



Tornalama Parametrelerinin Kesme Sıcaklığı ve Krater Aşınması Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması

Abdullah ASLAN^{1*}

¹ Selçuk Üniversitesi, Akşehir Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
Abdullah ASLAN ORCID No: 0000-0001-8348-3471

*Sorumlu yazar: aaslan@selcuk.edu.tr

(Alınış: 23.11.2020 Kabul: 23.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
Krater
Aşınması,
Kesici Takım
Sıcaklığı,
Optimizasyon,

Öz: Kesici takımlar işleme esnasında kaçınılmaz olarak deforme olurken, meydana gelen aşınmayı takip etmek takımın işleme performansını tayin etmek açısından son derece önemlidir. Takım yüzeylerinde aşınmanın düzenli bir yapıda yayılmaması, aşınmanın yeri ve miktarının belirlenmesini gerektirmektedir. Krater aşınması aşındırıcı, yapışma ve difüzyon aşınması mekanizmalarının etkisi ile kesici takımın talaş yüzeyinde meydana gelen, fazla ilerlemesi durumunda takım kaybına yol açabilen bir takım aşınması tipidir. Bu çalışma, AISI 5140 malzemenin tornalanması esnasında kesici takımda meydana gelen krater aşınmasının takım talaş yüzeyi sıcaklığı ile ilişkisinin incelenmesi amacı ile yapılmış olup, bu alanda bir ilk niteliğindedir. Çalışma kapsamında kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yaklaşma açısı parametreleri kullanılmış olup deneyler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Krater aşınması tornalama işlemi durdurulduğunda kesici takım üzerinden ölçülmüş, takım sıcaklığı ise sıcaklık sensörü yardımı ile anlık olarak izlenmiştir. İstatistiksel ve grafiksel sonuçlar, kesme hızının krater aşınması (71.3%) ve takım sıcaklığı (78.5%) üzerinde en etkili parametre olduğunu ortaya koymuştur. Tornalamada kesme hızının talaş yüzeyinde kesici takım ve iş parçası sürtünme koşulları üzerinde etkili olması ve bu bölgede meydana gelen aşındırıcı ve difüzyon aşınma mekanizmalarını tayin etmesi sebebiyle krater aşınması ve takım sıcaklığı arasında kuvvetli bir ilişki olduğu düşünülmektedir.

109

Experimental Investigation of The Effects of Turning Parameters on Cutting Temperature and Crater Wear

Keywords
Crater Wear,
Cutting Tool
Temperature,
Optimization,

Abstract: While cutting tools deformed during machining inevitably, it is highly important to monitor the developing wear in terms of determining the cutting performance of cutting tool. Due to non-uniform wear distribution on the cutting tool, determination of location and extent of the wear is required. Crater wear occurred on the rake face of the cutting tool with the effect of abrasive, adhesive and diffusion mechanisms, a tool wear type leads to tool failure in case of excessive progress. The study carried out to investigate the relationship between tool rake face temperature and crater wear during turning of AISI 5140, being as the first in the field. In the context of the study, cutting speed, feed rate, depth of cut and cutting edge angle parameters were used, experiments were carried out under dry cutting conditions. Crater wear was measured from cutting tool when the turning operation stopped however tool temperature was monitored as online with the assistance of temperature sensor. Statistical and graphical results demonstrated that cutting speed is the most effective parameter on crater wear (71.3%) and tool temperature (78.5%). Since the cutting speed have impact on the friction conditions along the rake face of cutting tool and being influential factor on abrasive and diffusion wear mechanisms, it is concurred that a strong relationship between tool temperature and crater wear exist.

1. GİRİŞ

Endüstriyel faaliyetlerin temelini imalat sektörü, imalat sürecinin merkezini de talaşlı imalat operasyonları

oluşturmaktadır [1-6]. Arzu edilen geometride ve yüzey kalitesinde iş parçası elde etmek amacı ile kullanılan talaşlı imalat süreçleri, birçok değişkene karşı duyarlı olması sebebiyle, talaşlı işleme sırasında meydana gelen

ani değişimleri kontrol etmek ve müdahale edebilmek için, kullanılan takım tezgahlarının ve/veya iş parçasının anlık olarak izlenmesi veya kontrol edilmesi gerekmektedir [7-12]. Takım aşınmasına bağlı olarak oluşabilecek kesici takım kaybı, takım tutucuda oluşabilecek hasarlar, iş parçasının yüzey kalitesinin düşmesine, tezgâhın çalışma süresinin kısılmasına ve tüm bunlara bağlı olarak sonuçta doğrudan ve dolaylı olarak zaman kaybı ve maddi kayıplara sebep olabilmektedir [13, 14]. O nedenle takım aşınmasının anlık takibi ve kontrolü, buna ek olarak takım durumu ile ilgili en önemli göstergelerden biri olan “krater aşınması” ile kesici takım sıcaklığı arasındaki ilişkiyi belirlenerek optimize edilmesi oldukça önemlidir.

Talaşlı imalatta krater aşınması, kesici takımın talaş kaldıran yüzeyinde, iş parçasından kopan sert talaşların takım üzerinde oluşturduğu krater şeklindeki aşınma türü olarak tanımlanmaktadır [13]. Krater aşınması, oluşum mekanizması itibarı ile aşındırıcı, yapışma ve difüzyon aşınmalarının bir veya birkaçının etkisi ile oluşabilir. Krater aşınması soğutma sıvısı, kesme hızı, ilerleme hızı, takım geometrisi gibi birçok işleme parametresinden etkilenmektedir. Literatür incelemesinde, krater aşınması ile çeşitli sensörlerden toplanan veriler arasında ilişki kuran çalışmalar bulunmaktadır. Ghasemipoor ve ark. [15] tarafından yapılan çalışmada takım yüzeyi anlık olarak kontrol edilerek takım üzerinde oluşan krater aşınmaları tespit edilmiştir. Scheffer ve ark. [16] tarafından yapılan çalışmada ise yüzey pürüzlülüğü ölçümü, akustik emisyon, sıcaklık ve işleme esnasında oluşan kuvvetlerin ölçülmesi gibi unsurlar ile krater aşınmasının oluşumu arasında ilişki kurulabileceği belirtilmiştir. Bir diğer çalışmada da, akustik emisyon sinyalleri ile krater aşınması arasında ilişki kurulabileceği ve akustik emisyon piklerinin genliklerinin arttığı zamanlar takım aşınmasının arttığı rapor edilmiştir [17].

Krater aşınmasının, kesme parametrelerine göre optimizasyonu oldukça önem arz eder. Singh [18] tarafından yapılan çalışmada, tornalamadaki kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin krater aşınmasına etkileri rapor edilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde kesme hızının krater aşınmasını kontrol eden en önemli parametre olduğu talaş derinliği ile ilerlemenin de kesme hızını takip ettiği bildirilmiştir. Gupta ve ark. [19] tarafından yapılan çalışmada, kesme parametrelerinin krater aşınmasının gelişimi üzerine incelenmiş ve Taguchi optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan optimizasyon neticesinde kesme hızı artışının krater aşınması oluşumunu artırdığı rapor edilmiştir. Mozammel ve ark. [20] tarafından yapılan çalışmada Taguchi S/N tabanlı bir optimizasyon metodu kullanılarak aşınma üzerine etkili kesme parametresi belirlenmiştir. Yapılan çalışmada kesme derinliğinin kesme ve ilerleme hızına kıyasla takım aşınması üzerinde daha etkili bir rol oynadığı bildirilmiştir. Ayrıca kesme parametrelerinin iş parçasından çıkan talaşları da etkilemesi sebebiyle, talaşların kesme yüzeylerine yapışarak ve/veya yığılarak aşınmaya sebep olduğu belirtilmiştir. Kaladari ve ark. [21] tarafından yapılan çalışmada tam faktöriyel tasarım kullanarak kesme

parametrelerinin takım aşınması ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştıran deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde açıklanan sonuçlar, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin, ilerleyen yan yüzey aşınmasında etkili işleme parametreleri olduğunu göstermiştir. Yüzey cevap metodu optimizasyon yönteminin kullanıldığı bir diğer çalışmada, ilerleme ve kesme hızının aşınma üzerindeki etkilerinin birbirine yakın olduğu bildirilmiştir [22]. Ravindra ve ark. tarafından yapılan çalışmada krater aşınması ile kesme parametreleri arasında çoklu regresyon analizi yöntemiyle matematiksel bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin yüksek kesme hızları ve talaş derinliği parametrelerinde aşınma gelişimini daha doğru tahmin edebildiği bildirilmiştir [23]. Huang ve Dawson [24] tarafından yapılan çalışmada, bir matematiksel model geliştirilerek krater aşınmasının tahmin edilebileceği bildirilerek, tahmin edilen aşınma değerleri deneysel olarak doğrulanmıştır. Literatür incelendiğinde [20-24] krater aşınması ile ilgili az sayıda çalışma olduğu, bu çalışmalarda optimizasyon, analiz ve grafiksel inceleme gibi kapsamlı bir değerlendirme olmadığı ve çalışmalardan hiçbirinin takım sıcaklığı ile ilişkisinin incelenmediği görülmüştür.

Tornalamada malzeme üzerinden talaş kaldırmak için tezgâha aktarılan enerjinin bir kısmı yüksek kesme hızları ve basınca bağlı olarak ortaya çıkan ısı enerjisine ve takım ile iş parçası temas noktalarında yüksek sıcaklıklara dönüşür. Sıcaklığın yükselmesi deformasyonu kolaylaştırır da malzeme özelliklerini etkilemekte ve difüzyonu hızlandırmaktadır [25, 26]. Sıcaklığın esas tetikleyicisi sürtünme kuvveti olsa da kayma mukavemeti ve plastik deformasyon da kesme sıcaklıkları üzerinde pay sahibidir. Kesme esnasında ortaya çıkan ısının büyük çoğunluğu talaş ile uzaklaştırılmaktadır [27]. Fakat az da olsa bir miktar ısının kesici takım ve iş parçasına doğru yayılması, malzeme özelliklerini değiştirmekte, kesici takımın kesme kenarında çeşitli aşınma mekanizmalarının ve aşınma tiplerinin ilerlemesine yol açmaktadır. Bu nedenle takım aşınmaları ile kesme sıcaklıkları arasındaki ilişkinin araştırılması, ilerleyen aşamalarda takım sıcaklığının anlık olarak izlenmesi sayesinde işlemin durdurulmasına gerek duyulmadan aşınma gelişiminin tespit edilmesini sağlar. Kesici takım sıcaklığı geçmişte çeşitli çalışmalarda [13, 25-27] incelenmiştir. Kuntoğlu [26] tarafından yapılan çalışmada, kesme hızı ile takım ucu sıcaklığının değişimi incelenmiştir. Kesme hızının artışı ile beraber takım ucu sıcaklığının ve aşınmasının arttığı bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada da kesme hızının artışının sıcaklık artışında önemli bir parametre olduğu bildirilmiştir. Ayrıca aşınma optimizasyonu yapılmasında sıcaklık sensörünün en güvenilir sensörlerden birisi olduğu rapor edilmiştir [25]. Geçmişteki çalışmalarda takım ucu sıcaklığı ölçümü çeşitli iş parçası malzemeleri için gerçekleştirilmiştir. Fakat AISI 5140 malzemenin tornalanmasında takım sıcaklığının krater aşınması ile birlikte ele alındığı bir çalışma olmadığı görülmüştür.

Geçmişte, çeşitli nümerik yaklaşımlar geliştirilerek kesme sıcaklıkları ve krater aşınması tahmini için

modeller geliştirilmiştir. Ning ve Liang, AISI 1045 işlemede kesme sıcaklığını çeşitli yaklaşımlarla tahmin ederek kıyaslamalı bir çalışma yapmıştır [28]. Kara ve ark. paslanmaz çeliğin tormalanmasında kesme sıcaklığı tahmini için Johnson-Cook modelini kullanmıştır [29]. Bir diğer çalışmada, [30] kesme sıcaklığının analitik olarak hesaplanması ve tahmininde kullanılabilir bir yaklaşım sunulmuştur. List ve ark. [31] yüksek hızlı işlemede talaş oluşumuna bağlı olarak krater aşınmasının değişimi ve gelişimini modellemiş, bunun yanı sıra kesme sıcaklığı tahmini yapmıştır. Mishra ve ark. [32] titanyum alaşımının tormalanmasında zamana bağlı olarak ilerleyen üç boyutlu krater aşınmasının tahmini üzerinde çalışmışlardır. Huang ve Liang, sert tormalamada CBN kesici takımında krater aşınması gelişimini tahmin etmek için bir model geliştirmiştir [33].

AISI 5140 çeliği, talaşlı imalat öncesinde ve sonrasında farklı tipteki ısıl işlem uygulamalarına elverişli ve bu işlemler neticesinde arzu edilen mekanik özelliklere sahip bir çelik türüdür. Özellikle otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan bu orta karbonlu çelik ile çeşitli otomotiv parçalarının üretimi yapılmaktadır. AISI 5140 içerisine eklenen yüksek orandaki krom içeriği, malzemenin sertliğini doğrudan etkileyen sert yapıli karbürler üretilmesine ve bu duruma bağlı olarak da çeliğin işlenmesinin ilginç ve zor hale gelmesine neden olur. Literatür incelemesinde, AISI 5140 çeliği için daha iyi işlenebilirlik koşulları elde etmek adına takım aşınmasının incelendiği çalışmalara rastlanmaktadır. Geçmişte bu malzemenin tormalanması esnasında serbest yüzey aşınması takibi ve ölçümü yapılmış olsa da krater aşınması ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada AISI 5140 malzemenin tormalanması sürecinde kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yaklaşma açısının krater aşınması ve takım sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Parametre optimizasyonu sinyal gürültü oranı yaklaşımı ve yüzey cevap metodu ile yapılmış, kesme parametrelerinin krater aşınması ve takım sıcaklığı üzerindeki katkı miktarı ve etkisi varyans analizi yardımı ile ve grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Kesici takımdan mikroskop görüntüleri SEM (Scanning Electron Microscope) mikroskobu ile alınmış, takım sıcaklığı anlık olarak sıcaklık sensörü ile kaydedilmiştir. Krater aşınması ve takım sıcaklığı optimizasyonu ve analizinden hariç, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu iki işleme değişkeninin birbiri ile olan ilişkisi değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, iş parçası olarak orta karbonlu bir çelik olan AISI 5140 malzeme (Ø80 x 400 mm) kullanılmıştır. Endüstriyel ürünlerde sıklıkla tercih edilen bu malzeme, kullanım alanına bağlı olarak farklı sertlik değerlerine sahip olacak şekilde ısıl işleme tabi tutulabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan malzemenin sertlik değeri ise 32 ± 4 HRC'dir. Kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1 de gösterilmektedir. Her bir deney için yeni bir iş parçası kullanılmış ve her bir iş

parçasından üç kez talaş kaldırılmıştır. Talaş kaldırmakta kullanılan kesici uç (BOEHLERIT TCMT 16T304-P25) ta her bir deneyde için bir kez kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan torna tezgâhı (De Lorenzo S547-8899) universal torna tezgâhidir ve talaş kaldırma işlemi kuru kesme koşulları altında yapılmıştır. Deney tasarımı tam faktöriyel tasarım prensibi dikkate alınarak, kesici kenar açısı ($^{\circ}$), kesme hızı (m / dak), ilerleme hızı (mm / devir) ve kesme derinliği (mm) iki seviye olarak seçilmiştir. Her bir parametrenin sembolleri ve birimleri ve farklı seviyeler Tablo 2'de gösterilmektedir. Seçilen parametreler için kesici takım üreticisinin tavsiyeleri göz önünde bulundurulmuş, ayrıca tezgâhın işleme aralıkları dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, ön denemeler yapılarak işlemi kontrol edilemeyen uzun talaş oluşumuna ya da tırlamaya götüren işleme parametreleri tespit edilmiştir. Bahsedilen gelişmeler kesici takımında çok yüksek kesme kuvvetlerine ve takım kırılmasına sebebiyet vereceği için bu koşullardan kaçınılmıştır.

Tablo 1 AISI 5140 Malzemenin kimyasal kompozisyonu

C	Cr	Si	Mn	P _{max}	S _{max}
0.38 - 0.45	0.12-0.9	0.15-0.4	0.6-0.9	0.03	0.035

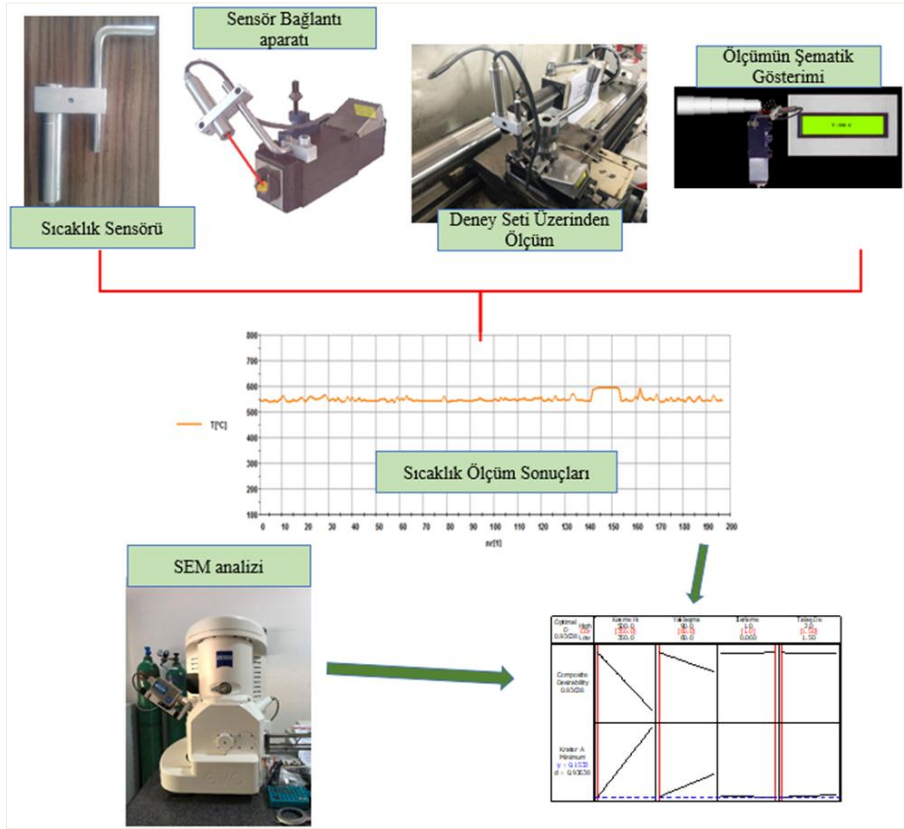
Tablo 2 Kesme parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Parametreler	Seviye 1	Seviye 2
κ	Yaklaşma Açısı ($^{\circ}$)	60	90
v	Kesme Hızı (m/dak)	350	500
f	İlerleme (mm/dev)	0.06	0.1
d	Talaş Derinliği (mm)	1.5	2

Krater aşınması, Selçuk Üniversitesi ileri teknoloji biriminde bulunan ZEISS EVO LS 10 markalı SEM mikroskobunda ölçülmüştür. Krater aşınması kesici takımın talaş yüzeyinden alınmıştır. Aşınmanın takım ucunun gerisinde krater şeklinde bir yapıda meydana gelmesi sebebiyle belirli bir alana yayıldığı görülmektedir. Burada aşınmanın derinliği ölçülerek kaydedilmiştir. Şekilde farklı kesici uçlarda meydana gelen krater aşınması görüntüleri gösterilmiştir. 16. deneyde son pasoda takım kırılması meydana gelmiş, bu deneye ait krater aşınması değeri bir önceki pasoda ölçülen değer olarak alınmıştır.

Kesici takım sıcaklığı sıcaklık sensörü (TelC) ile ölçülmüştür. Sensör aynı adlı firmanın takım tutucusuna monte edilebilmekte, radyasyon yöntemi ile kesici takım ucundaki sıcaklığı ölçebilmektedir. Üretici önerisi doğrultusunda sensör takım ucundan 100 mm uzaklığa göre ayarlanmıştır. Sensör 300-800 $^{\circ}$ C aralığında ölçüm yapabilmekte ve bu anlamda gerçekleştirilen deneylerde meydana gelen sıcaklık değerlerini güvenilir şekilde ölçebilmektedir. Sensör saniyede 10 ölçüm yapabilmekte, tepki süresi üretici tarafından çok hızlı olarak ifade edilmektedir. Sensör hassasiyeti ile ilgili üretici kataloğunda herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır. Sıcaklık sensörü, üreticisine ait yazılım (DKM 2000) sayesinde herhangi bir veri toplama kartına ihtiyaç duymadan doğrudan bilgisayara veri aktarımı yapabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan deney şeması şekil 1'de gösterilmektedir. Sıcaklık sinyallerinin deneyler esnasında toplanmasına ait yazılım görüntüsü şekil 1'de (sıcaklık ölçüm sonuçları) gösterilmektedir. Sol eksen takımı sıcaklık değerini $^{\circ}$ C olarak

göstermekte, yatay eksen ise zamanı saniye cinsinden göstermektedir.



Şekil 1. Deney şeması

3. BULGULAR

Standart bir tornalama operasyonunun ihtiva ettiği çok sayıda kesme parametresi ve değişken, bilhassa takımında meydana gelen aşınmaya bağlı olarak bu işlemlerin karmaşık bir hale gelmesine neden olmaktadır. Yüksek kesme sıcaklıkları ve karbür yoğunluğuna bağlı iş malzemesindeki homojenlik eksikliği lineer olmayan bir yapının oluşmasına sebep olur. İmalat sürecinin başında tayin edilen takım ve iş parçası temas şartları ilerleyen takım aşınmasının da etkisi ile değişmeye başlar. Ve bu durum istenmeyen titreşimlere, kesme kuvvetlerinin yükselmesine ve ileri aşamalarda takımın arzu edilen seviyenin üzerinde aşınmasına neden olur. Her deneysel çalışmada tercih edilen takım ve iş parçası çiftine, takım tezgâhının özelliklerine göre işleme esnasında beklenmedik gelişmeler meydana gelebilir. Burada en kritik nokta işlemi izlerken oluşabilecek kayıpları da mümkün mertebe en aza indirmektir. Takım aşınmasının izlenmesi için işlemin belirli aralıklarla durdurularak kesici takım üzerinden aşınma gelişiminin ölçülmesi gerekmektedir. Bu durum doğal olarak işlemin kesintiyeye uğramasına neden olur. Kesme sıcaklıklarının takımındaki aşınma miktarı ile ilişkili olduğu düşüncesinden hareketle takım talaş yüzeyinde meydana gelen krater aşınmasına ilave olarak bu yüzeydeki kesme sıcaklıkları ölçülmüştür. Tablo 3'te farklı kesme şartlarında yapılan deneyler ve krater aşınması ile sıcaklık değerleri verilmiştir. Burada elde edilen değerler krater aşınması

için maksimum değeri gösterirken, sıcaklık için ise deney süresince toplanan verinin ortalaması alınarak verilmiştir.

Tablo 3. Deney Parametreleri ile Krater Aşınması ve Sıcaklık Ölçümü Sonuçları

Dene y No	Yaklaş ma Açısı (°)	Kesm e Hızı (m/da k)	İlerlem e (mm/d ev)	Talaş Derinli ği (mm)	Krater Aşınm ası (mm)	Sıcaklık (°C)
1	60	350	0.06	1.5	0.16	505.78
2	60	350	0.06	2	0.145	502.54
3	60	350	0.1	1.5	0.125	503.31
4	60	350	0.1	2	0.205	509.77
5	60	500	0.06	1.5	0.247	521.79
6	60	500	0.06	2	0.294	526.81
7	60	500	0.1	1.5	0.296	526.82
8	60	500	0.1	2	0.277	532
9	90	350	0.06	1.5	0.51	533.23
10	90	350	0.06	2	0.46	543.55
11	90	350	0.1	1.5	0.52	550.75
12	90	350	0.1	2	0.491	568.67
13	90	500	0.06	1.5	0.451	568.44
14	90	500	0.06	2	0.51	556
15	90	500	0.1	1.5	0.55	588.1
16	90	500	0.1	2	0.57	571.8

3.1. Varyans Analizi

Bu deneysel çalışmada farklı işleme şartları kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yaklaşma açısının iki seviyesi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu parametrelerin krater aşınması ve takım sıcaklığı üzerindeki etki seviyelerini görmek için varyans analizi yöntemi kullanılmıştır. Minitab 16 yazılımı kullanılarak her bir girdi parametresinin cevap parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tablo 4 ve 5'te sıralandığı üzere krater aşınması (89.2%) ve sıcaklık (93.8%) yüksek güvenilirlikli sonuçlar olarak bulunmuştur. Yüzde katkı değerleri incelendiğinde kesme hızının krater aşınması (71.3%) ve takım sıcaklığı (78.5%) üzerinde en etkili

parametre olduğu, yaklaşma açısının ise onu takip ettiği görülmüştür. F değerleri üzerinden incelendiğinde ise yine bu iki parametrenin etkili olduğu fakat ilerleme ve talaş derinliğinin oldukça az etkisi olduğu görülmektedir. 95% güven aralığında yapılan bu analizin F değeri sonucuna göre kesme hızı ve yaklaşma açısının krater aşınması ($0.000 < 0.05$) ve sıcaklık ($0.000, 0.009 < 0.05$) üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Analiz sonucunun yüksek güvenilirlikli olması her iki cevap parametresinin ilişkilendirilmek için uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 4 Krater Aşınması için varyans analizi

Parametreler	DF	Seg SS	Adj SS	Adj MS	F	P	PC %
Kesme Hızı	1	2.00718	2.00718	2.00718	127.12	0.000	71.3
Yaklaş. Aç.	1	0.49608	0.49608	0.49608	31.42	0.000	17.63
İlerleme Hızı	1	0.13355	0.13355	0.13355	8.46	0.014	4.74
Talaş der.	1	0.00335	0.00335	0.00335	0.21	0.654	0.11
Hata	11	0.17368	0.17368	0.1579			0.16
Toplam	15	2.81383					

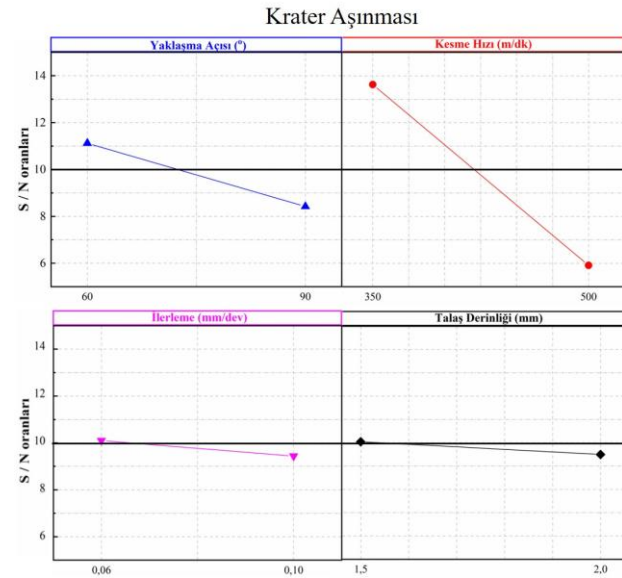
Tablo 5 Sıcaklık için varyans analizi

Parametreler	DF	Seg SS	Adj SS	Adj MS	F	P	PC %
Kesme Hızı	1	238.151	238.151	238.151	80.23	0.000	78.59
Yaklaş. Aç.	1	29.227	29.227	29.227	9.85	0.009	9.64
İlerleme Hızı	1	1.784	1.784	1.784	0.60	0.455	0.588
Talaş der.	1	1.189	1.189	1.189	0.40	0.540	0.392
Hata	11	32.651	32.651	2.968			10.777
Toplam	15	303.002					

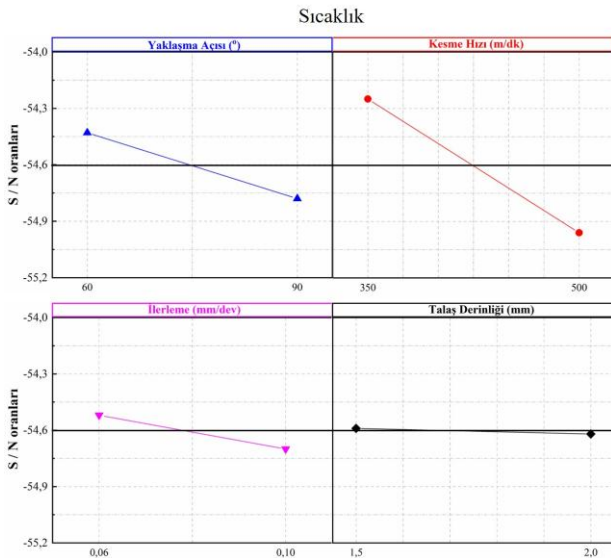
3.2. Optimizasyon

Sinyal gürültü oranı çeşitli optimizasyon işlemleri için farklı amaç fonksiyonları kullanarak incelenen parametreye dair minimize ve maksimize yaklaşımı ortaya koymaktadır. Amaç fonksiyonu bir cevap parametresinin arzu edilen değerden sapmasını hesaplamak için kullanılır. Bu çalışmada ele alınan cevap parametreleri krater aşınması ve sıcaklık, işleme esnasında mümkün mertebe küçük seyretmesi istenen sonuçlardır. Burada kullanılan yaklaşım en küçük en iyidir prensibi olmuştur. Buna göre şekil 2 ve şekil 3'de krater aşınması ve sıcaklık için parametrelerin iki seviyeli sıralaması verilmiştir. Seviyeler arasındaki fark büyüdükçe cevap parametresindeki değişim miktarı artmakta, bu da söz konusu girdi parametresinin etkisini göstermektedir. Diğer bir nokta ise etkili parametre seviyesinin yüksek değere sahip olan parametre olmasıdır. Buna göre aşağıdaki tablolar incelendiğinde sırası ile kesme hızı, yaklaşma açısı, ilerleme ve talaş derinliğinin hem krater aşınması hem de sıcaklık üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu sonuçların varyans analizi sonuçları ile uyumlu olması buradaki tasarım ve analizin sağlam (robust) olduğunu ortaya koymaktadır. Parametrelerin seviyeleri incelendiğinde ise hem krater aşınması hem de sıcaklığı minimum yapmak için tüm girdi parametrelerinin birinci seviyesi seçilmelidir. Bu sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında etkisi daha düşük olan ilerleme ve talaş derinliği üzerinden tayin edilen sonuçlarda belirli bir hata oranında farklılık olduğu görülmektedir.

Sıcaklık için hata oranı oldukça küçük olsa da ($< 1\%$), krater aşınması için daha yüksek bir hata oranı (21%) elde edilmiştir. Optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması için ikinci bir yaklaşım olarak yüzey cevap metodu kullanılmıştır.



Şekil 2. Krater aşınması için parametrelerin ikili kıyas grafiği



Şekil 3. Sıcaklık için parametrelerin ikili kıyas grafiği

Yüzey cevap metodu istatistiksel ve matematiksel bir optimizasyon yaklaşımıdır. Yöntemin amacı bir yüzey topografisi oluşturarak minimum ve maksimum bölgeleri tayin etmektir. Burada sinyal gürültü oranına dayalı optimizasyon yaklaşımında olduğu gibi parametre minimizasyonu amaçlanmıştır. Yüzey cevap metodunun sağladığı önemli bir avantaj yalnızca tanımlanan girdi parametreleri üzerinden optimum değer bulmak yerine ara değerlerde de sonuç verebilmesidir. Minitab 16 yazılımı kullanılarak modellenen yüzey cevap metodu ile parametre tasarımı yapılmış, elde edilen optimum sonuç ile hedeflenen parametre değeri karşılaştırılarak arzu edilirlilik oranı bulunmuştur. Tablo 6'da krater aşınması sıcaklık için tasarım parametreleri verilmiştir. Burada deneysel sonuçlar içerisindeki minimum değer hedef değer olarak tanımlanmıştır. Tablo 7'de yüzey cevap metodu ile elde edilen sonuçlara göre sıcaklık ve krater aşınması sırası ile 100% ve 93.6% oranında arzu edilirlilik katsayısı ile optimize edilmiştir.

Tablo 6. Yüzey cevap metodu parametre tasarımı

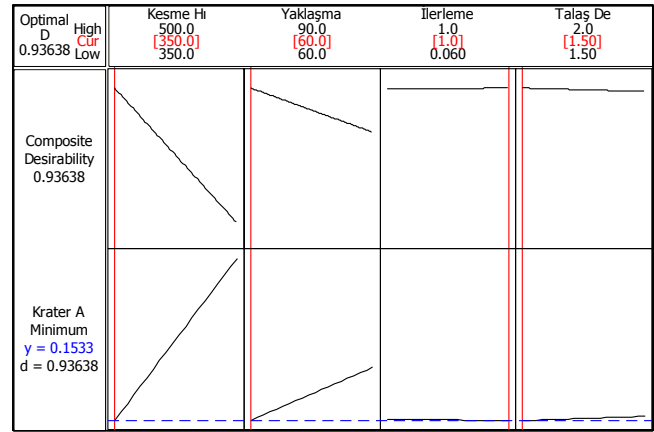
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Krat. Aş.	Min.	0.125	0.125	0.57	1	1
Sıcaklık	Min.	502.54	502.54	588.1	1	1

Tablo 7. Yüzey cevap metodu ile Tahmin edilen sonuçlar ve arzu edilirlilik katsayıları

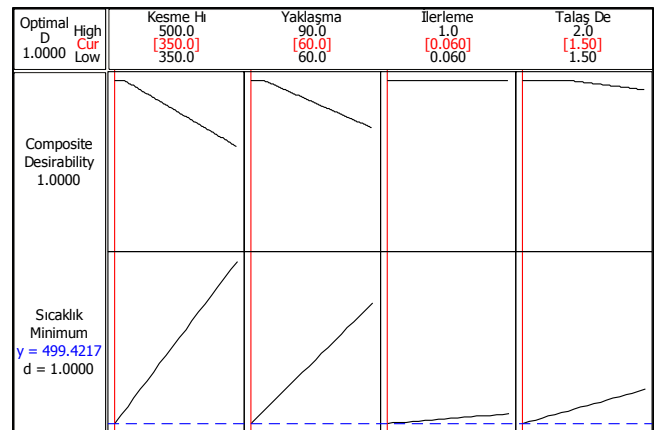
Parameter	Value	Desirability
Sıcaklık	499.422 °C	1.000000
Krater Aşınması	0.153 mm	0.936376

Şekil 4 üzerinde optimum parametreler gösterilmiştir. Burada kesme hızı, yaklaşma açısı ve talaş derinliği için birinci seviye değerleri, ilerleme için ise ikinci seviye değeri optimum sonuç olarak bulunmuştur. Sinyal gürültü oranı sonuçlarından farklı olarak burada ilerlemenin ikinci seviyesi seçilmiştir. Bu değer deneysel sonuç tablosundaki en küçük krater aşınması değerini işaret etmektedir. Buradan parametre optimizasyonunda yüzey cevap metodunun sinyal gürültü oranına kıyasla daha doğru bir tahmin yaptığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Şekil 5'te ise sıcaklık için optimum parametreler gösterilmiştir. Bu sonuçların sinyal gürültü oranı optimizasyonu ile aynı olması sebebiyle sıcaklık optimizasyonunun her iki yöntemle güvenilir şekilde yapılabildiği görülmektedir. Bu durum, kesici takım ucu sıcaklığının güvenilir şekilde modellenilebileceğini ve takım aşınması takibinde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 4. Krater aşınması için yüzey cevap metoduna göre optimum sonuçlar

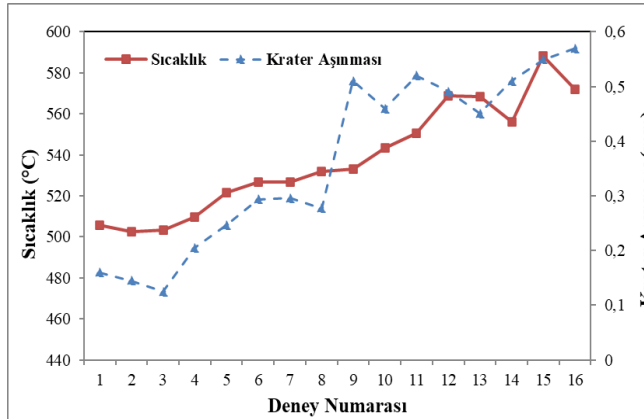


Şekil 5. Sıcaklık için yüzey cevap metoduna göre optimum sonuçlar

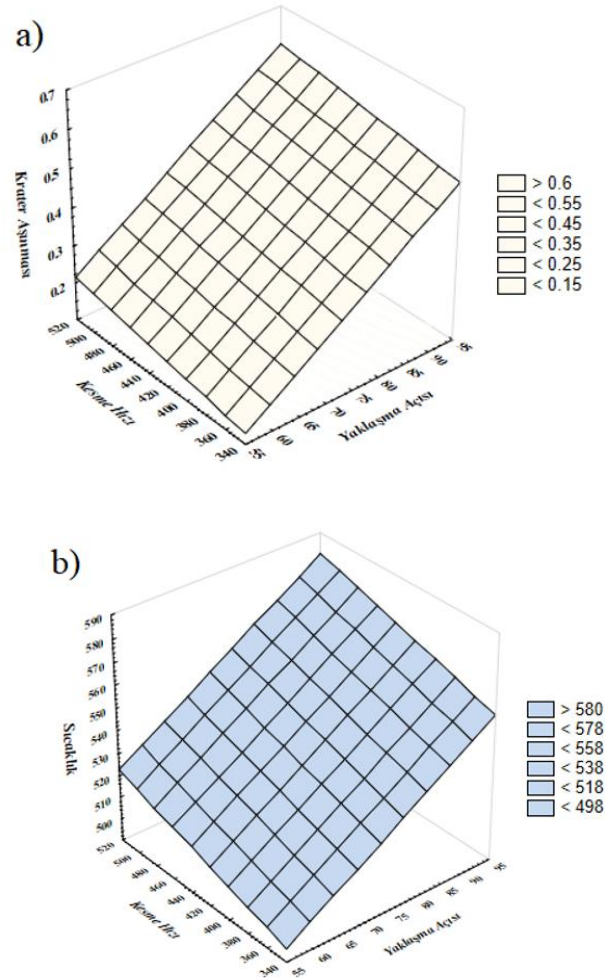
3.3. Grafıksel ve Mikroskopik İnceleme

Tornalama esnasında talaş oluşumunu sağlayan çeşitli faktörler aynı zamanda kesici takımın aşınmasına ve işleme şartlarına bağlı olarak zaman içerisinde ömrünü tamamlamasına neden olur. Aşınmanın önlenememesi, onu kontrol altında tutarak izlemeyi gerekli kılar. Bunun sağlanabilmesi söz konusu aşınmanın etkilendiği ya da ilişkili olduğu etkenleri belirlemekten geçer. Aşınma olgusunun sürtünme, deformasyon ve bunlara bağlı sıcaklıktan meydana gelmesi, bu kavramların fiziksel ortamdaki gelişmeleri ile aşınma arasında bir bağlantı kurulabileceğini göstermektedir. Önceki başlıklar hem sıcaklık hem de krater aşınmasının kendi içerisinde optimizasyon ve analizini gerçekleştirmek için yapılmıştı. Yüksek güvenilirlikle analizi yapılan bu iki cevap parametresi için ayrıca optimum parametreler belirlenmişti. Burada ise deneylerden elde edilen sonuçların grafıksel olarak incelenmesi yapılmıştır. Şekil 6'da her deneyde elde edilen sıcaklık ve krater aşınması sonuçları grafıksel olarak gösterilmiştir. Yatay eksen deney numarasını, dikey eksenler ise sıcaklık ve krater

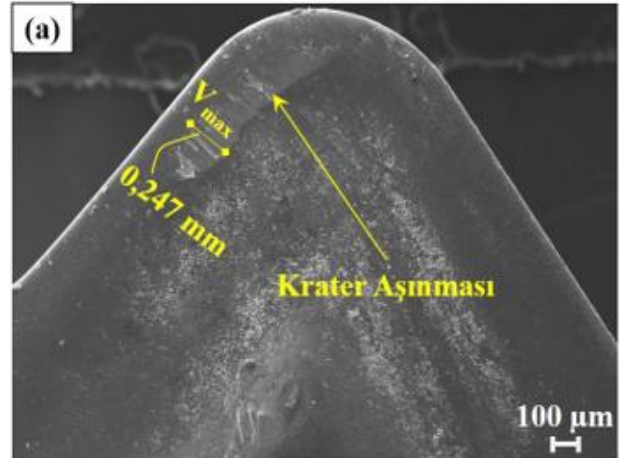
aşınmasını göstermektedir. Sıcaklık sinyallerine ait bir deneydeki veri grafiği incelendiğinde çok büyük dalgalanmalar olmadığı görülmüştür. Bu sebeple verilerin ortalaması alınarak tek bir değer şeklinde ifade edilmesi ve bu sayede aşınma değerleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Grafikte eğrilerin eğilimi incelendiğinde belirli oranda birbirlerini izledikleri ve özellikle ilk deneyden başlayarak sonlara doğru gidildiğinde her ikisinde de artış olduğu görülmektedir. Şekil 7'de ise krater aşınması ve sıcaklık üzerinde en etkili parametreler oldukları varyans analizi ile tespit edilen kesme hızı yaklaşma açısının birleşik etkisi gösterilmiştir. Buradaki parametre etkilerine bakıldığında gerek sıcaklık gerekse krater aşınmasına katkıları önceki analiz ve optimizasyon sonuçlarını doğrular niteliktedir. Her iki parametredeki artışın sonuçlar üzerinde belirgin bir yükselmeye neden olduğu görülmektedir. Kesme hızındaki artışın sürtünme koşullarını ağırlaştırdığı ve buna bağlı olarak sıcaklığı yükselttiği düşünülmektedir. Yaklaşma açısı arttıkça takımın iş parçası ile temas uzunluğu azalmakta ve oluşan sıcaklık daha kısa bir mesafede yayılma şansı bulmaktadır. Buna bağlı olarak takımın daha yüksek sıcaklıklar meydana gelmektedir. Ayrıca yüksek yaklaşma açısında kesici takımın iş parçası ile ilk ve son temasında küçük açılardaki noktasal temas ile başlamak ve bitirmek yerine aniden yüzeysel teması söz konusu olmaktadır. Bu durum takımın yüksek tahribata ve ısıl gerilmelere neden olabilmektedir. Bu etkiye yüksek kesme hızı da eklendiğinde aşınmanın boyutu da artmaktadır. Her iki parametredeki artışa bağlı olarak hem sıcaklığın hem de aşınmanın artmasının sebebi bu şekilde izah edilebilir. Şekil 8'de sem analizinden elde edilen aşınma yüzeyleri (şekil 8 a-b) ve kırılma yüzeyi (şekil 8 c) gösterilmektedir.

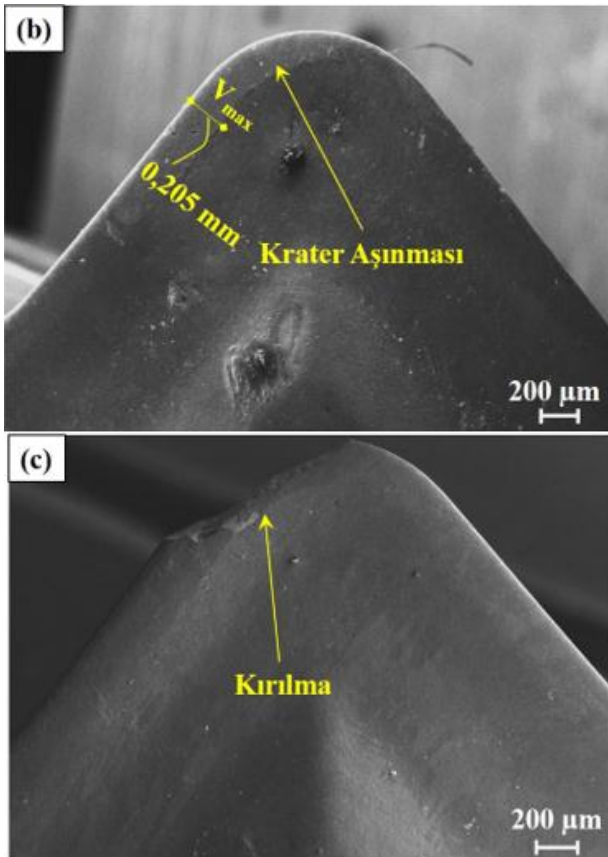


Şekil 6. Krater Aşınması ve takım sıcaklığının farklı kesme şartlarında gelişimi



Şekil 7. Kesme hızı ve yaklaşma açısının (a) krater aşınması (b) sıcaklık üzerine etkisi





Şekil 8. Krater Aşınmasının farklı kesme şartlarında gelişimi a-b Krater aşınması c-Kırılma

4. SONUÇ

Bu çalışmada AISI 5140 malzemenin kuru kesme şartlarında tornalanması esnasında krater aşınması ve takım sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Deneyler iki seviyeli kesme hızı, yaklaşma açısı, talaş derinliği ve ilerleme değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Geçmişte krater aşınması ve takım sıcaklığı ile ilgili çeşitli çalışmalar olsa da, bu iki önemli işleme değişkeninin optimizasyon, analiz ve grafiksel inceleme ile değerlendirilmesi bakımından bu çalışma bir ilk niteliği taşımaktadır. Literatür incelendiğinde krater aşınması ve takım sıcaklığı arasındaki ilişkinin daha önce incelenmediği görülmüştür.

- Varyans analizi sonuçlarına göre kesme hızı hem krater aşınması (71.3%), hem de takım sıcaklığı (78.5%) üzerinde en etkili parametredir. Kesme hızını yaklaşma açısı takip ederken, ilerleme ve talaş derinliğinin bu iki sonuç üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Sinyal gürültü oranının en küçük en iyidir prensibine göre hesaplanması neticesinde cevap parametreleri üzerinde etkili girdi parametreleri ve bunları minimum yapacak parametre seviyeleri belirlenmiştir. Buna göre krater aşınması ve sıcaklığı optimize ederek en küçük değeri sağlayan parametreler kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve yaklaşma açısının birinci seviyeleridir.
- Yüzey cevap metodu ile yapılan optimizasyona göre sıcaklık için sinyal gürültü oranı ve yüzey cevap metodu yaklaşımları aynı sonuçları, düşük bir hata oranı ile sağlamaktadır. Takım sıcaklığının iki yöntemle de

yüksek güvenilirlikte tahmin edilmesi, bu yöntemin takım aşınması takibinde kullanılabileceğini göstermektedir.

- Krater aşınması optimizasyonu için yüzey cevap metodu daha doğru bir tahmin yapmıştır. Buna göre kesme hızı, talaş derinliği ve yaklaşma açısının birinci seviyesi ile ilerlemenin ikinci seviyesi optimum krater aşınmasını vermektedir.
- Krater aşınması ve kesici uç sıcaklığının kesici takımın talaş yüzeyinde meydana gelmesi sebebiyle ilişkili olduğu grafiksel inceleme neticesinde görülmüştür. Her iki cevap parametresi de işleme parametrelerinin değişimine göre benzer şekilde artış ve azalış göstermektedir. Buradan, her iki sonuç üzerinde en etkili işleme parametresi olan kesme hızının bu parametreler üzerinde etkili olduğu için bu eğilimleri gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.
- İkinci bir grafiksel inceleme ile kesme hızı ve yaklaşma açısının ortak etkisi incelendiğinde, her iki parametrede meydana gelen artışın, hem kesme hızı hem de sıcaklık üzerinde artışa yönelik bir etkileri olduğu tespit edilmiştir.
- Sonuç olarak, takımın talaş yüzeyindeki kesme sıcaklığı ile krater aşınması arasında kuvvetli bir ilişki olduğu, krater aşınması takibinde takım sıcaklığının önemli bir bilgi kaynağı olabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Aslan A, Production of metal matrix composites by recycling of waste metal chips and their mechanical properties, Selçuk University, 2014.
- [2] Aslan A, Güneş A, Salur E, Şahin ÖS, Karadağ HB, Akdemir A., Mechanical properties and microstructure of composites produced by recycling metal chips, International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 25 (2018) 1070-1079.
- [3] Aslan A, Güneş A, Salur E, Şahin ÖS, Karadağ HB, Akdemir A, A new method for recycling of metal chips, Journal of Selçuk University Natural and Applied Science, 4 (2015) 1-12.
- [4] Sepet H, Tarakcioglu N, Misra R, Determination of the mechanical, thermal and physical properties of nano-CaCO₃ filled high-density polyethylene nanocomposites produced in an industrial scale, Journal of composite materials, 50 (2016) 3445-3456.
- [5] Şap. E., Güçlendirilmiş Bakır Esaslı Kompozit Malzemelerin Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11 (2021) 590-598.
- [6] Sap. E., Microstructural and Mechanical Properties of Cu-Based Co-Mo-Reinforced Composites Produced by the Powder Metallurgy Method, Journal of Materials Engineering and Performance, 29 (2020) 8461-8472.

- [7] Aslan A, Güneş A, Salur E, Şahin ÖS, Karadağ HB, Akdemir A, The mechanical properties of composite materials recycled from waste metallic chips under different pressures, *International Journal of Environmental Science and Technology*, (2019) 1-8.
- [8] Nazik C, Tarakcioglu N, Ozkaya S, Erdemir F, Canakci A, Determination of effect of B 4 C content on density and tensile strength of AA7075/B 4 C composite produced via powder technology, *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 4 (2016) 251-261.
- [9] Şahin ÖS, Güneş A, Aslan A, Salur E, Karadağ HB, Akdemir A, Low-Velocity Impact Behavior of Porous Metal Matrix Composites Produced by Recycling of Bronze and Iron Chips, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 1-8.
- [10] Sepet H, Tarakcioglu N, Misra R., Effect of inorganic nanofillers on the impact behavior and fracture probability of industrial high-density polyethylene nanocomposite, *Journal of Composite Materials*, 52 (2018) 2431-2442.
- [11] Uzun M., Munis M.M., Usca U., Different ratios CrC particle-reinforced Cu matrix composite materials and investigation of wear performance, *Journal of Engineering Research and Application*, 8 (2018) 1-7.
- [12] Uzun M., Usca U.A., Effect of Cr particulate reinforcements in different ratios on wear performance and mechanical properties of Cu matrix composites, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40 (2018) 1-9.
- [13] Kuntoğlu M, Sağlam H., Investigation of progressive tool wear for determining of optimized machining parameters in turning, *Measurement*, 140 (2019) 427-436.
- [14] Salur E., Aslan A, Kuntoglu M, Gunes A, Sahin OS, Experimental study and analysis of machinability characteristics of metal matrix composites during drilling, *Composites Part B: Engineering*, 166 (2019) 401-413.
- [15] Ghasempoor A, Jeswiet J, Moore T. Real time implementation of on-line tool condition monitoring in turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39 (1999) 1883-1902.
- [16] Scheffer C, Kratz H, Heyns P, Klocke F., Development of a tool wear-monitoring system for hard turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43 (2003) 973-985.
- [17] Ahmed YS, Alam MS, Arif A, Veldhuis S., Use of acoustic emission and cutting force signals to monitor built-up edge formation in stainless steel turning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103 (2019) 2257-2276.
- [18] Singh H, Kumar P, Tool wear optimization in turning operation by Taguchi method, (2004).
- [19] Gupta M, Singh G, Sood P. Sood, Modelling and optimization of tool wear in machining of EN24 steel using taguchi approach, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 96 (2015) 269-277.
- [20] Mia M, Dey PR, Hossain MS, Arafat MT, Asaduzzaman M, Ullah MS, Zobaer ST., 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 (2018) 380-391.
- [21] Kumar KA, Ratnam C, Rao KV, Murthy B. Experimental studies of machining parameters on surface roughness, flank wear, cutting forces and work piece vibration in boring of AISI 4340 steels: modelling and optimization approach, *SN Applied Sciences*, 1 (2019) 26.
- [22] Balaji M, Rao KV, Rao NM, Murthy B. Optimization of drilling parameters for drilling of Ti-6Al-4V based on surface roughness, flank wear and drill vibration, *Measurement*, 114 (2018) 332-339.
- [23] Ravindra H, Srinivasa Y, Krishnamurthy R., Modelling of tool wear based on cutting forces in turning, *Wear*, 169 (1993) 25-32.
- [24] Huang Y, Dawson TG, Tool crater wear depth modeling in CBN hard turning, *Wear*, 258 (2005) 1455-1461.
- [25] Kuntoğlu M, Aslan A, Sağlam H, Pimenov DY, 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 (2020) 4377.
- [26] Kuntoğlu M, Sağlam H., Investigation of signal behaviors for sensor fusion with tool condition monitoring system in turning, *Measurement*, (2020) 108582.
- [27] Sandvik Coromant. M.M. Cutting, A practical handbook, Sandvik Coromant, (1994).
- [28] Ning J., Liang S.Y., A comparative study of analytical thermal models to predict the orthogonal cutting temperature of AISI 1045 steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102 (2019) 3109-3119.
- [29] Kara F., Aslantaş K., Cicek A., Prediction of cutting temperature in orthogonal machining of AISI 316L using artificial neural network, *Applied Soft Computing*, 38 (2016) 64-74.

- [30] Abouridouane M., Klocke F., Döbbeler B., Analytical temperature prediction for cutting steel, *CIRP Annals*, 65 (2016) 77-80.
- [31] List G., Sutter G., Bouthiche A., Cutting temperature prediction in high speed machining by numerical modelling of chip formation and its dependence with crater wear, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 54 (2012) 1-9.
- [32] Mishra S.K., Ghosh S., Aravindan S., Temporal and spatial crater wear prediction of WC/Co tools during dry turning of Ti6Al4V alloy, *Wear*, 448 (2020) 203229.
- [33] Huang Y., Liang S.Y., Modelling of CBN tool crater wear in finish hard turning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24 (2004) 632-639.