

## Aşındırıcı Su Jeti Sisteminde Farklı Parametrelerle Kesilmiş Liflevhanın Pürüzlülük Özelliklerinin İncelenmesi

Hüseyin PELİT<sup>1\*</sup> , Özkan YAMAN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, 81620, Konuralp/DÜZCE

<sup>2</sup>Akyazı Mesleki Eğitim Merkezi, 54400, Akyazı/SAKARYA

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 28/09/2023  
Düzeltilme: 23/10/2023  
Kabul: 02/11/2023

### Anahtar Kelimeler

Aşındırıcı Su Jeti  
Kesme Parametreleri  
Liflevha  
Pürüzlülük Özellikleri

### Article Info

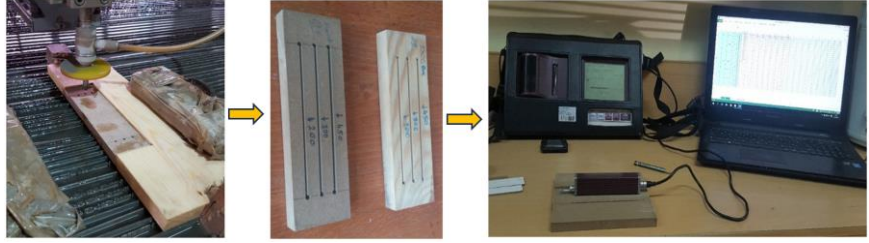
Research article  
Received: 28/09/2023  
Revision: 23/10/2023  
Accepted: 02/11/2023

### Keywords

Abrasive Water Jet  
Cutting Parameters  
Fiberboard  
Roughness Properties

### Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada, aşındırıcı su jeti (ASJ) sisteminde kesilmiş orta yoğunluklu liflevha (MDF) malzemenin kenar pürüzlülük özellikleri üzerine seçilmiş işleme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Örneklerde Ra, Rq ve Rz pürüzlülük değerleri analiz edilmiş ve endüstriyel uygulamalara yönelik öneriler sunulmuştur. / In this study, the effect of selected processing parameters on the edge roughness properties of medium density fiberboard (MDF) material cut in the abrasive water jet (AWJ) system was examined. Ra, Rq and Rz roughness values in the samples were analyzed and suggestions for industrial applications were presented.



**Şekil A:** MDF örneklerin ASJ sisteminde kesilmesi ve pürüzlülük ölçümleri / **Figure A:** Cutting of MDF samples in AWJ system and roughness measurements

### Önemli noktalar (Highlights)

- MDF örneklerin kesilmesinde yüksek verimliliğe sahip, düşük maliyetli, basit, temiz ve güvenilir bir teknoloji olan ASJ makinesi kullanılmıştır. / AWJ machine, which is a high-efficiency, low-cost, simple, clean, and reliable technology, was used to cut the MDF samples.
- MDF örnekler ASJ makinesi ile farklı parametrelerde kesilmiş ve örneklerin pürüzlülük özellikleri belirlenmiştir. / MDF samples were cut with the ASJ machine at different parameters and the roughness properties of the samples were determined.
- Örneklerin kesim yüzeyi düzgünlüğünde seçilmiş işleme parametrelerinin etkisi önemli bulunmuştur. / The effect of selected processing parameters on the smoothness of the cutting surface of the samples was found to be significant.

**Amaç (Aim):** Bu çalışmada, levha kalınlığı, kesici sıvı basıncı, aşındırıcı akış oranı ve ilerleme hızı faktörlerinin ASJ sisteminde kesilen MDF örneklerin pürüzlülük özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. / In this study, it was aimed to determine the effects of board thickness, cutting liquid pressure, abrasive flow rate and feed rate factors on the roughness properties of MDF samples cut in the AWJ system.

**Özgünlük (Originality):** Çalışmada, geleneksel veya bilgisayar kontrollü ahşap işleme makinelerine güçlü bir alternatif olarak yeni nesil ve çevre etkisi düşük aşındırıcı su jeti sistemi kullanılmıştır. / In the study, a new generation abrasive water jet system with low environmental impact was used as a powerful alternative to traditional or computer-controlled wood processing machines.

**Bulgular (Results):** Levha kalınlığı ve ilerleme hızı artışı ile pürüzlülük değerleri artmıştır. Ayrıca, aşındırıcı miktarı ve kesici sıvı basıncı artışına bağlı olarak pürüzlülük özellikleri genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. / Roughness values increased with increasing board thickness and feed rate. Additionally, roughness properties generally tended to decrease depending on the increase in the amount of abrasive and cutting liquid pressure.

**Sonuç (Conclusion):** Örneklerin pürüzlülük değerlerinde levha kalınlığı ve ASJ ilerleme hızı parametreleri birinci derecede öneme sahiptir. / Board thickness and AWJ feed rate parameters are of primary importance in the roughness values of the samples.



## Aşındırıcı Su Jeti Sisteminde Farklı Parametrelerle Kesilmiş Liflevhanın Pürüzlülük Özelliklerinin İncelenmesi

Hüseyin PELİT<sup>1\*</sup> , Özkan YAMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, 81620, Konuralp/DÜZCE

<sup>2</sup>Akyazı Mesleki Eğitim Merkezi, 54400, Akyazı/SAKARYA

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 28/09/2023  
Düzeltilme: 23/10/2023  
Kabul: 02/11/2023

### Anahtar Kelimeler

Aşındırıcı Su Jeti  
Kesme Parametreleri  
Liflevha  
Pürüzlülük Özellikleri

### Öz

Bu çalışmada, aşındırıcı su jeti (ASJ) sisteminde farklı işleme parametreleri ile kesilen orta yoğunluklu liflevha (MDF) örneklerin kenar pürüzlülük özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 18, 36 ve 54 mm kalınlıklarında hazırlanmış olan liflevhalar, ASJ sistemi ile 50, 100 ve 200 mm/dk ilerleme hızı; 200, 300 ve 450 gr/dk aşındırıcı kütle akış oranı; 300 ve 380 MPa kesici sıvı basıncı uygulanarak kesilmiştir. Örneklerde kesim yüzeyi özellikleri  $R_a$ ,  $R_q$  ve  $R_z$  pürüzlülük değerleri analiz edilerek belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, lif levha kalınlığı ve ASJ ilerleme hızı artışına bağlı olarak pürüzlülük özellikleri de artmıştır. Diğer taraftan, aşındırıcı miktarı ve kesici sıvı basıncındaki artış ile pürüzlülük değerleri genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. Ancak, örneklerin pürüzlülük özelliklerinde levha kalınlığı ve ASJ ilerleme hızı parametreleri birinci derecede öneme sahipken, aşındırıcı akış oranı ve kesici sıvı basıncı parametrelerinin daha az bir öneme sahip olduğu belirlenmiştir.

## Investigation of Roughness Properties of Fiberboard Cut with Different Parameters in Abrasive Water Jet System

### Article Info

Research article  
Received: 28/09/2023  
Revision: 23/10/2023  
Accepted: 02/11/2023

### Keywords

Abrasive Water Jet  
Cutting Parameters  
Fiberboard  
Roughness Properties

### Abstract

In this study, it was aimed to determine the edge roughness properties of medium density fiberboard (MDF) samples cut with different processing parameters in the abrasive water jet (AWJ) system. Fiberboards with 18, 36, and 54 mm thicknesses were cut with ASJ system at feed rates of 50, 100 and 200 mm/min; abrasive mass flow rates of 200, 300 and 450 g/min; cutting liquid pressures of 300 and 380 MPa. Cutting surface properties of the samples were determined by analyzing  $R_a$ ,  $R_q$  and  $R_z$  roughness values. According to the study results, roughness properties increased due to the increase in fiberboard thickness and AWJ feed rate. On the other hand, roughness values generally showed a decreasing trend with the increase in abrasive amount and cutting liquid pressure. However, it was determined that the sheet thickness and AWJ feed rate parameters were of primary importance in the roughness properties of the samples, while the abrasive flow rate and cutting liquid pressure parameters were of less importance.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin işlenmesinde geleneksel makinelerin kullanımı her geçen gün azalmakta ve önemini yitirmektedir. Günümüzde, teknolojik ilerlemelere bağlı olarak geliştirilen bilgisayar kontrollü ve tam otomatik makineler, geleneksel makinelerin yerini almaktadır. Yeni nesil makineler, üretim hattının hızlanmasına, iş gücünün azalmasına ve ürün çeşitliliğine olanak sağlayarak, işletmeler açısından ürün maliyetlerini düşürmede büyük bir öneme sahiptir [1].

Mobilya, dekorasyon ve yapısal doğrama ürünlerinin imalatında farklı geometrik ve karmaşık şekiller sıklıkla tercih edilmektedir. Bu özellikteki ürünlerin hızlı ve kolay bir şekilde işlenebilmesi için bazı özel kesme yöntemlerinin uygulanması gerekir. Malzeme kesiminde dört temel işleme yöntemi belirtilmiştir. Bunlar; doğrusal ters hareket ile testere kesimi, CNC (Computer Numeric Control/Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) frezeleme, lazer kesim ve aşındırıcı su jeti kesimidir [2]. Ahşap malzemenin önemini artırmak ve ona daha fazla değer katmak için işleme yöntemlerinin (frezeleme, kesme vb.) geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Su jeti

teknolojisi ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin işlenmesinde son yıllarda umut verici seçeneklerden biri olarak uygulanmaktadır [3].

Su jeti teknolojisi değişik özellikteki malzemelerin kesim işlemleri için kullanılabilen geleneksel olmayan yeni bir endüstriyel yöntemdir. Su jeti işleme teknolojisinin prensibi, iş parçasına mekanik olarak etki eden sıvı aracılığı ile kesim olarak açıklanabilir [4-7]. Su jeti teknolojisinde farklı kesme özelliklerine göre, saf su jeti (SJ) ile kesme ve aşındırıcı su jeti (ASJ) ile kesme şeklinde iki pratik yöntem kullanılır [5, 6]. Ancak seramik, ahşap, metal gibi daha sert malzemelerin işlenmesi sürecinde SJ yönteminin geliştirilmiş bir formu olan ASJ teknolojisi daha verimli bir kesim yöntemidir [8]. ASJ sistemi, silika kumu, garnet, alüminyum oksit, silisyum karbür gibi aşındırıcı parçacıkların, çeşitli özellikteki malzemeleri aşındırmak/kesmek için yüksek basınçlı su ile sürüklendiği mekanik bir yöntemdir [9].

ASJ veya SJ teknolojileri, havacılık ve uzay mühendisliği, askeri mühendislik, otomotiv sanayi, yapı malzemeleri ve dekorasyon elemanları, gıda işleme ve yeraltı madenciliği gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Bu teknolojiler, kumaş, kâğıt, ahşap, plastik, cam, mermer, metal gibi değişik özellikteki birçok malzemenin kesiminde kullanılabilen önemli avantajlara sahip bir kesme sistemi olmuştur [11]. Çok basit, temiz ve güvenilir bir teknolojidir ve bu nedenle diğer kesme yöntemlerine alternatif olur [12,13]. Ayrıca su jeti teknolojisi, ahşap ve ahşap esaslı paneller ile ince kereste parçalarının kesilmesi ve yüksek hassasiyetli kakmacılık elemanları gibi zor şekilli parçaların seri üretimi için uygundur [14]. Ahşabın işlenmesinde su jeti teknolojisinin kullanılması yeterli kesim kalitesi, yüksek verimlilik, düşük maliyet, çevre koruma ve basit çalışma sistemi gibi önemli avantajlara

sahiptir [15-17]. Geleneksel ahşap işleme makinelerindeki toz maruziyeti [18] ve yüksek gürültü gibi problemler için su jeti ile kesme etkili bir çözüm sunar [14]. Ayrıca, sentetik reçineler ve doğal liflerle üretilen kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında, plastik matrisin erimesi ve daha sonra da kesici takımlara yapışması sorunu ortaya çıkar. Bu sorun, su jeti teknolojisinin kullanılmasıyla çözülebilir [19].

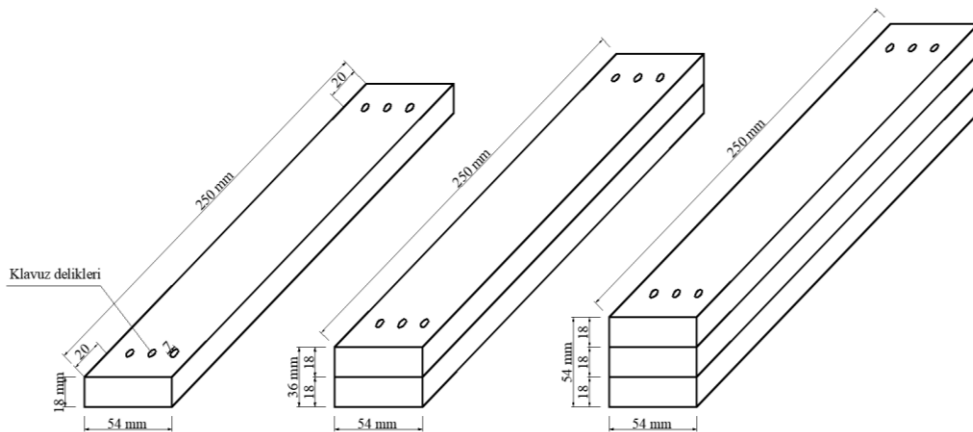
Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin yüzey kalitesi nihai ürünlerin maliyetleri ve estetik özellikleri açısından önemli bir kriterdir. Yüzey pürüzlülüğü, ahşap ürünlerin yüzey kalitesini belirlemek için kullanılan temel bir faktördür [20, 21]. İşlenmiş ahşap ürünlerin yüzey pürüzlülüğü yapıştırma ve üstü yüzey işlemleri gibi daha sonraki süreçleri önemli derecede etkiler [22-26].

Bu çalışmada, orta yoğunluklu liflevha örnekler ASJ sisteminde farklı işleme parametreleri uygulanarak kesilmiştir. Levha kalınlığı, kesici sıvı basıncı, aşındırıcı akış oranı ve ilerleme hızı gibi seçilmiş faktörlerin liflevha örneklerde  $R_a$ ,  $R_q$  ve  $R_z$  pürüzlülük değerleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Böylece, örneklerde daha düzgün kesim yüzeyleri elde edebilmek için ASJ sisteminde en uygun işleme parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. Liflevha Örneklerin Hazırlanması (Preparation of Fiberboard Samples)

Çalışmada, mobilya endüstrisi ve dekorasyon uygulamalarında sıklıkla kullanılan orta yoğunluklu liflevha (MDF) tercih edilmiştir. Kastamonu Entegre firmasına ait olan 18 mm kalınlıkta ve birinci sınıf kalitedeki liflevha deney materyali olarak kullanılmıştır.



**Şekil 1.** Farklı kalınlıkta hazırlanmış liflevha örneklerin ölçüleri (Dimensions of fiberboard samples prepared in different thicknesses)

Panel halindeki levhadan 550×200 mm taslak ölçülerinde yeterli sayıda numune kesilmiş ve daha sonra numuneler D3 normuna sahip polivinilasetat (PVAc) tutkalı kullanılarak iki ve üç kat olacak şekilde üst üste yapıştırılarak lamine edilmiştir. Laminasyon sonrası örnekler 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem şartlarında değişmez kütleye ulaşana kadar bekletilmiştir. Ardından örnekler, 250×54 mm ölçülerinde ve üç farklı kalınlıkta (18 mm, 36 mm ve 54 mm) olacak şekilde hazırlanmıştır. Aşındırıcı su jeti (ASJ) sistemiyle kesim esnasında liflevha örneklerin sabit kalmasını sağlamak için örneklerin boy yönündeki

kenarlarından 20 mm içeride ve çapı 7 mm olan kılavuz delikler açılmıştır (Şekil 1).

## 2.2. ASJ Sisteminde Örneklerin Kesimi (Cutting of Samples in ASJ System)

Liflevha örneklerin farklı parametrelerdeki kesim işlemlerinde bilgisayar kontrollü konsol tip ASJ makinesi (model: su jeti S-HP) kullanılmıştır. ASJ ile kesme süreçleri *CT Kesme Teknolojileri ve Makina San. Tic.Ltd. Şti.*'nde gerçekleştirilmiştir. Kesim sürecinde uygulanan parametreler Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** ASJ kesiminde uygulanan parametreler (Parameters applied in AWJ cutting)

Parametre	Değer
Levha kalınlığı (mm)	18, 36, 54
ASJ ilerleme hızı (mm/dk.)	50, 100, 200
Aşındırıcı kütle akış oranı (g/dk.)	200, 300, 450
Kesici sıvı (su) basıncı (MPa)	300, 380
ASJ nozul (meme) çapı (mm)	0.76
ASJ meme uzunluğu (mm)	80

Kesme işlemleri sırasında örneklerdeki titreşimi ve hareketi önlemek için, kesilecek liflevhalar önceden hazırlanan kalıplar arasına yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. Kesim işlemleri, daha önce açılan kılavuz deliklerden başlamış ve bitirilmiştir (Şekil

2). Kesim süreçlerinde, ASJ nozul ucu kesilecek örneğin yüzeyinden 3 mm yukarıda olacak şekilde ayarlanmıştır. ASJ sisteminde, 7,5-8 Mohs sertliği arasındaki garnet/granat aşındırıcı olarak kullanılmıştır.

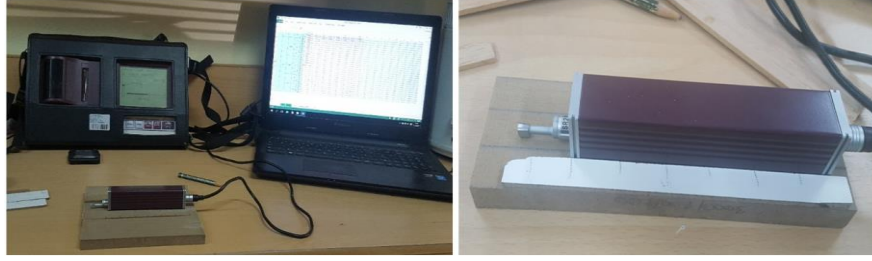


**Şekil 2.** Örneklerin ASJ sisteminde kesilmesi (Cutting of samples in the AWJ system)

Kesme işlemlerinden sonra liflevha örneklerin uç kısımlarındaki fazlalıklar kılavuz delikler hizasından daire testere makinesinde kesilmiştir. Daha sonra örnekler 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem şartlarında sabit bir ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiş ve yüzey pürüzlülük testi için hazır hale getirilmiştir.

## 2.3. Pürüzlülüğün Belirlenmesi (Determination of Roughness)

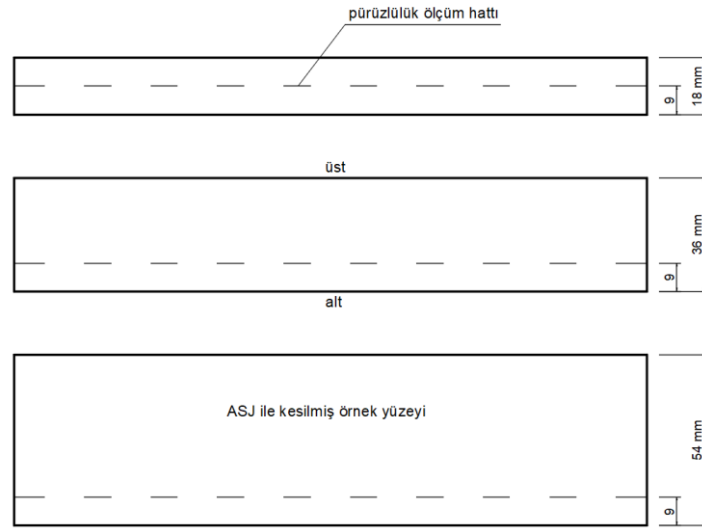
Liflevha örneklerin pürüzlülük ölçümleri, dokunmalı (iğneli) ve ardışık profil değişikliklerini ölçebilen "Mitutoyo SurfTest SJ-301" marka/model cihaz ile TS EN ISO 21920-2 [27] esasları çerçevesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Örneklerin pürüzlülük özelliklerinin belirlenmesinde; ortalama pürüzlülük değeri ( $R_a$ ), ortalama pürüzlülük sapmalarının karekökü ( $R_q$ ) ve on nokta pürüzlülük ortalama değeri ( $R_z$ ) parametreleri esas alınmıştır.



Şekil 3. Pürüzlülük cihazı ve ölçümü (Roughness device and measurement)

Pürüzlülük ölçümleri için cihaz, 2,5 mm ölçme adımı uzunluğu, 5 ölçme sayısı ve 15 mm/dk ölçme hızına ayarlandıktan sonra, kesilen yüzeylerin belirli bir hat üzerindeki sekiz farklı noktasından ( $n=8$ ) yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Liflevha örneklerde farklı kalınlıklara göre

ölçümlerin yapıldığı hat Şekil 4'te gösterilmiştir. Liflevha örneklerden toplamda 432 adet (3 levha kalınlığı  $\times$  3 ilerleme hızı  $\times$  3 aşındırıcı akış oranı  $\times$  2 kesici sıvı basıncı  $\times$  8 ölçüm tekrarı) ölçüm alınmıştır.



Şekil 4. Liflevha kalınlıklarına göre kenar pürüzlülük ölçüm hattı (Edge roughness measurement line according to fiberboard thickness)

#### 2.4. İstatistiksel Analiz Belirlenmesi (Statistical Analysis)

İstatistiksel değerlendirmeler için MSTAT-C yazılımı kullanılmıştır. ASJ ile kesilmiş liflevha örneklerin kenar pürüzlülük özellikleri üzerine seçilen işleme parametrelerinin etkisini belirlemek için 0,05 önem düzeyinde varyans analizleri yapılmıştır. Değişkenler arasındaki önemli farklılıklar Duncan testleri ile karşılaştırılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

ASJ sisteminde farklı işleme parametreleri ile kesilen liflevha örneklerin pürüzlülük özelliklerine ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre, örneklerin  $Ra$ ,  $Rq$  ve  $Rz$  pürüzlülük değerleri üzerinde levha kalınlığı, ilerleme hızı, aşındırıcı kütle akış oranı ve kesici sıvı basıncı faktörlerinin etkisi önemli bulunmuştur ( $p \leq 0,05$ ).

ASJ ile farklı işleme parametrelerinde kesilen liflevha örneklerin  $Ra$ ,  $Rq$  ve  $Rz$  ortalama değerlerinin karşılaştırılması için yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir. Levha kalınlığına ilişkin; en düşük  $Ra$ ,  $Rq$  ve  $Rz$  değeri ortalamaları 18 mm kalınlıktaki örneklerde, en yüksek ise 54 mm kalınlıktaki örneklerde elde edilmiştir. ASJ sistemi ile kesilen liflevha örneklerde kalınlık artışına bağlı olarak pürüzlülük değerleri artış göstermiştir (Şekil 5). 18 mm kalınlık ile karşılaştırıldığında, 54 mm kalınlıkta hazırlanan örneklerde  $Ra$ ,  $Rq$  ve  $Rz$  ortalama değerleri sırası ile %20,4, %20,2 ve %24,8 artmıştır. Pürüzlülük özelliklerindeki bu artışlar, su jeti nozul ucundan çıkan ultra yüksek basınçlı sıvı (su) ve aşındırıcı partiküllerin, nozul uç kısmından uzaklaştıkça geniş bir açı oluşturması ve daha düzensiz bir yayılım göstermesinden kaynaklanmış olabilir. Ayrıca ilk aşamada malzemenin yüzeyine çarpan yüksek basınçlı suyun malzemede alt kısımlara ulaştıkça ilk şiddetini kaybetmiş olması da sonuçlar üzerine etki

edebilir. Önceki çalışmalarda, basınçlı su hüzmesinin malzemeye girdiği noktadan sonra derinlik arttıkça sapma açısında arttığı, böylece kesilen malzeme kalınlığı artışıyla kesilen yüzeyde meydana pürüzlülüğün çizgisel izlere veya dalgalı

bir oluşuma dönüştüğü ifade edilmiştir. Ayrıca, ASJ kesimi süreci içinde aşındırıcı partiküllerin keskinliğindeki ve sıvı basıncındaki azalmaların daha pürüzlü bir yüzeye neden olduğu belirtilmiştir [28, 29].

**Table 2.** *Ra*, *Rq* ve *Rz* pürüzlülük değerleri için varyans analizi sonuçları (Analysis of variance results for *Ra*, *Rq* and *Rz* roughness values)

Faktör	Pürüzlülük parametresi					
	<i>Ra</i>		<i>Rq</i>		<i>Rz</i>	
	F değeri	$p \leq 0,05$	F değeri	$p \leq 0,05$	F değeri	$p \leq 0,05$
Levha kalınlığı	208,2756	0,0000*	212,2751	0,0000*	222,4981	0,0000*
İlerleme hızı	313,3745	0,0000*	323,5352	0,0000*	335,8104	0,0000*
Aşındırıcı akış oranı	7,7449	0,0005*	10,1327	0,0001*	15,5114	0,0000*
Kesici sıvı basıncı	33,1891	0,0000*	35,6318	0,0000*	36,3131	0,0000*

\*: %95 güven düzeyinde önemli

**Table 3.** Uygulanan faktörlere ilişkin liflevha örneklerin *Ra*, *Rq* ve *Rz* ortalama pürüzlülük değerleri için Duncan testi karşılaştırmaları (Duncan test comparisons for the average roughness values *Ra*, *Rq* and *Rz* of fiberboard samples regarding the applied factors)

Faktör	Pürüzlülük parametresi					
	<i>Ra</i>		<i>Rq</i>		<i>Rz</i>	
	OD ( $\mu\text{m}$ )	HG	OD ( $\mu\text{m}$ )	HG	OD ( $\mu\text{m}$ )	HG
Levha kalınlığı (mm)						
18	8,93	c	11,06	c	39,25	c
36	9,43	b	11,64	b	42,36	b
54	10,75	a	13,29	a	48,98	a
İlerleme hızı (mm/dk)						
50	8,85	c	10,97	c	51,64	c
100	9,25	b	11,40	b	53,25	b
200	11,02	a	13,63	a	63,63	a
Aşındırıcı akış oranı (g/dk)						
200	9,90	a	12,28	a	57,56	a
300	9,67	b	11,94	b	56,20	b
450	9,55	b	11,78	b	54,76	c
Kesici sıvı basıncı (MPa)						
300	9,92	a	12,27	a	57,41	a
380	9,49	b	11,73	b	54,94	b

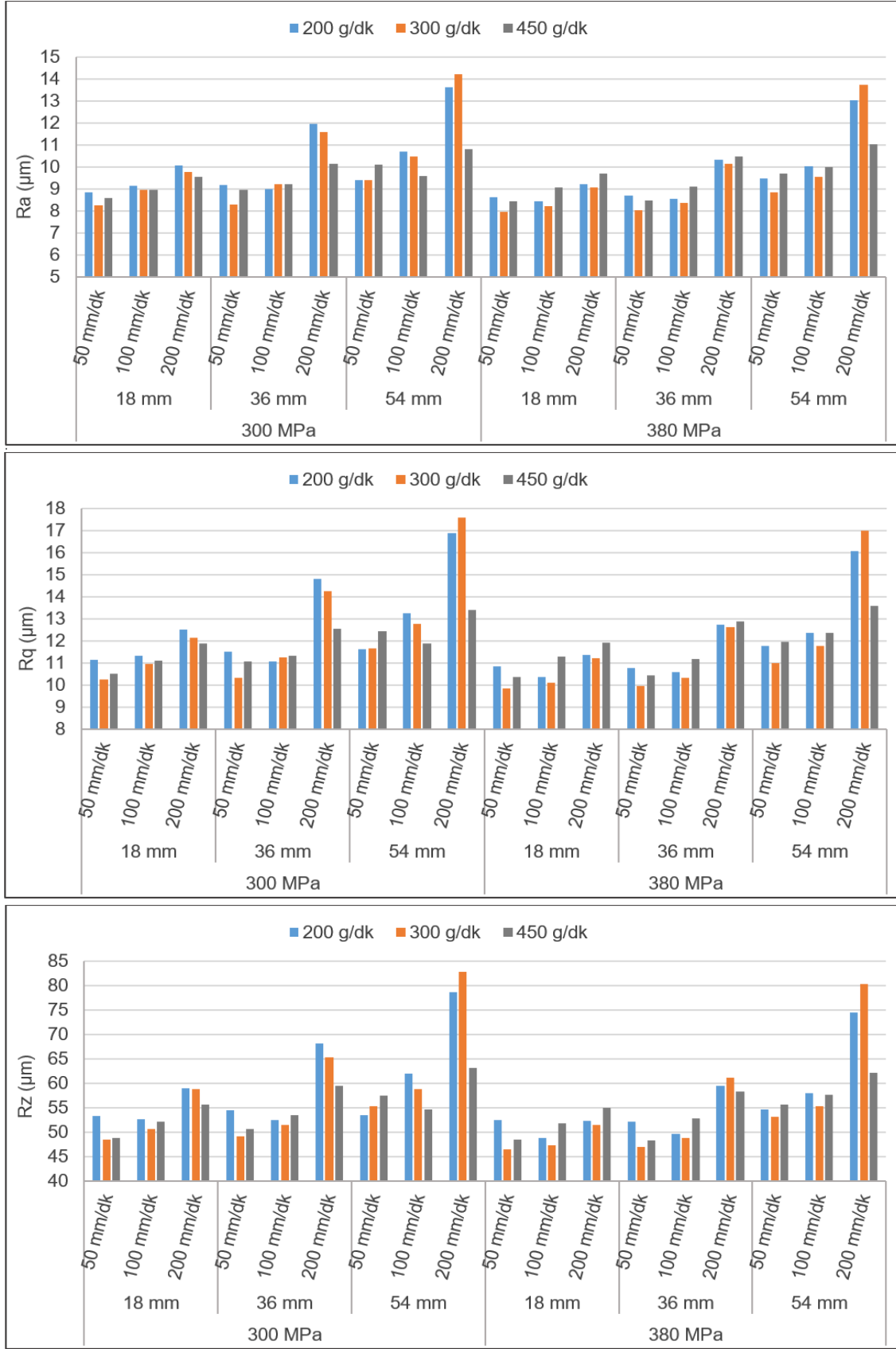
OD: Ortalama değer, HG: Homojenlik gurubu

ASJ sisteminde ilerleme hızına ilişkin, en yüksek *Ra*, *Rq* ve *Rz* değeri ortalaması 200 mm/dk ilerleme hızı ile, en düşük ise 50 mm/dk ilerleme hızı ile elde edilmiştir (Tablo 3). Liflevha örneklerde ölçülen tüm pürüzlülük özellikleri ASJ sistemi ilerleme hızı artışına bağlı olarak genellikle artmıştır (Şekil 5). 50 mm/dk ilerleme hızı ile karşılaştırıldığında, 200 mm/dk ilerleme hızı ile kesilen örneklerde *Ra*, *Rq* ve *Rz* ortalama değerleri sırası ile %24,5, %24,2 ve %23,2 artmıştır. ASJ sisteminde ilerleme hızı artışı ile birim alana temas eden kesici sıvı ve aşındırıcı miktarının azalması böylece de kesim işlemlerinin

zorlaşmasının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Su jeti sisteminde ilerleme hızı, bir malzemenin kesme/aşındırma etkisine maruz bırakıldığı süre şeklinde tanımlanmaktadır. İlerleme hızındaki azalma, kesilen malzemede bir alanın daha uzun süreyle su jeti etkisi altında kalması demektir. Böylece kesilmiş yüzeyde birim alana etki eden aşındırıcı partikül miktarı artar ve bu duruma bağlı olarak yüzey kalitesi iyileşir [28, 29]. ASJ veya SJ (sade su jeti) sisteminde kesilen ağaç malzemelerin yüzey kalitesinin incelendiği çalışmalarda, ilerleme hızı artırıldığında yüzey

pürüzlülük değerlerinin de arttığı ifade edilmiştir [1, 14]. Ayrıca, ASJ sisteminde kesilmiş farklı özellikteki malzemeler için gerçekleştirilen

çalışmalarda da ilerleme hızı arttıkça pürüzlülük değerlerindeki artışı rapor edilmiştir [8, 30-32].



Şekil 5. ASJ ile farklı parametrelerde kesilmiş liflevha (MDF) örneklerin  $R_a$ ,  $R_q$  ve  $R_z$  değerleri ( $R_a$ ,  $R_q$  and  $R_z$  values of fiberboard (MDF) samples cut with AWJ at different parameters)

Aşındırıcı akış oranı düzeyinde, en yüksek  $Ra$ ,  $Rq$  ve  $Rz$  değeri ortalaması 200 g/dk aşındırıcı miktarında, en düşük ise 300 ve 450 g/dk aşındırıcı miktarında belirlenmiştir (Tablo 3). Kesici sıvı (su) içerisine eklenen aşındırıcı miktarındaki artış ile örneklerin pürüzlülük değerlerinin genel olarak azaldığı görülmüştür. Bu durum, yüksek ilerleme hızı (200 mm/dk) ile kesilen ve 54 mm kalınlıkta hazırlanmış liflevha örneklerinde daha belirgindir (Şekil 5). 200 g/dk'ya göre, 450 g/dk aşındırıcı akış oranıyla kesilmiş örneklerde  $Ra$ ,  $Rq$  ve  $Rz$  ortalama değerleri sırası ile %3,5, %4,1 ve %4,9 azalmıştır. Aşındırıcı miktarındaki artış nedeniyle, kesme esnasında kesici su etkisinin azalarak aşındırıcı partikül etkisi artışının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Literatürde, ASJ kesim sisteminde aşındırıcı miktarı artışının birim yüzeye etki edecek aşındırıcı taneciklerin artması anlamı taşıdığı, böylece kesilmiş yüzeydeki pürüzlülükte veya dalgalı oluşumda bir azalmanın beklenebileceği ifade edilmiştir [29]. Diğer taraftan, ASJ ile kesilmiş liflevha (MDF) örneklerin pürüzlülük değerleri üzerine aşındırıcı akış miktarı, ilerleme hızı ve levha kalınlığı parametreleri etkisinin önemsiz bulunduğu belirtilmiştir [5].

ASJ sisteminde kesici sıvı basıncına ilişkin;  $Ra$ ,  $Rq$  ve  $Rz$  değeri ortalamaları 300 MPa ile karşılaştırıldığında 380 MPa basınçta daha düşük belirlenmiştir (Tablo 3). Liflevha örneklerin pürüzlülük değerleri, kesici sıvı basıncı artışına bağlı olarak azalma eğilimi göstermiştir (Şekil 5). 300 MPa basınç ile karşılaştırıldığında, 380 MPa basınçta kesilen örneklerde  $Ra$ ,  $Rq$  ve  $Rz$  ortalama değerleri sırası ile %4,3, %4,4 ve %4,3 azalmıştır. Önceki bir çalışmada, ASJ ile kesilen bambu malzemede sıvı basıncı artışı ile pürüzlülüğün bir miktar azaldığı ifade edilmiştir [6]. Ayrıca, ASJ ile kesilmiş geniş yapraklı üç ağaç türünün (okan, iroko, merbau) yüzey kalitesi üzerinde sıvı basıncının en önemli etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [3]. Diğer taraftan, ASJ sisteminde kesilen farklı ağaç malzemelerin (sarıçam, Doğu kayını, sapsız meşe) pürüzlülük özellikleri üzerine kesici sıvı basıncı etkisinin ağaç türüne göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir [1]. Kesici sıvı basıncının malzemede yüzey pürüzlülüğünden çok, yüzeyde oluşan dalgalılık veya çiziklik üzerine daha etkili olduğu ifade edilmiş ve sıvı basıncı artışı ile yüzeyde dalgalı oluşumun arttığı ancak yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir değişimin olmadığı ifade edilmiştir [29, 33].

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, ASJ sisteminde kesilmiş liflevha (MDF) örneklerin kenar pürüzlülük özellikleri

üzerine seçilmiş işleme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Liflevha örneklerin  $Ra$ ,  $Rq$  ve  $Rz$  pürüzlülük değerleri levha kalınlığı ve ASJ sistemi ilerleme hızı artışına bağlı olarak artış göstermiştir. 18 mm kalınlığa göre, 54 mm kalınlığında hazırlanan örneklerde pürüzlülük özellikleri %25'e kadar artmıştır. 50 mm/dk ilerleme hızı ile kesilen örnekler göre, 200 mm/dk ilerleme hızı ile kesilen örneklerin pürüzlülük özelliklerinde ise %24'e kadar artış yaşanmıştır. Diğer taraftan, aşındırıcı akış oranı ve kesici sıvı basıncındaki artış sonucu yüzey pürüzlülük değerleri genel olarak azalma eğilimi göstermiş ve örneklerin kenar düzgünlüğü iyileşmiştir. 200 g/dk'ya göre, 450 g/dk aşındırıcı akış oranında kesilmiş örneklerde pürüzlülük özellikleri %5'e kadar azalmıştır. Ayrıca, 300 MPa'ya göre, 380 MPa kesici sıvı basıncında kesilen örneklerin pürüzlülük özelliklerinde %4'e kadar bir azalma olmuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, liflevha örneklerin pürüzlülük değerleri üzerinde levha kalınlığı ile ASJ ilerleme hızının önemli bir etkiye sahip olduğu ancak aşındırıcı akış oranı ve kesici sıvı basıncı etkisinin daha az bir öneme sahip olduğu görülmüştür. ASJ sisteminde kesici sıvı basıncının çok yüksek olması nedeniyle iç kesim işlemi yapılan liflevha örneklerde katmanlar-lifler arası kopmalar veya yarılmalar oluşmaktadır. Bu sorunu önlemek ve verimliliği arttırmak için, kesme işlemine ilk başlanacak alana önceden kılavuz bir delik açılması önerilebilir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Düzce Üniversitesi BAP-2017.07.01.521 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir. / This study was supported by Düzce University Scientific Research Project numbered BAP-2017.07.01.521.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The authors of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Hüseyin PELİT:** Sonuçları analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He analyzed the results and performed the writing process.



**Özkan YAMAN:** Deneysel örneklerini hazırlamış ve deneyleri yapmıştır.

He prepared the experimental samples and conducted the experiments.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Pelit H., Yaman Ö., Influence of processing parameters on the surface roughness of solid wood cut by abrasive water jet, *BioResources*, 15 (2020), 6135-6148.
- [2] Kminiak R., Gaff M., Fabrication of structural joinery items of solid wood by the mean of abrasive water jet method, *Wood Research*, 59 (2014), 499-507.
- [3] Wang Z., An investigation on water jet machining for hardwood floors, *European Journal of Wood and Wood Products*, 70 (2012), 55-59.
- [4] Barčík Š., Kvietková M., Aláč P., Effect of the chosen parameters on deflection angle between cutting sides during the cutting of agglomerated materials by water jet, *Wood Research*, 56 (2011), 577-588.
- [5] Kvietkova M., Barčík Š., Bomba J., Aláč P., Impact of chosen parameters on surface undulation during the cutting of agglomerated materials with an abrasive water jet, *Drewno: Prace Naukowe, Doniesienia, Komunikaty*, 57 (2014), 111-123.
- [6] Li R., Ekevad M., Guo X., Cao P., Wang J., Chen Q., Xue H., Pressure, feed rate, and abrasive mass flow rate influence on surface roughness for recombinant bamboo abrasive water jet cutting, *BioResources*, 10 (2015), 1998-2008.
- [7] Oh T.M., Cho G.C., Characterization of effective parameters in abrasive water jet rock cutting, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47 (2014), 745-756.
- [8] Saraçyakupoğlu T. (2012). Aşındırıcı Su Jeti ile Kesmede Malzeme, Basınç, İlerleme Hızı ve Su Jeti Çapının Yüzey Kalitesine Etkisinin Analizi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [9] Sreelesh K., Govindan P., A review on abrasive water jet cutting, *International Journal of Recent Advances in Mechanical Engineering*, 3 (2014), 153-158.
- [10] Li M., Cao Y., Wang Z., Wang Y., Optimization and analysis of processing parameters of wooden crafts based on ultra-high pressure water jet method, *Wood Research*, 63 (2018), 117-126.
- [11] Akkurt A., Waterjet cutting systems and assessment of their industrial applications, *Journal of Polytechnic*, 7 (2004), 129-139.
- [12] Barčík Š., Kvietková M., Kminiak R., Aláč P., Optimization of cutting process of medium density fibreboards by the abrasive water-jet, *Drvna Industrija*, 62 (2011), 263-268.
- [13] Kvietková M., Topography of material made by the application of abrasive water jet technology, *Journal of Forest Science*, 60 (2014), 318-323.
- [14] Gerencsér K., Bejó L., Investigations into the water jet cutting of solid wood, *Wood Research*, 52 (2007), 57-64.
- [15] Ábrahám J., Bak M., Németh R., The effect of high pressure water jet on the surface quality of wood, *Pro Ligno*, 11 (2015), 471-477.
- [16] Hou R., Huang C., Zhu H., Numerical simulation ultrahigh waterjet (WJ) flow field with the high-frequency velocity vibration at the nozzle inlet, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71 (2014), 1087-1092.
- [17] Li M., Xie W., Wang C.X., Cao Y., Wang Z., Parameters optimization for ultrahigh-pressure pure water and abrasive water jet of *Pterocarpus macarocarpus* Kurz processing, *Wood Research*, 63 (2018), 783-794.
- [18] Çınar H., Yıldırım K., Okurcan E., Mobilya Üreten İşletmelerde Ahşap ve Kompozit Panel Tozlarının İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri . Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 8 (2020), 909-921.
- [19] Hutyrová Z., Ščučka J., Hloch S., Hlaváček, P., Zeleňák M., Turning of wood plastic composites by water jet and abrasive water jet, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84 (2016), 1615-1623.
- [20] Kılıç M., Effects of machining methods on the surface roughness values of *Pinus nigra* Arnold wood, *BioResources*, 10 (2015), 5554-5562.
- [21] Pinkowski G., Szymański W., Krauss A., Stefanowski S., Effect of sharpness angle and feeding speed on the surface roughness during milling of various wood species, *BioResources*, 13 (2018), 6952-6962.
- [22] Richter K., Feist W.C., Knaebe T.K., The effect of surface roughness on the performance of finishes. Part 1. Roughness characterization and stain performance, *Forest Products Journal*, 45 (1995), 91-97.

- [23] Hizirođlu S., Zhong Z.W., Ong W.K., Evaluating of bonding strength of pine, oak and nyatoh wood species related to their surface roughness, *Measurement*, 49 (2014), 397-400.
- [24] Söđütlü C., Nzokou P., Koc I., Tutgun R., Döngel N., The effects of surface roughness on varnish adhesion strength of wood materials, *Journal of Coatings Technology and Research*, 13 (2016), 863-870.
- [25] Salca E.A., Krystofiak T., Lis B., Evaluation of selected properties of alder wood as functions of sanding and coating, *Coatings*, 7 (2017), 1-10.
- [26] Söđütlü C., Determination of the effect of surface roughness on the bonding strength of wooden materials, *BioResources*, 12 (2017), 1417-1429.
- [27] TS EN ISO 21920-2 (2022). Geometrik ürün özellikleri (GPS) - Yüzey yapısı: Profil - Bölüm 2: Terimler, tanımlar ve yüzey yapısı parametreleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [28] Ohlsson L. (1995). The Theory and Practice of Abrasive Water Jet Cutting, Ph.D. Dissertation, Division of Materials Processing, Lulea University of Technology, Lulea, Sweden.
- [29] Karakurt İ., Aydın G., Aydın K., Effect of cutting parameters on the surface roughness of granite in abrasive waterjet cutting, *Journal of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, 31 (2010), 99-110.
- [30] Akkurt A., Kulekci M.K., Seker U., Ercan F., Effect of feed rate on surface roughness in abrasive waterjet cutting applications, *Journal of Materials Processing Technology*, 147 (2004), 389-396.
- [31] Hascalik A., Çaydaş U., Gürün H., Effect of traverse speed on abrasive waterjet machining of Ti-6Al-4V alloy, *Materials & Design*, 28 (2007), 1953-1957.
- [32] Aydın G., Karakurt I., Aydın K., An investigation on surface roughness of granite machined by abrasive water jet, *Bulletin of Materials Science*, 34 (2011), 985-992.
- [33] Shipway P.H., Fowler G., Pashby I.R., Characteristics of the surface of a titanium alloy following milling with abrasive waterjets, *Wear*, 258 (2005), 123-132.