

## SU JETİ İLE KESME SİSTEMLERİ VE UYGULAMA ALANLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Adnan AKKURT

Yenimahalle Anadolu Teknik, Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, ANKARA

### ÖZET

Bu çalışmada; su jeti ile kesme yönteminin, bilinen diğer kesme yöntemlerine göre sahip olduğu üstünlükler ile endüstriyel uygulama alanları araştırılarak, hangi alanlarda ne amaçla kullanıldıkları incelenmiş olup, su jeti ile kesme yönteminin günümüzde ve gelecekte endüstriye katkıları araştırılmıştır. Bütün bu araştırmalar sonucunda geleceğin vazgeçilmez kesme yöntemlerinden biri olacağı ve bilinen endüstriyel uygulama alanlarının tamamında kullanılacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşındırıcı Su jeti ile Kesme, Su jeti ile Kesme

## WATERJET CUTTING SYSTEMS AND ASSESMENT OF THEIR INDUSTRIAL APPLICATIONS

### ABSTRACT

The waterjet cutting method has been studied for what reason it has been used in what subjects regarding with the other known cutting methods with the advantages. It has also been investigated that what it could bring to current and future industry which is beneficial. The result of all investigations shows that it seems to be one of the unavoidable cutting methods and it can be used in all known application domains in industry.

**Keywords:** Abrasive Waterjet Machining, Waterjet Cutting

### 1. GİRİŞ

İmalat teknolojisi, gelişen teknolojiye paralel bir gelişim göstermekte olup üretimde kalite ve ekonomi en çok aranan özelliklerdir. Bu amaçla, endüstrideki uygulayıcılar imalatta mümkün olan bütün seçenekleri kullanma çabası içine girmişlerdir. Maddelerin su ile kesilebileceği yıllardır bilinmektedir, fakat bu tekniğin güvenilirliği ve yeterliliği ancak son yıllarda olumlu bir seviyeye ulaşmıştır. Gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılan su jeti teknolojisi; yüksek basınçlı su jetinin tahrip gücü ile yüzey işleme ve temizleme işlemlerinde 1968' den bu yana kullanılmaktadır (1). Geçen bu süre içerisinde; kağıttan-çeliğe, camdan-plastiğe, tahtadan-kumaşa kadar değişik özellikteki farklı malzemelerin kesilmesinde kullanılarak vazgeçilmez bir kesme yöntemi olmuştur. Bu teknolojinin en büyük avantajı yüksek sıcaklıkların oluştuğu bir kesme işlemi olmamasıdır. Böylelikle kesilen malzemelerde ısı gerilmeler oluşmamakta dolayısıyla işleme sonrası bir gerilme giderme işlemine gerek duyulmamaktadır. Tüm malzemeler sıcaklık oluşmadan kesilebilmektedir (2).

İleri teknolojinin bir ürünü olan su jeti; en verimli kesme yöntemlerinden biridir. Hiç aşınmayan, döndüğü hiç belli olmayan, köşelerde hiç çapak bırakmayan, kesme sırasında malzemeyi deformasyona uğratacak kuvvetler oluşturmayan, sıcaklık etkisi olmayan böylelikle; yapısal bozulma, kararma, çarpılma, erime, damlama oluşması ve yanma sorunları asla söz konusu olmayan bir kesici takım olan su en karışık biçimleri dahi,

yüksek hassasiyet ve çok temiz kesim kenarları ile elde edilebilmektedir (1, 2). Lastik ve plastik ile kaplanmış çeliklerde ve katlı kompozit malzemelerde yanma ve ergime sıcaklıkları farklı olduğundan, su jeti sorunsuz kesmede için kullanılacak tek yöntemdir. Kesme işlemi sırasında, zehirli gazlar, toz, talaş veya kimyasal kirlilik oluşmaz (asbest, tuğla, plastik, deri, kumaş, kağıt, patlayıcı ve yanıcı maddeler vb. kesimleri sonucu). Kesme işlemi su ile sağlandığından sağlık koşullarına (yiyecek kesme) tümüyle uygundur (3-5).

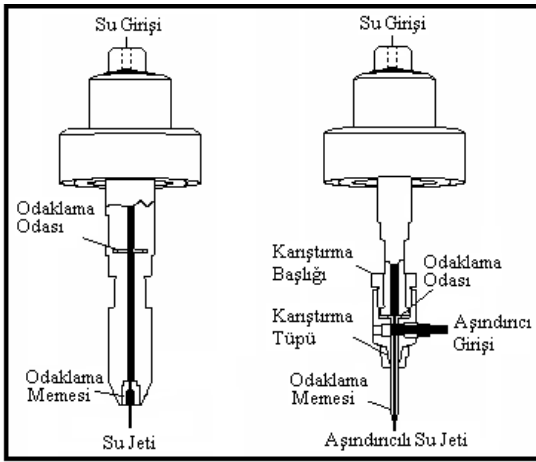
### 2. SU JETİ İLE KESME

Su jeti ile kesme Saf su jeti ile kesme (waterjet cutting) ve aşındırıcı su jeti ile kesme (abrasive waterjet cutting) olmak üzere iki değişik yöntemle yapılmaktadır Şekil 1. Her iki işlemde de, oldukça yüksek hız kazandırılmış su jeti kullanılmaktadır. Ancak aşındırıcı su jeti işleminde, basınçlı suya küçük boyutlarda aşındırıcı parçacıklar ilave edilmektedir (4). Bir su jeti kesme sistemi potansiyel enerjinin hazırlanması ve potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi olarak iki fiziksel prensibe dayalıdır; (5).

Bir basınç yükseltici vasıtasıyla su, yaklaşık olarak 4000 bar'lık bir basınca kadar sıkıştırılır. Bu yüksek basınç altında, ses hızının üç katından daha fazla hıza sahip olan su, özel olarak imal edilmiş olan ve ucunda küçük bir delikli safir olan nozuldan geçirilir. İş parçasına çarptığında çok ince, hassas kesme yapan ve saç teli kalınlığında olan bir su jeti ortaya çıkar. İnce ve dairesel kesitli su jeti

içine odaklanan kuvvet, saatte 90 km ile giden bir otomobil enerjisi ile kıyaslanabilir bir enerjiyi ortaya çıkarır (1,5,6).

Bir sıvının çok yüksek basınçla sıkıştırılarak, herhangi bir malzeme üzerine yönlendirilmesi durumunda, enerji dönüşümü için uygun durum sağlanmış olur. Basınçlı sıvı jetinin gönderildiği noktada meydana gelen enerji dönüşümü, temas noktasın da malzemenin kırılmasına neden olur. Söz konusu kırılma ve aşınma birkaç mekanizmanın bir araya gelmesiyle gerçekleşir. Kesme kuvveti; hidrostatik enerjinin malzemenin aşınmasını sağlayacak kadar kinetik enerjiye sahip bir jete dönüşmesiyle elde edilir (1, 7).



Saf Su Jeti ile Kesme Aşındırıcı Su Jeti ile Kesme

### Şekil 1. Su jeti ile kesme sistemleri

Son zamanlarda endüstriyel kesme işlemleri üzerindeki talepler oldukça artmış olup; çağdaş bir kesme sisteminde aşağıdaki sistem özellikleri beklenir;

- Kesici kenarları hiçbir zaman kirlenmeyecek bir kesici takım ile donatılmalıdır.
- Bilinen her malzemeyi kesebilmelidir, işlenen yüzeyin kalitesi çok iyi olmalıdır.
- Kesme yüzeyleri geometrisi ve iş malzemeleri ile ilgili değişikliklere karşı esnek olmalıdır.
- Karmaşık kesme yüzeylerinde de kullanılabilir olmalıdır.
- Sistem, aynı anda hem fiyatı düşürmeli ve hem de üretkenliği arttırmalıdır
- Üretilen parçalar çok düzgün ve tam olmalıdır.
- Malzeme atığı en az olmalıdır.
- İmalat prosedürü otomasyona uygun olmalıdır.
- Çevre üzerinde hiçbir zararlı etkiye yol açmamalıdır

#### 2.1. Saf Su Jetleri ile Kesme

Su jeti ile kesme işleminde kullanılan jet, bir sıvının, (genellikle de suyun) 4000 bar veya daha yüksek basınçlarda sıkıştırılması ve 0.1-0.6 mm arasında bir çapa sahip bir nozuldan geçirilmesiyle elde edilmektedir. Nozul uçlarında malzeme olarak safir, seramikler veya elmas gibi sert malzemeler kullanılmaktadır (9). Saf su jetleri sabit basınç altında işlenebilen yumuşak malzemeler ile, suyun iletildiği basıncın etkisiyle, yapısında mikro düzeyde kırıklar meydana gelen gevrek malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Kesilen malzemeye suyun temasının olumsuz etkilerinin olduğu durumda, (örneğin hidrofilik plastik malzemelerin kesilmesi işleminde) su yerine, bitkisel yağ veya alkol gibi diğer kesme sıvıları kullanılabilir. Bu şekilde gerçekleştirilen kesme işlemini, sıvı jet ile kesme olarak isimlendirmek daha uygundur (9,11,10). Çizelge 1'de su jeti ile kesme sistemlerinde malzemelerin kesilmesi sırasında uygulanabilecek bazı kesme hızları verilmiştir.

Çizelge 1. Su jeti ile kesme sisteminde kesme hızları (Nozul çapı 0.25 mm) (9,10, 11)

MALZEME	KALINLIK ( mm )	KESME HIZI ( mm/dak )
Alçı	20	1000
Alüminyum	2	500
Grafit	3	1000
KEVLAR	3	1000
Karbon	1	500
	4	80
Lastik	0.3	1500
	1	1000
	20	833
	50	300
NBR 40'	8	1000
Neopren	10	1200
Perbunan	2	1500
	10	800
Polykarbonat	1	1000
Polyuretan	8	1500
	30	500
POM	3	400
Polipropilen	1	2000
Silikon	2	2000
	10	1000
Sünger	20	1000
	80	1000
Tahta	1	1000
	5	1000
Viton	0.5	400
	1	900
	10	1000

#### 2.2. Aşındırıcı Su Jeti ile Kesme

Aşındırıcı su jeti ile kesme tekniği; sert malzemelerin kesme işleminde kullanılır. Bu kesme işleminde, bir pompa düzeneği yardımıyla su basıncı 4000 bar'a yükseltilir ve yüksek basınçlı

su kesme başlığına taşınır. Kesme başlığında yüksek basınçlı su akışı, bir orifis içersinden karıştırma odasına odaklanır. Bu odada, önceden dozajlanmış belli miktardaki aşındırıcı parçacıkları odaklanmış su akışına eklenir. Karıştırma odasından ayrılıştta, 0.8-1.2 mm arasındaki bir safir uçtan geçirilen karışım iş parçasına odaklanır ve bunun sonucu aşınma ve kırılmalar meydana gelerek istenen işlem gerçekleştirilir (10-13). Çizelge 2'de aşındırıcı su jeti ile kesme sistemlerinde bazı malzemelerin kesilmesi sırasında uygulanabilecek kesme hızları verilmiştir. Çizelge 3. Yöntemlerin, kesilebilen malzeme cinsi ve kalınlığına göre karşılaştırılması,

Çizelge 2. Aşındırıcı su jeti ile kesme sisteminde kesme hızları (Nozul çapı 0.25 mm) (9,10,11)

MALZEME	KALINLIK (mm)	KESME HIZI (mm / dak)
Al Mg 1	1	800
Al Mg 3	5	400
Al Cu Mg Pb	10	180
Al Cu Mg 1	10	90
Al Mg 3	10	120
	30	40
Bronz	1	800
Cu Zn	4	350
Cu Zn 5	5	300
Cu Sn	0.3	500
Cu Sn 6	1	200
Alaşımli çelik (paslanmaz çel.)	0.5	1000
	1	1000
	2	500
	10	150
Alaşımli çelik 1.4122	40	30
	1	400
	5	200
St 37	11.5	80
	20	50
	32	30
St 52	20	50
	50	20
	4	500
	8	450
Cam	15	180
	20	120
	50	80
	8	200
Granit	10	100
	20	93
Mermer	8	400
	20	200
	1	1200
Plastik Plaka	3	1000
	6	1000
	18	300
Pelexiglas	4	1000

Geleneksel kesme yöntemleri uygulandı-ğında sorunlara yol açan titanyum ve diğer metal

alaşım, aşındırıcı su jeti ile çok daha kolay bir şekilde işlenebilmektedir. Kompozit malzeme kullanımının yaygınlaşması ve sandviç ağ tipi konstrüksiyonların kullanımı, mevcut kesme yöntemleriyle istenildiği gibi gerçekleşmemektedir. Aşındırıcı su jeti, bu uygulamalar için sınırsız bir çözüm oluşturmaktadır (9). Çizelge 4 ve 5'de su jeti ile kesme yöntemi diğer işleme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Su jeti ile işleme yöntemi ile geleneksel olmayan tek noktali kesme yöntemleri arasında da önemli üstünlükler mevcuttur.

Çizelge 3. Yöntemlerin, kesilebilen malzeme cinsi ve kalınlığına göre karşılaştırılması (5)

Kesme Sistemleri	Maksimum Malzeme Kalınlıkları [ mm ]				
	Paslan. Çelik	Alaşım Çeliği	Karbon Çeliği	Komp.	Taş, Granit Mermer
Su jeti ile kesme	100	100	100	140	140
Lazer ile kesme	10	5	16	-	5
Plazma ile kesme	20	20	20	-	-
Oksijen ile kesme	-	-	160	-	-

Çizelge 4. Su Jeti kesme ile diğer kesme yöntemlerinin karşılaştırılması (5)

Su Jeti Kesme ile Diğer Kesme Yöntemlerinin Karşılaştırılması				
Karşılaştırma Faktörü	Aşındırıcı Su Jeti	Lazerle Kesme	Plazma ile Kesme	Oksijenle Kesme
Malzeme Kalınlığı	+	-	+	+
Kesme Kalitesi	+	+	-	-
Yanal hızı	+	+	+	+
Çok Amaçlı Kullanım	+	0	+	-
Hassas Kesme	+	+	+	0
İkinci Bir İşlem Gereklinimi	+	+	+	-
Çapak (Cüruf) Oluşumu	+	-	-	+
Üretim Esnekliği	+	+	-	0
Toplam İşleme Zamanı	+	+	0	-
+ + : Mükemmel + : İyi - : Kabul edilebilir 0 : Kabul Edilemez				

Çizelge 6'de farklı kesme yöntemleri kesme hızlarının karşılaştırılması görülmektedir.

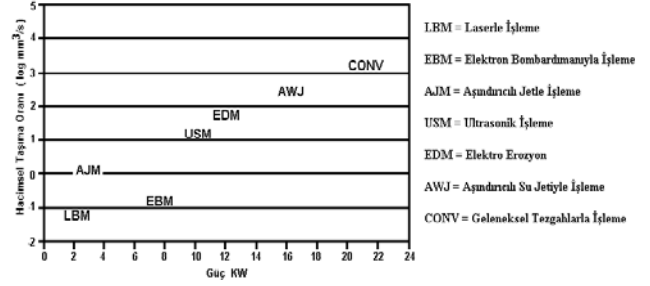
Su jeti ile kesme sistemleri diğer yöntemlerle aynı avantajlara sahiptir. Şekil 2' de Farklı işleme metodlarının güç seviyelerine bağlı olarak hacimsel talaş kaldırma oranları gösterilmektedir

Bununla birlikte, su jeti metodu yakma işlemi olmadan gerçekleştirildiği için, malzemede ısıdan etkilenen bölge olmaz ve kesilen malzemenin kesim bölgelerinde malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerinde değişme gözlenmez. Bu nedenle de su jeti çok yüksek sıcaklıklarda ve patlayıcı atmosferik ortamlarda tercih edilmektedir.

Şekil 3. Su jeti ile kesme sisteminin diğer

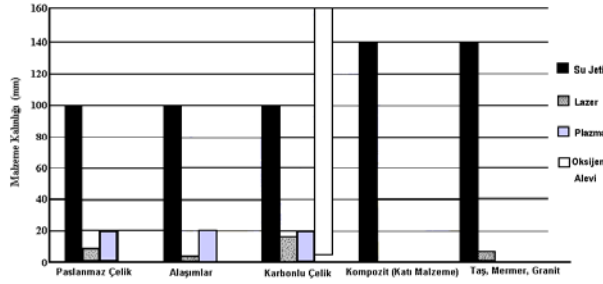
Çizelge 5. Kesme yöntemlerinin karşılaştırılması (13,14,15)

Su Jeti ile Kesme Yöntemi	Lazer ile Kesme Yöntemi	Geleneksel Kesme Yöntemi
Mekanik kesici takım yoktur	Mekanik kesici takım yoktur	Kesici takım, iş parçası ile temas halindedir
Kesme ucundaki yapıda değişiklik ya da ısı üretimi yoktur	Kesme ucundaki yapıda değişiklik ya da ısı etkisi vardır	Yapıda az ya da çok derecede ısı oluşur ya da değişiklik meydana gelir
Çapak oluşmaz	Çapak ve damla oluşur	Normal olarak çapak oluşur
Kesme bölgesinde malzeme deformasyonu ve yapısal değişiklik yoktur	Kesme bölgesinde malzeme deformasyonu ve yapısal değişiklik vardır	Normal olarak malzeme deformasyonu ve yapısal değişiklik vardır
Duman ya da toz üretilmez	Plastiklerde toksik gazlı duman üretilir.	Toz vb. üretilir
Kazıma ve oyma mümkün	-----	Kazıma ve oyma için özel makine gerekir
Kesme performansı oldukça yüksektir	Belli kalınlıklarda kesme performansı yüksektir	Kesme performansı gereksinimi karşılar
Kesme hattı kılavuzlaması oldukça esnek ve değişken	Kesme hattı kılavuzlaması oldukça esnek ve değişken	Kesme hattı kılavuzlaması değişken değildir.
Yüzeylerin kaba işlenmesi ve erozyon için eş zamanlı olarak kullanılabilir	-----	Karşılık gelen süreç yardımı ile kullanımı daha az esnek
İstendiğinde kesme işlemi iş parçası içinden başlatılabilir	İstendiğinde kesme işlemi iş parçası içinden başlatılabilir	Kesme işleminin başlatılması, genellikle sadece kesici takımın iş parçası dışından girişi ile mümkündür
Malzeme sertliğinin hız üzerinde bir etkisi vardır	Malzeme sertliğinin hız üzerinde hiçbir etkisi yoktur	Malzeme sertleştikçe kesici takım aşınması daha fazladır
Laminatların kesilmesinde avantajlı olarak kullanılır	Bazı laminatlar kesilemez	Laminatların kesilmesinde genellikle sorunlar vardır
Kesme ucunda oksitli tabaka yoktur	Oksijenle keserken azotlu bir oksit tabakası vardır ya da oksit tabakası görülmez	Mekanik kesmede oksit tabakası görülmez
En az kesme atığı ve atık dönüş esnasında dışarı süzülebilir	Normal kesme atığı ve atık emilerek kısmen dışarı atılabilir	Kullanılan sürece bağlı olarak kesme atığı görülür
Çok esnek, değişken kesme uçları olasıdır	Çok esnek, değişken kesme uçları olasıdır	Kesme ucunun kontrolünün değişkenliği sınırlıdır
Bilinen her tür malzeme kesilebilir	İşığı fazla yansıtan malzemelerin kesilmesi zordur	Sınırlı sayıdaki çok sert malzemeler kesilemez



Şekil 2. Farklı işleme metodlarının güç seviyelerine bağlı hacimsel talaş kaldırma oranları (5)

kesme yöntemleri ile karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 3. Su jeti ile kesme sisteminin diğer kesme yöntemleri ile karşılaştırılması (5)

Su jeti, plazma yönteminde olduğu gibi kesilen yüzeylerde aşırı cüruf oluşmasına neden olmadığı için ikinci bir yüzey işlemini ortadan kaldırmaktadır.

Bu avantaj, maliyeti oldukça azaltmaktadır. Bilindiği gibi ısıdan etkilenen bölgelerde sertleşme olduğundan bu yüzeylerin işleme maliyeti arta-

- Kesme hızı yüksektir, Düzgün kesme yüzeyi bırakır, İşlem sonrası çapak bırakmadığı için ikinci bir işlem gerektirmez. Kesici uç problemi, toz, gürültü ve ısınma problemi yoktur.
- Maliyeti diğer yöntemlere göre daha azdır ve deformasyon düşüktür.
- Esnek imalat için bilgisayar kontrollü tezgah veya robotla uygulanması mümkündür.
- İşlem sırasında uygulanan kesme kuvveti çok düşüktür (45 N'dan az).
- Kesme ve patlama özelliği gösteren işlemi su ile yapıldığından yanıcı ve tehlikeli bölgelerde kullanmak mümkündür.
- Otomasyon ve uzaktan kontrol için idealdir. Her yönden işleme yeteneği söz konusudur.

Çizelge 6. Farklı malzemelerin işlenmesinde seçilebilecek kesme hızları (13,14,15)

MALZEME	KALINLIK	PLAZMA (500 A)	LAZER (1500 W)	SU JETİ (3500 bar)
37 Çeliği	5	4500	2200	200
	20	2000	-	50
Dökme demir	10	3000	1000	150
	28	2100	300	40
Paslanmaz çelik	2	>6000	>6000	450
	40	500	-	15
Bakır	5	2000	-	300
Alüminyum	2	>6000	1000	800
	40	1200	-	80
	130	-	-	10
Titanyum	1	>6000	>6000	850
	30	2000	-	45
Mermer	19	-	-	700
Kevlar	3	-	-	2000

bilmektedir. Herhangi bir uygulama için gerçek bir karşılaştırma ancak özel durumlar ve uygulama alanının detaylı olarak incelenmesiyle ortaya konacağı bilinmekte olup, genel olarak su jeti ile kesmenin aşağıdaki avantajları sıralanabilir :

- Lazer, elektron ışını ve plazma ark-kesme sistemlerinde olduğu gibi kesilen bölgelerde ısı etkisi bırakmaz. İşlem sırasında maksimum yüzey sıcaklığı 60°C' yi geçmez.
- Süper alaşımlar ve gelişmiş seramiklerle yapılan kesme işlemlerinde elektro erozyon yöntemi dahil tüm yöntemlere, üstünlük sağlar. Asbest vb. sağlığı tehdit eden tehlikeli malzemeleri kullanmak mümkündür.

- İstenilen geometrik şekillerde kesme özelliğine sahiptir. Kopyalama aparatı kullanılırsa karmaşık parçalar çok yüksek hassasiyetle kesilebilmektedir (1, 7).

### 3. SU JETİ İLE KESME PARAMETRELERİ VE ÖZELLİKLERİ

Su jeti ile kesme operasyonları üzerindeki bağımsız parametreler iki ana grupta incelenmektedir. Makine parametreleri ve aşındırıcı – aşındırıcı karışımı parametreleri. Makine parametreleri; su jeti çıkış çapı, su jeti basıncı, su jetinin nozuldan çıkış hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme genişliği, kesilen yüzey kalitesi, kesme ucunun iş parçasına mesafesi, kesme açısı, işleme-

cek malzeme parametreleri vb. makine ile ilgili başlıca parametrelerdir.

Aşındırıcı – aşındırıcı karışım parametreleri; aşındırıcı orifis çapı, aşındırıcı malzemesi, aşındırıcı tipi, tanecik büyüklüğü, kütle akış oranı, karıştırma yöntemi (zorlanmış veya emme şeklindeki karışımlar), karışım tüpünün çapı, karışım tüpünün boyu, aşındırıcının durumu (kuru veya çamur halinde olması) şeklinde sayılabilir [1, 3, 14, 15,16].

Çizelge 7. EDM, Lazer ve Su jeti ile kesmenin değişik yönlerden bir karşılaştırması görülmektedir.

Çizelge 7. EDM, Lazer ve Su jeti ile kesmenin değişik yönlerden bir karşılaştırması (5).

FAKTÖRLER	YÖNTEM		
	EDM	LAZER	SU JETİ
Kesilen malzeme tipleri	Sadece metalik malzeme	Çoğunlukla metalik malzeme (yansıtıcı olmayan)	Her çeşit malzeme
Kesilen malzeme kalınlıkları	25.4 mm ve yukarısı	6.35 mm ve aşağısı	0.0 mm ve yukarısı
Hassasiyet	0.00254 mm (onda)	0.0254 mm (binde)	0.0254 mm (binde)
Kesme için ilerleme değerleri	Aşırı yavaş (mm/hr)	Hızlı (mm/min)	Orta hızlı (mm/min)
HAZ – Isıdan etkilenmiş bölge	Evet	Evet	Hayır
Kesilen kenar kalitesi	Yüksek 0.13µm ~ 1.3µm	Düşük 3.204µm ve üstü	Orta 1.3µm ve üstü
Ön işlem	- Her boşluk için ön delik delme - Telin yeniden takılması	Yok	Yok
Son işlem	HAZ'ın kaldırılması	HAZ'ın kaldırılması	Yok
Kullanıcı güvenliğine uygunluk	Hayır	Hayır	Evet

### 3.1. Kesme Kalitesi ve Standart Uygulamalar

Saç kalınlığındaki bir su jeti sadece 0.1 ila 0.4 mm (0.004 ila 0.012 inç) genişliğindeki bir kanalı (atık genişliği) kesmektedir. Aşındırıcı ile kesme kullanıldığında bu kalınlık 1.5 mm (0.06 inç)'ye kadar artmaktadır. Sonuç olarak geleneksel işlemlere göre çok daha az malzeme kaybı meydana gelmektedir. Durmadan atılması gereken ve çalışma alanı etrafında yığılan malzeme talaşı bu işlemde üretilmemektedir. Su jeti, malzemenin herhangi bir şekilde yırtılmasına sebep olmaz ve deformasyonuna yol açmaksızın kesinlikle tam, hassas kesme kenarları üretir. jet, hep yuvarlak şekilde keser ve çoğu malzemelerde önceden bir

punta deliği ya da matkapla ön bir delme işlemine ihtiyaç duymaz. Isıl kesme tekniklerinin tersine su jeti ile kesme, malzemede kesik bölgesi etrafında ısıyla yapısal değişikliklere neden olmaz (1, 3,16).

### 3.2. Temizlik

Aşındırıcı su jeti teknolojisinin en sık kullanıldığı uygulama alanı temizliktir. Temizlik amacı ile kullanılmakta olan su jetlerinin farklı uygulamaları için geniş bir saha söz konusudur. Örneğin, Pis su kanal ve borularının temizlenmesi işlemi; su jeti itme tesiri ile maddeleri öne doğru sürükleyen su jeti nozulları vasıtası ile gerçekleştirilir. Bir başka uygulama da dönen nozullardır. Bu işlemde

üzey gerilimi minimize edilir ve nozulun dönerek hareket etmesi sağlanır; çünkü üstesinden gelmesi gereken sadece tek bir kayma sürtünmesi vardır. Su jetleri ayrıca betonun revize edilmesi için de kullanılır (17). Bu işlemde su jeti küçük boşluklu bir odaya girer. Basınç, beton parçalarının yapının dışına doğru kırılmasını sağlar. Bu etki, basınç darbelemesi yoluyla desteklenir; çünkü jet, dinamik çarpmaya yol açan damlacıklar üretir (18). Su jetlerinin temizlik işlemlerinde üçüncü bir önemli uygulaması da kaplamaların ve gaz türbinlerinde yanma sonrası ortaya çıkan muhtelif küllerin çıkarılması ve gemi duvarlarının temizliğidir. Değişik işlem ve değişik bazlı malzemelere bağlı olarak basınç seviyesi ve stand-off (kesme ucu ile

malzeme arasındaki ayrı durma) mesafeleri de geniş bir alanda değişmektedir.

### 3.3. Kesme

Temizliğin yanı sıra, su jetleri esas olarak kesme operasyonları için kullanılır. Yumuşak malzemeler (metal olmayan malzemeler, seramik olmayan malzemeler), saf su ile 400 MPa 'a kadar olan basınç seviyelerinde kesilebilir. Tipik uygulamalar arasında otomobil halıları ve çamurluklar, salmastralar, köpük, havlı malzemeler ve mukavva yer alır.

Metal ve seramik gibi daha sert olan malzemelerin tümü, aşındırıcı su jetlerinin de işin içine girmesine ihtiyaç duyar (bu alanda su jeti, mekanik testereleme, tel ile testereleme, zımba açma, düz kesimler için kesme hızı, konturlu olan yöntemlerden % 30 daha yüksek verime sahiptir).

EDM, lazer ve diğer kesme teknikleriyle rahatlıkla rekabet etmektedir (16,17). Aşındırıcı su jeti ile kesme işleminde, su jetinin tek fonksiyonu, aşındırıcı parçacıklarını hızlandırmak ve çıkarılan malzemeyi sürüklemektir. Aşındırıcı parçacıklar, bir mikro yükleme sürecini gerçekleştirirler. Süreç parametrelerine bağlı olarak kesme sonucu, kaba ve kaliteli şeklinde ikiye ayrılabilir. Kaliteli kesme durumunda, oluşturulan yüzey pürüzlülüğü  $Ra =$

Gazlar, solventler ve çözülmemiş plastiklerle suyu karıştırarak su jeti akımının sürekliliğini iyileştirmek amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Hatta uzun zincirli polimerlerin eklenmesi, daha iyi bir süreklilik elde etmek için önerilmiştir. Bütün bu katkı maddeleri ortak bir şeye sahiptir; katkı maddesini homojen olarak yaymak için karmaşık bir karıştırma aparatı. Buna ilaveten, toksinliğine bağlı olarak kesme işleminden sonra suyun tekrar belli bir dereceye kadar arıtılması gerekmektedir. Karışimsız su ile kesme tekstil, blastomer, sentetik elyaf, ince plastik, yiyecek maddeleri, kağıt, karton, termoplast vb. malzemelerde uygulanabilir (18,19).

### 4. UYGULAMA ALANLARI

Su jeti ve aşındırıcı su jeti ile kesme, üretimin hemen-hemen her aşamasında geniş bir uygulama tayfi üzerinde uygulanabilmektedir. Çizelge 8'de su jeti ile kesme işleminin uygulandığı alanlar ve uygulama örnekleri ele alınarak özetlenmiştir (4,8,11,15,16,20).

Aynı şekilde aşındırıcı su jeti ile kesmenin uygulandığı alanlar ve uygulama örnekleri ise Çizelge 9'da özetlenmiştir (20). Çizelge 10'de ise aşındırıcı jetinin açık hava işlerinde kullanılmasına ait uygulamaları içermektedir.

Çizelge 8. Su jeti ile kesme uygulama alanları ve uygulama örnekleri (5)

Uygulama Alanı	Uygulama Örnekleri
Plastiklerin Kesilmesi	Kalıp endüstrisindeki mühendislik plastikleri, yerli kullanım için parça endüstrisi, film endüstrisi, kablo vb. kesimi
Kağıt ve Kağıt Hamurunun Kesilmesi	Oluklu kağıt, çocuk bezi ve diğer sağlıkla ilgili kağıt kesimi, artık kağıt geri dönüşümü ve her türlü kağıt kesimi
Fiber Kesilmesi Kumaş Kesilmesi	Fiber endüstrisi, spor malzemeleri endüstrisi, Giyim endüstrisi
Kauçuk Kesilmesi Deri Kesilmesi	Kauçuk endüstrisi, deri endüstrisi, suni deri endüstrisi, ayakkabı endüstrisi, sızdırmazlık elamanları imalatı, spor malzemeleri endüstrisi
Gıdaların kesilmesi Donmuş Yiyeceklerin Kesilmesi	Gıda endüstrisi (bütün yiyecek maddeleri) Donmuş yiyecekler endüstrisi, meyve, pasta, kek şekerleme vb. kesimleri
Kereste Kesilmesi Kontroplak Kesilmesi	Ormancılık, kereste imalatı endüstrisi, ev yapım endüstrisi, iç dekorasyonu
Diğer	Patlayıcı endüstrisi, Asbest malzemelerin kesilmesi, katı yakacakların kesilmesi, buz kırıcı

10  $\mu$ m' den daha az olabilmektedir. Jetin hidrolik gücüne bağlı olarak 300 mm kalınlığında çelikler dahi kesilebilmektedir (16).

Çizelge 9. Aşındırıcılı su jeti ile kesme uygulama alanları ve uygulama örnekleri (5)

Metalik Yaprak Kesme Titanyum, alüminyum, paslanmaz çelik, yüksek çekme mukavemetli çelikler, süper alaşımlar vb.	Havacılık endüstrisi, otomobil endüstrisi, gemi inşa endüstrisi, makine mühendisliği, çelik çerçeve ürünleri, köprü imalatı, demir endüstrisi, demir olmayan malzeme endüstrisi, metalik ürünlerin üretimi, hareket aktarma elamanları üretimi (motor).
Cam Kesimi Tel cam, puslu cam, laminatlı cam vb.	Cam endüstrisi, ev yapım endüstrisi, iç dekorasyon endüstrisi, puslu cam imalatı, reklamcılık, tıbbi cihazların imalatı.
Gelişmiş Malzemelerin Kesilmesi Kompozit malzemeler (FRP, FRM, FRC) Seramikler Diğer gelişmiş malzemeler (mıknatıslı malzemeler vb. )	Havacılık endüstrisi, kütük ağaç endüstrisi, otomotiv endüstrisi, spor malzemeleri endüstrisi Kaliteli seramik endüstrisi, seramik endüstrisi Elektronik parçaları endüstrisi, optik fiber endüstrisi
İnşaat Malzemelerinin Kesilmesi Tahta, Hafif ağırlıklı beton vb.	Konstrüksiyon endüstrisi, ev yapımı, boya endüstrisi, Bina yıkım ve beton kesim vb.
Diğerleri	Atom gücü endüstrisi (tükenmiş nükleer yakıt borusu kesilmesi) Çeşitli grafit imalatı ve süreçleşmesi

Çizelge 10. Açık hava işlerinde için aşındırıcılı su jeti ile kesme uygulama alanları ve uygulama örnekleri

Takviye Beton, Çimento Harcının Kesilmesi	İnşaat endüstrisi, De montaj, Atom endüstrisi, Ev yapım endüstrisi
Kaya – Taş Kesilmesi	Madencilik endüstrisi, Taş ocakçılığı, Bahçecilik, Seramik endüstrisi
Hurda Parça ( tank tekerlek, FRP vb. )	Hurda parça kesim ve taşıma, FRP 'den yapılmış hurda tank vb. kesimi
Diğerleri	Dökümhane vb endüstrilerde çapak alma ve temizleme. Her türlü boya kaplama kazıma ve deliklerin temizlenmesi. Kereste ve orman işletmeleri

#### 4.1. Endüstriyel Uygulama Alanları

##### Havacılık ve Uzay Sanayi

Modern malzemelerin gelişme sürecinde talep edilen kalite ihtiyaçları, geleneksel kesme yöntemlerinin kullanım olanaklarını sınırlamaktadır. Bilhassa, sandviç ve ağ konfigürasyonlu, metalik ve ametalik kimyasal bağa sahip malzemeler, su jeti tekniğinin kullanımına ihtiyaç duymaktadırlar (18, 21). Bazı malzeme türlerinin işlenmesi sadece bu kesme yönteminin kullanılmasıyla mümkün hale gelmiştir. Hiç toz üretmediği, yüksek hızda kestiği ve fevkalade kaliteli bir kesme yüzeyi ürettiği için özellikle uçak ve uzay sanayileri için uygundur (17, 9).

##### Otomotiv Sanayi

Yüksek kesme hızı ile ispatı daha önceden yapılmış kılavuz kontrollü kesme özelliğinin bileşimi, pek çok uygulama için su jeti ile kesme olanağı sağlamaktadır. Tipik örnekler olarak enstrüman panolarının imalatı, kapı süsleri ve araba koltuk kumaşlarının kesiminin yanı sıra fibreglas yaylar gösterilebilir (17,18, 21)

##### Kağıt Sanayi

Kağıt yapraklar, tabakalar, karton ve buruşuk paket kağıtları istenen şekilde yekpare ya da istif halinde kesilebilir. Bıçaklarla keserken tabi olarak oluşan deformasyon, su jetli kesme ile önlenir (7, 21).

##### Elektronik Sanayi

Yüksek üretim hızı, mükemmel kesme kenarı kalitesi ve kesme kenarı çevresinde ısıl olarak meydana gelen yapısal malzeme değişikliklerinin önlenmesi, pratik olarak laminatlı elektronik devre kartlarının üretilmesinde su jetli kesme tekniğinin kaderini önceden belirlemektedir. Baskı devresi olarak bilinen epoxy - glass, kağıt - içerikli, polyamid, teflon - levha gibi malzemelerinden herhangi birinden imal edilmekte ve genelde birleşik olarak imal edilen baskı devreleri daha sonra su jeti kullanılarak kesilmektedir (17,18, 21)

##### Tekstil Sanayi

Çok katmanlı tekstil malzemeleri, hatta farklı tekstil ürünlerini içeren stoklar bile su jeti



yöntemi ile aynı anda kesilebilir. Kesme çevresinin ne kadar karmaşık olduğuna bakılmaksızın yüksek hızda, fazla liflendirip aşındırma yapmadan her türlü kesme kenarı elde edilebilmektedir. Tekstil malzemeler esnek ve yumuşak bir yapıya sahip olmaları nedeniyle, beslenme ve kesme işlemlerinde zorluklar oluştururlar. Klasik bıçakla kesme yöntemine göre su jeti ile kesme sistemi tekstil ürünlerinin kesilmesinde yaygın kullanılmakta, lümenin bilgisayar kontrollü x-y düzlemlerinde hareketli bir tabloya bağlanmasıyla da çok karışık şekilli kesme işlemleri klasik kesme tezgahlarında olduğu gibi bıçak değiştirmeye gerek duyulmadan gerçekleştirilebilmektedir. yını zamanda piyasada çocuk bezi olarak bilinen çocuk bağları da bu metot kullanılarak kesilmekte ve kesilen kısımların yumuşak ve kabarık şekilde kalması sağlanmaktadır (18, 19, 20, 21, 22)

### **Gıda Endüstrisi**

Gıda endüstrisinde çok yaygın bir kullanım alanı bulan su jeti kesme tekniği birçok avantaj sunar. Bunların başında temizlik işlemlerindeki tasarruf gelmektedir. Temiz kesim yöntemi nedeniyle yiyecek ve gıda parçalarının metal bıçaklara yapışması ortadan kalkmıştır. Yağ, dondurma, kekler ve şekerli ürünler, herhangi bir kesme ucu üzerine yapışmamaktadır. Kaliteli su jeti, pişirilmiş ürünlerden donmuş besinlere kadar pek çok gıdayı kolayca kesebilmektedir. Elmalı pastanın dilimlenmesinden, çikolata, balık ve donmuş her çeşit gıda maddesinin kesilmesi mümkün hale gelmiştir. Kesilen ürünün kenarları kuru kalmaktadır (18, 21, 22).

### **Paketleme Endüstrisi**

Karton kutu üretiminde, klasik bıçakla kesme yöntemi kullanıldığında kesilen kenarların ezilmesinden dolayı, su jeti ile kesme sistemi çok yaygın bir şekilde kullanıma girmiştir. Bu yöntemle 0.45 mm olan ezilme miktarı 0.08 mm' ye kadar düşürülmüştür. Kesme hızının artırılması için su bıçağı tekniği (Water-Knife)'de kullanıma girmiştir (19, 22).

### **Plastik Endüstrisi**

Sert, yoğun ve camsı yapıya sahip olan plastik malzemelerden (Akrilik, Polykarbonat ve Styrene) kalın olanların kesilmesi istenen kalite ve özellikte gerçekleştirilemese de diğer tip plastik malzemeler kabul edilebilir düzeyde kaliteli kesilebilmektedir (7, 21, 22).

### **Maden İşletmeleri**

Yakın zaman içerisinde, yüksek basınçlı su jeti, kaya kesme makinelerinde de geniş ölçüde kullanılmaya başlanmıştır. Maden işletmelerinde tünel kazmada ve petrol kuyusu açma işlemlerinde su-jeti kullanılarak kazma oranı ve matkabın çalışma süresi arttırılmıştır (8, 19, 20).

### **Metal Endüstrisi**

Sistem, en yaygın kullanım alanını ise çeşitli metal malzemelerin kesilmesinde bulmuştur. Bunun ana nedeni ise kesme esnasında yüksek ısı oluşmaması ve malzemenin kristal yapısının bozulmamasıdır. Uygulama alanı kalaydan, tungsten karbide kadar olan geniş bir yelpazeyi içine alır (2, 21).

### **Diğer Uygulama Alanları**

Su-jetiyle kesme yöntemi, mükemmel yapıdan dolayı gelecekte endüstride geniş çapta kullanılacağı düşünülen amorf malzemelerin kesiminde de uygulama alanı bulmuştur. Su jeti ile kesme; endüstriyel tesis temizliği, yanmaya karşı duyarlı ortamlar, tıp, yol yapım ve tamiratı gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır.

## **5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME**

İmalat sanayinde düşük maliyet ve yüksek kalite esastır. Bu amaçla su jeti teknolojisi;

- Günümüz imalat sanayinde kullanılan yeni bir kesme yöntemidir.
- Geleneksel kesim yöntemlerinin ekonomik olmadığı durumlarda, geleneksel kesme yöntemlerine yedek bir yöntemden ziyade onların yerine olan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Kesme sırasında ısının istenmediği uygulamalarda "Soğuk kesme yöntemi" olarak tercih edilmektedir.
- Bu teknolojinin en büyük avantajı soğuk bir kesme işlemi olmasıdır. Böylelikle kesilen malzemelerde ısıl gerilmeler oluşmamakta, dolayısıyla da gerilme giderme işlemine gerek duyulmamaktadır..
- Kaliteli kesme durumunda, oluşan yüzey pürüzlülüğü Ra = 10 µm' den daha az olabilmektedir, bu pürüzlülük diğer kesme yöntemlerinin bir çoğundan daha iyi bir sonuç olarak göze çarpmaktadır.

- Çevre etkisi, kesme hızları ve işletme maliyetleri incelendiğinde, geleneksel yöntemlerin yanı sıra lazer, plazma vb. modern yöntemlere göre de en çok tercih edilen yöntem görünümündedir.
- Her türden malzemeyi yüksek performansta kesbilmeye ve otomasyona çok uygun bir işleme yöntemidir.

İşleme kolaylığı ve her türlü malzemenin deformasyonsuz işlenmesi, su ile kesme yöntemlerinin sınırsız bir uygulama alanına sahip olacağına bir göstergesidir. Bu çalışmada; çok geniş bir uygulama yelpazesine sahip bu yöntemin detaylı tanıtılması yapılarak, metal malzemelerin işlenmesinde henüz çok yaygın kullanılmayan bu yöntemin alternatif bir işleme yöntemi olarak ele alınması gereği vurgulanmaya çalışılmıştır.

## 8. KAYNAKÇA

1. Hunziker, W., "Water-jet Cutting" BQSTRONIC LASER AG., CH-3362 Niederönz, Switzerland, January 1990.
2. Haylock, R., "Waterjet Cutting – A Technology of A float On a Sea of Potential" Manufacturing Engineering, Vol. 99, pp 37-41, November 1987
3. Steinhauser, T. J., "Abrasive Waterjets ; on the Cutting Edge of Technology", Flow Systems, August 1989.
4. Hashish, M., "Optimization Factors in Abrasive-Waterjet Machining" Journal of Engineering for Industry, Vol. 113. pp 132-139, February, 1991.
5. Akkurt, A., "Çeşitli Malzemelerin Aşındırıcılı Su Jeti ile Kesilmesinde Yüzey Özellikleri, Sertlik ve Mikroyapı Değişimlerinin Farklı Kesme Yöntemleriyle Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi" Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Temmuz-2002, Ankara, Türkiye.
6. Warnecke, H. J. And Schlatter, M., "Treatment of Materials with high pressure waterjets", E330, Vol. 60. pp 189-201, 1984, Stuttgart.
7. Richard, F., "Waterjet Machining in Relationship to Design Engineering for Manufacturability" Hydro - Abrasive Machining, 1992, California, U.S.A.
8. Öjmertz, C., "Abrasive Waterjet Machining". Department of Production Engineering, Licentiate Thesis, January-1994, Sweden.
9. Momber, W. A. And Kovaceviç, R. "Principles of Abrasive Water Jet Machining" November 1997, Dallas, Texas.
10. Morris,C.J. "A laboratory study of high pressure waterjet assisted cutting" National Coal Board, 1987, U. K.
11. Fowell, R. J. "Waterjet assisted drog tool cutting; parameters for success" University of Newcastle upon Tyne, S. T. Johnson, Plymouth Polytechnic, 1989, U.K
12. Öjmertz, C., "A Study On Abrasive Waterjet Milling" Department of Production Engineering, Thessis for Degree of Doctor of Philosophy, March- 1997, Sweden.
13. Flow International Company "Three Dimensional Abrasive Waterjet Cutting System", Flow International Corporation, 1993, Germany.
14. Jet Edge A Division of TC/American Monorail Inc., "Ultra High Pressure Intensifier Pumps", U.S.A.
15. Hashish, M. "Abrasive-Waterjet Machininig" Journal of Engineering Materials and Technology, May 1989, Vol. 111, pp 154-162, U.S.A.
16. Zaring, K. "Procedure Optimization and Hardware Improvements in Abrasive Waterjet Cutting Systems" 6th. American Water Jet Conference. August 1991 Houston, Texas, U.S.A.
17. Johnson S. T. "Advances in Cleaning and Coating Removal Using Ultra-High Pressure Water Jet Technology", Jet Edge Inc., 1993, Minneapolis, Minnesota, U.S.A.
18. Ayers G. and Amundsen, B. "High Pressure Integration of Waterjet Special Systems", Flow International Corporation. 1995, Kent, Washington, U.S.A.
19. Woolman, R. F. "Waterjet Machining in Relationship to Design Engineering for Manufacturability"Hydro-Abrasive Machining Inc., 1992, California,
20. Miller, D.S. "Expanding the Market for Abrasive Jet Cutting Systems", BHR Group Limited, 1994, U.K.
21. Schmitt, A. Fekaier, A. Houssaye, G. "Optimization of the abrasive jet cutting

surface quality by the workpiece reaction forces analysis”, Ecoles des Mines de Douai;, Laboratoire de Robotique de Paris, 1994. France.

22. Sounders, D. H. High performance DIAJET cutting system, BHR Group Limited, 1998, U.K.