Alanları ve Diğer Kesme Yöntemleriyle Karşılaştırılması, 3. Mühendislik Ve Teknoloji Sempozyumu, Çankaya Üniversitesi, , Ankara, 29-30 Nisan 2010.