



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# AISI 5140 çeliğinin tornalanması esnasında yaklaşma açısı ve kesme parametrelerinin işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi

## *Investigation of the effects of approaching angle and cutting parameters on machinability of aisi 5140 steel during turning*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Mustafa KUNTOĞLU<sup>1</sup>, Abdullah ASLAN<sup>2</sup>, Hacı SAĞLAM<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-7291-9468

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-8348-3471

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-6598-8262

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Kuntoğlu M., Aslan A. ve Sağlam H., "AISI 5140 çeliğinin tornalanması esnasında yaklaşma açısı ve kesme parametrelerinin işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 25(1): 145-155, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.710376

# AISI 5140 Çeliğinin Tornalanması Esnasında Yaklaşma Açısı ve Kesme Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi

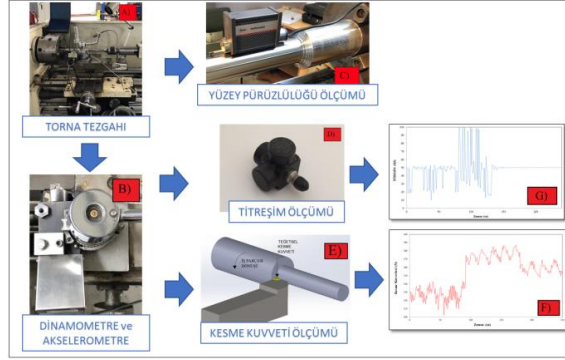
## Investigation of the Effects of Approaching Angle and Cutting Parameters on Machinability of AISI 5140 Steel during Turning

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ AISI 5140 çeliğinin işlenebilirliği üzerine bir inceleme sunulmuştur. / It is presented an investigation on machinability of AISI 5140 steel.
- ❖ Kuru tornalama şartlarında titreşim, esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. / It is measured that vibration, main cutting force and surface roughness under dry cutting conditions.
- ❖ Taguchi tasarımına dayalı 27 adet deney yapılmış olup, yaklaşma açısı ve kesme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. / 27 experiments are performed based on Taguchi design, the effect of approaching angle and cutting parameters are investigated.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

AISI 5140 çeliğinin tornalanması esnasında takım geometrisinin ve kesme parametrelerinin etkisi işlenebilirlik kriterlerinden yüzey pürüzlülüğü, esas kesme kuvveti ve titreşim açısından incelenmiştir.



Şekil. 3 /Figure. 3

### Amaç (Aim)

Yaklaşma açısı ve kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerindeki etkisini incelemek. / To investigate the effect of approaching angle and cutting parameters.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Taguchi tasarımına dayalı bir deneysel çalışma yapılmış, parametre optimizasyonu ve grafiksel inceleme yapılmıştır. / Taguchi design based experimental work was done, parameter optimization and graphical investigation was performed.

### Özgünlük (Originality)

Yaygın kullanıma sahip AISI 5140 çeliğinin işlenebilirliği kapsamlı olarak incelenmiştir. / Common usage of AISI 5140 steel is investigated comprehensively.

### Bulgular (Findings)

İlerleme oranı işlenebilirlik kriterleri üzerinde en etkili parametre iken, yaklaşma açısı esas kesme kuvveti üzerinde etkilidir. / While feed rate is the most effective parameter on machinability, approaching angle is effective on main cutting force.

### Sonuç (Conclusion)

İlerleme oranına ilave olarak yaklaşma açısının da işlenebilirlik üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. / In addition to feed rate approaching angle is also have effect on machinability.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# AISI 5140 Çeliğinin Tornalanması Esnasında Yaklaşma Açısı ve Kesme Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Mustafa KUNTOĞLU<sup>1\*</sup>, Abdullah ASLAN<sup>2</sup>, Hacı SAĞLAM<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Müh. Böl. Konya,

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makina Müh. Böl. Akşehir,

<sup>3</sup>Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Müh. Böl. Konya

(Geliş/Received : 27.03.2020 ; Kabul/Accepted : 24.09.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 25.11.2020)

## ÖZ

Doğası gereği karmaşık bir yapıya sahip olan tornalama ile şekillendirilecek bir malzemenin en iyi işleme şartlarının belirlenmesi maliyet, zaman ve verimlilik açısından önem kazanmaktadır. Bu çalışmada orta karbonlu alaşım çeliği AISI 5140 malzemenin kuru kesme şartlarında tornalanması esnasında kesme parametrelerinin ve yaklaşma açısının çeşitli işlenebilirlik kıstasları üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Dinamometre, akselerometre ve yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), titreşim ( $V_b$ ) ve deney malzemesi yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) ölçümleri yapılmıştır. Taguchi tasarımına göre 27 adet deney yapılmış, deneylerde  $F_c$  ve  $V_b$  anlık olarak ölçülürken, işleme durdurulduğunda  $R_a$  ölçümü gerçekleştirilmiştir. Yaklaşma açısı ve kesme parametrelerinin etkisi grafiksel olarak incelenmiş, deney malzemesinin en iyi işleme şartları farklı işlenebilirlik kıstasları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, başta otomotiv sektörü olmak üzere çeşitli alanlarda yaygın kullanıma sahip olan ancak geçmişte sınırlı sayıda çalışmanın konusu olan AISI 5140 çeliğinin işlenebilirliği kapsamlı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre,  $F_c$ ,  $V_b$  ve  $R_a$  üzerinde ilerleme oranının etkili parametre olduğu görülmüştür. Yaklaşma açısının  $F_c$  başta olmak üzere tüm kalite karakteristikleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 5140, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti.

## Investigation of the Effects of Approaching Angle and Cutting Parameters on Machinability of AISI 5140 Steel during Turning

### ABSTRACT

Determining the best processing conditions of a material to be formed by turning which is intrinsically complex structure, gains importance in terms of cost, time and efficiency. In this study, the effect of cutting parameters and approach angle on various machinability characteristics during the turning of medium carbon alloy steel AISI 5140 material in dry cutting conditions were investigated experimentally. Using the dynamometer, accelerometer and surface roughness device, the main cutting force ( $F_c$ ), vibration ( $V_b$ ) and workpiece surface roughness ( $R_a$ ) measurements were carried out. According to the Taguchi design, 27 experiments were performed while the  $F_c$  and  $V_b$  were measured on-line during the experiments,  $R_a$  measurement was performed. The effects of approaching angle and cutting parameters were examined graphically; the best machining conditions of the workpiece were evaluated by considering different machinability criteria. In this study, the machinability of AISI 5140 steel is investigated comprehensively which is utilized in various areas mainly on automotive industry however had limited study in the past. According to findings, feed rate is the effective parameter on  $F_c$  ve  $R_a$  while depth of cut and feed rate is seen as efficient on  $V_b$ . It is seen that approaching angle is effective all on quality characteristics especially on main cutting force.

**Keywords:** AISI 5140, vibration, surface roughness, cutting force.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

AISI 5140 otomotiv sektöründe kullanılan dişli ve millerin imalatı başta olmak üzere takım tutucular, krank, aks, civata, pompa ve bağlantı elemanları gibi çeşitli makine elemanlarının üretiminde tercih edilmektedir. Bir orta karbonlu çelik olan AISI 5140 ile imalatı yapılan makine elemanlarına tornalama, frezeleme gibi talaşlı imalat yöntemleri ile son şeklin verilmesi gerekmektedir.

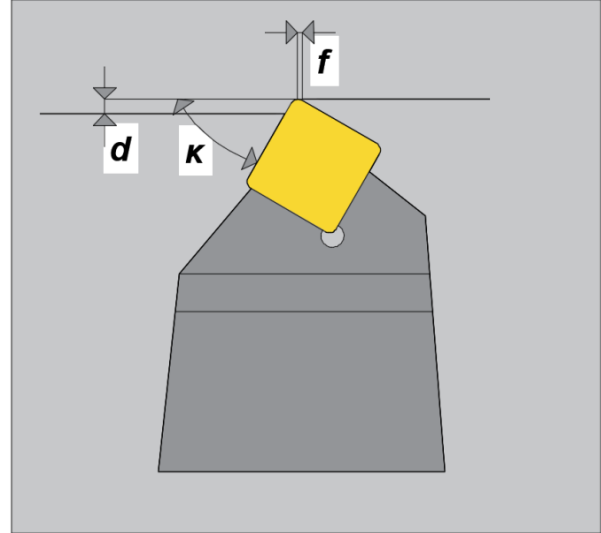
Bu alaşım malzemesine ısı direnci ve yüksek sıcaklıklarda mukavemet kazandırmak için temperleme işlemi uygulanır. İçeriğindeki yüksek krom miktarı, malzemede sert yapılı karbür oluşumuna neden olur ve malzemenin işlenmesini güçleştirir. Çeliğin sert ve mukavemetli yapısı, yüksek kesme kuvvetlerinin oluşmasına sebep olur, nihayetinde titreşim eğilimini artırır. AISI 5140 geniş bir uygulama alanına sahip olmasına karşın, literatürde bu malzemenin işlenebilirliği ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : mkuntoglu@selcuk.edu.tr

Grzesik [1] sert tornalamada aşınma mekanizmalarını ve aşınma gelişimini incelemek için AISI 5140 kullanmıştır. Seramik kesici uçlarla gerçekleştirilen deneylerde abreziv ve adeziv aşınmanın yanı sıra takım kırılması gözlenmiştir. Ebrahimi ve Moshksar [2,3] AISI 5140 malzemenin tornalanmasında kesme hızı, ilerleme oranı ve iş parçası sertliğinin takım ömrüne etkisini ve delik tornalamada kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme kuvvetinin serbest yüzey aşınması üzerindeki etkisini incelemiştir. Li ve ark. [4] kaplamalı takımlarda AISI 5140 işlerken meydana gelen aşınma mekanizmalarını incelemiştir. Buna göre TiN kaplamalı takımlarda abreziv ve adeziv, TiAlN kaplamalı takımlarda adeziv, difüzyon ve oksidasyon aşınmaları olduğu görülmüştür. Zhang ve ark. [5] AISI 5140 işlemede sermet takımların sementit karbür takımlara kıyasla daha iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir. AISI 5140 malzemenin taşlama işlemine tabi tutulması üzerine yapılan çalışmalarda Huang ve ark. [6] yağlamanın etkisini, Köklü [7] farklı açılarda diş açılmış taşlama taşlarının etkisini ve Grzesik ve Wanat [8] farklı ilerleme oranlarında yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. AISI 5140 çeliğinin işlenmesi esnasında optimum işleme koşullarının elde edilmesi üzerine yapılan çalışmalarda ise Kahraman [9] yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu, Aslan [10] serbest yüzey aşınması, kesme kuvvetleri ve titreşim optimizasyonu yapmıştır. Geçmişte AISI 5140 çeliğinin işlenebilirliği ve optimizasyonu üzerine yapılmış sınırlı sayıda çalışma bulunmakta ve kesme kuvveti, titreşim, yüzey pürüzlülüğünü aynı anda inceleyen kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmanın amacı literatürdeki bu boşluğu doldurmaktır. Yaklaşma açısı bir kesici takımda esas kesme kenarı ile takımın ilerleme doğrultusu arasında kalan açı olarak tanımlanır (Şekil 1). Talaş şeklinin tayin edilmesinde kesme derinliği ve ilerleme oranı ile birlikte önemli etkisi olan parametrelerden bir tanesidir. Yaklaşma açısı  $90^\circ$  olduğunda talaş kalınlığı ile ilerleme oranı, kesme derinliği ise kesme uzunluğu ile aynı olmaktadır. Açı küçülmeye başladığında kesme derinliği ve ilerleme oranı değişmezken talaş kalınlığı azalmakta, kesme uzunluğu ise artmaktadır. Büyük yaklaşma açısı ile işlemede kesici takımın deney malzemesine ilk temasında ve iş malzemesinden ayrılması sırasında ani yüklenme ve boşa çıkma gibi durumlardan kaynaklı olarak takım ömrü olumsuz etkilenebilir. Ancak kimi durumlarda büyük yaklaşma açısı kesici takımın nüfuziyetini artırmakta ve takım ömrüne olumlu katkıda bulunabilmektedir. Küçük yaklaşma açısında ise kesici takımın deney malzemesine teması noktasal olarak başlayıp yavaşça kesme kenarı boyunca yayılmaktadır. Bu şekilde kesici takım ani yüklerden korunmuş olur. Sağlam ve ark. [11] yaklaşma açısının kesme kuvvetleri ve takım uç sıcaklığı üzerindeki etkisini incelemiştir. Neşeli ve Yıldız [12] yaklaşma açısı ve talaş açısının tirlama titreşimleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemiştir. Aslan [10] yaklaşma açısının serbest yüzey aşınması, kesme kuvvetleri ve titreşim üzerindeki etkisini varyans analizi ile değerlendirmiştir. Takım

geometrisinin işlenebilirlik kriterleri üzerinde önemli etkisi olmasına karşın geçmişteki çalışmalardan pek azında yaklaşma açısının etkilerinin araştırıldığı görülmüştür. Bu açıdan yaklaşma açısındaki değişimin etkilerinin incelenmesi gerek uygulama açısından gerekse literatüre zenginlik katmak bakımından önem kazanmaktadır.



Şekil 1. Yaklaşma Açısının Şematik Gösterimi (Schematic Demonstration of Approaching Angle)

Talaşlı imalat işlemlerinde kesici takımın çeşitli şekillerde aşınmaya başlaması ile başlangıç şartlarından uzaklaştıkça bir takım değişiklikler meydana gelmektedir. İdeal olarak kabul edilen başlangıç şartlarının değişimine takım ve deney malzemesi yapısındaki homojenlik eksikliği sebep olabilir. Bunun yanında işlemin doğal seyri içerisinde meydana gelen takım aşınması tipi ve miktarı [13], talaş şekli, kesme kuvvetlerindeki dalgalanmalar [11,14], tirlama titreşimleri gibi etkenler de işlemin sürekliliğini bozan ve öngörülemeyen sonuçların doğmasına neden olan faktörlerdir.

Bir malzemenin işlenebilirliğini değerlendirmek için en doğru işleme koşullarının tayin edilmesi gerekmektedir [15]. Daha sonra talep edilen gereksinimlerin karşılanması durumunda - ki bu deney malzemesi veya kesici takım üzerinden bir kalite karakteristiği olabilir - eldeki malzeme işlenebilir denilebilir. Bu maksatla çeşitli işleme koşulları altında değişen faktörler anlık (on-line) ya da ayrı bir zamanda (off-line) ölçülerek değerlendirmeye tabi tutulur [16].

Metal kesme işlemi takım ve deney malzemesinin birbirine göre bağıl hareketi sonucunda gerçekleştirilir. Tezgâha verilen enerjinin kesici takım ve deney malzemesine aktarılması sayesinde çeşitli eksenlerde doğrusal ya da dairesel hareket ile talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Bu sebeple kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği temel kesme parametreleri olarak ön plana çıkar. Takım tezgâhı, deney malzemesi ve kesici

takım seçiminden sonra belirlenmesi zaruri ve işlemin tümü üzerinde önemli etkisi olan bu parametreler mevcut çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Diğer yandan işlenebilirlik üzerinde etkisi olan diğer pek çok parametre düşünüldüğünde en iyi işleme koşullarını tespit etmek oldukça zorlaşmaktadır [17].

Talaş kaldırma sürecinde işlemin yapısına göre kesici takıma ya da deney malzemesine aktarılan enerji sayesinde bu nesnelere biri doğrusal diğeri dairesel hareket yapar. Kesme bölgesine aktarılan enerji talaş oluşumunu sağlarken, diğer yandan bu enerji çeşitli şekillerde ortama yayılır [13]. Farklı tipteki enerjilerin ölçülmesi kesme işlemi hakkında bilgi sahibi olmayı, işlemin mekaniğini anlamayı ve meydana gelen problemlerin tekrarlanmaması için gerekli tedbirlerin alınmasını kolaylaştırır. Kesme işleminin başlangıcında kesici takım henüz aşınmamıştır [18]. Plastik deformasyona uğrayan malzemede temiz bir yüzey oluşturulurken kesici takım yüksek bir basınç ve sıcaklık etkisine maruz kalır [19]. Yüksek sıcaklık ve sürtünme etkisi ile aşınmaya başlayan takım yavaş yavaş kesme kabiliyetini yitirirken üzerine gelen yük zaman içerisinde artış gösterir. Bu durum kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur. Kesici takımın özelliğini yitirmesi ile çeşitli aşınma yapıları ortaya çıkarken takım ve deney malzemesi arasındaki temas değişmeye başlar ve takım geometrisi bozulur. Bu durum yüzey pürüzlülüğünün artmasına yol açar [17]. Değişen kesme şartları benzer şekilde kesme geometrisini, takım ve deney malzemesi temas şartlarını etkileyerek titreşim eğilimini artırır. Aşınma yapısına ve miktarına bağlı olarak ayrıca bunun yol açtığı aşırı kesme kuvveti ve titreşime bağlı olarak talaş şekli ve çıkışı da olumsuz etkilenebilir [10].

Bu çalışmada, temel işleme parametrelerine ilave olarak takım geometrisini temsilen yaklaşma açısı deney planına dâhil edilmiştir. Böylece kesme parametreleri ve takım geometrisindeki değişimlerin işlemin seyri üzerindeki etkisi ve işlenebilirliğe olumlu ya da olumsuz etkisi incelenmiştir. Bu çalışma ile ilk kez AISI 5140 malzemenin işlenebilirliği üzerine kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir ve bu maksatla AISI 5140 malzemenin kuru kesme şartlarında tornalanması esnasında  $R_a$ ,  $F_c$  ve  $V_b$  ölçümleri yapılmıştır. Deneyler Taguchi  $L_{27}$  ortogonal dizisine göre yapılmış, deney parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisi grafiksel olarak incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. İş Parçası ve Kesici Takım Malzemesi (Workpiece and Cutting Tool Material)

Bu çalışmada, AISI 5140 orta karbonlu alaşım çeliği deney malzemesi olarak kullanılmıştır. Deney malzemeleri ayna-punta arasında bağlanarak silindirik tornalamaya tabi tutulmuştur. Deney malzemeleri 75 mm çap ve 500 mm uzunlukta olup, her deney için bir malzeme kullanılmıştır. Malzeme yüksek tokluk özelliği göstermekte olup, otomotiv endüstrisinde oldukça

yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI 5140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Malzemelerin üzerinden 6 paso talaş kaldırılmış ve her bir deney için yeni bir kesici takım (WCMT 06T308 AP301U) kullanılmıştır. Kesici uçlar PVD kaplamalı ve P25 kalite seviyesindedir. Kesme kuvveti ölçümünde kullanılan dinamometrenin aynı zamanda bir takım tutucu olması sebebiyle özel katerler üretilmiştir (Şekil 2). Katerler 60°, 75°, 90° yaklaşma açılı olarak üretilmiş olup, 3d model tasarımı ile birlikte Şekil 2’de gösterilmiştir. Deney parametreleri belirlenirken kesici takım üreticisinin tavsiyeleri ve takım tezgâhının teknik özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre işleme parametreleri 3 seviyeli kesme hızı (150, 200 ve 330 m/dak), ilerleme oranı (0.06, 0.12 ve 0.24 mm/dev), kesme derinliği (1, 1.5 ve 2 mm) ve yaklaşma açısı (60, 75 ve 90°) olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Deneyler universal torna tezgâhında (De Lorenzo S547-8899) kuru işleme koşullarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3A).

### 2.2. Deneysel Çalışma ( Experimental Study)

Deneysel altyapı içerisinde torna tezgâhı, ölçüm ekipmanları, sensörler, veri toplama ve kaydetmek için cihazlar bulunmaktadır. Deneysel altyapıda bulunan ekipmanlar Şekil 3’te gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan dinamometre (TELC DKM 2000) aynı zamanda bir takım tutucu olduğu için arabaya sabitlenebilmektedir (Şekil 3B, 3C). Dinamometrede toplanan veri özel bir yazılım aracılığı ile (XKM2000) doğrudan bilgisayara aktarılabilir (Şekil 3F). Dinamometrenin bağlı olduğu aparatın üst kısmına kesme bölgesine mümkün olduğunca yakın olması düşünülerek akselerometre (titreşim sensörü) yerleştirilmiştir (Şekil 3B, 3D). Titreşim verileri akselerometreden sonra bir yükselticiden geçerek veri toplama kartına (National Instruments USB-6003) oradan da bilgisayara aktarılmaktadır (Şekil 3G). Titreşim ve kesme kuvveti verileri işleme devam ettiği müddetçe kaydedilmiş olup, daha sonra ortalaması alınarak grafiksel gösterim için kullanılması planlanmıştır.

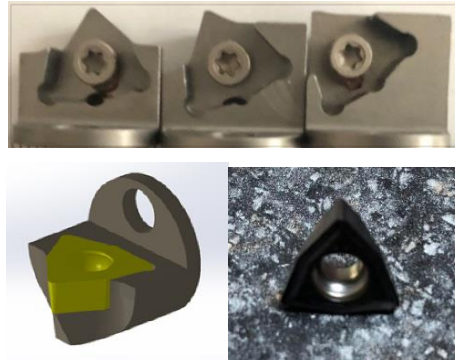
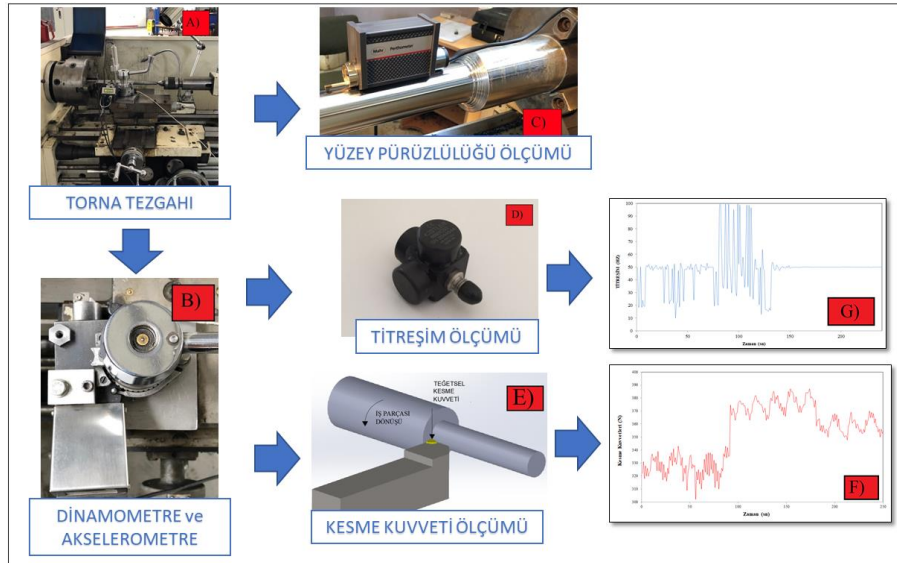
Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde (Mahr M1 Perthometer) yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Pürüzlülük ölçümü işleminin durdurulduğu her iki pasoda bir yapılmıştır (Şekil 3C). Pürüzlülük ölçümü silindirik malzemenin başından ortasından ve sonundan olmak kaydıyla 3 kez yapılmış olup, daha sonra ortalaması alınmıştır. Her bir deney kapsamında bir kesici takım ile 6 paso talaş kaldırılmıştır.

**Çizelge 1.** AISI 5140 malzemenin kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of the AISI 5140 material)

Element	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	S	Cu	P
%	0.45	0.7	0.28	0.85	0.14	0.05	0.029	0.065	0.01	0.02

**Çizelge 2.** İşleme Parametreleri (Machining Parameters) [20-22]

Sembol	Parametre	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
V	Kesme Hızı	150	200	330
f	İlerleme Oranı	0.06	0.12	0.24
d	Kesme Derinliği	1	1.5	2
$\kappa$	Yaklaşma Açısı	60	75	90

**Şekil 2.** Deneyselerde kullanılan kesici takım ve katerler (Cutting tools and cartridges used in experiments)**Şekil 3.** Deneysel altyapı ve veri toplama ekipmanları (Experimental Infrastructure and data acquisition equipments)

### 2.3. Taguchi Deneysel Tasarımı (Taguchi Experimental Design)

Taguchi yaklaşımı deneysel çalışmalarda sıklıkla tercih edilen ve kullanıcıya kaliteli bir tasarım imkânı sunarak gereksiz deneysel yükü, maliyet ve zaman kayıplarını önlemektedir [23,24]. Taguchi yaklaşımı ortogonal dizileri kullanarak deney sayısını ve kalite karakteristiklerinin etkisini azaltır. Taguchi tasarımı sinyal-gürültü oranı ile gürültü faktörlerinin etkisini azaltır ve bir amaç fonksiyonu kullanarak kalite karakteristiklerinin en iyi değerini hesaplamayı hedefler

[25]. Bu çalışmada Taguchi tasarımı kullanılarak deneysel şablon oluşturulmuştur. Tablo 3'te verildiği üzere kesme parametreleri ve ölçülen sensör değerlerine ait sonuçlar ve birimleri görülmektedir. Kesme hızı (V), ilerleme oranı (f), kesme derinliği (d) ve yaklaşma açısı ( $\kappa$ ) kontrol faktörlerini oluşturmaktadır. Deneyselerde esas kesme kuvveti ( $F_c$ ), titreşim ( $V_b$ ), yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) ölçümleri yapılmıştır. Deney tasarımı Taguchi  $L_{27}$  dikey dizisi kullanılarak yapılmıştır.



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

Tablo 3'te Taguchi tasarımı ile oluşturulmuş deney tablosu gösterilmiştir. Kesme parametreleri ve yaklaşma açısının işleme kalitesini etkileyen faktörlerden  $F_c$ ,  $R_a$  ve  $V_b$  üzerindeki etkisini araştırmak için deney sıraları belirlenmiştir. Dört faktör üç seviyeli olarak belirlenerek deneysel tasarım oluşturulmuştur. Deneysel sonuçların tekrarlanabilirliğini teyit etmek için deneyler 3 kez tekrarlanmıştır. Kontrol faktörleri ve kalite

üzerindeki etkisi artarken, ilerleme oranının talaş kalınlığı üzerindeki etkisi azalmaktadır. Buna bağlı olarak talaş kalınlığını tayin eden ilerleme oranı ve talaş derinliğindeki artış kesme kuvvetlerinin de artmasına sebep olur [26].

Şekil 4'teki grafiklerde yaklaşma açısının ilerleme oranı, kesme hızı ve kesme derinliğine göre değişimi üzerinde de görüleceği üzere yüksek yaklaşma açılarında talaş kalınlığının artmasına bağlı olarak  $F_c$  en büyük değere ulaşmaktadır [13]. En büyük  $F_c$  değeri 150 m/dak kesme

**Çizelge 3.** Deney Parametreleri ve Ölçülen Sensör Verileri (Experimental Parameters and Measured Sensor Data)

Deney No	V (m/dak)	f (mm/dev)	d (mm)	$\kappa$ (°)	$F_c$ (N)	$R_a$ ( $\mu$ m)	$V_b$ (Hz)
1	150	0.06	1	60	126.92	1.4	50.45
2	150	0.12	1.5	60	273.29	0.942	51.1
3	150	0.24	2	60	514.03	2.259	50.83
4	200	0.06	1.5	60	199.24	0.514	49.94
5	200	0.12	2	60	333.02	0.895	58.02
6	200	0.24	1	60	334.18	2.107	45.5
7	330	0.06	2	60	262.45	0.457	51.47
8	330	0.12	1	60	179	0.698	49.69
9	330	0.24	1.5	60	499.09	0.618	49.96
10	150	0.06	1	75	167.4	0.685	53.48
11	150	0.12	1.5	75	310.78	0.634	50.54
12	150	0.24	2	75	588.42	2.373	50
13	200	0.06	1.5	75	66.01	2.073	54.02
14	200	0.12	2	75	150.79	0.477	50.02
15	200	0.24	1	75	275.2	0.956	49.99
16	330	0.06	2	75	85.125	1.51	50.65
17	330	0.12	1	75	74.38	0.503	53.27
18	330	0.24	1.5	75	294.42	2.18	49.5
19	150	0.06	1	90	147.44	0.75	53.3
20	150	0.12	1.5	90	311.95	0.769	51.04
21	150	0.24	2	90	617.84	2.01	50.31
22	200	0.06	1.5	90	191.62	0.912	64.51
23	200	0.12	2	90	370.68	0.715	49.95
24	200	0.24	1	90	326.68	1.611	49.98
25	330	0.06	2	90	245.71	1.775	50.72
26	330	0.12	1	90	259.06	0.58	50.09
27	330	0.24	1.5	90	367	1.15	49.94

karakteristiklerine ait değerler ve birimler tablo 3'te gösterilmiştir.

#### 3.1. İşleme Parametrelerinin Esas Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi (The Effect of Cutting Parameters on Tangential Cutting Force)

İşleme esnasında takıma gelen kuvvetlerin özgül kesme kuvveti ve talaş kesitine bağlı olduğu bilinmektedir. Burada talaş kesitini belirleyen parametreler ise ilerleme oranı ve kesme derinliğidir. Aslında yaklaşma açısı, ilerleme oranı ve kesme derinliği ile birlikte talaş kalınlığı ve efektif kesme uzunluğunu ve dolayısı ile talaş kesitini tayin eder [10]. Bu anlamda kesme kuvveti üzerinde etkili olması beklenir.

Yaklaşma açısının 90°'den 60°'ye doğru azalması durumunda kesme derinliğinin efektif kesme uzunluğu

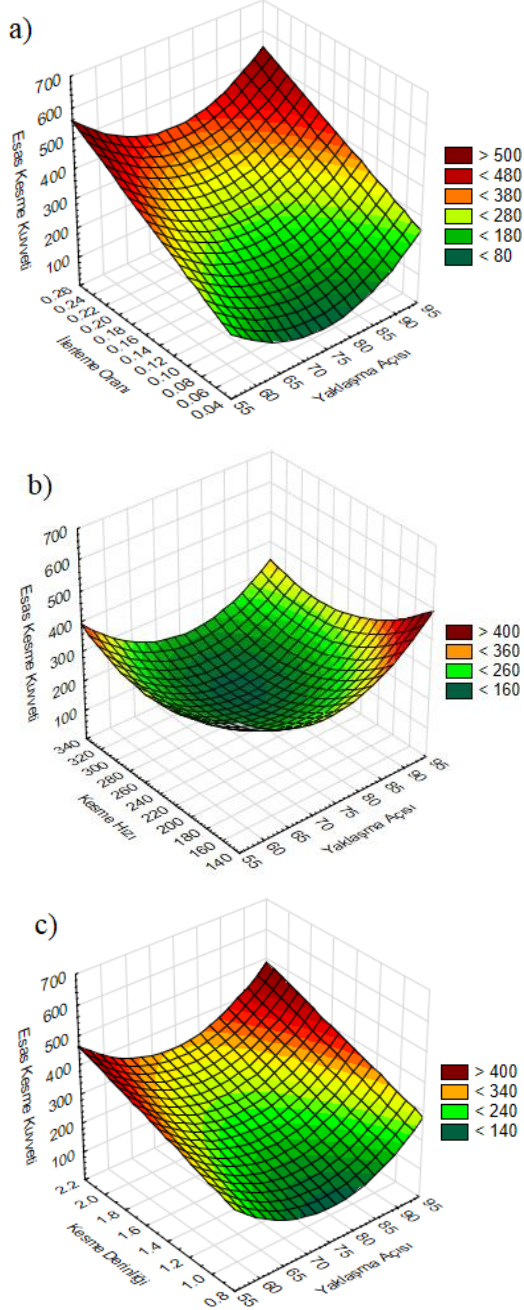
hızı, 2 mm kesme derinliği, 0.24 mm/dev ilerleme oranı ve 90° yaklaşma açısında meydana gelmiştir. 75° yaklaşma açısında tüm kesme kuvveti değerlerinde bir azalma görülmekte, 60° yaklaşma açısında tekrar  $F_c$  değerinde artış meydana gelmektedir. Bu durum kesme kuvveti üzerinde ilerleme oranı ve kesme derinliğine ek olarak yaklaşma açısının etkisini ortaya koymaktadır.

Şekil 4a'da görüleceği üzere ilerleme oranı artışı ile birlikte talaş kesitinin artmasına bağlı olarak  $F_c$  değeri artmaktadır. Hem ilerleme oranı hem de yaklaşma açısının yüksek seviyelerinde işlemede en büyük kesme kuvveti ortaya çıkmıştır.

Kesme hızının artması malzeme deformasyonunu kolaylaştırarak kesme için uygulanması gereken kuvvetin azalmasını sağlar [13]. Şekil 4b'de kesme

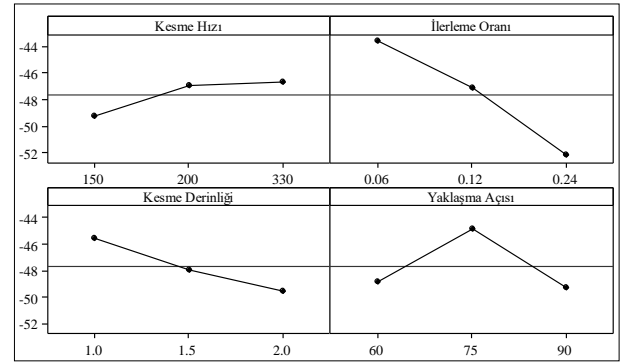
hızının artması ile  $F_c$  değerinin nispeten azaldığı görülmektedir. Deneylerin yapıldığı işleme şartlarında kesme hızı artışının  $F_c$  üzerinde belirgin bir değişime neden olmadığı görülmüştür.

Kesme kuvvetini üzerinde özgül kesme kuvveti ve ilerleme oranı ile birlikte kesme derinliğinin etkili olduğu bilinmektedir. Şekil 4c'de farklı yaklaşma açılarında kesme derinliğinin artışına ve dolayısı ile talaş kesitinin artmasına bağlı olarak  $F_c$ 'nin arttığı görülmektedir.



**Şekil 4.** Teğetsel Kesme Kuvveti Değişimi a) İlerleme Oranı – Yaklaşma Açısı Etkisi ile b) Kesme Hızı – Yaklaşma Açısı Etkisi ile c) Kesme derinliği – Yaklaşma Açısı Etkisi ile (The Variation of Tangential Cutting Force a) Feed – Approaching Angle b) Cutting Speed - Approaching Angle c) Depth of Cut - Approaching Angle)

Şekil 5'te Taguchi amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanmış olan sinyal-gürültü oranına göre  $F_c$  üzerinde etkili parametreler görülmektedir. Üç adet amaç fonksiyonu içinden en küçük en iyidir prensibi seçilerek kesme kuvvetinin mümkün olan en küçük değerini verecek parametreler elde edilmek istenmiştir. Bunun yanında farklı seviyeleri arasında en büyük fark bulunan parametre, kalite karakteristiği üzerinde en etkili parametre belirlenmiş olur. Buna göre  $F_c$  üzerinde en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu görülmektedir. En küçük kesme kuvveti değerini elde etmek için  $f_1$  (0.06 mm/dev),  $\kappa_2$  ( $75^\circ$ ),  $d_1$  (1 mm),  $v_3$  (330 m/dk) parametreleri seçilmelidir.



**Şekil 5.** Sinyal-Gürültü Oranına Göre  $F_c$  Üzerinde Etkili Parametreler (Effective parameters on  $F_c$  according to Signal-to-noise Ratio)

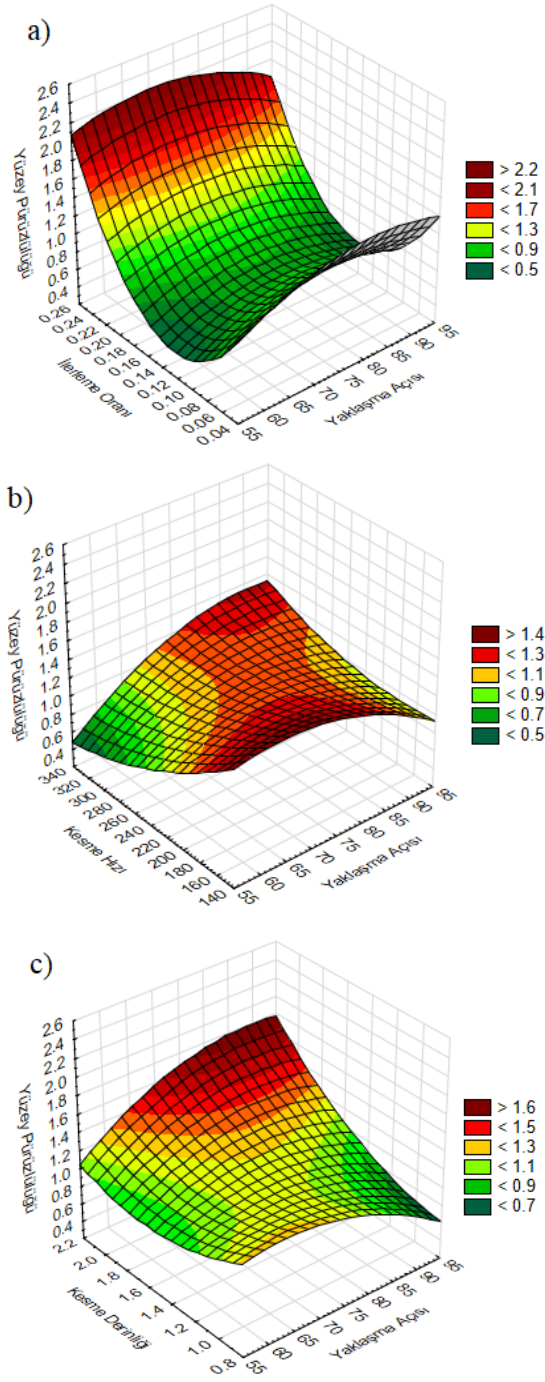
### 3.2. İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi (The Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness)

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme oranı ve takım uç radiusunun etkili olduğu bilinmektedir [27]. İlerleme artışı ile yüzey pürüzlülüğünün bozulması beklenir. Bununla ilgili teorik formülde ortalama yüzey pürüzlülüğü  $R_a = f/2/32r$  şeklinde ifade edilmektedir [28]. Bu formül ideal şartlarda geçerli olduğu için kesici takımın henüz aşınmaya başlamadığı zaman diliminde geçerliliğini korur. Daha sonra takımın aşınmaya başlaması ile birlikte çeşitli faktörler de yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkinlik göstermeye başlar [29]. Şekil 6a'da renk çizelgeleri dikkate alındığında ilerleme oranının tüm yaklaşma açılarında yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu ve ilerleme artışı ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir.

Şekil 6b ve 6c'de yaklaşma açısının yüksek kesme hızında ve yüksek kesme derinliğinde işlemede yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin rol oynadığı görülmektedir. Ayrıca küçük kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu da anlaşılmaktadır. Küçük kesme hızlarında kesici takımın kesme yerine kazımaya benzer bir etkiyle malzeme yüzeyini bozduğu söylenebilir. Buna karşın yüksek kesme hızı kesmeyi kolaylaştırarak kesme kuvvetini ve daha düzenli bir gerilme dağılımını mümkün kılarak daha kaliteli bir yüzey yapısının elde edilmesini sağlar. Büyük



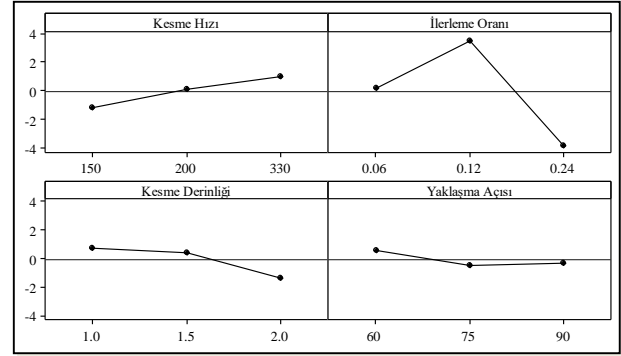
kesme derinliği ise yüksek yaklaşma açılarında takımın deney malzemesine ilk teması ile başlayan süreçte büyük bir yükün aniden takıma gelmesine sebep olur. Büyük yaklaşma açısı ve büyük talaş derinliği ile işlemede kesme kuvvetinin artması (Şekil 4c) takımın zorlanarak hızlı aşınmasına ve neticede yüzey pürüzlülüğünün bozulmasına neden olur [10]. Takım-deney malzemesi ve takım-talaş ara yüzlerinde oluşan düzensiz sıcaklık ve gerilme dağılımı yüzey kalitesinin bozulmasına neden olur [26].



Şekil 6. Yüzey Pürüzlülüğü Değişimi a) İlerleme Oranı – Yaklaşma Açısı Etkisi ile b) Kesme Hızı – Yaklaşma Açısı Etkisi ile c) Kesme derinliği – Yaklaşma Açısı Etkisi ile (The Variation of Surface Roughness a) Feed

– Approaching Angle b) Cutting Speed - Approaching Angle c) Depth of Cut - Approaching Angle)

En küçük en iyidir amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanan sinyal-gürültü oranına göre  $R_a$  üzerinde etkili parametreler Şekil 7’de gösterilmiştir. Amaç fonksiyonu en iyi değerden sapmayı hesaplayarak  $R_a$  değerinin en küçük değerde olmasını sağlayacak parametreleri seçer. Buna göre  $R_a$  üzerinde etkili parametre ilerleme oranı olarak bulunmuştur. Diğer yandan en küçük yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için  $f_2$  (0.12 mm/dev),  $v_3$  (330 m/dk),  $d_1$  (1 mm),  $\kappa_2$  ( $75^\circ$ ) parametreleri seçilmelidir.



Şekil 7. Sinyal-Gürültü Oranına Göre  $R_a$  Üzerinde Etkili Parametreler (Effective parameters on  $R_a$  according to Signal-to-noise Ratio)

### 3.3. İşleme Parametrelerinin Titreşim Üzerine Etkisi (The Effect of Cutting Parameters on Vibration)

İşleme esnasında meydana gelen titreşimin deney malzemesi yüzey pürüzlülüğü, deney malzemesi ölçü hassasiyeti, takım aşınması gibi birçok faktör üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. İşleme süresince kesici takımın deney malzemesini plastik deformasyona zorlaması ve deney malzemesinin kesici takıma göstermiş olduğu direnç sonucunda kesici takımın tekrarlı olarak ilk konumu etrafında yer değişimine maruz kalması titreşimi doğurur [30]. Kesme işleminin rijitliği titreşimin önlenmesi açısından en önemli tedbir olarak ön plana çıkmaktadır [12]. Kesme işlemi esnasında yüksek kesme hızlarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin düşmesi kesici takımın deney malzemesine tutunmasını zorlaştıracığı için titreşime sebep olur [31]. Bu durum kesici takımın talaş kaldırma esnasında titreşime maruz kalmasına yol açar. Titreşimi kesme işleminin güvenilir ve sürdürülebilir şekilde devam edeceği miktarda tutabilmek için kesici takım ve deney malzemesi arasındaki temas şartlarının titreşimi artırıcı yönde olmaması gereklidir. Aksi halde, talaş kaldırma esnasında titreşimin olduğu durumda kesici takım-deney malzemesi temas alanının tıpkı bir ilave yay elemanı gibi davrandığı görülmüştür [32].

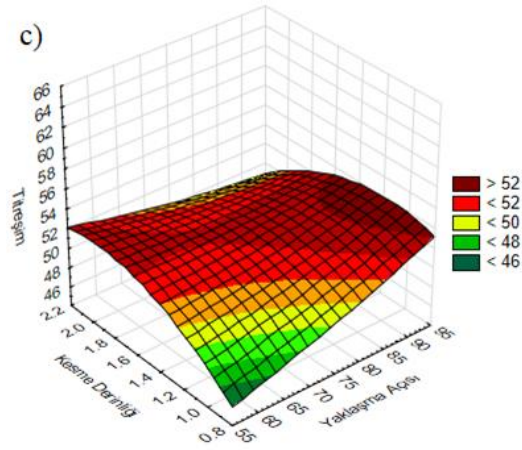
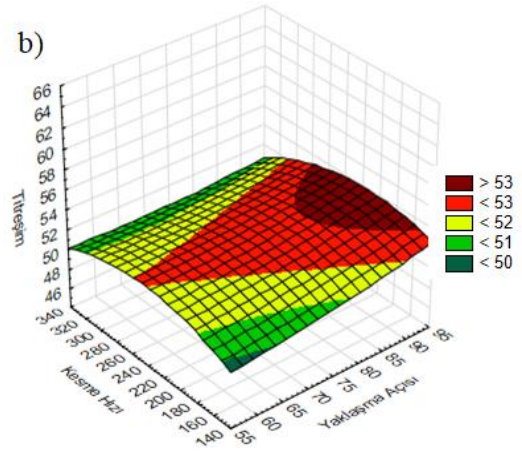
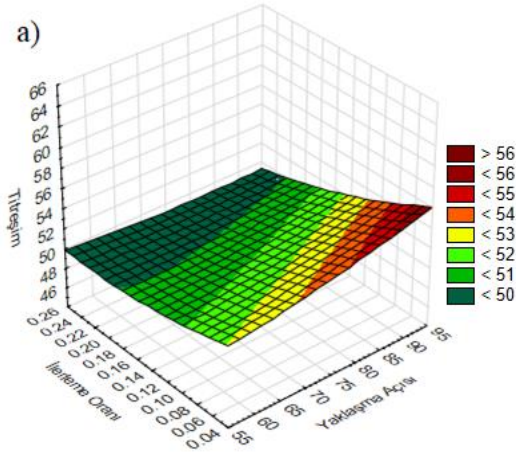
Deneylerin yapıldığı takım tezgâhının doğal frekansı 50 Hz’dir. Titreşim bir denge noktası etrafındaki salınım hareketi olduğuna göre 50 Hz değerinden sapmalar istenmeyen titreşimi göstermektedir. İşleme başladığı andan itibaren kesici takımdaki aşınma yapıları ve talaş

şekline bağlı olarak takım ve deney malzemesi temasında meydana gelen değişiklikler sonucunda titreşim meydana gelmektedir.

Şekil 8 incelendiğinde kesme hızı ve kesme derinliğine nazaran ilerleme oranı miktarının titreşim değerleri üzerinde nispeten daha etkili olduğu görülmektedir. Şekil 8a'da görüldüğü üzere ilerleme oranının azalması ile kesme kuvvetinde meydana gelen azalmanın bir sonucu olarak titreşim eğiliminin arttığı görülmektedir. Diğer yandan yaklaşma açısının artması ile titreşimin arttığı gözlenmektedir. 90° yaklaşma açısında yükün aniden kesme kenarına gelmesi rijitliği bozarak işlemin devamında tırlamaya ve buna mukabil deney malzemesi ve kesici takım tahribatına sebep olduğu düşünülmektedir.

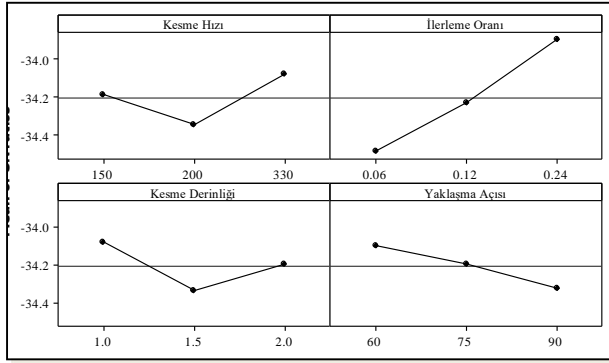
Kesme hızı ve yaklaşma açısının  $V_b$  üzerinde ortak etkisi incelendiğinde (Şekil 8b) yaklaşma açısının artışı ile titreşimin arttığı ve özellikle kesme hızının orta seviyelerinde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Kesme hızının değişimi ile titreşimin doğrusal bir değişime uğramadığı görülmektedir. Bunun, titreşimin arzu edilmeyen ve kararlı işlemeyi ortadan kaldıran, ayrıca sebebi tam olarak bilinmeyen yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kesme derinliğinin küçük seviyelerinde küçük yaklaşma açılarında radyal kesme kuvvetinin artmasına ve kuvvet bileşeninin yönünün değişmesine bağlı olarak ters yönde titreşim meydana gelmiştir (Şekil 8c). Bunun oluşmasında kesme derinliğinin azalmasının da ilave rolü olduğu söylenebilir. Titreşimin genel olarak farklı kesme derinliği değerlerinde ortaya çıktığı ve belirli bir aralıkta seçilmesi gerektiği grafikteki sarı-turuncu bölgede görülmektedir. Benzer şekilde büyük ve küçük yaklaşma açılarında titreşimin yükseldiği söylenebilir.



Şekil 8. Titreşim Değişimi a) İlerleme Oranı – Yaklaşma Açısı Etkisi ile b) Kesme Hızı – Yaklaşma Açısı Etkisi ile c) Kesme derinliği – Yaklaşma Açısı Etkisi ile (The Variation of Vibration a) Feed – Approaching Angle b) Cutting Speed - Approaching Angle c) Depth of Cut - Approaching Angle)

Şekil 9'da sinyal gürültü oranına göre  $V_b$  üzerinde etkili deney parametreleri gösterilmiştir. Şekil 8'deki grafikleri doğrular nitelikte olan bu sonuçlara göre kesme hızı ve kesme derinliğinin orta seviyeleri, küçük ilerleme oranı ve yüksek yaklaşma açıları titreşim artmaktadır. Diğer taraftan  $V_b$  üzerinde etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu görülmüştür. En küçük titreşim ile tornalama yapabilmek için seçilmesi gereken parametreler ise  $f_3$  (0.24 mm/dev),  $v_3$  (330 m/dk),  $d_1$  (1 mm),  $\kappa_1$  (60°) şeklinde olmalıdır.



**Şekil 9.** Sinyal-Gürültü Oranına Göre  $V_b$  Üzerinde Etkili Parametreler (Effective parameters on  $R_a$  according to Signal-to-noise Ratio)

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma AISI 5140 malzemenin kuru kesme şartlarında tornalama esnasında işlenebilirliğini incelemek için yapılmıştır. Bu maksatla Taguchi yaklaşımı kullanılarak 27 adet deney yapılmış olup, yaklaşma açısı, kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği parametreleri 3 kademeli olarak deneysel tasarıma dâhil edilmiştir. İşleme durdurulduğu esnada yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş, işleme süresince anlık olarak esas kesme kuvveti ve titreşim ölçümleri yapılmıştır. Farklı işleme koşullarının etkisini görmek için yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak grafikler üzerinde inceleme yapılmıştır. Bu açıdan ilk kez, AISI 5140 malzemenin işlenebilirliği üzerine kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre aşağıda sıralanan sonuçlar çıkarılmıştır:

□ Talaşlı imalat işlemlerinde imalat kalitesini doğrudan etkileyen yüzey pürüzlülüğü gibi kalite karakteristiklerinin araştırılması imalat sürecinin iyileştirilmesi bakımından önem arz etmektedir. Bununla birlikte kesici takım performansını ve işleme kalitesini etkileyen titreşim, kesme kuvvetini göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliğine ilave olarak hakkında az çalışmaya rastlanan yaklaşma açısının işlenebilirlik kriterleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

□  $L_{27}$  ortogonal dizisine göre Taguchi tasarım modeli ile deneyler yapılmış olup, yaklaşma açısının yüzey pürüzlülüğü, esas kesme kuvveti, titreşim üzerindeki etkisi kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği değişimine göre 3 boyutlu grafikler üzerinde araştırılmıştır. Parametrelerin kendi içerisindeki değişimine ek olarak birbirleri arasındaki etkileşim, tornalama işleminde anlık gelişmelere sebep olmakta ve işlemin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Grafiksel inceleme, uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ve parametrelerdeki değişimin kalite karakteristiğinde meydana getirdiği eğilimin tespit edilmesi adına önemlidir. Kesme parametrelerinin küçük değerlerinde işleme esnasında yaklaşma açısının titreşim üzerinde etkin hale geldiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim açısından  $60^\circ$ , esas kesme kuvveti içinse  $75^\circ$

yaklaşma açısı ile işlemede daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Yüksek yaklaşma açılarında takımın deney malzemesine aniden dalması ve işlemin sonunda aniden çıkması işlemin genel gidişatını etkilemekte ve kalite karakteristiklerini olumsuz etkilemektedir.

□ İncelenen kalite karakteristikleri  $R_a$ ,  $F_c$ ,  $V_b$  üzerinde sinyal gürültü oranına göre ilerleme oranının ilk sırada etkili olduğu gözlenmiştir. Küçük kesme hızlarında tornalamanın işlenebilirlik üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. İlerleme, kesme hızı ya da kesme derinliğinin belirli değerlerdeki etkileri incelenirken yaklaşma açısının önemli katkı sağladığı görülmüştür. Örneğin büyük kesme hızı veya kesme derinliğinde büyük yaklaşma açısının yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediği gözlenmiştir.

□ Sinyal gürültü oranlarının en küçük en iyidir prensibine göre hesaplanması sonucunda kalite karakteristikleri üzerinde etkili parametreler ve bunların en küçük değerlerini verecek sonuçlar bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve esas kesme kuvveti üzerinde etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu görülmüştür. En küçük  $F_c$ ,  $R_a$  ve  $V_b$  sonuçlarını verecek parametrelerin sırası ile  $f_1$  (0.06 mm/dev),  $\kappa_2$  ( $75^\circ$ ),  $d_1$  (1 mm),  $v_3$  (330 m/dk),  $f_2$  (0.12 mm/dev),  $v_3$  (330 m/dk),  $d_1$  (1 mm),  $\kappa_2$  ( $75^\circ$ ),  $f_3$  (0.24 mm/dev),  $v_3$  (330 m/dk),  $d_1$  (1 mm),  $\kappa_1$  ( $60^\circ$ ) şeklinde olması gerektiği görülmüştür.

□ Yaklaşma açısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde diğer parametrelerle kıyaslandığında daha az bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Buna karşın yaklaşma açısının talaş kesiti üzerinde etkili olması sebebiyle kesme kuvveti üzerinde daha büyük bir etkisinin olduğu gözlenmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın yazarları çalışmadaki destekleri sebebiyle Selçuk Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Koordinatörlüğü Birimine (Proje Numarası: 2014-ÖYP-080) teşekkür eder.

Bu çalışma, “Talaşlı İmalatta Sensör Füzyonuna Dayalı Takım Durumu İzleme” isimli doktora tezinden üretilmiştir.

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

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Mustafa KUNTOĞLU:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

**Abdullah ASLAN:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

**Hacı SAĞLAM:** Makalenin sonuçlarını analiz etmiştir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Grzesik, W., "Wear development on wiper Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC mixed ceramic tools in hard machining of high strength steel", *Wear*, 266:1021-1028 (2009).
- [2] Ebrahimi, A., Moshksar, M., "Study of machinability in boring operation of microalloyed and heat-treated alloy steels", *Materials Science and Engineering: A*, 460, 314-323 (2007).
- [3] Ebrahimi, A., Moshksar, M., "Evaluation of machinability in turning of microalloyed and quenched-tempered steels: Tool wear, statistical analysis, chip morphology", *Journal of Materials Processing Technology*, 209(2):910-921 (2009).
- [4] Li, H.Y., He, H.B., Han, W.Q. Yang, J., Gu, T., Li, Y.M., Lyu, S.K., "A study on cutting and tribology performances of TiN and TiAlN coated tools", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16(4):781-786 (2015).
- [5] Zhang, Y., Cheng, Y., Hu, H., Yin, Z., "Experimental study on cutting performance of microwave sintered Ti (C, N)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cermet tool in the dry machining of hardened steel", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(9-12):3933-3941 (2017).
- [6] Huang, X., Ren, Y., Li, T., Zhou, Z., Zhang, G., "Influence of minimum quantity lubrication parameters on grind-hardening process", *Materials and Manufacturing Processes*, 33(1):69-76 (2018).
- [7] Köklü, U. "Grinding with helically grooved wheels. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers", *Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 228(1):33-42 (2014).
- [8] Grzesik, W., Wanat, T., "Comparative assessment of surface roughness produced by hard machining with mixed ceramic tools including 2D and 3D analysis", *Journal of Materials Processing Technology*, 169(3):364-371 (2005).
- [9] Kahraman, F., "Optimization of cutting parameters for surface roughness in turning of studs manufactured from AISI 5140 steel using the Taguchi method", *Materials Testing*, 59(1):77-80 (2017).
- [10] Aslan, A., "Optimization and Analysis of Process Parameters for Flank Wear, Cutting Forces and Vibration in Turning of AISI 5140: A Comprehensive Study", *Measurement*, 165:107959 (2020).
- [11] Sağlam, H., Ünsaçar, F., Yıldız, S., "Investigation of the effect of rake angle and approaching angle on main cutting force and tool tip temperature", *Machine Tools and Manufacture*, 16:132-141 (2006).
- [12] Neşeli, S., Yıldız, S., "The Effects of Approach Angle and Rake Angle Due to Chatter Vibrations on Surface Roughness in Turning," *Journal of Polytechnic*, 10(4):383-389 (2007).
- [13] Kuntoğlu, M., Sağlam, H., "Investigation of progressive tool wear for determining of optimized machining parameters in turning", *Measurement*, 140: 427-436 (2019).
- [14] Sağlam, H., Yıldız, S., Ünsaçar, F., "The effect of tool geometry and cutting speed on main cutting force and tool tip temperature", *Materials and Design*, 28:101-111 (2007).
- [15] Salur, E., Aslan, A., Kuntoğlu, M., Güneş, A., Şahin, Ö. S., "Experimental study and analysis of machinability characteristics of metal matrix composites during drilling," *Composites Part B*, 166:401-413 (2019).
- [16] Mohanraj, T., Shankar, S., Rajasekar, R., Sakhtivel, N., and Pramanik, A., "Tool condition monitoring techniques in milling process-a review," *Journal of Materials Research and Technology*, 9:1032-1042 (2019).
- [17] Mia, M., Dey, P. R., Hossain, M. S., Arafat, M. T., Asaduzzaman, M., Ullah, M. S., Zobaer, S. M. T., "Taguchi S/N based optimization of machining parameters for surface roughness, tool wear and material removal rate in hard turning under MQL cutting condition," *Measurement*, 122:380-391 (2019).
- [18] Yan, W., Wong, Y., Lee, K., Ning, T., "An investigation of indices based on milling force for tool wear in milling", *Journal of Materials Processing Technology*, 89:245-253 (1999).
- [19] Hao, G., Liu, Z., "The heat partition into cutting tool at tool-chip contact interface during cutting process: a review" *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108:393-411 (2020).
- [20] Kuntoğlu, M., Aslan, A., Sağlam, H., Pimenov, D. Y., Giasin, K., Mikolajczyk, T., "Optimization and Analysis of Surface Roughness, Flank Wear and 5 Different Sensorial Data via Tool Condition Monitoring System in Turning of AISI 5140", *Sensors* 20:4377, (2020).
- [21] Kuntoğlu, M., Aslan, A., Pimenov, D. Y., Giasin, K., Mikolajczyk, T., Sharma, S., "Modeling of Cutting Parameters and Tool Geometry for Multi-Criteria Optimization of Surface Roughness and Vibration via Response Surface Methodology in Turning of AISI 5140 Steel", *Materials*, 13:4242, (2020).
- [22] Kuntoğlu, M., Sağlam, H., "Investigation of signal behaviors for sensor fusion with tool condition monitoring system in turning", 108582, *Measurement*, (2020).
- [23] Bensouilah, H., Aouici, H., Meddour, I., Yallese, M. A., Mabrouki, T., Girardin, F., "Performance of coated and uncoated mixed ceramic tools in hard turning process," *Measurement* 82:1-18 (2016).
- [24] Manivel, D., Gandhinathan, R., "Optimization of surface roughness and tool wear in hard turning of austempered ductile iron (grade 3) using Taguchi method," *Measurement* 93:108-116 (2016).
- [25] Asilturk, İ., Akkus, H., "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the taguchi method", *Measurement*, 44:1697-1704 (2011).
- [26] Sandvik Coromant A Practical Handbook, Modern Metal Cutting, Sweden: 1994.
- [27] Şahinoğlu, A., Güllü, A., Dönertaş, M. A., "GGG50 Malzemenin Torna Tezgâhında İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Titreşim, Ses Şiddeti ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisinin Araştırılması", *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1):67-79 (2017).

- [28] Shaw, M. C., “Metal Cutting Principles”, *Oxford University Press*, London, 1984.
- [29] Pawade, R. S., Joshi, S. S., Brahmanekar, P. K., Rahman, M., “An investigation of cutting forces and surface damage in high speed turning of Inconel 718,”, *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193:139-146 (2007).
- [30] Prasad, B. S., Babu, M. P., “Correlation between vibration amplitude and tool wear in turning: Numerical and experimental analysis, ”*Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20:197-211 (2017).
- [31] Kayhan, M., Budak, E., “An experimental investigation of chatter effects on tool life”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223:1455-1463 (2009).
- [32] Kataoka, R., Shamoto, E., “Influence of vibration in cutting on tool flank wear: fundamental study by conducting a cutting experiment with forced vibration in the depth-of-cut direction”, *Precision Engineering*, 55:322-329 (2019).