



## The effect of cutting depth and cutting tool geometry on surface roughness and tool wear behavior in the machining of Al 6061 alloy

Muharrem Pul<sup>1\*</sup>, Hacı Bekir Özerkan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale University, Kırıkkale Vocational School, Department of Electricity and Energy, 71450, Kırıkkale, Turkey

<sup>2</sup>Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 06570, Ankara, Turkey

### Highlights:

- Machinability of Al 6061 alloy
- Effect of depth of cut on surface roughness
- Effect of cutting tool geometry on surface roughness

### Keywords:

- Machinability
- Turning
- Depth of cut
- Surface roughness
- Tool geometry

### Article Info:

Research Article

Received: 14.07.2021

Accepted: 03.01.2022

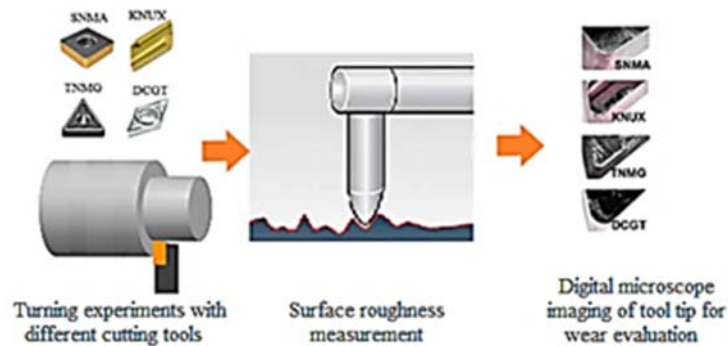
### DOI:

10.17341/gazimmfd.971380

### Correspondence:

Author: Muharrem Pul  
e-mail: mpul@kku.edu.tr  
phone: +90 318 357 4242 / 3009

### Graphical/Tabular Abstract



**Figure A.** Figure A. Experimental and theoretical investigation steps for surface roughness and tool wear behavior according to the cutting tools used, cutting speed and depth of cut

**Purpose:** Al 6061 alloy is used in many different areas in the manufacturing sector. However, in the majority of machinability studies in the literature, it was revealed that shear forces were examined, and surface roughness was investigated in a few studies. In addition, in most of these studies examining surface roughness, it is seen that constant cutting depth and uniform cutting tool are used. In this experimental study on machinability, it was aimed to investigate the effect of cutting depth and cutting tools with different geometrical properties on the roughness of the machined surface in the turning of Al 6061 aluminum alloy. Aluminum and its alloys constitute the metal group with the most usage area in the industry after steel.

### Theory and Methods:

cutting tools with cutting depths of 0.4 - 0.8 - 1.6 - 2.4 mm and ISO codes, SNMA 120408 KR, KNUX 160405 R11, TNMG 160404, DCGT 11T308 ALU were used in the turning experiments. The experiments were carried out on a conventional lathe with a constant feed rate of 0.2 mm/rev and two different cutting speeds of 125 m/min and 250 m/min.

### Results:

As a result of the experiments, each cutting tool exhibited different surface roughness values and the lowest roughness values were obtained with the SNMA 120408 KR coded cutting tool. As the depth of cut values decreased, the roughness of the surfaces decreased in general. However, in the SNMA 120408 KR coded tool, the opposite behavior was observed and the highest roughness value was obtained at 0.4 mm depth of cut. In the change of cutting speed, different surface roughness values were obtained according to the type of cutting tool. In the change of cutting speed, different surface roughness values were obtained according to the type of cutting tool. However, the expected decrease in roughness values did not occur with increasing cutting speed. DCGT coded tool used in aluminum processing could not outperform the other cutting tools in terms of surface roughness.

### Conclusion:

When evaluated in terms of price and performance, it has been evaluated that the SNMA 120408 KR coded tools are more suitable and optimum solution than the other selected tools.



## Al 6061 alaşımının işlenmesinde kesme derinliği ve kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınma davranışına etkisi

Muharrem Pul<sup>1\*</sup>, Hacı Bekir Özerkan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Al 6061 alaşımının işlenebilirliği
- Kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
- Kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 14.07.2021  
Kabul: 03.01.2022

### DOI:

10.17341/gazimmfd.971380

### Anahtar Kelimeler:

İşlenebilirlik,  
tornalama,  
kesme derinliği,  
yüzey pürüzlülüğü,  
takım geometrisi

### ÖZ

İşlenebilirlik üzerine yapılan bu deneysel çalışmada, Al 6061 alüminyum alaşımının tornalanmasında, kesme derinliği ve 4 farklı profildeki kesici takımların işlenen yüzeyin pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Deneylerde, 0,2 mm/dev sabit ilerleme değeri, 125 m/min, 250 m/min iki farklı kesme hızı ve 0,4-0,8-1,6-2,4 mm kesme derinlikleri seçilmiştir. En düşük pürüzlülük değerleri SNMA kodlu kesici takım ile 250 m/min kesme hızında 0,5 µm olarak elde edilmiştir. Kesme derinliği değerlerinin azalmasıyla, genel olarak yüzeylerin pürüzlülük miktarları azalmıştır. Ancak, SNMA kodlu takımla yapılan işlemlerde tersi davranış gözlenmiş ve en yüksek pürüzlülük değeri 0,4 mm kesme derinliğinde 125 m/min kesme hızında 1,07 µm olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar ve kesme parametreleri birlikte değerlendirildiğinde ise en yüksek pürüzlülük değeri TNMG kodlu takım ile 2,4 mm kesme derinliğinde 7,22 µm olarak ölçülmüştür. Kesme hızının değişimiyle ise yine kesici takım cinsine göre farklı yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ancak kesme hızının yükselmesiyle, pürüzlülük değerlerinde beklenen azalma meydana gelmemiştir. DCGT kodlu takım, yüzey pürüzlülüğü bakımından diğer kesici takımlara göre üstünlük sağlayamamıştır. Bu çalışma sonucunda, SNMA serisi kaplamalı ve negatif talaş açılı takımların, işleme performansının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## The effect of cutting depth and cutting tool geometry on surface roughness and tool wear behavior in the machining of Al 6061 alloy

### H I G H L I G H T S

- Machinability of Al 6061 alloy
- Effect of depth of cut on surface roughness
- Effect of cutting tool geometry on surface roughness

### Article Info

Research Article  
Received: 14.07.2021  
Accepted: 03.01.2022

### DOI:

10.17341/gazimmfd.971380

### Keywords:

Machinability,  
turning,  
depth of cut,  
surface roughness,  
tool geometry

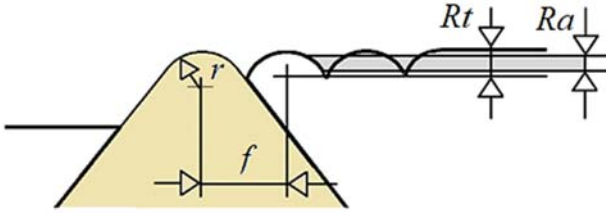
### ABSTRACT

In this experimental study on machinability, the effects of cutting depth and cutting tools of different profiles on the roughness of the machined surface were investigated in the turning of Al 6061 aluminum alloy. In the experiments, a constant feed rate of 0.2 mm/rev, two different cutting speeds of 125 m/min, 250 m/min and cutting depths of 0.4-0.8-1.6-2.4 mm were selected. The lowest roughness values were obtained as 0.5 µm at 250 m/min cutting speed with the SNMA coded cutting tool. As the depth of cut values decreased, the roughness of the surfaces decreased in general. However, the reverse behavior was observed in machining with SNMA tool and the highest roughness value was obtained at 0.4 mm depth of cut. When all cutting tools and cutting parameters are evaluated together, the highest roughness value was measured as 7.22 µm at 2.4 mm cutting depth with the tool coded TNMG. With the change of cutting speed, different surface roughness values were obtained according to the cutting tool type. However, the expected decrease in roughness values did not occur with increasing cutting speed. DCGT coded tool could not outperform other cutting tools in terms of surface roughness. As a result of this study, it has been determined that the machining performance of the SNMA series coated and negative rake tools is higher.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum ve alaşımları çelikten sonra endüstride en fazla kullanım sahası olan metal grubunu oluşturmaktadır. Al 6061 özellikle otomotiv, denizcilik, spor aletleri, savunma ve havacılık vb. sektöründeki çok sayıdaki parçanın imalatında tercih edilen bir alüminyum alaşımıdır. İmalatı yapılan parçaların istenilen görevi yapabilmesindeki önemli unsurlardan birisi de işlenmiş yüzeyin kalitesi yani pürüzlülük değeridir. Dolayısıyla Al 6061 alaşımının işlenebilirliği üzerine yapılan çok sayıda yerli ve yabancı yayın bulunmaktadır. Ancak literatürdeki işlenebilirlik çalışmalarının çoğunluğunda kesme kuvvetlerinin incelendiği, daha az sayıdaki çalışmada ise yüzey pürüzlülüğünün araştırıldığı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün incelendiği bu çalışmaların büyük çoğunluğunda, sabit kesme derinliği ve tek cins kesici takım kullanıldığı da görülmektedir. Yapılan bu çalışmada ise Al 6061 alaşımının işlenmesinde, farklı kesme derinlikleri ve farklı kesici takımların işlenen yüzeyin pürüzlülük değeri üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü esas olarak takım geometrisi (köşe yarıçapı, kenar geometrisi, eğim açısı vb.) gibi proses parametreleri ve kesme koşullarının (ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği, vb.) bir sonucudur [1]. Yüzey pürüzlülüğü ilerleme değeri ve takım ucu yarı çapıyla doğrudan ilişkilidir. Yüzey pürüzlülüğünün sembolik gösterimi Şekil 1’de, matematiksel ifadesi Eş.1’de verilmiştir.



**Şekil 1.** Tornalamada takım burun yarıçapı ile yüzey pürüzlülük ilişkisi

(Relationship between tool nose radius and surface roughness in turning)

Burada ( $f$ ) ilerleme, ( $r$ ) takım burun yarıçapı (yarı çapı), ( $Rt$ ) yüzey pürüzlülüğü, ( $Ra$ ) ortalama yüzey pürüzlülüğüdür.

$$Ra = \frac{f^2}{32r} \quad (1)$$

Eş. 1’den de anlaşıldığı üzere ilerleme değeri, yüzey pürüzlülük değerini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Dolayısıyla ilerlemenin artmasıyla birlikte kesici takımın burun yarı çapı yüzeyi tam olarak süpürmediğinden, takım ucunun yüzey üzerinde temas edemediği kısımlarda işleme çizikleri oluşmaktadır. Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı  $Rt$  olarak ifade edilmektedir.  $Ra$  ise Değerlendirilen profilin aritmetik ortalama sapmasına

tekabül etmektedir. Tek ağızlı takım kullanılan tornalama işleminde ise Eş. 1 kullanılarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri  $Ra$  hesaplanabilmektedir. Yapılan ve literatürde yer alan pek çok çalışmada yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu konusunda genel bir yaklaşım bulunmaktadır [2-5]. Aynı şekilde yapılan başka çalışmalara ait sonuçlarda da diğer parametrelerin yanında ilerleme miktarının daha fazla öne çıktığı ifade edilmektedir [6-8]. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde diğer etkili parametreler olan kesme hızı ve kesme derinliği konusunda ise kesin bir yaklaşım bulunmayıp işleme koşullarına göre değişimler sergilediği görülmektedir. Çoğunlukla kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değeri azalırken, kesme derinliğinin artmasıyla pürüzlülük değerlerinin de artış gösterdiğini ifade eden çalışmalar literatürde yer almaktadır [2, 9-11]. Literatürdeki diğer bir çalışmada ise kesme derinliğinin ilerleme ve kesme hızından daha fazla etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir [12]. Bazı çalışmalarda ise kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok fazla etkisi olmadığı [13], kesme hızındaki artışın, yüzey pürüzlülüğünü bir dereceye kadar azalttığı, ancak hız belirli bir sınıra kadar üzerine çıktıkça yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı vurgulanmaktadır [4]. Yukarıda özetlenen araştırma sonuçları dikkate alınarak yapılan bu çalışmada, ilerleme hızı değerinin sabit tutulmasına ve iki farklı kesme hızı değerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Bu deneysel çalışmanın diğer amacı ise bu tür alüminyum malzemelerin işlenmesinde hangi tip kesici takımın işlenen yüzeyin pürüzlülüğü açısından daha uygun olabileceğinin araştırılmasıdır. Pek çok sanayi sektörünün ham maddesi çelik ve alüminyum ile bu metallerin farklı alaşımlarıdır. Dünyada çelikten sonra en çok kullanılan metal alüminyumdur. Alüminyum işlenebilirlik açısından çeliğe göre çok daha avantajlı bir metaldir. AISI 1212 kalite karbonlu çeliğin işlenebilirliği %100 kabul edildiğine; AISI 1040 kalite çeliğin işlenebilirlik oranı %64, alüminyumun işlenebilirlik oranı ise %360 ila %450 arasında değişmektedir [14]. Alüminyum çelik ile karşılaştırıldığında daha sünek ve talaş kaldırılması kolay bir malzeme olduğundan çelik malzemelerin işlenmesinde kullanılan çoğu kesici takım ile işlenebilmektedir. Ancak malzemeye uygun takımın seçilmemesi ve gelişmiş herhangi bir takım ile yapılan işlemlerde gereksiz takım harcaması veya istemeyen yüzey kaliteleri ile karşılaşılmasıdır. Bu çalışmada karşılaştırma yapılabilmesi için dört farklı kesici takım seçilmiştir. Bu kesici takımların biri özellikle alüminyum işlemek için üretilmiş olan DCGT 11T308 ALU PK 10 kodlu takım, diğer üçü ise SNMA 120408-KR 3210, KNUX 160405 R11 ve TNMG 160404 A66 kodlu daha genel amaçlı ve çelik malzemelerin işlenmesinde kullanılan kesici takımlardan meydana gelmektedir. Ayrıca günümüzde kesici takım üreticisi firmaların önerdiği belli kesme derinliği aralıkları mevcuttur ve bu değer aralıklarında kesme derinliğinin seçilebileceği anlaşılmaktadır. Ancak bu değer aralığında hangisinin optimum değer olduğu bilinmemektedir. Yapılan bu deneysel çalışmanın diğer bir amacı ise, ilk etapta hangi kesme derinliğinin seçilmesinin

daha uygun olabileceği hususunda bir yaklaşım oluşturmaktır. Zira talaşlı imalat işlerindeki maliyetler üretilen parçaların nihai satış fiyatları üzerinde önemli sayılabilecek etkiler yaratmaktadır. Özellikle makine zamanı, harcanan güç, kesici takım ömrü, enerji sarfıyatı gibi etkenler talaşlı imalatın toplam maliyetini etkileyen başlıca unsurlardır. Diğer önemli husus ise imal edilen parçaların istenilen tolerans değerleri ve yüzey kalitesini sağlamasıdır.

Yukarıda belirtilen amaçlar ile yapılan bu çalışmada, Al 6061 alaşımı üzerinde mevcut literatürden biraz daha farklı olarak, değişik profil yapılarına sahip kesici takımlar ve farklı kesme derinliği değerlerinde tornalama suretiyle işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasında işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğü ölçülerek, kesme derinliği ve kesici takım cinsinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL METOD (EXPERIMENTAL METHOD)

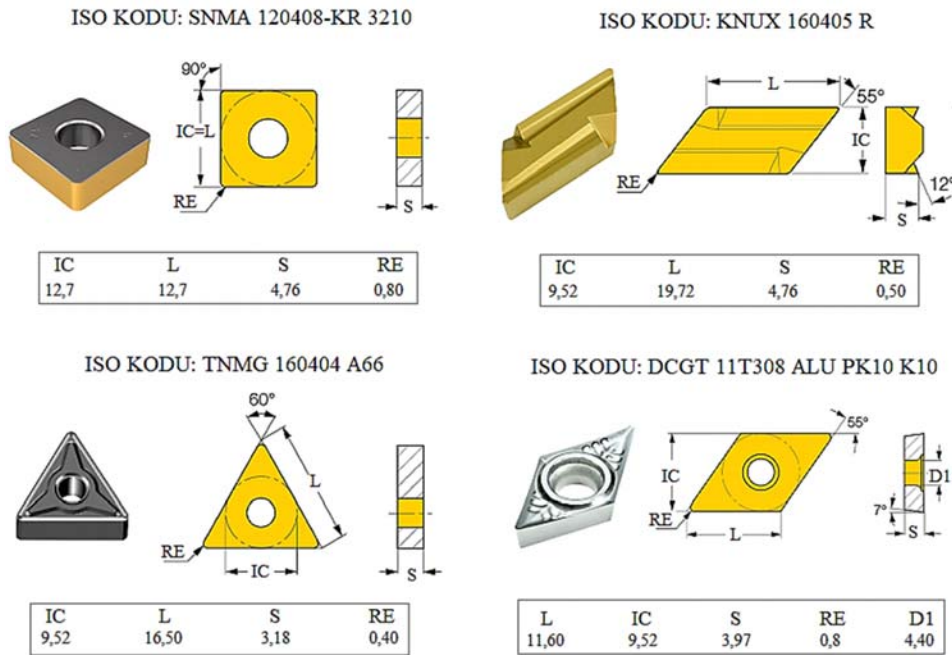
İşlenebilirlik deneyleri Kırıkkale Meslek Yüksekokulu Makine laboratuvarında bulunan Harrison/M300 marka/model üniversal torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Deneysel malzemesi olarak kullanılan ve piyasadan hazır

yuvarlak dolu malzeme şeklinde temin edilmiş olan Al 6061 alaşımının teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. İşleme deneylerinde 0,4 mm – 0,8 mm – 1,6 mm ve 2,4 mm olarak 4 farklı kesme derinliği ile SNMA 120408-KR 3210, KNUX 160405 R11, TNMG 160404 A66, DCGT 11T308 ALU PK10 K10 olmak üzere 4 farklı kesici takım seçilmiştir. İlerleme değeri 0,2 mm/dev tek sabit değer ve 125 m/min ile 250 m/min olarak iki farklı kesme hızı değeri uygulanmıştır. Deneysel parametrelerinin seçiminde takım üreticisi firmaların önerdiği değer aralıklarının yayında takım uç yarıçap değerleri de dikkate alınmıştır. Kesici takımların belirlenmesinde her birinin farklı geometrik yapıda olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca belirlenen takımlar içerisinde birinin özel olarak alüminyum işlemede kullanılan takım olarak seçilmiştir. Bununla alüminyum işleme için üretilen bu takımın diğer üç takıma göre nasıl performans göstereceğinin belirlenmesi de amaçlanmıştır. İşleme deneylerinde kullanılan kesici takımlara ait geometrik özellikler Şekil 2’de toplu olarak gösterilmektedir.

İşlenebilirlik deneylerinde,  $\phi$  32 mm çapındaki Al 6061 deneysel malzemeleri üzerinde L=35 mm boyuna tornalama yapılmıştır. Her deney, kullanılmamış kesici takım ile gerçekleştirilmiş olup deney planı Tablo 2’de verilmiştir.

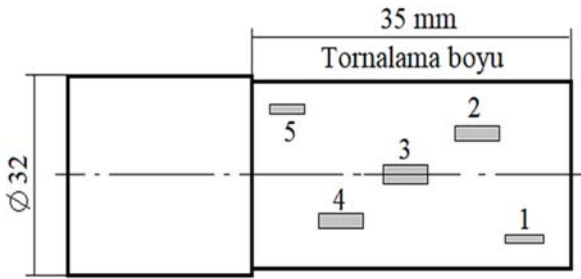
**Tablo 1.** Deneysel malzemesi Al 6061 alüminyum alaşımı teknik özellikleri (Test material Al 6061 aluminum alloy technical

% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Cr
0,70	0,40-0,80	0,60-1-10	0,15	0,80-1,20	0,25	0,15	0,04-0,35
Akma dayanımı (MPa)		Çekme dayanımı (MPa)		Uzama (%)		Sertlik (Brinell)	
240-275		260-310		8-12		90-95	



**Şekil 2.** Tornalama deneylerinde kullanılan kesici takımlar (Cutting tools used in turning experiments)

Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında, tornalama işlemi tamamlanan yüzeylerin pürüzlülük ölçümlerine geçilmiştir. Bu amaçla işlenen her yüzeyin üzerindeki 5 farklı bölgeden pürüzlülük ölçümleri yapılarak kaydedilmiş ve aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde örnekleme uzunluğu 0,25 mm ve ölçüm uzunluğu 1,75 mm olarak uygulanmıştır. Pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı bölgelere ait şematik gösterim Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 üzerinde 1, 2, 3, 4 ve 5 rakamlarıyla ifade edilen yerler pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı bölgeleri ifade etmektedir. Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ( $R_a$ ) grafiklere aktarılarak değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde *Mahr MarSurf PS1* marka portatif tip yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3. Yüzey pürüzlülük ölçüm bölgeleri (1,2,3,4,5)  
(Surface roughness measurement zones 1,2,3,4,5)

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

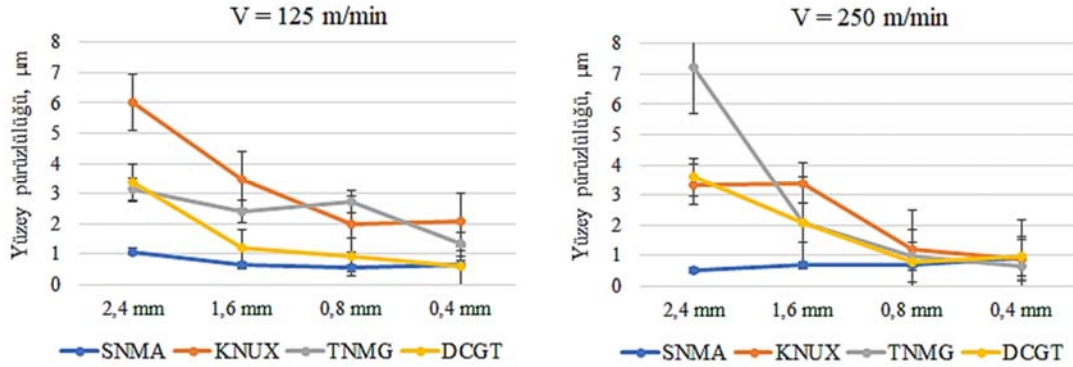
#### 3.1. Kesme Derinliği, Kesme Hızı ve Kesici Takım Cinsi Açısından Yüzey Pürüzlülüklerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Surface Roughness in terms of Depth of Cut Cutting Speed and Cutting Tool Type)

Farklı kesme derinliklerinde, SNMA 120408 KR, KNUX 160405 R11, TNMG 160404 A66, DCGT 11T308 ALU PK10 kodlu kesici takımlarla 125 m/min ve 250 m/min kesme hızlarında yapılan tornalama deneylerinden elde edilen, mikron cinsinden ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerlerinin toplu olarak gösterildiği grafikler Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4'e bakıldığında ilk dikkat çeken husus, genel olarak kesme derinliğinin azalmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin de azalma eğiliminde oluşudur. Bu durum tüm kesici takımlar ve iki kesme hızında da aynı şekilde görülmektedir. Kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetleri ve olası titreşimlerin artacağı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla artan titreşimin yüzey pürüzlülük değerlerini de beraberinde artırması beklenen bir sonuçtur. Ayrıca artan kesme derinliği ile birlikte kesici takım ucunda yığıntı talaş (BUE) meydana gelmesi ihtimali yüksektir. BUE oluşumu işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerlerini yükselten bir etki yapmaktadır. Talaş kaldırma esnasında takım ile talaş yüzeyi

Tablo 2. İşlenebilirlik deney parametreleri ve deney planı (Machinability test parameters and test plan)

Kesici Takım ISO Kodu	Deney No-Kesme Derinliği, ap (mm)				Kesme Hızı
SNMA 120408 - KR 3210	D1-2,4	D2-1,6	D3-0,8	D4-0,4	125 (m/min)
KNUX 160405 R11	D5-2,4	D6-1,6	D7-0,8	D8-0,4	
TNMG 160404 A66	D9-2,4	D10-1,6	D11-0,8	D12-0,4	
DCGT 11T308 ALU PK 10	D13-2,4	D14-1,6	D15-0,8	D16-0,4	
SNMA 120408 - KR 3210	D17-2,4	D18-1,6	D19-0,8	D20-0,4	250 (m/min)
KNUX 160405 R11	D21-2,4	D22-1,6	D23-0,8	D24-0,4	
TNMG 160404 A66	D25-2,4	D26-1,6	D27-0,8	D28-0,4	
DCGT 11T308 ALU PK 10	D29-2,4	D30-1,6	D31-0,8	D32-0,4	



Şekil 4. V=125 m/min ve V=250 m/min kesme hızlarında kesme derinliği ve kesici takım cinsine göre yüzey pürüzlülükleri

(Surface roughness according to cutting depth and cutting tool type at cutting speeds of V=125 m/min and V=250 m/min)

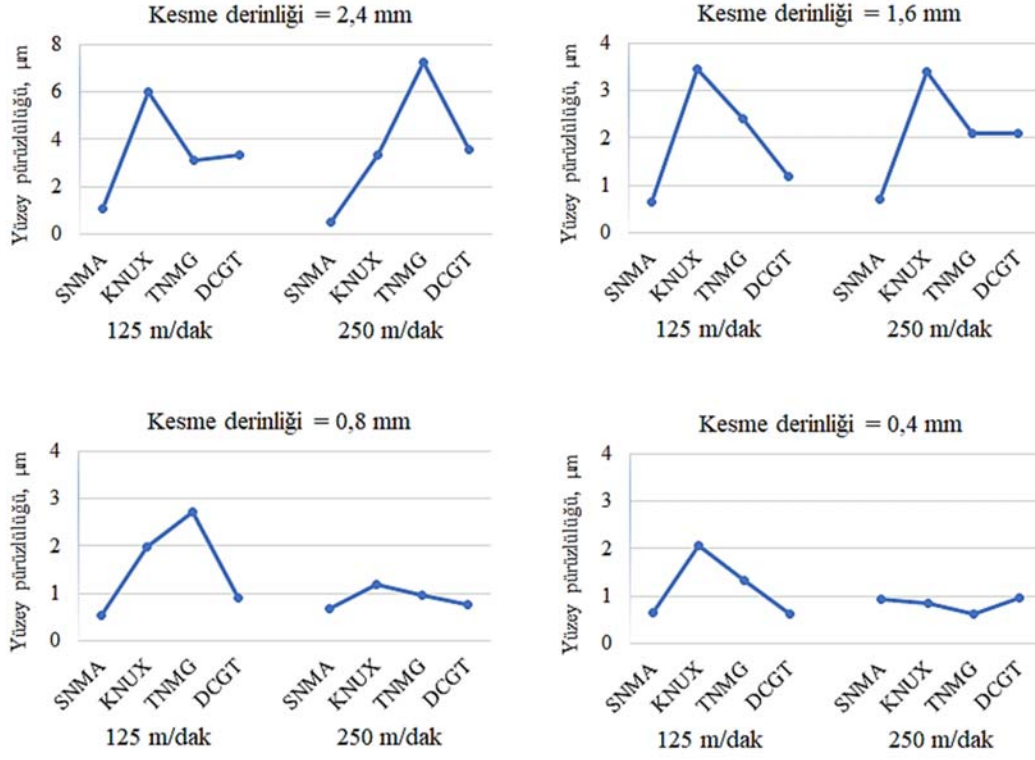
arasındaki sürtünme neticesinde oluşan yüksek sıcaklık sebebiyle, çıkan talaşın bir kısmı kesici takım yüzeyine bir tür kaynak işlemi gibi yapışmakta ve BUE'yi meydana getirmektedir. Takım ucunda oluşan BUE bir süre sonra kesici kenar gibi davranış sergileyerek işlenen yüzey üzerinde kararsız yüzey şekillerine ve olumsuz pürüzlülük değerlerine neden olmaktadır. Bu durum özellikle alüminyum gibi sünek malzemelerin talaşlı işlemlerinde çok sık rastlanan ve literatürde yer alan bir husustur [15-18]. Ayrıca çok küçük değerlerde seçilen kesme derinliğinin talaşın kontrol edilmesini zorlaştırarak takımın sürtünmesi sebebiyle kesme bölgesinde aşırı ısınmasına yol açacağı, kesme derinliğinin çok yüksek seçilmesinin ise talaş hacmini ve dolayısıyla kesme kuvvetlerini arttıracığı bilinmektedir. Dolayısıyla her iki hususun da işlenen yüzeyin pürüzlülük değerlerine olumsuz etki yapacağı, diğer taraftan aşırı güç tüketimine ve takım tezgâhının yıpranmasına neden olacağı ifade edilebilir.

Şekil 4'te görüldüğü gibi 125 m/min ile 250 m/min arasında iki kat kesme hızı farkı olmasına rağmen yüzey pürüzlülük değerlerinde çok küçük miktarda değişimler meydana gelmiştir. Tüm kesici takımlarda kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde beklenen azalma meydana gelmemiştir. Hatta yüksek değerler elde edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla kesme bölgesindeki sıcaklık yükselmesinin talaş akışını kolaylaştırdığı bilinmektedir. Ancak beklenenden fazla sıcaklığın etkisi ile işlenen Al 6061 malzeme yüzeyinde plastik deformasyonun meydana geldiği düşünülmektedir. Bu deformasyonun yüzey yapısına olumsuz yansıdığı ve kararsız pürüzlülük değerleri meydana getirdiği ifade edilebilir. Özellikle KNUX ve TNMG kodlu kesici takımlarda 2,4 mm talaş derinliğinde oluşan yüksek kesme kuvvetlerinin bu plastik deformasyonlar üzerinde daha fazla etki yaptığı görülmektedir. Bu iki kesici takım aynı zamanda diğerlerine göre yarı yarıya daha küçük takım burun yarıçapına sahiptir (Şekil 2). Buradan yüksek kesme derinliklerinde mümkün olduğunca daha büyük takım burun yarıçapına sahip takımların kullanılmasının daha uygun olabileceği sonucu da çıkarılabilir. Şekil 4 incelendiğinde dikkat çeken diğer husus ise özellikle alüminyum işlemede kullanılması için üretilen DCGT kodlu kesici takımların yüzey pürüzlülüğü yönünden beklendiği kadar iyi performans gösterememiş olmasıdır. DCGT takımlar ile 125 m/min kesme hızında KNUX ve TNMG kodlu takımlara göre bir miktar daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ancak 250 m/min kesme hızında diğer takımlar ile birbirine çok yakın pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Buradan Al 6061 alaşımının işlenmesinde, 250 m/min kesme hızı değerinin DCGT takım için yüksek olduğu sonucuna varılabilir. Ayrıca SNMA kodlu takımın diğer üç takıma göre belirgin bir performans üstünlüğü sağladığı ve düşük yüzey pürüzlülüğü açısından çok daha etkili olduğu görülmektedir.

Tornalama ile talaş kaldırma işleminde, kesme hızının artmasıyla kesme bölgesindeki sıcaklığın artması sonucunda 1. Deformasyon bölgesindeki plastik deformasyon kolaylaşırken, 2. Deformasyon bölgesinde de talaş akışı ve talaşın şekil alması rahatlamaktadır. Bu durumun sonucunda

yüzey kalitesinin iyileşmekte olduğu kabul edilmektedir. Ancak kesme hızının belli bir değerin üstüne çıkmasıyla takımın sertliği ve geometrisi olumsuz etkilenerek yüzey kalitesinin tekrar bozulmasına sebep olabilmektedir. Bu hususta literatürde benzer sonuçları ortaya koyan çalışmalar mevcuttur [19-21]. Yapılan bir çalışmada artan kesme hızıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinin azalması, hız artışıyla birlikte takım talaş temas uzunluğunun kısılmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına, bu yüzden de deformasyonların küçülmesine atfedilmiştir [15]. Ancak yapılan bu çalışmada SNMA kodlu takım ile 250 m/min kesme hızında, kesme derinliğinin azalmasıyla birlikte, yüzey pürüzlülük değerlerinde çok az miktarda yükselme meydana gelmiştir. Bu istisnai duruma bazı işleme şartlarında rastlamak mümkündür. Bu durum, takım burun yarıçapı 0,8 mm olan SNMA ve DCGT kodlu takımlarda 0,4 mm kesme derinliğinin düşük kalmasıyla ve kesme hızının artmasıyla birlikte kesici takım serbest yüzeyi ile işlenen yüzey arasındaki sıcaklığın artması sonucunda yüzeyde meydana gelen plastik deformasyona bağlı olarak pürüzlülük değerinin bir miktar yükselmesiyle açıklanabilir. Şekil 5'teki 0,4 mm kesme derinliğinde Bu durum literatürde yer alan bir çalışmada, kesme hızının artırılmasıyla yan kenar aşınmasının hızlandığını ve böylece yüzey pürüzlülüğünün arttığı şeklinde ifade edilmiştir [15]. Ayrıca SNMA kodlu takımların talaş kırıcı bir forma sahip olmaması sebebiyle çıkan talaşın kırılarak iş parçası yüzeyinden çabuk uzaklaşmamasının da yüzey pürüzlülük değeri üzerinde olumsuz etki yaptığı değerlendirilebilir. Bir başka çalışmada ise yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili parametrenin kesme hızı olduğu belirtilerek, minimum yüzey pürüzlülüğü değeri için kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği etkisinin yüzde katkıları %45, %36 ve %19 olarak sıralanmıştır [11]. Yine başka bir çalışmada pürüzlülük değerleri üzerinde etkili işleme parametresinin kesme hızı olduğu vurgulanmış olup, analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde %90,5 katkı oranı ile en etkin parametrenin kesme hızı olduğu tespit edilmiştir [22]. Yapılan genel değerlendirmelerden sonra, kullanılan kesici takımlara göre derinliği ve kesme hızının yüzeylerin pürüzlülüğü üzerindeki etkisini daha ayrıntılı görebilmek ve değerlendirmek amacıyla Şekil 5'te kesme derinliğine göre ayrı ayrı grafikler verilmiştir.

Şekil 5'teki grafiklere toplu olarak bakıldığında 2,4 mm ve 1,6 mm kesme derinliklerinde, her iki kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerlerinin birbirine yakın değerler sergilediği görülmektedir. Ancak 0,8 mm ve 0,4 mm kesme derinliklerinde 250 m/min kesme hızındaki pürüzlülük değerlerinde 125 m/min kesme hızına göre büyük oranda düşme meydana gelmiştir. En düşük pürüzlülük değeri 250 m/min kesme hızında 2,4 mm kesme derinliğinde ve SNMA kodlu kesici takım ile yapılan işleme deneyinden 0,52 µm (mikron) olarak elde edilirken, en yüksek pürüzlülük değeri yine 250 m/min kesme hızında 2,4 mm kesme derinliğinde ve TNMG kodlu kesici takım ile yapılan işleme deneyinden 7,22 µm olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek kesme derinliğinde, en yüksek pürüzlülük değerinin elde edilmesi beklenen ve literatürde daha sıklıkla yer alan bir



Şekil 5. 2,4-1,6-0,8-0,4 kesme derinliklerinde kesme hızı, kesme derinliğine ve kesici takım cinsine göre yüzey pürüzlülüklerin

(2.4-1.6-0.8-0.4 cutting speed at cutting depths, surface roughness according to cutting depth and cutting tool type)

sonuç olmuştur [4, 10, 12]. Ancak kesme derinliği değerlerinin 0,1 mm, 0,3 mm ve 0,5 mm olduğu çalışmada ise en düşük yüzey pürüzlülük değeri, en yüksek kesme derinliği olan 0,5 mm'de elde edilmiştir [6]. Daha öncede ifade edildiği üzere kesme derinliğinin çok az olduğu bazı işleme deneylerinde, pürüzlülük değerleri yükseltebilmektedir. Bu duruma, çok düşük talaş derinliklerinde kesici takım ucunun yeterince talaş kaldırmayarak sürtünmeden kaynaklanan ısının bir bölümünü talaş ile kesme bölgesinden uzaklaştıramadığından oluşan bu ısının büyük bir bölümü işlenen yüzey ile kesici takım ucuna tesir etmektedir. İşlenen malzeme yüzeyine tesir eden bu ısı ile meydana gelen sıcaklık artışının iş parçası yüzeyinde plastik deformasyona neden olarak pürüzlülük değerlerinin yükseltmesine neden olduğu düşünülmektedir. Şekil 5'teki grafiklere bakıldığında SNMA kodlu takım hariç, tüm kesici takımlarda kesme derinliğinin azalmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin de düşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu duruma, SNMA kodlu takımların diğer kesici takımlardan farklı olarak negatif talaş açısına sahip olmasının başlıca sebep olduğu düşünülmektedir. SNMA kodlu takımın diğer takımların tersine bir davranış sergilemesinin sebeplerinden birinin takım burun yarıçapı ile ilişkilendirmek mümkündür. Literatürde yer alan bir çalışmada köşe yarıçapının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkisi olduğu vurgulanmaktadır [23]. Başka bir çalışmada ise, yüzey pürüzlülüğü takım burun yarıçapının artmasıyla azalmakta olduğu ve takım

burun yarıçapının en önemli ve etkili takım geometri faktörü olduğu ifade edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan SNMA kodlu takımın burun yarıçapının 0,8 mm olması, 0,4 mm kesme derinliği için yüzey pürüzlülüğü bakımından çok uygun olmadığı görülmektedir. Literatürde yer alan ve Al 6061 malzeme üzerinde yapılan benzer deney şartlarının uygulandığı çalışmada bu durumu destekler sonuçlar elde edilmiştir; 0,5 mm kesme derinliğindeki yüzey pürüzlülük değeri, 0,75 mm kesme derinliğindeki pürüzlülüğten yaklaşık iki kat daha fazla değerde çıkmıştır [23]. Kesici takım geometrisi ile birlikte takımın işlenen malzemeye yama açısı ve kaplamalı olup olmadığı gibi ilave faktörlerde yüzey pürüzlülüğü üzerinde etki yapmaktadır. Ancak yapılan bu çalışmada bu hususlar değerlendirmeye alınmayıp, takım burun yarıçapının ve takımın kesici köşe şeklinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar içerisinde genellikle tek tip kesici takımların kullanıldığı veya aynı tip takımın kaplamalı ve kaplamasız çeşitlerinin kıyaslandığı makaleler literatürde çoğunluğu oluşturmaktadır [19, 24-26]. Bu deneysel çalışmanın bir amacının da tamamen farklı yapı ve geometrik özellikler sergileyen kesici takımların kıyaslanması olduğu ayrıca belirtilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışma ile aynı takım veya takımların kullanıldığı bazı çalışmalar literatürde yer almaktadır. Ancak hiçbirinde yüzey pürüzlülüğü yönünden 4 farklı çeşit kesici takım mukayese edilmemiştir. Bu durum yapılan deneysel çalışmanın özgün yönünü ortaya koymaktadır.

### 3.2. Kesici Takım Aşınma Davranışının Yüzey Pürüzlülüklerine etkisinin Değerlendirilmesi (Evaluation of the Effect of Cutting Tool Wear Behavior on Surface Roughness)

Deneylerde kullanılan Kesici takımların performanslarının biraz daha detaylı incelenmesi aşınma davranışlarını incelenmesi amacıyla *400X Series Digital Microscope* marka/model mikroskopla görüntüleri çekilmiştir. Şekil 6'daki dijital mikroskop görüntüleri verilmiştir. Tüm işleme parametrelerinde kullanılan kesici takım görüntüleri çekilirken takım serbest yüzeyi ve talaş yüzeyinin birlikte görülebileceği şekilde açılı çekim yapılmıştır.

Şekil 6'da tüm kesici takımlarda, takım talaş yüzeyinde çok az miktarda krater aşınma mekanizmasının etki ettiği görülmektedir. Yan yüzey aşınması ise yok denecek kadar az miktardadır. Talaş derinliğinin azalmasına bağlı olarak aşınma miktarlarında da azalma olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum en net olarak KNUX kodlu kesici takımlarda ortaya çıkmaktadır. İşleme sırasında artan talaş derinliğiyle birlikte takım yüzeyine etki eden talaş miktarı da artmakta olup, hem yükselen kesme kuvvetleri hem de artan kesme bölgesi sıcaklığıyla birlikte takım ucundaki deformasyonu arttırmaktadır. KNUX takıma ait görüntülere bakıldığında kesme derinliğinin artması veya azalmasıyla birlikte, kesici takımındaki aşınma davranışının da doğru orantılı olarak değişim gösterdiği çok bariz olarak görülmektedir. Ayrıca az miktarda BUE oluşumundan söz etmek mümkündür. KNUX takımların geometrisinin ve yüzey kaplamasının BUE oluşumunda temel etken oluşturduğu düşünülmektedir. Deneylerde kullanılan KNUX takımların yüzeyindeki TiCN kaplama malzemesinin bir miktar talaş yapışmasına ve BUE oluşmasına neden olduğu değerlendirilmektedir. Bu durum yüzey pürüzlülük değerlerine de aynı şekilde yansımış olup 125 m/min kesme hızında en yüksek pürüzlülük değerleri KNUX kodlu takımlardan elde edilmiştir (Şekil 5).

KNUX kodlu takımlardan sonra 2. Sırada aşınma mekanizmasının en fazla etkilediği kesici takımlar TNMG kodlu takımlar olmuştur. KNUX kodlu takımlar kadar olmasa da TNMG kodlu takımlarda da kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak takım aşınmalarının da artış gösterdiği Şekil 6'daki görüntülerden anlaşılmaktadır. Bu durum yine 125 m/min kesme hızında daha belirgin ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kesme sırasında oluşan yüksek sıcaklık ve basıncında tesiriyle, talaşın takım yüzeyinden uzaklaşması sırasında, takım talaş yüzeyine Al 6061 malzemenin bir miktar sıvandığı anlaşılmaktadır. Bu sıvanmalara yığıntı katmanı adı da verilebilmektedir. Bu durum alüminyum gibi yumuşak, sünek ve erime sıcaklığı düşük malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkabilmekte ve literatürdeki birçok çalışmada ifade edilmektedir [13, 27, 28]. Literatürde yer alan bir çalışmada alüminyumun, yüksek sünekliği sebebiyle düşük ve orta kesme hızlarında yüksek BUE oluşturma eğilimine sahip olduğu ifade dilmekte ve BUE'yi engellemek için; keskin kesici kenar formu, pozitif olarak daha büyük talaş açısı ve yapışmayı engellemek için taşlanmış takım talaş yüzeyi tavsiye edilmektedir [29]. Bu kesici takım davranışı aynı zamanda yüzey pürüzlülük

değerlerine olumsuz olarak yansımakta ve pürüzlülük değerlerini yükseltmektedir. TNMG kodlu takımında da durum bu şekilde meydana gelmiş ve KNUX kodlu takımlardan sonra en yüksek pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

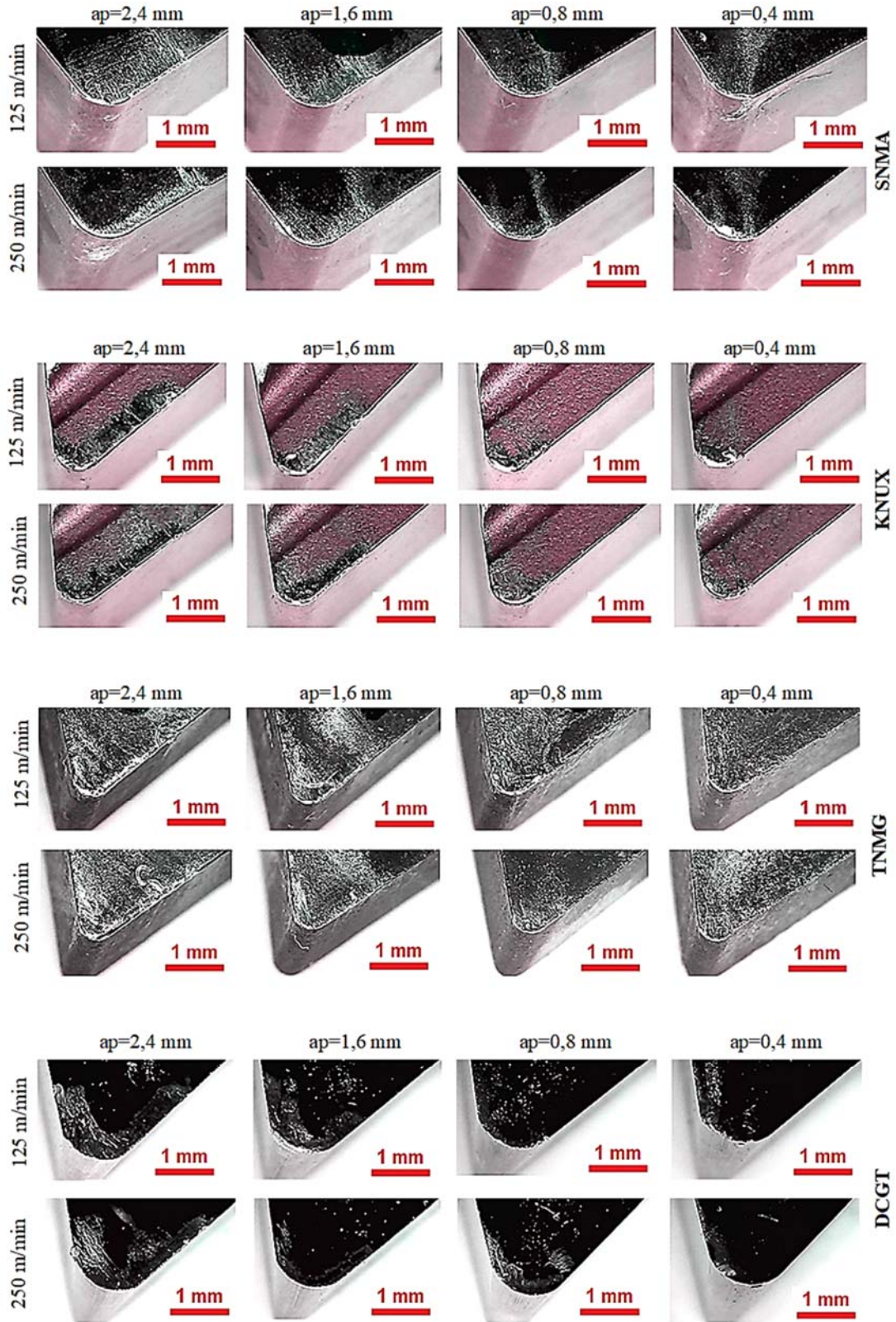
Şekil 6'daki takım görüntülerine bakıldığında SNMA kodlu kesici takımlarda herhangi bir aşınma mekanizmasının çok etkili olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak bu takımlarda da takım yüzeyinde bir miktar malzeme sıvanması olduğu görülmektedir. Bu talaş sıvanmalarının kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak daha fazla etkili olduğu söylenebilir. Bunun sebebi daha öncede belirtildiği üzere, artan talaş miktarıyla birlikte kesme işlemi sırasında, 2. Deformasyon bölgesindeki sıcaklığın ve basıncın artması ve Al 6061 malzemenin kesici takım yüzeyine sıvanmasıyla açıklanmıştır. Ancak bu miktardaki malzeme sıvanmalarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde fazla etki yapmadığı anlaşılmaktadır. Zira en düşük yüzey pürüzlülük değerleri SNMA kodlu takımlar ile elde edilmiştir. DCGT kodlu takımlar ise özel olarak alüminyum ve alaşımlarının talaşlı işlemlerinde kullanılmak üzere imal edilmektedirler. Yapılan deneylerde SNMA kodlu takımlardan sonra en düşük yüzey pürüzlülük değerleri DCGT kodlu takımlardan elde edilmiştir. Ancak beklenen bu takımların en iyi performansı göstermesi ve en düşük yüzey pürüzlülük değerlerini sergilemesiydi. Bu çalışmanın bir amacı da alüminyum işlemek için tavsiye edilen ve kullanılan bu takımların uygulamada nasıl bir davranış sergileyeceğinin incelenmesiydi. Bu deneysel çalışmadan, seçilen kesme parametreleri ve alüminyum malzemenin işlenmesinde, SNMA kodlu takımların DCGT kodlu takımlara göre daha iyi performans göstermiş olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Ya da seçilen kesme parametrelerinin DCGT takımlar için ideal ve optimum parametreler olmadığı, parametre sayısının artırılarak deneylerin geliştirilerek yeni çalışmaların yapılması tavsiye edilebilir. DCGT kodlu takımların aşınma yönünden ele alındığında başarılı olduğu ve baskın bir aşınma mekanizmasının meydana gelmediği Şekil 6'daki görüntülerden anlaşılmaktadır. Ancak diğer kesici takımlarda olduğu gibi bir miktar malzeme sıvanması ve çok az miktarda BUE meydana geldiği söylenebilir. Kesme hızı değişimi açısından genel bir değerlendirme yapıldığında, kesme hızının iki kat artarak 125 m/min'dan 250 m/min'ya çıkmasıyla takım aşınma davranışlarında kayda değer farklılıklar olmadığı ifade edilebilir. Zaten bu durum yüzey pürüzlülük değerlerinde de aynı davranışı sergilemiş ve dikkate değer farklar ortaya çıkmamıştır. Bu çalışma sonucunda bir tavsiye olarak, ileriki çalışmalarda daha yüksek kesme hızları ile deneylerin tekrar edilmesinin uygun olacağı söylenebilir.

### 3.3. Kesici Takım Yanaşma Açısı ve Takım Burun Yarıçapının Yüzey Pürüzlülüklerine etkisinin Değerlendirilmesi

(Evaluation of the Effect of Cutter Edge Angle and Tool Nozzle Radius on Surface Roughness)

İşlenebilirlik çalışmalarında takım performansını ve yüzey pürüzlülüklerini etkileyen diğer bir husus ise kesici

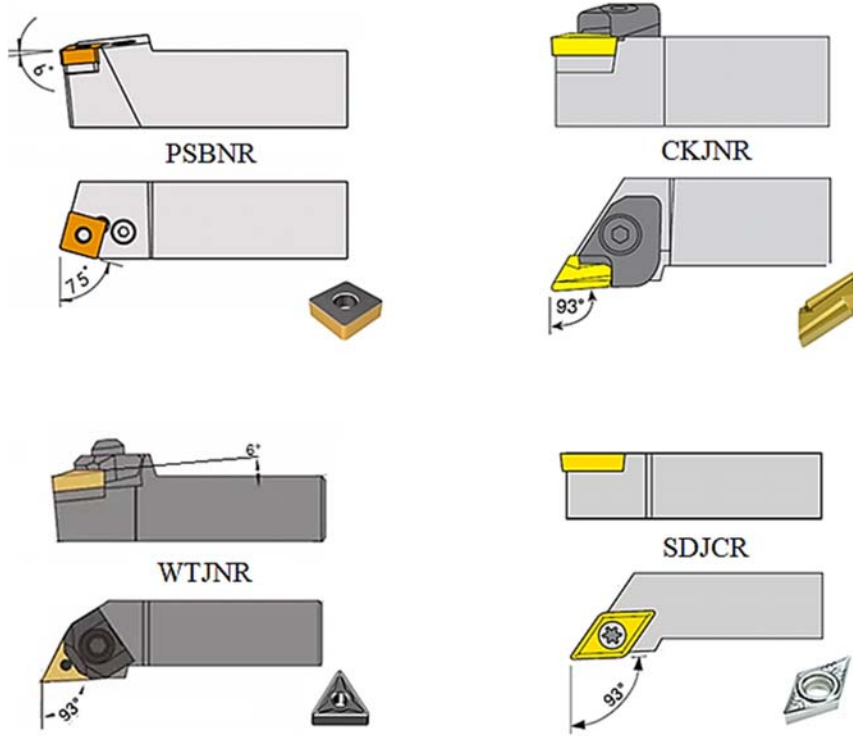




Şekil 6. Tornalama deneylerinde kullanılan kesici takım uçlarının dijital mikroskop görüntüleri  
(Digital microscope images of cutting tool tips used in turning experiments)

takımların iş parçasına yanaşma açılarıdır. Yanaşma açısı (K) kesici kenar ile ilerleme yönü arasındaki açıdır. Yanaşma

açısı talaş oluşumunu etkilediği gibi kesme kuvvetlerinin yönünü, kesme işlemine katılan kesici kenar uzunluğunu,



**Şekil 7.** Deneysel olarak kullanılan takım tutucular, kodları ve yavaşma açısı değerleri  
(Tool holders, codes and cutter edge angle values used in the experiments)

kesici kenar ile iş parçası arasındaki temas alanını ve işlemden kullanılacak takım ile gerçekleştirilecek talaş kaldırma işlemlerini de etkiler [30]. Literatürde yer alan bir çalışmada, yavaşma açısının yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediği, bunun nedenin kesici takım ucunun kusurlu geometrisi olabileceği belirtilmektedir. Bu nedenle, kesici takım iş parçasına uygun olmayan farklı bir kenar kesme açısıyla temas ettiğinde yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkileneceği ifade edilmiştir [31]. Şekil 7’de bu çalışmada yapılan tormalama deneylerinde kullanılan takım tutucular ve kesici takım yavaşma açıları topluca gösterilmektedir.

Şekil 7’ye bakıldığında PSBNR kodlu takım tutucunun kullanıldığı SNMA 120408 KR kodlu keçici uçların iş parçasına yavaşma açısının  $75^\circ$  olduğu görülmektedir. CKJNR, WTJNR, SDJCR kodlu takım tutucuların kullanıldığı KNUX 160405 R11, TNMG 160404, DCGT 11T308 ALU kodlu kesici takımlarda ise yavaşma açısı  $93^\circ$  olarak görünmektedir. Bu çalışmada en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin yaklaşma açısının  $75^\circ$  olduğu SNMA kodlu takımlardan elde edilmiştir. Literatürde yer alan bir çalışmada, dış tormalama işlemlerinde büyük yavaşma açısı nedeniyle ortaya çıkan büyük ilerleme kuvvetinin iş parçasını eğilmeye zorlayacağı, yaklaşma açısının daha küçük seçimiyle kuvvetlerin dengelenmesi sağlanarak işlemin rijitliği artacağı ve titreşimin azalacağı belirtilmiştir. Dolayısıyla  $Ra$  pürüzlülük değerlerinin en küçük miktarda gerçekleşmesinin sağlanmış olacağı ifade edilmiştir [32]. Dolayısıyla yapılan bu deneysel çalışmada  $75^\circ$  yavaşma açısının  $93^\circ$  yavaşma açısına göre pürüzlülük

miktarı bakımından daha uygun olduğu ilk etapta ifade edilebilir. Elde edilen en düşük takım aşınması değerlerinin SNMA kodlu takımlarda oluşması, bu değerlendirmeyi destekler niteliktedir. Kesme işlemini etkileyen geometrik parametrelerin, takım kenarı yarıçapı, takım ucu yarıçapı ve takıma ait kesme açıları (talaş açısı ve yavaşma açısı) olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla kesici takıma ait uç yarıçapının artması ya da azalması kesme işlemlerinde birçok parametreyi etkilemektedir [33]. Literatürdeki bir çalışmada, Yüzey pürüzlülüğünün, takım burun yarıçapının artmasıyla azaldığı ve takım burun yarıçapının en önemli ve etkili takım geometri faktörü olduğu ifade edilmiştir [34]. Aynı şekilde başka bir çalışmada da, kesici uç yarıçapı ile yüzey pürüzlülüğü arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu, kesici uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı vurgulanmıştır. İyi yüzey kalitesi elde etmek için belirli bir değere kadar büyük uç yarıçapına sahip kesiciler kullanılması tavsiye edilmiştir [35]. Takım burun yarıçapı ile kesme derinliği arasında da ilişki olduğu bilinmektedir ve uygulanacak kesme derinliğine göre takım burun yarıçapının seçilmesi işlenebilirliğin performansına olumlu etki yapacaktır. Literatürde, kesme derinliği miktarının takım burun yarıçapının  $2/3$  oranından daha az olmaması gerektiği belirtilmektedir [33].

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Al 6061 alüminyum alaşımının 0,4-0,8-1,6-2,4 mm kesme derinliklerinde, SNMA 120408 KR, KNUX 160405 R11, TNMG 160404 A66, DCGT 11T308 ALU PK10 kodlu 4

farklı kesici takımla 0,2 mm/dev sabit ilerleme değeri ve 125 m/min, 250 m/min olmak üzere iki farklı kesme hızı değerinde yapılan tornalama deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- KNUX, TNMG VE DCGT kodlu takımlarda kesme derinliğinin azalmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde de azalma meydana gelmiştir. Ancak SNMA kodlu takımda bu genel davranışın aksine, kesme derinliğinin azalmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri azalmamış hatta bir miktar yükselmiştir.
- Tüm kesici takımlarda, kesme hızının iki kat yükselmesiyle (125 m/min-250 m/min) yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma meydana gelmemiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerindeki beklenen iyileşmeyi sağlamada, seçilen kesme hızı değerlerinin düşük kaldığı değerlendirilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü yönünden en iyi performansı SNMA kodlu takımlar gösterirken, en kötü performans KNUX kodlu kesici takımlardan elde edilmiştir. Alüminyum için özel olarak üretilen DCGT kodlu takımlar, bu deneyde seçilen kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülük değerleri için beklenen performansı gösterememiştir.
- Kesme derinliği miktarlarının azalmasına bağlı olarak takımlarda meydana gelen aşınma ve hasar mekanizmaları da azalmıştır. Kesici takımlarda çok önemli aşınma mekanizmaları oluşmamasına karşın bir miktar BUE ve talaş katmanı oluşumu meydana gelmiştir. En yüksek aşınma davranışını KNUX kodlu takım sergilerken, en düşük aşınma davranışını SNMA kodlu takım sergilemiştir.
- Takım burun yarıçapı ve takım yanaşma açısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu, artan takım burun yarıçapı ve azalan yanaşma açısı değerlerinin pürüzlülük miktarını azalttığı tespit edilmiştir.
- Bu deneysel çalışmada birbirinden çok farklı geometrik özellikleri olan 4 kesici takım içerisinde en iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri 0,5 µm olarak SNMA kodlu takımlardan elde edilmiştir. Kesici takımların mikroskop görüntülerinin görsel incelemesi sonucunda en az takım hasarı yine SNMA kodlu takımlardan elde edilmiştir. Ancak kullanılan tüm kesici takımların bu tür alüminyum malzemelerin düşük kesme derinliklerinde ve daha yüksek kesme hızlarında işlenmesi için uygun olabileceği genel çıkarımı yapılmıştır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ranganath M.S., Vipin Vp., Mishra R.S., Optimization of Process Parameters in Turning Operation of Aluminium (6061) with Cemented Carbide Inserts Using Taguchi Method and Anova, International Journal of Advance Research and Innovation, 1 (1), 13-21, 2013.
2. Ulaş H.B., AA 6061 Alüminyum Alaşımının Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Analizi Ve Optimizasyonu, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 14 (2), 48-56, 2019.
3. Özlü B., Akgün M., Demir H., AA6061 Alaşımının Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Analizi ve Optimizasyonu, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5 (2), 151-158, 2019.
4. Ranganath M.S., Vipin Vp., Mishra R.S., Dhar N.R., Optimization of Surface Roughness in CNC Turning of Aluminium 6061 Using Taguchi Techniques, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 5 (5), 42-50, 2015.
5. Deepak D., Rajendra B., Investigations on the surface roughness produced in turning of Al 6061 (as-cast) by taguchi method, International Journal of Research in Engineering and Technology, 4 (8), 295-298, 2015.
6. Pridhvijit A., Binu C.Y., Experimental Study and Parameter Optimization of Turning Operation of Aluminium Alloy-2014, International Journal of Engineering Research and General Science, 3 (5), 525-530, 2015.
7. Deepak D., Rajendra B., Optimization of Machining Parameters for Turning of Al6061 using Robust Design Principle to minimize the surface roughness, Procedia Technology, 24, 372-378, 2016.
8. Mustafa A., Tanju K., Investigation of the machinability of the Al 7075 alloy using DLC coated cutting tools, Scientific Research and Essays, 6 (1), 44-51, 2011.
9. Md. Ali T., Nath T., Cutting Parameters Optimization for Turning AA6063-T6 Alloy by Using Taguchi Method, International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology IJRMET, 4 (2), 82-86, 2014.
10. Zeelan B.N., Mahesh G., Muthuprakash N., Optimization of CNC Turning Process Parameters on Aluminium 6061 Using Genetic Algorithm, International Journal of Science and Modern Engineering (IJISME), 1 (9), 43-46, 2013.
11. Abdallah A., Rajamony B., Embark A., Optimization of cutting parameters for surface roughness in CNC turning machining with aluminum alloy 6061 material, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), 4 (10), 01-10, 2014.
12. Ramreddy B., Varvate G., Optimization Of Process Parameters in Cnc Turning Of Aluminium Alloy 7075 By Taguchi Method Using Regression Analysis, Proceeding of NCRIET-2015 & Indian J.Sci.Res. 12 (1), 203-208, 2015.
13. Sekmen M., Günay M., Şeker U., Alüminyum Alaşımının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 18 (3), 141-148, 2015.
14. <https://www.engineersedge.com/materials/machinability-steel-aluminum.htm>
15. Dişbudak T., Şensoy S., 7075 Alüminyum Alaşımının Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Analizi, Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, 1, 13-29, 2014.
16. Gökkaya H., AA 5052 Alaşımının İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Journal of Engineering Sciences, 12 (3), 295-301, 2006.

17. Gökkaya H., Nalbant M., Investigating The Effects of Cutting Speeds Over The Built-Up Layer and Built-Up Edge Formation With SEM, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22 (3), 481-488, 2007.
18. Gökkaya H., The Effects of Machining Parameters on Cutting Forces, Surface Roughness, Built-Up Edge (BUE) and Built-Up Layer (BUL) During Machining AA2014 (T4) Alloy, *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 56 (9), 584-593, 2010.
19. Raykara S.J, D'Addonab D.M., Manea A.M., Multi-objective optimization of high speed turning of Al 7075 using grey relational analysis, *Procedia CIRP*, 33, 293-298, 2015.
20. Yusuf M., Ariffin M.K.A., Ismail N., Sulaiman S., Optimization of Cutting Parameters on Turning Process Based on Surface Roughness using Response Surface Methodology, *Applied Mechanics and Materials*, 117-119, 1561-1565, 2012.
21. Sahoo P., Pratap A., Bandyopadhyay A., Modeling and optimization of surface roughness and tool vibration in CNC turning of Aluminum alloy using hybrid RSM-WPCA methodology, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8,385-39 8, 2017.
22. Akgün M., Özlü B., Demir H., Döküm Yöntemiyle Üretilmiş Al-12Si Alaşımlarının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies Proceedings, Tokat-Turkey, 344-348, 2-4 November, 2017.
23. Singh D., Chadha V., Singari R.M., Effect of Nose Radius on Surface Roughness During CNCTurning Using Response Surface Methodology, *International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering (IJMECH)*, 5 (2), 31-45, 2016.
24. Gangopadhyay S., Acharya R., Chattopadhyay A.K., Sargade V.G., Effect of Cutting Speed and Surface Chemistry of Cutting Tools on the Formation Of BUL Or BUE And Surface Quality of the Generated Surface in Dry Turning of AA6005 Aluminium Alloy, *Machining Science and Technology*, 14 (2), 208-223, 2010.
25. Horváth R., Drégelyi-Kiss Á., Analysis of surface roughness of aluminum alloys fine turned: United phenomenological models and multi-performance optimization, *Measurement*, 65, 181-192, 2015.
26. Pattnaik S.K., Bhoi N.K., Padhi S., Sarangi S.K., Dry machining of aluminum for proper selection of cutting tool: tool performance and tool wear, *Int J Adv Manuf Technol*, 98, 55-65, 2018.
27. Pul M., Bican O., Farklı Alüminyum Alaşımlarının Tornalanmasında Alaşım Cinsinin Bazı İşleme Özelliklerine Etkisinin Karşılaştırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3 (1) 9-17, 2021.
28. Özcatılbas Y., Chip and built-up edge formation in themachining of in situ Al4C3–Al composite, *Materials and Design*, 24, 215-221, 2003.
29. Pul M., Şeker U., Metal Matrisli Kompozitlerin Tornalanmasında İlerleme Oranının Kesici Takım Aşınma Davranışlarına Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 17 (3), 99-106, 2014.
30. Özsoy Y., Değişken İlerlemeli Tornalamada Talaş Kırılması Ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi, , Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
31. Rico L., Noriega S., García J.L., Martínez E.A, Ñeco R., Estrada F.J., Effect of the Side Cutting–Edge Angle on the Surface Roughness for Aluminum 1350 in the Turning Operation by Taguchi Method, *Journal of Applied Research and Technology*, 8 (3), 395-405, 2010.
32. Neşeli S., Yaldız S., Tornalamada Yaklaşma Açısı ve Talaş Açısına Bağlı Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri, *Politeknik Dergisi*, 10 (4), 383-389, 2007.
33. Şahan Ö., Ti6Al4V Alaşımının Mikro Tornalanması Ve Kesme Kuvvetlerinin Mekanistik Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül, 2019.
34. Abdalrahman R.A., Hama Sure S.A., The Influence of Cutting Edge Angles Included Angle and Nose Radius on Surface Finish of Aluminum Alloy 1050 in Turning, *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, 32 (1), 31-38, 2020.
35. Yılmaz E., ETİAL 180 Alüminyum Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi Ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2010.