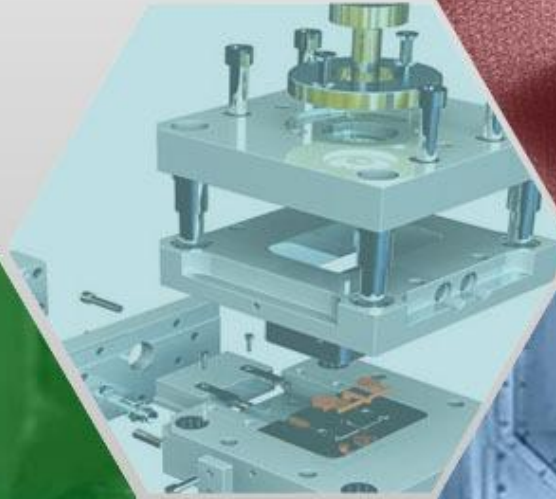
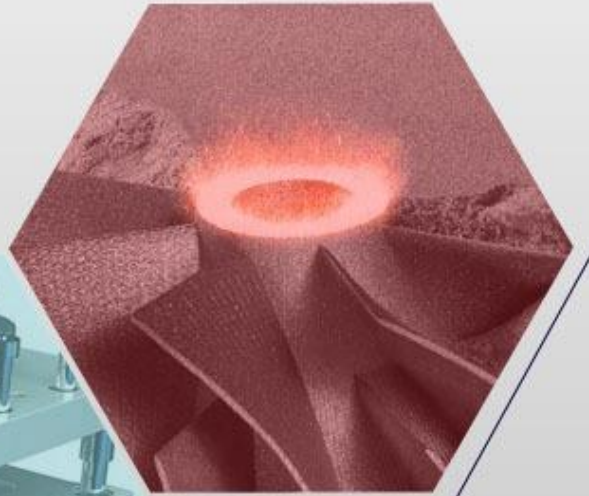




İMİLAT TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

CİLT:1 SAYI:3 YIL: 2020

e-ISSN: 2717-7475



MANUFACTURING TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS

VOLUME:1 ISSUE:3 YEAR: 2020



Cilt (Volume) : 1
Sayı (Issue) : 3
Yıl (Year) : 2020
e-ISSN: 2717-7475

İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları Manufacturing Technologies and Applications (MATECA)

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/mateca>

Editörler (*Editor in Chief*)

Prof. Dr. Ulvi Şeker, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa Günay, Karabük Üniversitesi

Alan Editörleri (*Field Editors*)

Prof. Dr. Süleyman Gündüz, Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Alaattin Kaçal, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Doç. Dr. Yakup Turgut, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Murat Sarıkaya, Sinop Üniversitesi
Doç. Dr. Turgay Kıvak, Düzce Üniversitesi

Yayın veya Danışma Kurulu (*Editorial or Advisory Board*)

Prof. Dr. Can Çoğun, Çankaya Üniversitesi
Prof. Dr. Serdar Salman, Marmara Üniversitesi
Prof. Dr. Muammer Koç, Hamad bin Khalifa University
Prof. Dr. M. Cemal Çakır, Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Yusuf Özçatalbaş, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ali Oral, Balıkesir Üniversitesi
Prof. Dr. Oğuzhan Yılmaz, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ramazan Kaçar, Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Teyfik Demir, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Prof. Dr. İlyas Uygur, Düzce Üniversitesi
Prof. Dr. Ulaş Çaydaş, Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Dursun Özyürek, Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Ayhan Erol, Afyon Kocatepe Üniversitesi
Prof. Dr. İhsan Korkut, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim Çiftçi, Çankırı Karatekin Üniversitesi
Doç. Dr. Okan Ünal, Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan Gürün, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Kadir Gök, İzmir Bakırçay Üniversitesi
Doç. Dr. Gültekin Uzun, Gazi Üniversitesi
Dr. Munish Kumar Gupta, Shandong University
Dr. Mozammel Mia, Imperial College London
Dr. Danil Yu. Pimenov, South Ural State University
Dr. Nafiz Yaşar, Karabük Üniversitesi
Dr. Mehmet Erdi Korkmaz, Karabük Üniversitesi
Dr. Ramazan Özmen, Karabük Üniversitesi
Dr. Çağrı Vakkas Yıldırım, Erciyes Üniversitesi
Dr. Selçuk Yağmur, Gazi Üniversitesi



Cilt (Volume) : 1
Sayı (Issue) : 3
Yıl (Year) : 2020
e-ISSN: 2717-7475

Yayıncı (Publisher)
Mustafa GÜNAY

Web Sayfası (Web Page)
<http://dergipark.gov.tr/pub/mateca>

Yayın Tarihi (Publication Date)
Aralık 2020 (December 2020)

Yayın Dili (Publication Language)
Türkçe / İngilizce (Turkish/English)

Yayın Aralığı (Publication Frequency)
Yılda üç kez yayınlanır (Tri-annual)

Yayın Türü (Publication Type)
Sürekli yayın (Periodical)

Kapak Tasarımı (Cover Design)
Ozan YETKİN

İletişim

Prof. Dr. Mustafa Günay (Editör)
Telefon: +90 370 4187400
E-posta: matecajournal@gmail.com, mgunay@karabuk.edu.tr

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/mateca> adresinden dergiye ilişkin bilgilere ve makalelerin tam metnine ulaşılabilir.

Contact

Prof. Dr. Mustafa Günay (Editor)
Phone: +90 370 4187400

E-mail: matecajournal@gmail.com, mgunay@karabuk.edu.tr

Instructions for authors and all articles in this journal can be reached at
<https://dergipark.org.tr/en/pub/mateca>



İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Araştırma Makalesi (Research Article)	Sayfa (Page)
Ti6Al4V Malzemeye Uygulanan Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin İtme Kuvveti, Kesme Momenti Ve Kesme Sıcaklığına Etkileri (The Effects of Cutting Parameters on the Thrust Force, Cutting Moment and Cutting Temperature in Drilling Process Applied to Ti6Al4V Material) Bahattin YILMAZ, Gültekin UZUN, Abdulkadir GÜLLÜ	1-8
Kitosan Katkılı PP Polimerin Yanmayı Geciktirme Özelliği Üzerine Etkilerinin İncelenmesi (Investigation the Effects of Chitosan Added PP Polymer on Burn Retarding) Nurettin YAMANKARADENİZ, Erol KILIK, Tolga MERAL	9-17
AA2024 Alaşımının Tornalanmasında Nanoakışkan Konsantrasyon Oranı ve MMY Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi (The Effect of Nanofluid Concentration Ratio and MQL Parameters on Surface Roughness and Cutting Temperature in Turning of AA2024 Alloy) Ayşegül YÜCEL, Çağrı Vakkas YILDIRIM	18-32
AISI 4140 Çeliğinin Delinmesinde Kesme Kenar Radyüsü ve Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu (Optimization of Cutting Edge Radius and Cutting Parameters During Drilling of AISI 4140 Steel) Serhan AÇAY, Mehmet KOLAÇ, Ozan Ali ATAK	33-40
Sertleştirilmiş 1.2367 Takım Çeliğinin İşlenmesinde Enerji Tüketiminin Analizi ve Modellenmesi (Analysis and Modeling of Energy Consumption in Machining of Hardened 1.2367 Tool Steel) Naime EREN, Fatih HAYAT, Mustafa GÜNAY	41-49

Ti6Al4V Malzemeye Uygulanan Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin İtme Kuvveti, Kesme Momenti Ve Kesme Sıcaklığına Etkileri

Bahattin YILMAZ^{1,*}, Gültekin UZUN¹, Abdulkadir GÜLLÜ¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 05.11.2020

Kabul: 04.12.2020

Anahtar Kelimeler:

Delme

Ti6Al4V

İtme Kuvveti

Kesme Momenti

Kesme Sıcaklığı

ÖZET

Talaşlı imalat süreci; tasarlanmış bir iş parçasına kesici takımlar kullanılarak gerekli boyut ve özelliklerin kazandırılması işlemlerini kapsamaktadır. Talaşlı imalatta verimlilik iş parçasına bu özelliklerin en az maliyetle kazandırılması ile sağlanmaktadır. Delme işlemleri talaşlı imalat yöntemleri arasında en çok başvurulan uygulamaların başında gelmektedir. Delme operasyonunun iş parçası içinde kapalı bir bölgede gerçekleşmesi, talaşın takım üzerinden tahliyesi ve kesme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar delme işlemini diğer talaşlı imalat yöntemlerine göre daha karmaşık ve zor kılmaktadır. Tüm bu olumsuzluklar delme işlemi sırasında belirlenen kesme parametrelerinin önemini ve etkisini artırmaktadır. Bu çalışmada Ti6Al4V malzemenin delinmesi sırasında kullanılan farklı kesme hızları ve ilerleme oranlarının delik delme performansına etkileri araştırılmıştır. Araştırma kapsamında operasyon sırasında oluşan itme kuvvetleri, moment ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Artan ilerleme oranı ile moment ve itme kuvveti değerlerinin yükseldiği çalışma sonucunda belirlenmiştir. Yine artan ilerleme oranı sıcaklık oluşumunu her iki kesme hızında da %30 oranında artırmış ve sıcaklıkların 600°C'ye yakın değerlere çıktığı görülmüştür.

The Effects of Cutting Parameters on the Thrust Force, Cutting Moment and Cutting Temperature in Drilling Process Applied to Ti6Al4V Material

ARTICLE INFO

Received: 05.11.2020

Accepted: 04.12.2020

Keywords:

Drilling

Ti6Al4V

Thrust Force

Cutting Moment

Cutting Temperature

ABSTRACT

The machining process includes the processes of gaining the required dimensions and features to a designed workpiece by using cutting tools. Efficiency in machining is provided by bringing these features to the workpiece at the least cost. Drilling operations are one of the most used applications among machining methods. The drilling operation takes place in a closed area inside the workpiece, the evacuation of the chips from the tool and the high temperatures that occur during cutting make the drilling process more complex and difficult than other machining methods. All these negativities increase the importance and effect of the cutting parameters determined during the drilling process. In this study, different cutting speeds and feed rates were used during the drilling of Ti6Al4V material. The effects of rates on drilling performance have been investigated. Within the scope of the research, the thrust forces, moment and temperature values generated during the operation were measured. It was determined as a result of the study that increasing feed rate, moment and thrust force values increased. Also increasing the feed rate increased the temperature by 30% at both cutting speeds and it is determined that the temperature values reached around 600°C.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalat yöntemi; fazla malzemenin (talaş), kesici takımlar kullanılarak uzaklaştırıldığı ve iş parçasına hedeflenen son geometrinin kazandırıldığı operasyonlar ailesidir [1]. Talaşlı imalat yöntemi; operasyon çeşitliliği, farklı geometrik özelliklerin elde edilebilirliği, boyutsal doğruluk ve üstün yüzey kalitesi ile diğer imalat yöntemlerinin önüne geçmektedir [2, 3]. Delik açma operasyonları yaklaşık %33 lük bir oranla en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemlerindedir [4]. Delik açma işlemi, kılavuz çekme, delik büyütme, raybalama vb. operasyonlardan önce

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: bahattinyilmaz@gazi.edu.tr

gerçekleştirilmek zorundadır. Ayrıca makine montaj ekipmanı olarak kullanılan cıvata, perçin, pim vb. bağlantı elemanlarının kullanımı için de delik açma operasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bu durumlar delik açma işleminin kullanımını artırmakla beraber önemini de yükseltmiştir. Delme işleminin parça içerisinde kapalı bir bölgede gerçekleşmesi, talaşın helis kanalları aracılığı ile takım üzerinden tahliye edilmesi, talaş sıkışmasına bağlı olarak takım kırılmaları ve kesme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar bu operasyonu karmaşık ve zorlu bir hale getirmektedir [5, 6]. Yaşanan bu zorluklar delik delme işlemi üzerinde yapılan çalışmaları daha değerli ve anlamlı kılmaktadır.

Delme operasyonlarının bu karmaşık durumu, özellikle uzay ve havacılık alanı gibi yüksek hassasiyet ve verimlilik gerektiren alanlarda, araştırmanın önemini daha da artırmıştır. Uzay ve havacılık alanları başta olmak üzere medikal, biyomalzeme, otomotiv, gıda, kimya vb birçok sanayi dalında titanyum alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Titanyum alaşımları; yüksek dayanım/ağırlık oranı, yüksek ergime sıcaklığı, düşük yoğunluğu, yüksek özgül dayanımı, mükemmel korozyon direnci, iyi kaynak edilebilirliği ile birçok endüstri alanında kullanılan önemli bir malzeme ailesi olmuştur [7]. Bu olumlu özellikleri yanında malzemenin zayıf ısıl iletkenliği ve yüksek sıcaklıklardaki dayanımı malzemenin talaşlı imalat ile şekillendirilmesini zorlaştırmaktadır [8, 9]. Endüstride en çok kullanılan titanyum alaşımlarının başında Ti6Al4V malzemesi gelmektedir. Gerek malzemenin zor şekillendirilmesi gerekse delme operasyonunun karmaşık yapısı bu malzeme ile yapılan delme çalışmalarına önem kazandırmıştır.

Farklı kesme koşulları kullanılarak (38; 41,8 ve 45,6 m/dak kesme hızları) Ti6Al4V malzemenin delinmesine yönelik yapılan çalışmada itme kuvvetleri, tork ve takım aşınması değerleri incelenmiştir. Çalışma geleneksel soğutma yöntemi eşliğinde kaplamalı karbür matkaplar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Artan kesme uzunluğu ile itme kuvvetlerinin arttığı ifade edilmiştir. Yüksek kesme hızlarında artan takım aşınması ile itme kuvvetlerinin arttığı belirtilmiştir [7]. Ti6Al4V malzemenin delinmesi işlemi sırasında farklı özelliklere sahip matkaplar (kaplamasız, TiAlN/TiN kaplamalı, kriyojenik işlem uygulanmış, kriyojenik işlem ve temperleme uygulanmış) ve değişen kesme parametreleri (kesme hızları: 6, 8, 10 ve 12 m/dak, ilerleme oranları: 0,04; 0,05 ve 0,06 mm/dev) ile deneyler yapılmıştır. Islak ve kuru şartlar altında yapılan çalışmada soğutma işleminin ve kaplamalı matkap kullanımının delik kalitesini artırdığı bildirilmiştir [8]. Delme yöntemi değiştirilerek yapılan bir diğer çalışmada takım aşınması incelenmiştir. Üç farklı delme yönteminin test edildiği çalışmada AlCrN kaplamalı karbür matkaplar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bir mm dalma ve ardından tam çıkma yöntemi ile yapılan delme işleminden yüksek verim alındığı ifade edilmiştir [10]. Benzer bir başka çalışmada doğrudan delme ve gagalama ile delme yöntemleri kıyaslanmıştır. Farklı kesme hızlarının (50, 60 ve 70 m/dak) da kullanıldığı çalışmada kaplamasız karbür matkaplar kullanılmıştır. Tüm çalışma koşullarında gagalamalı delme işleminin daha uzun takım ömrü sağladığı belirtilmiştir [11]. Kaplamalı matkapların delme işleminde performans etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada kaplamasız ve TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanılmıştır. Dört farklı kesme hızı (25, 35, 45 ve 55 m/dak) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda kaplamalı takımların delme operasyonunda daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir [12]. Farklı delme derinlikleri ve kesme hızlarının operasyon çıktılarına (itme kuvveti, kesme momenti ve sıcaklık oluşumu) etkileri araştırılmıştır. Artan delme derinliği ile itme kuvvetlerinin, moment ve sıcaklık değerlerinin arttığı çalışma sonucunda gözlemlenmiştir [13].

Bu çalışmada birçok farklı endüstri alanında yoğun bir şekilde kullanılan Ti6Al4V malzemenin delinmesine yönelik bir dizi araştırma yapılmıştır. Farklı kesme parametreleri kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada itme kuvvetlerinin, kesme momentinin ve sıcaklık oluşumunun değişimi incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin grafikleri çizilerek değişkenlerin çıktı parametreleri üzerindeki etkileri yorumlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

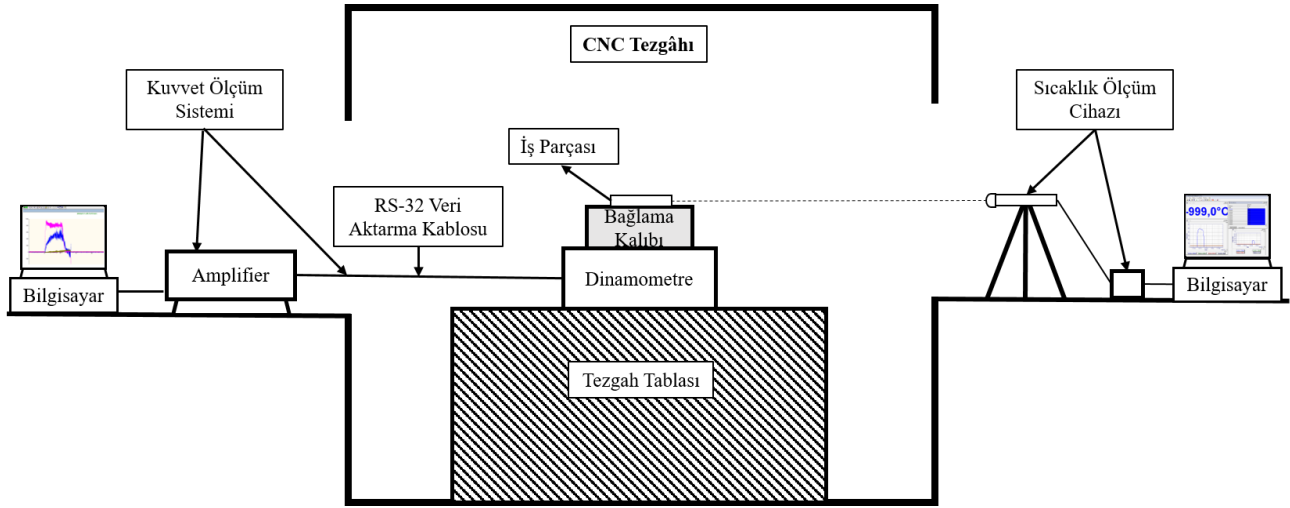
2.1. Deney Düzenegi (Experimental Setup)

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar kapsamında Ti6Al4V malzemenin delinmesi işlemi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan çok eksenli Haas

VF 22 CNC tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın maksimum gücü 22.4 KW, en yüksek devri ise 12000 rpm dir.

Kesme kuvvetleri ve moment değerlerinin belirlenmesinde Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan, üç kesme kuvveti bileşenini (Fx, Fy, Fz) ve momenti (Mz) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, KISTLER 9272 A tipi 4 bileşenli piezo-elektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometreden elde edilen sinyallerin veriye dönüştürülmesinde KISTLER 5070-A çok kanallı Amplifierdan yararlanılmıştır. Verilerin işlenmesi KISTLER Dynoware 2825A-02-01 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Kesme sırasında oluşan sıcaklık değerlerinin ölçümü için lazer opsiyonlu Raytek MI3 cihazı kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümü sırasında iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve malzeme özelliklerine göre emissivity değeri 0,4 olarak alınmıştır [14]. Sıcaklık ölçümleri iş parçası yüzeyinden gerçekleştirilmiştir. Delik duvarı ve iş parçası yüzeyi arasında 2 mm'lik bir mesafe bırakılmıştır. Literatürde benzer ölçüm tekniğinin kullanıldığı görülmüştür [15]. Tüm deneyler için aynı ölçüm koşulları kullanılmıştır. Mesafeli ölçümlerde termal kameraya göre daha etkili olan bu cihaz ile yapılan ölçümler sonucunda sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Deneysel çalışmaya ait deney düzeneği Şekil 1'de şematize edilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği (Experimental Setup)

2.2. İşparçası ve Takım Özellikleri (Workpiece and Tool Properties)

Deneyler sırasında 6 mm çapında, TiN kaplı Sumitomo marka sementit karbür matkaplar kullanılmıştır. İş parçası Ti6Al4V numunelerinin boyutları 80x100 mm kalınlığı ise 15 mm olarak belirlenmiştir. Delme operasyonu kuru şartlar altında numunenin tam boyunda gerçekleştirilmiştir. İş parçası boyutları bağlama kalıbı özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bağlama kalıbı iş parçasının dinamometreye bağlanmasını ve cihazın güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır [16]. İş parçasına ait kimyasal bileşim Tablo 1.'de verilmiştir. Kesme parametrelerinin belirlenmesinde literatür çalışmalarından ve katalog değerlerinden yararlanılmıştır [7,10,11,12]. Çalışma kapsamında iki farklı kesme hızı (42 ve 61 m/min) ve dört farklı ilerleme oranı (0,05; 0,073; 0,1 ve 0,15 mm/rev) kullanılmıştır. Kesme parametreleri ile oluşturulan deney düzeneği Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. Ti6Al4V kimyasal bileşimi (Chemical composition of Ti6Al4V)

Kimyasal Bileşim (%)							
Al	V	Fe	O	N	H	C	Ti
6.00	4.00	0.09	0.14	0.01	0.002	0.01	Denge Miktarı

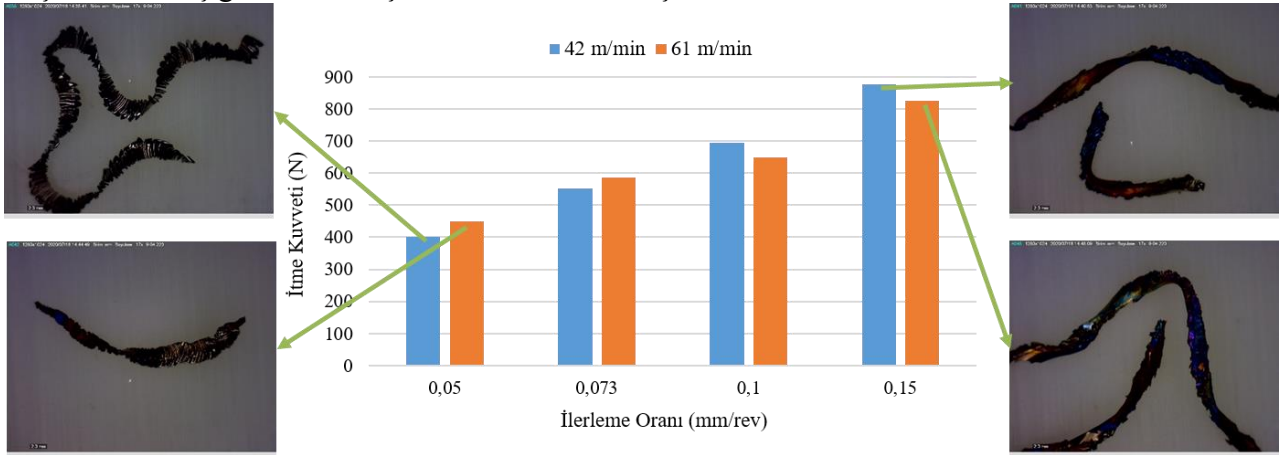
Tablo 2. Deneysel parametreleri (Experimental parameters)

Deneysel No	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme Oranı (mm/rev)
1	42	0,050
2	42	0,073
3	42	0,100
4	42	0,150
5	61	0,050
6	61	0,073
7	61	0,100
8	61	0,150

3. DENEY VE OPTİMİZASYON SONUÇLARI (EXPERIMENT AND OPTIMIZATION RESULTS)

3.1. İtme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Thrust Forces)

Kesme sırasında oluşan kuvvetler malzemenin işlenebilirliği hakkında önemli bilgiler verirken [5], operasyon esnasında oluşan kuvvet değerleri de harcanan güç hakkında ipuçları vermektedir [17]. Prensip olarak talaşlı imalat işlemlerinde düşük kesme kuvvetleri işleminin daha rahat yapıldığının göstergesidir ve bu durum genellikle arzulanmaktadır. Bu deneysel çalışma kapsamında farklı kesme parametreleri kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen itme kuvvetleri Şekil 2’de sunulmuştur. Kuvvetlerdeki değişimleri doğru bir şekilde analiz edebilmek için deney esnasında oluşan bazı talaş görselleri de şekil üzerine eklenmiştir.



Şekil 2. İtme kuvvetinin kesme parametrelerine göre değişimi (Variation of thrust force according to cutting parameters)

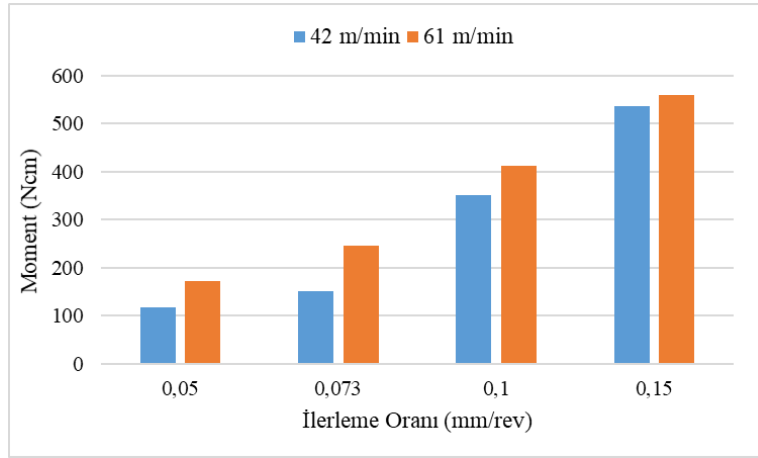
Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde her iki kesme hızı içinde artan ilerleme oranı ile itme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. Artan ilerleme oranıyla birim zamanda kaldırılan talaş kesiti de artmaktadır. Bu durum delme esnasında ilerleme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır [5, 18]. Kesme hızının 42 m/min olduğu deneylerde ilerleme oranının üç kat artması ile itme kuvvetleri %118’lik bir artış göstermiştir. Benzer şekilde kesme hızının 61 m/min olduğu durumda ise artan ilerleme oranı ile itme kuvvetlerinde %83’lük bir artış gerçekleşmiştir. Yapılan deneyler sonucunda düşük ilerleme oranları (0,05 ve 0,073 mm/rev) kullanılarak gerçekleştirilen testlerde 61 m/min kesme hızında daha yüksek itme kuvvetleri ölçülmüştür. Artan ilerleme oranları (0,1 ve 0,15 mm/rev) ile bu sefer 42 m/min kesme hızında daha yüksek itme kuvvetleri gözlemlenmiştir.

Delme işleminde talaş oluşumu ve tahliyesi büyük önem taşımaktadır. Talaşın helis kanallarından tahliyesi operasyon çıktılarını önemli ölçüde etkilemektedir. Kesme hızlarına göre itme kuvvetlerinin değişmesiyle değişen talaş yapısının büyük rolü olduğu düşünülmektedir. Deneylerde 42 m/min kesme hızı ve düşük ilerleme oranları (0,05 ve 0,073 mm/rev) eşliğinde yapılan deneylerde talaşın helis kanalları üzerinden başarılı bir şekilde tahliye edildiği görülmüştür. Aynı ilerleme oranları kullanılarak 61 m/min kesme hızı ile yapılan deneylerde ise talaş; helis kanalları içerisine yığılarak talaş tahliye kanallarını doldurmuştur. Bu durum düşük ilerleme oranlarında 61 m/min kesme hızında

daha yüksek kuvvetlerin oluşmasına neden olmuştur. Artan ilerleme oranları ile her iki kesme hızıyla da yapılan deneylerde talaşın helis kanallarına yığıldığı gözlemlenmiştir. Bu koşullar altında yüksek kesme hızı ile yapılan deneyler de daha yüksek kesme bölgesi sıcaklıklarına çıkmıştır. Bu yüksek sıcaklık değerlerinin etkisiyle iş parçasının akma dayanımı düşer ve bu durum da talaş kaldırmayı kolaylaştırır. Bu nedenle yüksek ilerleme oranları (0,1 ve 0,15 mm/rev) ile yapılan deneylerde 61 m/min kesme hızının daha düşük itme kuvvetleri oluşturduğu düşünülmektedir. Kesici takım ve talaş üzerinde gözlenen renk değişimleri operasyon sırasında ulaşılan yüksek sıcaklıkların sonucu olarak karşımıza çıkmıştır. Kuvvet oluşumunu önemli ölçüde etkilediği düşünülen talaş yapısı Şekil 2 üzerinde sergilenerek yapılan yorumların daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır.

3.2. Kesme Momentlerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Cutting Moment)

İtme kuvvetinde olduğu gibi kesme momentleri de operasyon sırasında tüketilen güç hakkında fikir vermektedir. Deneyler sonucunda oluşan kesme momentleri Şekil 3’ de sunulan grafik ile ifade edilmiştir.



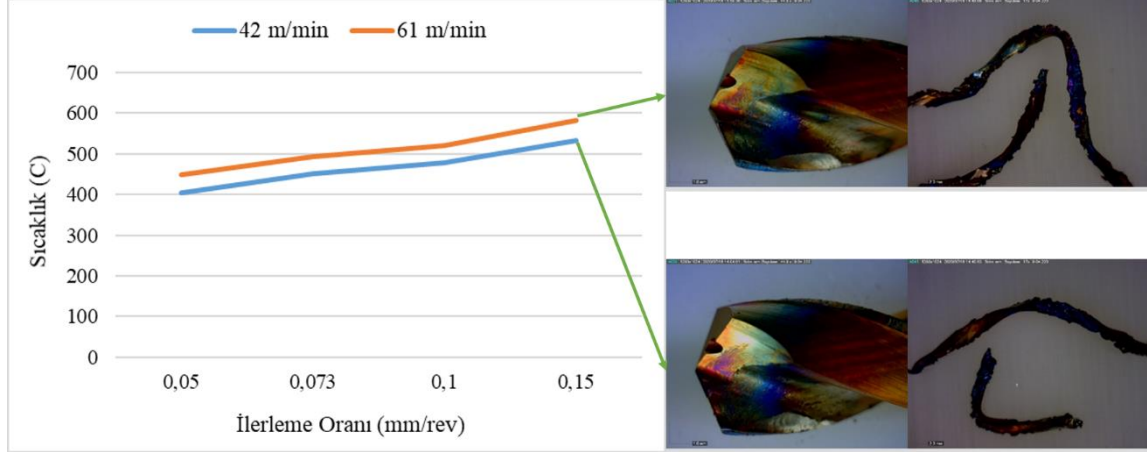
Şekil 3. Kesme momentinin kesme parametrelerine göre değişimi (Variation of cutting moment according to cutting parameters)

Artan ilerleme oranlarının kesme momentlerinin artmasına yol açtığı Şekil 3’de görülmektedir. İlerleme oranı ve itme kuvvetleri ilişkisinde olduğu gibi kesme momentlerindeki artış da talaş kesitinin artması ile ilişkilendirilmektedir [19]. Yapılan deneylerde 42 m/min lik kesme hızında 0,05 mm/rev ilerleme oranında 118 Ncm kesme momenti ölçülmüştür, ilerlemenin 0,15 mm/rev’e çıkması ile kesme momenti de 536 Ncm değerine kadar yükselmiştir. Böylece 42 m/min kesme hızında artan ilerleme oranı ile kesme momentlerinde %357’ lere varan bir yükseliş olduğu görülmüştür. 61 m/min kesme hızında ise en düşük ilerleme oranında 173,3 Ncm değerinde kesme momenti ölçülmüştür. En yüksek ilerleme oranını ile yapılan deneylerde ise kesme momenti 560 Ncm olarak belirlenmiştir. 61 m/min kesme hızı ile yapılan deneylerde ilerleme oranındaki artışa bağlı olarak kesme momenti değerleri %224 oranında artmıştır.

Farklı ilerleme oranları ile yapılan tüm deneylerde 61 m/min lik kesme hızında daha yüksek kesme momentleri ölçülmüştür. Artan kesme hızı değerleri kesme momentlerinde artışa neden olmuştur [5, 20]. Yüksek kesme hızlarında oluşan takım aşınması ve talaşın helis kanallarına yığılmasının kesme momentlerinin artmasına zemin hazırladığı düşünülmektedir. Düşük ilerleme oranlarıyla yapılan deneylerde iki kesme hızı (42 m/min ve 61 m/min) arasındaki kesme momenti farkı yüksektir. Bu fark 0,05 mm/rev ilerleme oranında 55,3 Ncm, 0,073 mm/rev ilerleme oranında ise 94,2 Ncm değerine kadar çıkmıştır. 61 m/min kesme hızı ile yapılan tüm deneylerde görülen ancak 42 m/min kesme hızı ve düşük ilerleme koşulları ile yapılan deneylerde görülmeyen talaş yığılmasının bu yüksek farklara neden olduğu düşünülmektedir. Artan ilerleme oranları ile her iki kesme hızında da talaşın helis kanallarına yığılması ile moment değerleri arasındaki fark azalmış ve bu değer 0,15 mm/rev ilerleme oranında 24 Ncm değerine kadar gerilemiştir.

3.3. Sıcaklıkların Değerlendirilmesi (Evaluation of Temperature)

Kesme işlemi sırasında açığa çıkan ısı takım performansını ve iş parçası performansını önemli ölçüde etkiler. Yüksek sıcaklıklar takım ömrünün azalmasında büyük rol oynar. İşleme esnasında oluşan ısının büyük bölümü talaş aracılığı ile kesme bölgesinden uzaklaştırılır [17]. Talaşın helis kanalları üzerinden taşındığı delme operasyonlarında oluşan ısı daha büyük önem taşımaktadır. Ayrıca iş parçası Ti6Al4V malzemenin termal özellikleri sıcaklığın operasyona etkisini önemli ölçüde artırmıştır. Çalışma kapsamında ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4’de sunulmuştur. Artan sıcaklık değerlerinin etkisi ile takım ve talaş üzerinde oluşan renk değişimlerinin görülmesi için 0,15 mm/rev ilerleme oranı ile yapılan deneylere ait takım ve talaş görselleri şekilde verilmiştir.



Şekil 4. Sıcaklığın kesme parametrelerine göre değişimi (Variation of temperature according to cutting parameters)

Sıcaklık değerlerinin artan ilerleme oranı ile birlikte yükseldiği görülmektedir. Kesme işlemi sırasında artan ilerleme oranı birim zamanda kaldırılan talaş miktarını artırdığı için açığa çıkan ısı miktarı da artmaktadır [21]. Bu durum artan ilerleme ile sıcaklık değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Çalışma kapsamında en düşük sıcaklık değeri 42 m/min kesme hızı ve 0,05 mm/rev ilerleme oranı eşliğinde yapılan deneylerde 404,8 °C olarak ölçülmüştür. Aynı ilerleme oranında kesme hızı 61 m/min'e çıkarıldığında ise sıcaklık değeri 448,7 °C olarak belirlenmiştir. En yüksek sıcaklık değeri ise en yüksek kesme hızı ve ilerleme oranı eşliğinde yapılan deneylerde 583,4 °C olarak ölçülmüştür. Her iki kesme hızında da artan ilerleme oranı sıcaklık değerlerini yaklaşık %30 artırmıştır.

Kesme işlemi sırasında oluşan ısı üzerinde kesme hızları önemli bir etkiye sahiptir [17]. Yapılan çalışmada 61 m/min kesme hızı ile yapılan tüm deneylerde daha yüksek sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Artan kesme hızları kesme sıcaklıklarının artmasına neden olmuştur [20]. Kesme hızının 42 m/min dan 61 m/min'e çıkması ile sıcaklık değerlerinde %8 ile %11 oranları arasında bir artış yaşanmıştır.

Şekil 4' de görüldüğü gibi yüksek ilerleme oranları ve kesme hızlarının kullanıldığı deneylerde açığa çıkan yüksek sıcaklıklar hem kesici takım hem de talaş üzerinde renk değişimlerine neden olmuştur. Kesme işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklıklara bağlı olarak kesici takım ucunda ve talaş üzerinde meneviş mavisi renklerin oluştuğu görülmüştür. Bu renk değişimleri de kesme sırasında çok yüksek sıcaklık değerlerine ulaşıldığını ortaya koymuştur.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Ti6Al4V malzemenin karbür matkaplar ile delinmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında itme kuvvetleri, kesme momentleri ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçme sonuçları grafikler yardımıyla yorumlanmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmiştir.

- Delme operasyonlarında talaş oluşumu ve talaş tahliyesi çıktı değerleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Yüksek kesme hızları ve ilerleme oranlarını ile yapılan deneylerde talaşın helis kanallarına yığılarak bu kanalları doldurduğu ve tahliyeyi zorlaştırdığı görülmüştür.

- İlerleme oranlarının artmasıyla itme kuvvetleri, 42 m/min ve 61 m/min kesme hızlarında sırasıyla %118 ve %83 artmıştır.
- Artan kesme hızının itme kuvvetleri üzerindeki etkisi talaş tahliyesine göre değişkenlik göstermiştir.
- Artan ilerleme oranları ve kesme hızları moment değerlerinin %357' lere varan oranlarda artmasına neden olmuştur.
- Talaş yapısının momentler üzerinde de itme kuvvetlerine benzer etkileri belirlenmiştir.
- Sıcaklık değerleri de artan kesme hızı ile %8 ile %11 arasında yükselmiştir.
- Artan ilerleme oranları sıcaklık oluşumunu her iki kesme hızında da %30 oranında artırmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 07/2019-32).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. MP. Groover, Principles of modern manufacturing,. 4th ed, J. Wiley & Sons, United States of America, 2011.
2. B.Yılmaz, A. Güllü, AISI 1050 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkilerinin araştırılması, Pamukkale Univ J Eng Sci, 26(4): 628–633, 2020.
3. H.Yaka, H. Akkuş, L. Uğur, AISI 1040 Çeliğinin Tornalanasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilim Derg, 12: 283–288, 2016.
4. G. Meral, M.Sarıkaya, H.Dilipak, Delik Delme Uygulamalarında Delik Kalitesinin Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu, Mühendis ve Makine, 52(619): 42–49, 2011.
5. Ş. Bayraktar, Y. Sıyambaş, Y. Turgut, Delik delme prosesi: bir araştırma, SAÜ Fen Bilim Enstitüsü Derg, 21: 124–124, 2017.
6. A. Çakır, AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2015.
7. G. Uzun, S.A. Yaşar, İ. Korkut, Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetlerine ve Delik Kalitesine Etkisinin İncelenmesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Derg, 7(2): 469–475, 2017.
8. T. Kıvak, U. Şeker, Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde M42 HSS Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Delik Kalitesi Üzerindeki Etkileri, 7th International Symposium On Machining, 3-5 November 2016, İstanbul.
9. Y. H. Çelik, E. Kılıçkap, Titanyum Alaşımlarından Ti-6Al-4V'nın İşlenmesinde Karşılaşılan Zorluklar: Derleme, Gazi Üniversitesi Fen Bilim Derg Part C: Tasarım ve Teknol, 6(1): 163–175, 2018.
- 10.İ. Çiftçi, H. Gökçe, Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Delinmesinde Delme Yönteminin Aşınmaya Etkisinin İncelenmesi, J Polytech, 22(3): 627–631, 2019.
- 11.F.R. Wong, S. Sharif, K. Kamdani, E. A. Rahim, The effect of drill point geometry and drilling technique on tool life when drilling titanium alloy, Ti-6Al-4V, Proc Int Conf Mech Manuf Eng (ICME2008), 21– 23 May 2008, Johor Bahru
- 12.S. Sharif, E. A. Rahim, Performance of coated- and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy-Ti-6Al4V, J Mater Process Technol, 185: 72–76, 2007.
- 13.R. Li, A. J. Shih, Tool temperature in titanium drilling, J Manuf Sci Eng Trans ASME, 129(4): 740–749, 2007.
- 14.L. Li, K. Yu, K. Zhang, Y. Liu, Study of Ti-6Al-4V alloy spectral emissivity characteristics during thermal oxidation process, International Journal of Heat and Mass Transfer, 101: 699-706, 2016.
- 15.A. Díaz-Álvarez, J.A. de-la-Cruz-Hernández, J. Díaz-Álvarez, J.L. Cantero- Guisández, Estimation of Thermal Effects in Dry Drilling of Ti6Al4V, Procedia Eng, 132: 433-439, 2015.
- 16.G. Uzun, İ. Korkut, Delme ve Frezelemedeki Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Deney Seti Tasarımı ve İmalatı, 6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 May 2011, Elazığ.
- 17.M. C. Çakır, Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri. 2. baskı, Dora Yayıncılık, Bursa, 2010.

- 18.A. Ítalo Sette Antonialli, A. Eduardo Diniz, R. Pederiva, Vibration analysis of cutting force in titanium alloy milling, *Int J Mach Tools Manuf* 50: 65–74, 2010.
- 19.L-P. Wang, L-J. Wang, Y-H. He, Z-J. Yang, Prediction and computer simulation of dynamic thrust and torque in vibration drilling, *Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf*, 212(6): 489–497, 1998.
- 20.G. Le Coz, M. Marinescu, A. Devillez, D. Dudzinski, L. Velnom, Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys, *Appl Therm Eng*, 36: 434 – 441, 2012.
- 21.B. Yılmaz, Ş. Karabulut, A. Güllü, Performance analysis of new external chip breaker for efficient machining of Inconel 718 and optimization of the cutting parameters. *J Manuf Process*, 32: 553–563, 2018.

Kitosan Katkılı PP Polimerin Yanmayı Geciktirme Özelliği Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Nurettin YAMANKARADENİZ¹, Erol KILIK², Tolga MERAL^{2, *}

¹Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bursa, Türkiye

²Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bursa, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 17.11.2020

Kabul: 09.12.2020

Anahtar Kelimeler:

Kitosan

ANOVA

Yanma

PP polimeri

Alev geciktirici

ÖZET

Doğal halindeyken kolay tutuşabilir özellikteki pek çok termoplastik malzemenin yangına karşı daha güvenli bir yapıda olabilmesi için kullanılmakta olan geleneksel alev geciktirici katkı maddelerinin birçoğunun, insan sağlığı ve çevreye zararlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, sağlıklı ve çevreci bir yaklaşım olması bakımından doğal katkı maddelerinin alev geciktirici olarak kullanılması ve bunun yaygınlaşması önemlidir. Hammaddesi ağırlıklı olarak kabuklu deniz canlılarının kabukları olan kitosanın, doğal polimerik bir katkı maddesi olarak daha yaygın kullanılmasının ülkemiz adına katma değer yaratabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada, PP polimeri ve ağırlıkça üç farklı oranda kitosan katkısı kullanılarak üretilmiş kitosan/PP kompozit malzemelerin yanma davranışları araştırılmıştır. Kitosanın PP polimerinin yanma davranışına etkilerini belirlemek amacıyla kızgın tel deneyi uygulanmış ve bu deneylerde alev alma süresini etkileyen parametreler istatistiksel olarak incelenmiştir. Kitosan katkı oranı ve sıcaklık parametrelerinin alev alma süresi üzerindeki etki oranlarını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Ayrıca, kitosan katkısının kompozit malzemelerin yoğunluk ve sertlik değerlerine etkisi belirlenmiştir.

Investigation the Effects of Chitosan Added PP Polymer on Burn Retarding

ARTICLE INFORMATION

Received: 07.11.2020

Accepted: 09.12.2020

Keywords:

Chitosan

ANOVA

Burning

PP polymer

Flame retardant

ABSTRACT

It is known that many of the traditional flame retardant additives used in order to make many thermoplastic materials, which are easily flammable in their natural state, in a safer structure against fire, are known to be harmful to human health and the environment. For this reason, it is important to use natural additives as flame retardants in order to be a healthy and environmentally friendly approach. It is thought that the widespread use of chitosan, whose raw material is mainly the shells of shellfish, as a natural polymeric additive can create added value for our country. In this study, the burning behavior of chitosan / PP composite materials produced using PP polymer and chitosan additives in three different proportions was investigated. In order to determine the effects of chitosan on the burning behavior of the PP polymer the hot wire test was applied and the parameters affecting the flame time were statistically investigated in these experiments. Analysis of variance (ANOVA) was applied to determine the effect of chitosan additive rate and temperature parameters on the ignition time. In addition, the effect of chitosan additive on the density and hardness values of composite materials was determined.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojinin birçok alanına girmiş olan polimerlerin fiziksel, mekanik, tribolojik, yanma ve antibakteriyel davranışlarının geliştirilebilmesi mümkün olmaktadır. Polimer esaslı kompozit

* E-mail of the corresponding author: tolgamer@uludag.edu.tr

malzeme üretimi alanında polipropilen (PP), çok yönlü özellikleri sayesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen, benzer malzemelere göre düşük yoğunluğa sahip ve uzun ömürlü bir polimerdir. Propilen gazının polimerizasyonu ile üretilen PP, yarı kristalin yapılı, nem tutma oranı düşük ve şeffaf bir görünüme sahiptir. Termoplastikler için kullanılan bütün üretim metotları ile kullanılabilir. Bunlara ilaveten, termal, mekanik ve ekonomik özellikleri sayesinde, otomotiv ve elektrikli el aletleri parçalarının üretilmesi gibi mühendislik çalışmalarında oldukça geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Ayrıca, doğal polimer katkılı PP kompozitlerin üretilmesi üzerine yapılan çalışmalar ve gelişmeler oldukça umut vericidir [1-10].

Kitosan (Cs), kokusuz, tatsız, yarı şeffaf ve antibakteriyel özelliği ile dikkat çeken doğal bir polimerdir. Hammaddesi ise yengeç, karides gibi su canlılarının ve böceklerin kabukları olup kimyasal ve biyolojik yöntemlerle işlenerek elde edilmektedir. Kitosan üretimi ağırlıklı olarak Japonya, Amerika, Norveç, Meksika, Şili gibi birçok ülkede yapılabilmektedir. Kitosan, polimer esaslı kompozitlerin üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmasının yanında, ilaç, gıda katkı, gıda ambalajı, tarımsal, biyomedikal ve tekstil ürünleri gibi ürünlerin imalatında uygulama alanı bulabilmektedir [11-20]. Kitosan biyobozunur ve biyoyumlu olma özelliğine sahiptir. Toksik bir etkisi de yoktur. Ayrıca, inorganik olanlarda sınırlı olsa da özellikle organik asidik çözeltilerde çözülebilmektedir. Polimer kompozitlerin üretim sürecinde, sentetik katkı maddelerinin yerini alabilen doğal katkı maddeleri arasındadır [21-24].

Kompozit üretiminde, yanmaya karşı performansı geliştirmek amacıyla katkı olarak kullanılan bileşiklerin ana kategorileri, mineraller, halojenler, fosfor, azot, silikon gibi malzemeler içeren ve nanometrik bileşiklerdir. Termoplastiklerin pek çoğu doğal halindeyken yanıcıdır. Bu durum, malzemenin kullanıldığı yere de bağlı olarak çoğu zaman yangın güvenliği bakımından güvensiz bir durum oluşturmaktadır ve alev almasıyla birlikte zamanında söndürülemez ise alevler yayılmaktadır. Bu duruma çözüm üretilmesi amacıyla doğal polimer katkılarının alev geciktirici özellikleri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu katkılar yanmayı yavaşlatıp alevlerin diğer bileşenlere sıçramasını geciktirmekte ya da engelleyebilmektedir. Bu sayede, farklı nedenlere bağlı olarak meydana gelen sıcaklık artışları nedeniyle yangının başlama ihtimali düşürülebilmektedir [25, 26].

Literatürde, hem kitosan katkılı polimer kompozitlerin üretilmesi hem de bu malzemelerin yanmayı geciktiricilik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Geleneksel alev geciktirici katkı maddelerinin birçoğu, özellikle de halojenlerin bir kısmı, hem insan sağlığına hem de çevreye zararlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, doğal katkı maddeleri ya da polimerler kullanılarak üretilen alev geciktirici özelliğe sahip kompozitler üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir.

Laoutid ve arkadaşları [25], çeşitli alev geciktiricileri araştırmışlardır. Çalışmada yanmaya karşı güvenli olan polimer esaslı kompozit malzemelerin elde edilmesi konusunda gelişmelerin devam ettiği ve tek bir alev geciktiricinin yeterli olamayacağı belirtilmiştir. Costes ve arkadaşları [26], doğal, yenilebilir ve kolay bulunabilen polimerik katkı malzemeleri kullanılarak yapılan alev geciktirici özelliğe sahip kompozitler ile ilgili yaptığı çalışmada, yangına dirençli malzemelere yönelik gelişmeler incelenmiştir. Söz konusu araştırmanın sonuçları, bitkisel yağlar gibi muhtelif biyolojik esaslı bileşiklerin kömürleşme özelliklerine bağlı olarak alev geciktirici olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Xiao ve arkadaşları [27], sentezlemiş oldukları kitosan bazlı karbonlaşma maddesini (HUMCS) sinerjist olarak kullanıp, şişen ve alev geciktirici özellikte hazırlanmış olan PP esaslı kompozit malzeme (IFR-PP) üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, bu yeni malzemeye ait mekanik özelliklerin olumsuz etkilenmesine rağmen yanmaya karşı olumlu bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Chen ve arkadaşları [28], kitosan (Cs) ve amonyum polifosfatın (APP) polilaktik asitin (PLA) yanma davranışlarına etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada, Cs/APP karışımının PLA'nın alev geciktiriciliğinde etkili olduğu ve çevre dostu bir özelliğe sahip olan kitosanın diğer polimerler ile alev geciktirici olarak kullanılabilmesi vurgulanmıştır. Hirschler [29], poliüretan (PU) köpüğünün dış yüzeyini kitosanlı bir karışımından ürettikleri bir film katmanıyla kaplamıştır. Çalışmada, kitosan, montmorillonit kili ve polilaktik asit karışımı filmin alev geciktirici bir etkisi olmasına rağmen, PU köpüğünün genel olarak yangına karşı güvenli bir malzeme olarak kullanılamayacağı belirtilmiştir. Hassan ve arkadaşları [30], organik modifiyeli montmorillonit

(OMMT) ile kitosan fosfatlı melamin tuzunu (MCHP) birlikte kullanarak, lineer düşük yoğunluklu polietilenin (LAYPE) termal kararlılık ve yanma davranışlarına etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen kompozitin yanma sürecinde karbon kalıntıları oluşturduğu ve yanmaya karşı belirgin bir gelişme olduğu tespit edilmiştir. Hu ve arkadaşları [31], melamin kitosan fosfat (MPCS) ile asidik, kömürleştirme ve üfleme etkisi olan bazı katkı maddelerini birlikte kullanarak elde ettikleri yeni katkı maddesini kullanmışlardır. Polivinil alkole (PVA) bu katkı malzemesini ekleyerek elde ettikleri kompozit malzemenin termal özellikleri ve yanmaya karşı davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmada, kullanılmış olan katkı maddesinin PVA'nın alev geciktiricilik özelliğini geliştirdiği belirtilmiştir. Buna ilaveten, kompozit malzemenin yanarken, katkı maddesinin etkisiyle yanıcı uçucu oluşum miktarının azaldığı, yanıcı olmayan oluşum miktarının arttığı vurgulanmıştır. Kurt ve arkadaşları [32], PP polimeri, odun unu, maleik anhidritli PP, çeşitli oranlarda alev geciktirici malzemeler kullanarak elde ettikleri kompozit malzemenin fiziksel, mekanik ve yanma özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, amonyum polifosfat ile birlikte sinerjistik olarak bor bileşikler alev geciktirici katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Çalışmada, ucuz ve halojeniz bir katkı maddesi olarak bor bileşiklerinin kullanılabilirliği ve kullanılmış olan bu katkı maddelerinin, malzemenin hem mekanik özelliklerini hem de yanmaya karşı performansını geliştirdiği belirtilmiştir. Hu ve arkadaşları [33], fosfor pentoksit ve glisidil metakrilat ile iki aşamalı olarak modifiye ettikleri kitosan epoksi akrilat reçinesi ile birlikte kullanarak elde ettikleri kompozit malzemenin alev geciktirici özelliğini araştırmışlardır. Modifiye işleminin malzemelerin uyumluluğunu arttırdığı, bununla birlikte malzemenin yanma esnasındaki kömürleşme özelliğinin iyileştiği ve bunun yanıcı-uçucu oluşumları engellediği belirtilmiştir. Katkı maddesinin ağırlıkça oran artışına bağlı olarak yanmaya karşı davranışlarının daha da iyileştiği vurgulanmıştır.

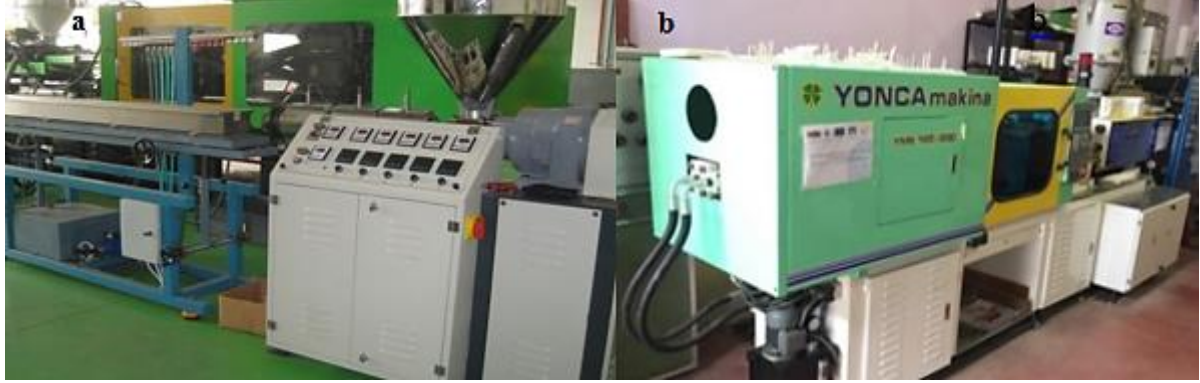
Literatür çalışması değerlendirildiğinde, kitosan katkılı PP kompozitlerin yanması üzerine kapsamlı bir çalışmanın bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, PP ve ağırlıkça farklı oranlarda kitosan katkılı PP kompozitlerinin TS EN 60695-2-11 standardına uygun şekilde kızaran tel deneyleri gerçekleştirilmiş ve kitosan katkısının PP polimerinin yanma davranışlarına olan etkisi araştırılmıştır. Deneylerde alev alma süresi üzerinde etkili olan ağırlıkça kitosan katkı oranlarının ve sıcaklık değerlerinin analizi istatistiksel olarak incelenmiştir. Deneylerde ağırlıkça üç farklı kitosan katkı oranı ve sıcaklık değerleri kullanılmış ve bu parametrelerin alev alma süresi üzerindeki etki oranlarını ortaya çıkarmak için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Ayrıca, PP kompozitlerinin yoğunluk ve sertlik değerleri bulunarak, yanma üzerindeki etkileri gözlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Deneysel Düzenek (Experimental Setup)

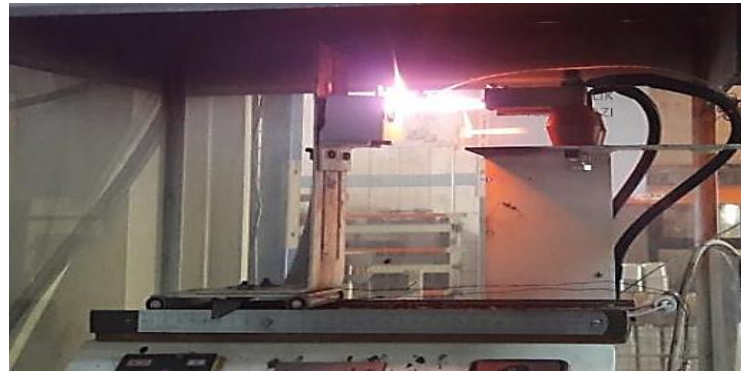
Bu çalışmada, PP polimeri ile ağırlıkça %10-20-30 oranlarında kitosan katkılı PP kompozitleri kullanılmıştır. Türkiye'de bulunan Pimar firmasından tedarik edilerek kullanılmış olan PP polimeri, 0,87 gr/cm³ yoğunluğunda, 12 gr/10dk MFI değerinde ve Pimaplen ticari adıyla bulunan polipropilen homopolimeridir. Kitosan ise Çin'de bulunan Xi'an Rongsheng Biotechnology Co., Ltd. isimli firmadan tedarik edilmiştir. Çalışmada kullanılmış olan kitosan, %95 deasitilasyon derecesinde, ortalama 100 µm partikül boyutuna sahip ve Kitosan 9012-76-4 ticari adıyla bulunan kitosandır. Malzemeler ekstrüderde işlenmeden önce kitosan ile PP granüllerinin homojen olarak karıştırılabilmesi için Mişa firmasının ürünü olan saf kekik yağı kullanılmıştır. PP granülleri, kompozit malzemelerin üretim sürecinden önce ağırlıkça %0,2 oranında kekik yağı ile karıştırılmıştır. Daha sonra 4 Kw gücündeki Şekil 1a'da gösterilmiş olan 25 mm çapında ve L/D oranı 20 olan endüstriyel tip tek vidalı ekstrüder ile üretilmiştir. Üretim için makinenin besleme kısmından kalıba kadar olan sıcaklık bölgeleri sırasıyla 165°C, 175°C, 185°C ve 195°C sıcaklık değerlerinde ayarlanmıştır. Son olarak, granüller 40°C sıcaklıkta 1 saat süre ile kurutulmuştur. Deneysel numuneleri ise üretilmiş ve kurutulmuş olan kompozit malzemelerden, Bursa Uludağ Üniversitesi laboratuvarlarındaki Şekil 1b'de gösterilmiş olan 200 gramajlı ve 18 Kw gücündeki Yonca Makine markalı YMS 120/200 tipindeki plastik enjeksiyon makinesi ile 4 mm kalınlığında plaka şeklinde üretilmiştir. Enjeksiyonla kalıplamada üretim proses koşulları ise 30s periyot ile 100 bar basınçta,

besleme kısmından kalıba kadar olan sıcaklık bölgeleri de sırasıyla 170°C, 180°C, 190°C ve enjeksiyon memesi ise 200°C sıcaklık değerlerinde ayarlanmıştır.



Şekil 1. a) Tek vidalı ekstrüzyon makinesi, b) Plastik enjeksiyon makinesi

Araştırma kapsamında, PP polimeri ve kitosan katkılı PP kompozitlerinin yanma davranışlarını incelemek amacıyla deney numunelerine Şekil 2’de gösterilmiş olan Federal KT01 kodlu test cihazı ile TS EN 60695-2-11 standardına uygun bir şekilde kızaran tel deneyleri gerçekleştirilmiştir. Genellikle elektriksel uygulamalarda tercih edilen bu deney sonuçlarına göre, kitosanın PP polimerinin yanmayı geciktiricilik özelliklerine olan etkisi belirlenmiştir.



Şekil 2. Kızaran tel test cihazı

Kızgın tel deneyleri 23°C ortam sıcaklığında ve her numune için üç kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. 4 mm kalınlığındaki deney numunesi belirlenmiş sıcaklıktaki kızgın telin üzerine dikey olarak 1N kuvvet uygulanarak temas ettirilmiştir. Bu şartlarda 30s süre boyunca kuvvet uygulanmış ve kızaran telin deney numunesi içindeki en fazla hareket mesafesi 7 mm olarak sınırlandırılmıştır. Deneyler, her bir numune için deney prosedürüne uygun bir şekilde farklı sıcaklıklar altında uygulanmıştır. Bu sıcaklık değerleri uygulandıktan sonraki durumda, alev alıp almaması, alev alırsa sönme süresi ve damlama oluşumu izlenmiştir. Deneyin uygulamasında, 30s sonunda numune kızgın telden uzaklaştırılınca tutuşmazsa ya da alev alması durumunda 30s içinde sönerse malzemenin deneyi geçmiş olduğu sonucuna varılmaktadır.

Taguchi L₉ dikey dizine göre 9 adet kızgın tel deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımı ve istatistiksel analiz MINITAB yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Kızgın tel deneylerinde parametre olarak üç farklı malzeme (ağırlıkça %10, %20, %30 katkı oranlarında kitosan) ve üç farklı sıcaklık (550, 650, 750°C) kullanılmıştır. Parametre seviyeleri ve deney tasarımı sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Parametreler ve seviyeleri

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Malzeme	PP+%10Cs	PP+%20Cs	PP+%30Cs
Sıcaklık (°C)	550	650	750

Ayrıca, üretilen malzemeler üzerinde yoğunluk ve sertlik deneyleri gerçekleştirilmiş ve kitosan katkısının bu çıktılara olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, ISO 1183'e uygun şekilde yapılmış olan yoğunluk deneyleri Şekil 3a'da gösterilen And/gr 200 test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney, her bir malzeme tipi için en az üç defa tekrarlanmış ve ortalama değerler kullanılmıştır. ISO 868'e uygun olarak yapılmış olan sertlik deneyleri ise, Şekil 3b'de gösterilmiş olan Shore A-D sertlik test cihazı ile numunelerinin üzerinden en az üç ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarda ortalama değerler kullanılmıştır.



Şekil 3. a) Yoğunluk testi cihazı (And/gr 200), b) Sertlik ölçme test cihazı (Tronic shore A-D)

Tablo 2. Deney tasarımı

Deney No	Malzeme	Sıcaklık
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

3. DENEYSEL VE İSTATİSTİKSEL SONUÇLAR (EXPERIMENT AND STATISTICAL RESULTS)

Tablo 3'te, PP ve PP kompozitlerinin 550°C, 650°C ve 750°C'deki kızgın tel deney sonuçlarında tespit edilmiş olan değerler verilmiştir.

PP ve %10, 20 ve 30 kitosan katkılı PP kompozitlerinin 550°C ve 650°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen kızgın tel deneylerinin sonucunda alev almadığı ve 19s sürenin üzerinde damlamaya başladıkları tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, malzemelerin 550°C ve 650°C sıcaklıklarında testi geçtiği saptanmıştır.

PP polimerinin 750°C sıcaklıkta iken 7. saniye de alev aldığı ve alev belirlenmiş olan 30s süre içinde sönmediği fakat %10-20-30 kitosan katkılı kompozitlerin aynı sıcaklıkta iken alev almadığı tespit edilmiştir. Damlama süreleri ise PP polimerinin 13s iken kompozitlerin aynı sıralamayla, 14,18 ve 17s olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlara göre, kitosan katkısının kompozit malzemelerin damlamaya başlama süresini geciktirdiği, 750°C sıcaklıkta PP polimerinin testi geçemediği, aynı sıcaklıktayken PP/Cs kompozitlerinin ise testi geçtiği tespit edilmiştir. Bunların sonucunda, kitosan katkısının PP polimerinin alev alma süresini geciktirerek yanmaya karşı olan performansını geliştirdiği sonucuna varılmıştır. Bunun nedeninin, biyolojik esaslı bileşiklerin yanma esnasındaki karbonlaşma özellikleri sayesinde yanıcı-uçucu oluşumları ve hava ile temasını azaltarak alev geciktirici özellik gösterebilmesine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır [26, 33].

Tablo 3. PP ve kompozitlerin yanmazlık deney sonuçları

Malzeme	Kızaran Tel Deneyinde Gözlenenler	550°C, 30s	650°C, 30s	750°C, 30s
PP	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	7
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	Alev sönmedi
	**Damlamanın başladığı süre (s)	20	20	13
	Sonuç	Geçti	Geçti	Kaldı
PP+%10 Cs kompozit	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	Alev almadı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	-
	**Damlamanın başladığı süre (s)	20	19	14
	Sonuç	Geçti	Geçti	Geçti
PP+%20 Cs kompozit	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	Alev almadı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	-
	**Damlamanın başladığı süre (s)	26	21	18
	Sonuç	Geçti	Geçti	Geçti
PP%30 Cs kompozit	Alev alma süresi (s)	Alev almadı	Alev almadı	Alev almadı
	*Alevin sönme süresi (s)	-	-	-
	**Damlamanın başladığı süre (s)	24	22	17
	Sonuç	Geçti	Geçti	Geçti

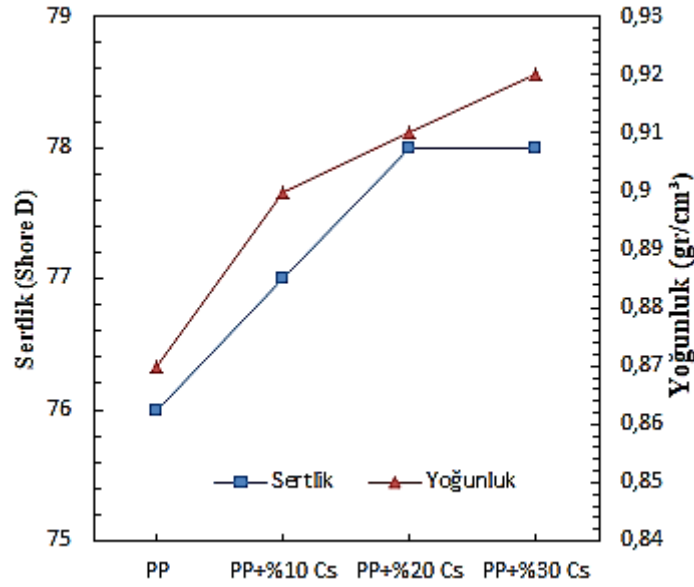
* 30 s içinde sönmeli, ** Altındaki ipek kağıt tutuşmamalı

Kızgın tel deneyleri sonucunda elde edilen veriler çerçevesinde, alev alma süresi üzerinde etkili olan parametrelerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ayrı bir önem taşımaktadır. Bu noktada, deneylerde kullanılan ağırlıkça kitosan katkı oranlarının ve sıcaklık değerlerinin etki oranları %95 güven seviyesinde ANOVA ile değerlendirilmiştir (Tablo 4). ANOVA tablosunda, her bir parametre için serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), yüzde etki oranı (PCR) ile P değerleri verilmiştir. Eğer P değeri 0,05'in altındaysa, kullanılan parametrenin deney üzerinde etkili olduğunun göstergesidir. Bu bağlamda ANOVA sonuçları değerlendirildiğinde, alev alma süresi üzerinde en büyük etkiye sahip parametrenin %70,69 ile sıcaklık olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, malzeme faktörünün de %26,13 bir etki oranına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4. ANOVA sonuçları

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
Malzeme	2	5,5204	2,7602	16,40	0,012	26,13
Sıcaklık	2	14,9355	7,4678	44,38	0,002	70,69
Hata	4	0,6731	0,1683			3,18
Toplam	8	21,1290				

Diğer yandan, PP polimeri ve %10, 20 ve 30 kitosan katkılı PP/Cs kompozitlerinin yoğunluk ve sertlik değerlerindeki değişimlerini gösteren grafik Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Deney numunelerinin yoğunluk ve sertlik değerleri

Yoğunluk değerleri incelendiğinde, ağırlıkça kitosan katkı oranının artması ile yoğunluk değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Buna göre, PP'nin yoğunluk değeri 0,87 gr/cm³ iken, ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranlarında kitosan katkılı PP kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri sırasıyla 0,90, 0,91 ve 0,92 gr/cm³ olduğu belirlenmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde ise, PP kompozitinin Shore-D sertlik değeri 76 iken, ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranlarında PP/Cs kompozit malzemelerin sırasıyla 77, 78 ve 78 değerinde olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, kitosan katkısının artmasına bağlı olarak Shore-D sertlik değerlerinin artma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, malzemenin yük altında elastik şekil değişimini ifade eden Young modülün artması ve buna bağlı olarak malzeme rijitliğinin artmasıyla ilişkilendirilebilir [34,35]. Bu bağlamda, kitosan katkısının artmasıyla artan sertlik değerleri, PP kompozitinin yanmasını geciktirdiği söylenebilir (Tablo 3).

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma kapsamında, ağırlıkça farklı kitosan katkı oranları içeren PP kompozitlerinin kızgın tel deneyleri gerçekleştirilerek, kitosan katkısının PP polimeri üzerindeki yanma davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, ağırlıkça kitosan katkı oranlarının sertlik ve yoğunluk üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Gerçekleştirilmiş olan kızgın tel deneylerinden, kitosan katkısının PP polimerinin alev alma süresinin geciktirilebilmesinde etkili olduğu, 750°C sıcaklıkta PP polimerinin testi geçemediği, aynı sıcaklıktayken ağırlıkça %10-20-30 oranlarında kitosan katkılı PP kompozitlerinin her birinin testi geçtiği tespit edilmiştir. Damlama sürelerini de arttırabildiği gözlemlenmiştir.
- Kitosan katkısının, PP polimerinin yoğunluk ve sertlik değerlerini artırma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.
- ANOVA sonucuna göre, kızgın tel deneyleri neticesinde alev alma süresine etki eden en önemli parametrenin %70,69 ile sıcaklık olduğu saptanmıştır.
- Kitosan katkısının farklı polimer malzemeleri üzerinde yanma davranışlarına olan etkisi incelenebilir.
- Kitosan katkısının şekil ve boyutları değiştirilerek, PP ya da diğer polimerler birlikte kullanılarak elde edilecek kompozitlerin yanmaya karşı performanslarına etkisi araştırılabilir.
- PP/kitosan ikilisine yanmaya karşı sinerjistik etki oluşturacak maddeler üzerine araştırma yapılabilir.

REFERENCES (KAYNAKLAR)

1. Khan, R. A. Khan, N. Sharmin, Sarker, B., M. A. Khan, S. Saha, K. K. Debnath, K. Dey, M. Rahman, K. Das Anjan, F. Kabir, A. K. Das, Mechanical, Degradation and Interfacial Properties of Chitosan Fiber-Reinforced Polypropylene Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50(2): 141-146, 2011.
2. M. Alsan, Isıl İşlem Görmüş Odunun Polipropilen Kompozitlerin Özellikleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, Türkiye, 2016.
3. Deniz, S., Polimer Malzemelerin Enjeksiyonda Birleşme İzlerinin Mekanik Davranışlara Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 2006.
4. C. Şeker, Termoplastiklerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1999.
5. Ş. Yelkenci, Plastik Enjeksiyon Kalıplama Teknikleri ve Özel Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 2008.
6. F. C. Yiğit, Plastik Enjeksiyon Makinelerinde ve Ürünlerde Arıza Tespiti ve Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2011.
7. İ. Uzun, Y. Erişkin, Hacim Kalıpcılığı, MEB Yayınları, İstanbul, 1984.
8. C. Can, Plastik Enjeksiyon Kalıplamada Termoplastik Malzemelerin Modelleme ve Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2008.
9. <http://www.bilgiustam.com>, Erişim Tarihi: 01.03.2020.
10. S. Ataşımşek, Plastik ve Metal Kalıpcılık Teknikleri, 2. baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2006.
11. A. Demir, N. Seventekin, Kitin, Kitosan ve Genel Kullanım Alanları, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(2): 92-103, 2009.
12. <http://www.vanderbilt.edu>, Erişim Tarihi: 01.03.2020
13. W.Y. Guang, The Effect of Chitosan and Its Derivatives on the Dyeability of Silk, Ph.D. Thesis, Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, 2002.
14. K. Bostan, T. Aldemir, A. Aydın, Kitosan ve Antimikrobiyal Aktivitesi, *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 37(2): 118-127, 2007.
15. N. Karaton Kuzgun, A. Gürel İnanlı, Kitosan Üretimi ve Özellikleri ile Kitosanın Kullanım Alanları, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 6(2): 16-21, 2013.
16. C. Varlık, N. Erkan, Ö. Özden, S. Mol, T. Baygar, Su Ürünleri İşleme Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi Yayınları, 473-474, 2004.
17. K. F. El-tahlawy, M. A. El-bendary, A. G. Elhendawy, S.M. Hudson, The Antimicrobial Activity of Cotton Fabrics Treated with Different Crosslinking Agents and Chitosan, *Carbohydrate Polymers*, 60(4): 421-430, 2005.
18. S. Çaklı, B. Kılınç, Kabuklu Su Ürünleri İşleme Artıklarının Endüstriyel Alanda Değerlendirilmesi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 21(1-2): 145-152, 2004.
19. H. Honarkar, M. Barikani, Applications of Biopolymers I: Chitosan, *Monatsh Chem*, 140: 1403, 2009.
20. K. V. Harish Prashanth, R. N. Tharanathan, Chitin/chitosan: modifications and their unlimited application potential - an overview. *Trends in Food Science & Technology*, 18(3): 117 - 131, 2007.
21. B. E. Koç, M. Özkan, Gıda Endüstrisinde Kitosanın Kullanımı, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, *Gıda*, 36(3): 161-168, 2011.
22. S. Ersus Bilek, F. M. Yılmaz, E. Arslan, S. Cesur, Meyve ve Sebzelerin Ambalajlanmasında Antibakteriyel ve Biyobozunur Plastiklerin Kullanımı. *Plastik & Ambalaj Teknolojisi*, 19 (196): 54-60, 2014.
23. F. Shahidi, J. K. V. Arachchi, Y. Jeon, Food Applications of Chitin and Chitosans, *Trends in Food Science & Technology*, 10(2): 37-51, 1999.
24. H. Salmah, A. Faisal, H. Kamarudin, Chemical Modification of Chitosan-Filled Polypropylene (PP) Composites: The Effect of 3-Aminopropyltriethoxysilane on Mechanical and Thermal Properties. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 60(7) 429-440, 2011.
25. F. Laoutid, L. Bonnaud, M. Alexandre, J.M. Lopez-Cuesta, P. Dubois, New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites, *Materials Science and Engineering*, 63(3): 100-125, 2009.
26. L. Costes, F. Laoutid, S. Brohez, P. Dubois, Bio-based flame retardants: When nature meets fire protection, *Materials Science and Engineering*, 117: 1-25, 2017.
27. Y. Xiao, Y. Zheng, X. Wang, Z. Chen, Z. Xu, Preparation of a chitosan-based flame-retardant synergist and its application in flame-retardant polypropylene, *J. of Applied Polymer Science*, 131(19): 1-8, 2014.

- 28.C. Chen, X. Gu, X. Jin, J. Sun, S. Zhang, The effect of chitosan on the flammability and thermal stability of polylactic acid/ammonium polyphosphate biocomposites, *Carbohydrate Poly.*, 157: 1586–1593, 2017.
- 29.M. M. Hirschler, Polyurethane foam and fire safety. *Polymers For Advanced Technologies*, 19: 521-529, 2008.
- 30.M. Hassan, M. Nour, Y. Abdelmonem, G. Makhlouf, A. Abdelkhalik, Synergistic effect of chitosan-based flame retardant and modified clay on the flammability properties of LLDPE, *Polymer Degradation and Stability*, 133: 8-15, 2016.
- 31.S. Hu, L. Song, Y. Hu, Preparation and Characterization of Chitosan-Based Flame Retardant and Its Thermal and Combustible Behavior on Polyvinyl Alcohol, *Polymer-Plastics Tech. and Engineering*, 52(4) 393-399, 2013.
- 32.R. Kurt, F. Mengeloğlu, Utilization of boron compounds as synergists with ammonium polyphosphate for flame retardant wood-polymer composites, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35: 155-163, 2011.
- 33.S. Hu, L., H. Pan, Y. Hu, X. Gong, Thermal properties and combustion behaviors of flame retarded epoxy acrylate with a chitosan based flame retardant containing phosphorus and acrylate structure, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 97: 109-115, 2012.
- 34.H. K. Sezer, O. Eren, H. R. Börklü, V. Özdemir, Karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin ergiyik biriktirme yöntemi ile eklemeli imalatı: fiber oranı ve yazdırma parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2): 663-674, 2019.
- 35.H. Salmah, A. Faisal, H. Kamarudin, I. Hanafi, Mechanical and Thermal Properties of Chitosan-Filled Polypropylene Composites: The Effect of Acrylic Acid. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 17(2): 125-131, 2011.

AA2024 Alaşımının Tornalanmasında Nanoakışkan Konsantrasyon Oranı ve MMY Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

Ayşegül YÜCEL¹, Çağrı Vakkas YILDIRIM^{2,*}

¹Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye

²Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Kayseri, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 12.11.2020

Kabul: 17.12.2020

Anahtar Kelimeler:

AA 2024 T3

Nanoakışkan

Molibden disülfür

Yüzey pürüzlülüğü

Kesme sıcaklığı

ÖZET

Kesme sıvıları, talaş kaldırma esnasında soğutma, yağlama ve talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırma gibi çok önemli görevleri yerine getirmektedirler. Ancak, toksik olmaları nedeniyle çevre ve çalışan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadırlar. Dolayısıyla, işleme verimliliği üzerindeki etkisini azaltmadan klasik kesme sıvısı miktarının azaltılması oldukça önemlidir. Son dönemde bu amaca uygun olarak bazı alternatifler ortaya çıkmıştır. Bu alternatiflerden biri de MMY sistemidir. Ancak, MMY sistemi kendi içerisinde birçok parametreyi barındırmaktadır. Dahası, hafif ve orta ağırlıktaki talaş kaldırma operasyonlarında oldukça etkin olan bu sistemin ağır işleme koşullarındaki etkinliği de artırılmalıdır. Bu çalışmada, debi ve basınç gibi MMY parametreleriyle beraber nano katkı maddesi konsantrasyon oranının MMY sisteminin gelişmesi noktasındaki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç için üç farklı debi (40, 70 ve 100 ml/s), üç farklı basınç (4, 6 ve 8 bar) ve üç farklı nano katkı maddesi konsantrasyon oranı (hacimce %0.2, %0.6 ve %1.0) kullanılarak bir dizi deney yapılmıştır. Deney tasarımında Taguchi L₉ dikey dizini tercih edilmiştir. Faktörlerin sonuç üzerindeki etkisini göstermek için ANOVA analizi yapılmıştır. Ayrıca gelecekteki benzer çalışmalara yardımcı olması açısından regresyon analizi yapılmış ve tahmin modelleri oluşturulmuştur. Deney sonuçlarına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı için optimum sonucu 100 ml/s debi, 8 bar basınç ve %0.6 konsantrasyon oranı kombinasyonu vermiştir.

The Effect of Nanofluid Concentration Ratio and MQL Parameters on Surface Roughness and Cutting Temperature in Turning of AA2024 Alloy

ARTICLE INFO

Received: 12.11.2020

Accepted: 17.12.2020

Keywords:

AA 2024 T3

Nanofluid

Molybdenum disulfide

Surface roughness

Cutting temperature

ABSTRACT

Cutting fluids perform very important tasks during chip removal, such as cooling, lubrication and removing the chip from the cutting zone. However, because cutting fluids are toxic, they pose a serious threat to the environment and employee health. Therefore, it is very important that is reduced the amount of classical coolant without reducing its impact on machining efficiency. Recently, some alternatives have emerged in accordance with this purpose. One of these alternatives is the MQL system. However, the MQL system contains many parameters in itself. Moreover, the effectiveness of this system, which is highly effective in light and medium-weight chip removal operations, should also be increased in heavy processing conditions. In this study, it was aimed to investigate the effect of MQL parameters such as flow rate and pressure as well as the nano additive concentration ratio on the development of the MQL system. For this purpose, a series of experiments were conducted using three different flow rates (40, 70 and 100 ml/s), three different pressures (4, 6 and 8 bar) and three different concentration rates of nano additives (0.2%, 0.6% and 1.0% by volume). Taguchi L₉ vertical sequence was preferred in the experimental design. ANOVA analysis was performed to show the effect of factors on the result. In addition, regression analysis was performed and prediction models were created to help similar studies in the future. According to the results of the experiment, the combination of 100 ml/s flow rate, 8 bar pressure and 0.6% concentration ratio gave the optimum result for average surface roughness and cutting temperature.

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: : cvyildirim@erciyes.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir malzemenin havacılık ve uzay uygulamalarında tercih edilebilmesi için düşük yapısal ağırlık, yüksek hasar toleransı ve yüksek dayanıklılık gereksinimlerini karşılaması gerekir. Bunun için de malzemenin yüksek kırılma tokluğu, yüksek yorulma performansı, yüksek şekillendirilebilirlik ve süperplastiklik gibi çok önemli özelliklere sahip olması gerekir [1]. Alüminyum alaşımları, bu özelliklerin çoğunu barındırması nedeniyle hava ve uzay araçlarının gövde veya kanat gibi bölgelerinde yoğun talep görmektedir. Bunun en büyük nedeni de mukavemet/ağırlık oranının yüksek olmasıdır. Bir başka deyişle, düşük ağırlığı ve gösterdiği yüksek mukavemet özellikleri ile uçak üreticileri için cezbedici bir malzemedir. Örneğin, yoğunluğu çeliğin yaklaşık üçte birine tekabül ederken yüksek yorulma direnci ve mükemmel seviyede tokluk gösterirler [2]. Ayrıca, havadaki oksijenle reaksiyona giren alüminyum, pasif bir alüminyum oksit tabakası oluşturur ve böylece yüksek bir korozyon direncine sahip olur. Ana alaşım elementi bakır olan 2xxx serisi alüminyum alaşımları da, bu genel özellikleri yüksek oranda barındırırlar ve bu nedenle havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Buna karşın, alüminyum alaşımların işlenmesi esnasında talaş sürekli, oldukça kalındır ve kolay kırılmamaktadır. Bu durum, alüminyum alaşımlarının talaş kaldırma yöntemiyle şekillendirilmesi sırasında büyük problemlere neden olmaktadır. Dahası, malzemenin sünek olması nedeniyle talaş kesici takıma yapışmakta ve işleme verimliliğini oldukça düşürmektedir [3]. Bütün bu nedenlerden dolayı alüminyum alaşımlarından talaş kaldırılması esnasında çıkan talaşın kesme bölgesinden çok çabuk uzaklaştırılması işleme verimliliği açısından oldukça önemlidir. Talaş kesme bölgesinden uzaklaştırmak için başvurulan yöntemlerin en bilinenlerinden biri de kesme sıvısı kullanımınıdır.

Kesme sıvıları, talaş kaldırma operasyonlarında soğutma, yağlama ve talaş kesme bölgesinden uzaklaştırma gibi işleme verimliliği için önemli olan temel görevleri yerine getirmektedirler. Buna karşın, kesme sıvıları toksiktir ve doğa ve insan sağlığı için tehlikelidir. Bu nedenle kullanılan kesme sıvılarının azaltılması gereklidir. Bunun için günümüzde birçok ülke sıkı bir mevzuatı yürürlüğe koymuştur veya koymak üzeredir [4]. Talaşlı imalat proseslerinde kullanılan kesme sıvısını azaltmak için ya kuru işleme yapılmalı ya da kuru işlemeye yakın alternatifler artırılmalıdır. Günümüzde araştırmacılar alternatif geliştirmek için yoğun çaba harcarken mevcut alternatiflerden birisi de Minimum Miktarla Yağlama (MMY) sistemidir. MMY sistemi, kesme bölgesine çok az miktarda yağlayıcı maddenin yüksek hassasiyetle uygulandığı bir soğutma/yağlama tekniğidir. Geleneksel kesme sıvısı kullanımı ile karşılaştırıldığında kullanılan kesme yağı oranı 1/10000 seviyesindedir [5]. Bu da MMY sistemini çevre ve çalışan dostu bir soğutma/yağlama yöntemi haline getirmektedir. Ancak, kullanılan yağ tipi, basınç, debi, püskürtme açısı, püskürtme mesafesi, nozul tipi, vb. gibi birçok parametre MMY sisteminin etkinliğini etkilemektedir ve bu parametrelerin optimize edilmesi önemlidir. Yıldırım ve ark. [6] yaptıkları çalışmada Waspaloy süper alaşımını frezelerken kesme yağı, nozul tipi, debi, püskürtme mesafesi ve püskürtme yönü gibi parametreleri kullanmış ve farklı MMY parametrelerinin optimizasyonunu yapmıştır. Yine bir başka çalışmada Liu ve ark. [7] Ti-6Al-4V malzemesini frezelerken basınç, debi ve nozul pozisyonu gibi MMY parametrelerinin optimizasyonunu yapmıştır. Bütün bunların yanında, kesmenin zor olduğu, kesme sıcaklığının yüksek olduğu veya talaşın kesiciye yapışma eğilimi gösterdiği talaş kaldırma işlemlerinde soğutma özelliğinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu geliştirme işlemi için uygulanan yöntemlerin başında ise kesme sıvısının içerisine nano katkı maddelerinin katıldığı nanoMMY sistemi gelmektedir.

Nano kesme sıvısı ya da nanoakışkan olarak da bilinen nanoMMY yöntemi, baz kesme sıvısının içerisine nano boyutta (<100 nm) parçacıklar eklenerek MMY sisteminde kullanılan kesme sıvısının ısı transfer ve tribolojik özelliklerini artırma işlemidir. Böylece, kesme sıvısının hem yağlama hem de soğutma yetenekleri artırılmaktadır. NanoMMY çalışmalarında başta titanyum dioksit (TiO₂), fulleren (C₆₀), karbon nano tüp (CNT), alüminyum oksit (Al₂O₃), molibden disülfür (MoS₂), silisyum dioksit (SiO₂), hegzagonal bor nitrür (hBN) ve elmas olmak üzere birçok katkı maddesi kullanılmaktadır [8]. NanoMMY sisteminin talaş kaldırma operasyonları üzerindeki olumlu etkisi birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Örneğin, Yıldırım ve ark. [9] Inconel 625 alaşımını tornalarken kesme parametrelerinin yanında kuru, saf MMY ve iki farklı konsantrasyon oranında (hacimce %0,5 ve %1) hBN katılı MMY sisteminin takım

ömürü/aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deney sonuçlarının analizini yapan araştırmacılar nanoMMY sisteminin daha iyi sonuçlar verdiğini iddia etmişlerdir. Talib ve Rahim [10], farklı oranlardaki (%0, %0.05, %0.1 ve %0.5) hBN katı yağlayıcıyı üç farklı kesme sıvısının içerisine katarak nano yağlayıcıların performansına dair deneysel bir çalışma yapmışlardır. Katkisiz kesme sıvısı olarak modifiye edilmiş jatropha oils kullanan araştırmacılar, deneyler esnasında AISI 1045 çeliğini tornalamışlardır. Sonuçlar, %0.05 oranında nano partikül içeren MJO5a kesme sıvısının daha iyi bir işleme performansı sunduğunu göstermiştir. Bir başka çalışmada Şirin ve Kıvak [11] Inconel X-750 malzemesini frezelerken farklı oranlardaki (%0.25, %0.50, %0.75 ve %1.00) hBN, MoS₂ ve grafit katkılı nanoMMY sistemini saf MMY ile karşılaştırmışlardır. Deneyler sonunda araştırmacılar %0,50 konsantrasyon oranına sahip hBN katkılı sistemin diğer opsiyonlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini söylemişlerdir. Marques ve ark. [12] Inconel 718'i tornalarken kuru, saf MMY ve farklı iki nano katkılı kesme sıvılarını kıyaslamışlardır. Katkı maddesi olarak MoS₂ ve grafit kullanan araştırmacılar, MoS₂ katkılı nano kesme sıvısının daha iyi sonuç verdiğini iddia etmişlerdir. Duc ve ark. [13] yaptıkları çalışmada, 90CrSi çeliğini sert tornalarken emülsiyon ve soya yağı temelli kesme sıvılarının içerisine farklı oranlarda (ağırlıkça %1 ve %3) Al₂O₃ ve MoS₂ katkı maddelerini eklemişler ve soğutma/yağlama yönteminin işleme performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarının analizini yapan araştırmacılar ağırlıklı olarak soya yağı temelli kesme sıvısının içerisine %3 oranında katılan MoS₂'nin daha iyi sonuç verdiğini söylemişlerdir.

Bu çalışma özelinde yapılan literatür taramasının bazı örnekleri yukarıda paylaşılmıştır. Bu örneklerde de görüldüğü gibi nano katkılı MMY sistemi kuru ve saf MMY sistemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak, literatür taraması yapılırken nano katkılı MMY sisteminin ya farklı kesme parametreleriyle ya da diğer soğutma/yağlama yöntemleriyle kıyaslandığı tespit edilmiştir. MMY parametrelerinin kendi içinde kıyaslama yapıldığı çalışmaların ise çok sınırlı kaldığı görülmüştür. Bu yönde yapılacak bir çalışmanın sürdürülebilir imalat açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle, üç farklı debi, üç farklı püskürtme basıncı ve üç farklı katkı maddesi konsantrasyon oranının birbiriyle kıyaslandığı bu çalışma yapılmıştır. Deney çıktısı olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı seçilmiştir. Deney tasarımı için Taguchi L₉ (3³) dikey dizini tercih edilmiştir. Performans göstergeleri olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı seçilmiştir. Çalışmaya ait deneysel hazırlık süreci, deney sonuçlarının analizi ve sonuçlara ait değerlendirmeler aşağıda bölümler halinde verilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. İşparçası, Tezgâh ve Takım Özellikleri (Workpiece, Machine and Tool Properties)

Bu çalışmada, iş parçası malzemesi olarak çapı 65 mm ve boyu 270 mm olan AA 2024 T3 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. İş parçası malzemesine ait kimyasal bileşim Tablo 1'de verilirken mekanik özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. AA 2024 T3 alüminyum alaşımına ait kimyasal bileşim (Chemical composition of AA 2024 T3 aluminum alloy) (%)

Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Ti	Zn	Ni	Al
0.294	4.43	1.47	0.452	0.344	0.062	0.166	0.018	Kalan

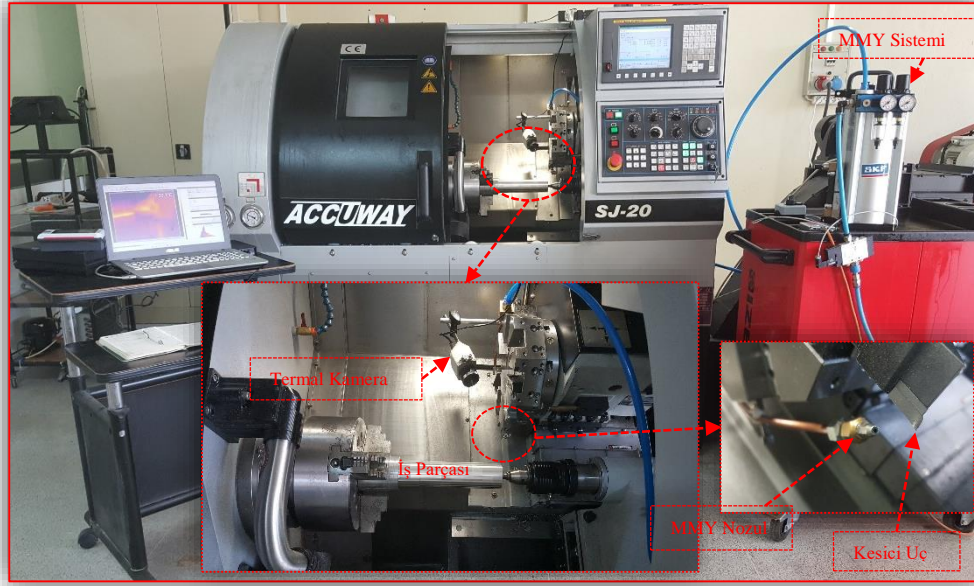
Tablo 2. AA 2024 T3 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri (Mechanical properties of AA 2024 T3 aluminum alloy)

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HV)
0.294	4.43	1.47	0.452

Talaş kaldırma deneyleri esnasında TaeguTec firması tarafından üretilen 35° uç açısına ve 0.4 mm uç radyüsüne sahip, pozitif eğimli, kaplamasız, VCGT 160404 FL kodlu sementit karbür uçlar

kullanılmıştır. Kullanılan bu kesici uçlar torna tezgâhına bağlanırken yine TaeguTec firması tarafından üretilen SVJCR 2525 M16 kodlu takım tutucu kullanılmıştır.

Talaş kaldırma deneyleri Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği CNC laboratuvarında yer alan ACCUWAY marka ve JT-150 model CNC torna tezgâhı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında kullanılan deney setine ait görüntü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. CNC torna ve deneysel ekipmanlar (CNC lathe and experimental equipment)





2.2. MMY Sistemi ve Nanoakışkanın Hazırlanması (MQL System and Preparation of the Nanofluids)

Tornalama deneyleri esnasından SKF firmasına ait Vario modeli MMY sistemi kullanılmıştır. Kesme yağı olarak yine SKF firması tarafından üretilen mineral esaslı kesme yağı (viskozite 20°C; 14 cSt, yoğunluk 20°C; 0.930 g/mL, parlama noktası; 180°C) tercih edilmiştir. MMY parametresi olarak; 2 mm nozul çapı, 30 mm püskürtme mesafesi ve 30° püskürtme açısı seçilmiş ve kesme sıvısı dışarıdan uygulanmıştır. Püskürtme işlemi takımın üzerinden tam kesme noktasına olacak şekilde ayarlanmıştır. MMY parametrelerinin seçiminde ön deneyler ve literatür bilgisinden faydalanılmıştır.

Çalışma esnasında nano katkı maddesi olarak MoS₂ kullanılmıştır. Kullanılan MoS₂’ye ait teknik özellikler Tablo 3’te verilmiştir. Nanoakışkanın elde edilebilmesi için iki adımlı karıştırma prosesi kullanılmıştır. Buna göre, MoS₂ daha önceden ön deneyler aracılığıyla belirlenen oranlarda mineral kesme yağının içerisine katılmış ve bir dizi karıştırma prosesine tabi tutulmuştur. Karıştırma prosesine göre mineral kesme yağının içerisine katılan nano partiküller ilk olarak DAIHAN marka ve HS-100D modelindeki mekanik karıştırıcı kullanılarak 60 dakika boyunca 1000 dev/dak ile karıştırılmıştır. Daha sonra, TERMAL marka ve N11150M modelindeki manyetik karıştırıcı kullanılarak 1500 dev/dak devir sayısı ile 60 dakika boyunca karıştırılmıştır. Böylece nano katkı maddelerinin mineral kesme yağı içerisinde homojen olarak dağılması sağlanmıştır. Karıştırma prosesi Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu karıştırma prosesi sonucunda elde edilen karışımlar herhangi bir çökelme durumuna karşı bekletilmeden kullanılmıştır.

Tablo 3. MoS₂’ye ait teknik özellikler (Technical properties of MoS₂)

Boyut (mm)	Safılık (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Şekil	Görünüş
80	99.90	4.80	Katmanlı	Siyah

1. Adım	2. Adım	3. Adım	4. Adım
			
a)	b)	c)	d)

Şekil 2. Nanoakışkan hazırlama prosesi a) nano katkı maddesi ekleme, b) mekanik karıştırma, c) manyetik karıştırma, d) nanoakışkan (Nanofluid preparation process, a) adding nano additives, b) mechanical mixing, c) magnetic mixing, d) nanofluid)

2.3. Ölçümler (Measurements)

Bu çalışmada, talaş kaldırma sonrasında, yüzey pürüzlülük değerini belirlemek için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ana ölçüm parametresi olarak kabul edilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde markası MAHR olan ve modeli MarSurf PS 10 olan portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük ölçümleri esnasında ölçme uzunluğu 4 mm ve örnekleme uzunluğu $0.08 \mu\text{m}$ olarak alınmıştır. Talaş kaldırma deneyi bittikten sonra iş parçası saat yönünde döndürülmüş ve dört farklı bölgeden ölçüm değerleri alınmıştır. Daha sonra bu değerlerin ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülüğü ($R_{a_{ort}}$) elde edilmiştir. Her deney için daha önce kullanılmamış bir kesici uç kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı her deney öncesi kalibrasyon bloklarıyla kalibre edilmiştir. Ayrıca, yüzeylerin oksitlenerek ölçüm sonuçlarını etkilemesinden kaçınmak için ölçümler talaş kaldırma işleminin hemen sonrasında, bekletilmeden yapılmıştır.

Maksimum kesme sıcaklığını belirlemek için gerçek zamanlı ölçüm yapan ve termografik görüntüleme sağlayan kızılötesi OPTRIS markasının PI 450 model termal kamerası kullanılmıştır. Talaş kaldırma esnasında aktif hale getirilen kameranın ölçüm aralığı $0-900 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik aralıktaki sıcaklığı ölçebilecek şekilde ayarlanmıştır. Kamera, 80 Hz anlık görüntü almakta ve 382×288 piksel optik çözünürlüğe sahiptir. Termal kamera 250 mm mesafeden kesme alanını tam karşıdan görebilecek ve talaş sıçramasından etkilenmeyecek şekilde konumlandırılmıştır. Optik kamera aracılığıyla elde edilen anlık görüntüleri anlamlandırmak için Optris PI Connect yazılımı kullanılmıştır.

2.3. Deneysel Tasarım (Experimental Design)

Tornalama deneyleri esnasında konsantrasyon oranı, debi ve basınç işleme parametreleri olarak seçilmiştir. İşleme parametrelerine ait seviyeler belirlenirken literatür bilgisi, üretici kataloğu ve ön deneylerden faydalanılmıştır. İşleme parametreleri ve bunlara ait seviyeler Tablo 4'te verilmiştir. Bu çalışmanın amacı katkı maddesi konsantrasyon oranı ve bazı MMY parametrelerinin etkinliğini belirlemek olduğundan deneyler boyunca kesme hızı (400 m/dak), ilerleme (0.2 mm/dev) ve talaş derinliği (1 mm) sabit tutulmuştur.

Tablo 4. Kontrol faktörleri ve seviyeleri (Control factors and their levels)

Kontrol Faktörleri	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Konsantrasyon Oranı (% hacimce)	A	0.2	0.6	1.0
Debi (ml/saat)	B	40	70	100
Basınç (Bar)	C	4	6	8

Deneyel çalışmalarda performans karakteristikleri olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı seçilmiştir. 3 faktör ve 3 seviyeli deney tasarımı için Taguchinin L_9 dikey dizini kullanılmıştır. Taguchi yönteminde, deneysel sonuçlar ayrıca bir sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülmektedir. Burada, sinyal (S) üretim sürecinin tasarımında kararlılık için en iyi koşulları seçmek için kullanılırken, gürültü (N) varyasyona neden olan tüm faktörleri temsil etmektedir. Özelliklerin türüne bağlı olarak çeşitli S/N oranları bulunmaktadır. Bunlar, “en yüksek en iyi”, “en düşük en iyi” ve “nominal en iyi” şeklindedir. Hangi seçeneğin kullanılacağı istenen performans karakteristiğinin durumuna bağlı olarak değişmektedir. Örneğin bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığında en düşük değer istendiğinden “en düşük en iyi” seçilmiştir ve Formül 1’e göre hesaplanmıştır [14]. Burada y performans karakteristiğine ait sonuçları gösterirken n deney sayısını temsil etmektedir.

$$\frac{S}{N} = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

3. DENEY VE OPTİMİZASYON SONUÇLARI (EXPERIMENT AND OPTIMIZATION RESULTS)

3.1. S/N Oranlarının Analizi (Analysis of S/N Ratios)

Deneyler sonucunda bulunan ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve kesme sıcaklığı (T) değerleri ve bunlara ait S/N oranları Tablo 5’te sunulmuştur. Tabloya göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması $3.2352 \mu\text{m}$ çıkarken ortalama yüzey pürüzlülüğüne ait S/N oranlarının ortalaması -10.194 dB çıkmıştır. Yine tabloya göre ortalama kesme sıcaklığı değeri $143.31 \text{ }^\circ\text{C}$ çıkarken kesme sıcaklıklarına ait S/N oranlarının ortalaması -43.149 dB olarak elde edilmiştir. Ayrıca, Tablo 6’da deney sonuçları için S/N yanıt tablosu verilmiştir.

Tablo 5. Deney tasarımı, sonuçlar ve S/N oranları (Experimental design, results and S/N ratios)

Deney No	Debi (ml/s)	Basınç (bar)	K.O.*	Ra (μm)	S/N Oranı	T ($^\circ\text{C}$)	S/N Oranı
1	40	4	0.2	3.446	-10.746	168.2	-44.517
2	40	6	0.6	3.233	-10.192	142.3	-43.064
3	40	8	1.0	3.191	-10.079	140.7	-42.966
4	70	4	0.6	3.272	-10.296	144.6	-43.203
5	70	6	1.0	3.255	-10.251	142.8	-43.095
6	70	8	0.2	3.254	-10.248	143.4	-43.131
7	100	4	1.0	3.234	-10.195	138.4	-42.823
8	100	6	0.2	3.138	-9.933	136.3	-42.690
9	100	8	0.6	3.094	-9.810	133.1	-42.848

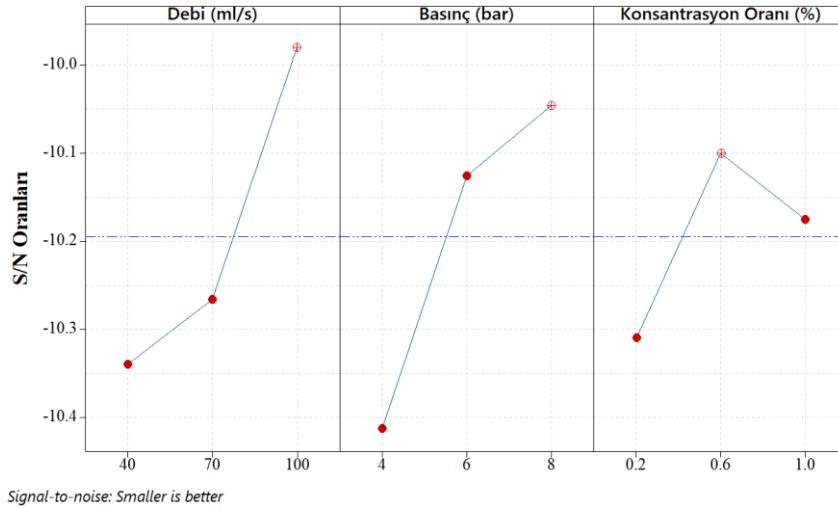
*Konsantrasyon oranı

Tablo 6. S/N yanıt tablosu (S/N response table)

Seviyeler	Yüzey Pürüzlülüğü Kontrol Faktörleri			Kesme Sıcaklığı Kontrol Faktörleri		
	Debi	Basınç	K.O.	Debi	Basınç	K.O.

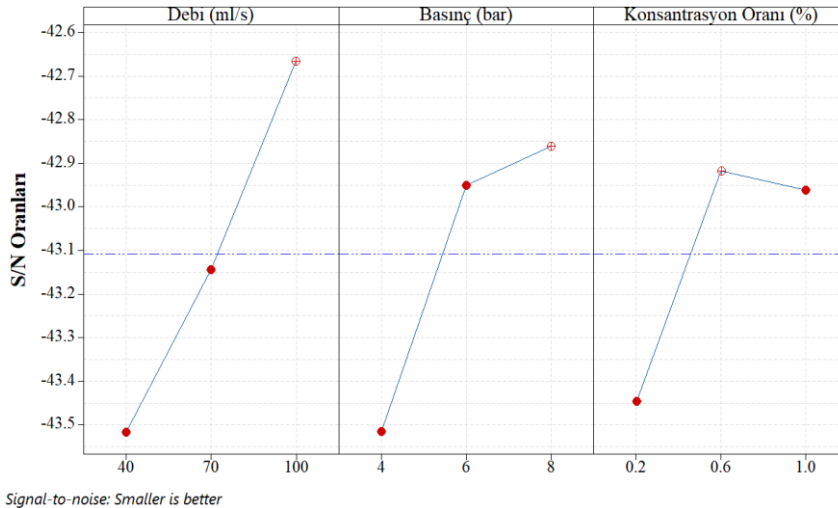
Seviye 1	-10.399	-10.412	-10.309	-43.52	-43.51	-43.45
Seviye 2	-10.265	-10.125	-10.100	-43.14	-42.95	-42.92
Seviye 3	-9.979	-10.046	-10.175	-42.67	-42.86	-42.96
Delta	0.360	0.370	0.210	0.85	0.65	0.53

Şekil 3'te ortalama yüzey pürüzlülüğü için S/N oranları ana etki grafiği görülmektedir. Bu grafiğe göre en üstte yer alan nokta o faktörün optimum seviyesini işaret etmektedir. Buna göre, 1. faktör için optimum S/N oranı -9.979 dB olurken bu durum debi açısından en iyi sonucu 100 ml/s seviyesinin verdiğini göstermektedir. 2. faktör için optimum S/N oranı -10.046 dB olurken bu durum basınç açısından en iyi sonucu 8 bar seviyesinin verdiğini belirtmektedir. 3. ve son faktör için en iyi S/N oranı -10.100 dB olurken bu durum konsantrasyon oranını açısından en iyi oranı hacimce %0.6 oranındaki karışımın verdiğini görülmektedir. Bir başka deyişle, en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü sonucunu 100 ml/s debi, 8 bar basınç ve %0.6 konsantrasyon oranı vermiştir.



Şekil 3. Ra için işleme koşullarının S/N oranına etkisi (effect of machining conditions on S/N ratio for Ra)

Şekil 4'te kesme sıcaklığı için S/N oranları ana etki grafiği görülmektedir. Buna göre, 1. faktör için optimum S/N oranı -42.67 dB olurken bu durum debi açısından en iyi sonucu 100 ml/s seviyesinin verdiğini göstermektedir. 2. faktör için optimum S/N oranı -42.86 dB olurken bu durum basınç açısından en iyi sonucu 8 bar seviyesinin verdiğini belirtmektedir. 3. ve son faktör için en iyi S/N oranı -42.92 dB olurken bu durum konsantrasyon oranını açısından en iyi oranı hacimce %0.6 oranındaki karışımın verdiğini görülmektedir. Bir başka deyişle, kesme sıcaklığı açısından en iyi sonucu 100 ml/s debi, 8 bar basınç ve %0.6 konsantrasyon oranı vermiştir.

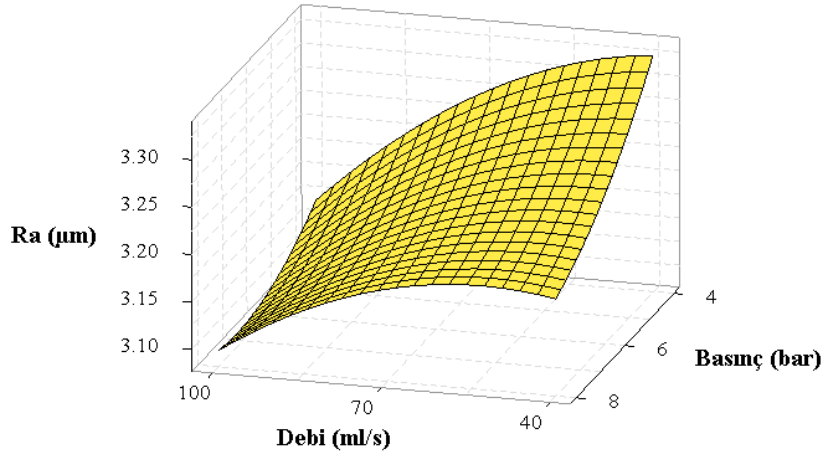


Şekil 4. T için işleme koşullarının S/N oranına etkisi (effect of machining conditions on S/N ratio for T)

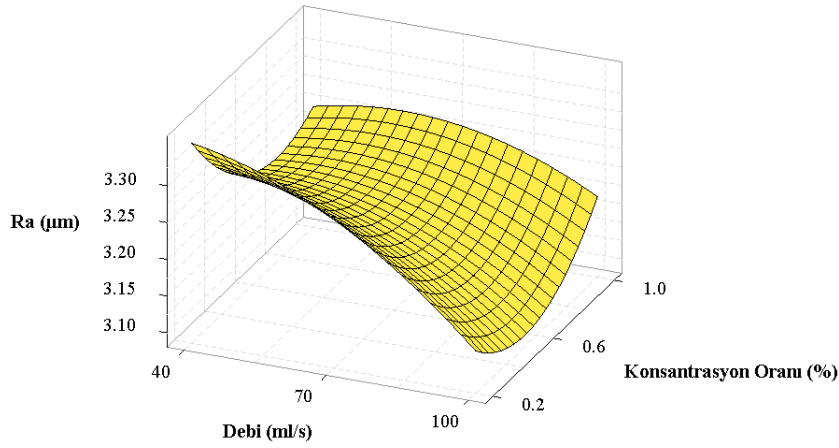
3.2. Bulguların Tartışılması (Discussion of findings)

Tornalama deneylerinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına ait 3D yüzey grafikleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, debinin artması ile birlikte Ra değerinin düştüğü görülmektedir. Debi açısından en yüksek Ra değeri 40 ml/s debi ile elde edilirken en küçük Ra değeri 100 ml/s debi ile elde edilmiştir. Debiye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi oransal olarak incelendiğinde 40 ml/s debi ile yapılan deneylerde Ra değeri ortalama 3.290 μm çıkarken 70 ml/s debide 3.260 μm çıkmıştır. Bir başka deyişle, 40ml/s debi referans alındığında Ra değeri 70 ml/s ve 100 ml/s debilerde sırasıyla %0.92 ve %4.1 oranında iyileşme göstermiştir. Bu durum, debinin artmasıyla birlikte kesme bölgesine daha çok kesme yağı gönderilmesiyle ilişkilendirilmiştir. Kesme bölgesine daha fazla kesme yağının ulaşmasıyla birlikte takım-talaş ara yüzeyinde daha iyi bir film tabakasının oluştuğu ve film tabakasının kalınlaşması ile birlikte sürtünmenin azaldığı düşünülmektedir. Takım-talaş ara yüzündeki sürtünme miktarı kesme bölgesinde oluşan ısı ile doğrudan ilişkilidir. Isının artması kesici takımın aşınma sürecine daha erken girmesine ve dolayısıyla kesme kabiliyetini daha kısa sürede yitirmesine neden olmaktadır. Böylece, talaş kaldırma işlemi esnasında daha yüksek yüzey pürüzlülüğü ortaya çıkmaktadır [6]. Ayrıca, kesme bölgesine gönderilen kesme yağının miktarı kesme sıvısının soğutma özelliğini de doğrudan etkileyebilmektedir [15]. Şekil 5'te görülen bir başka durum ise püskürtme basıncına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişimdir. Şekil 5 incelendiğinde, basıncın artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Ra değerlerinin ortalaması alındığında 4 bar basınçla elde edilen ortalama Ra değeri 3.317 μm çıkarken 6 ve 8 bar basınçla çıkan ortalama Ra değerleri sırasıyla 3.209 μm ve 3.108 μm çıkmıştır. Bir başka deyişle, 4 bar referansında oransal olarak incelendiğinde 6 bar basınçla Ra değerinde %3.26 oranında iyileşme görülürken 8 bar basınçla %6.31 oranında bir iyileşme görülmüştür. Sonuç olarak, basınç değeri arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü düşmüş ve yüzey kalitesi artmıştır. Bu durum, yüksek basınçla beraber kesme bölgesine gönderilen kesme yağının takım-talaş arayüzüne daha iyi nüfuz etmesiyle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, kesme sıvılarının temel görevlerinden biri de talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırmaktır. Yüksek basıncın bu görevi daha etkin yerine getirmesinde etkili olduğu ve böylece kesme işlemine yardımcı olduğu düşünülmektedir [6].

Şekil 6'da konsantrasyon oranına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim gösterilmektedir. Şekil 6 incelendiğinde, ilk etapta konsantrasyon oranının artmasıyla birlikte yüzey kalitesinin arttığı görülmektedir. Buna karşın, konsantrasyon oranının artmaya devam edilmesiyle birlikte Ra değeri artmış ve yüzey kalitesi düşmüştür. Saf kesme sıvısının içerisine katkı maddesinin eklenmesiyle birlikte sıvı özelliklerinin geliştiği bilinen bir durumdur. Dolayısıyla burada ilk etapta olumlu durumun kesme sıvısının termal iletkenlik katsayısı ve tribolojik özelliklerindeki artışla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ancak, konsantrasyon oranının artmaya devam etmesi kesme yağının viskozitesini çok fazla artırmakta ve çamurlaşmaya neden olmaktadır. Böylece, kesme sıvısı kesme bölgesine etkili bir şekilde nüfuz edememekte ve görevini yerine getirememektedir. Bu durum da kesme verimliliğini düşürmektedir [16,17].



Şekil 5. Basınç ve debinin Ra üzerindeki etkilerini gösteren 3D yüzey grafiği (3D surface plots for effects on Ra of pressure and flow rate)

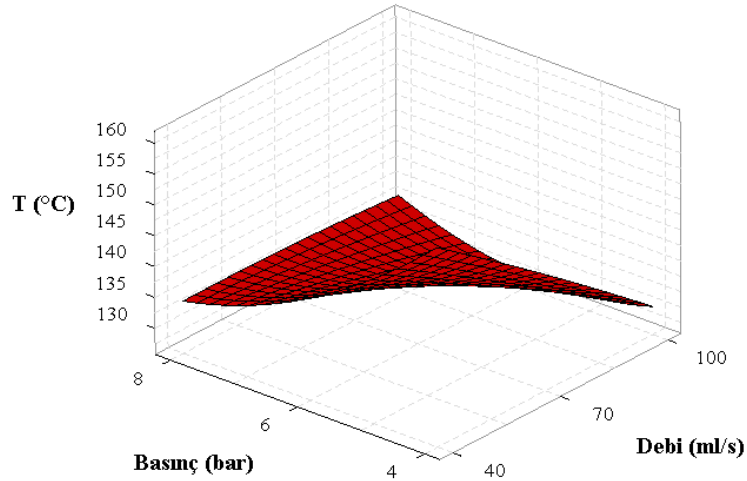


Şekil 6. Debi ve konsantrasyon oranının Ra üzerindeki etkilerini gösteren 3D yüzey grafiği (3D surface plots for effects on Ra of flow rate and concentration ratio)

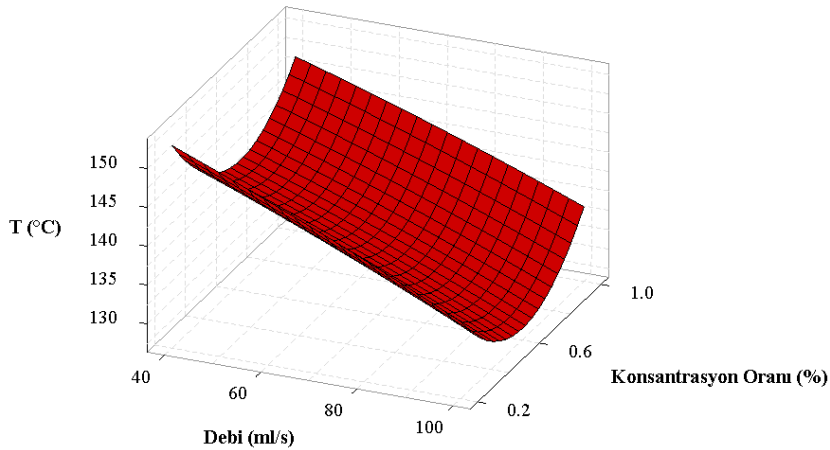
Kesme sıcaklıklarının faktörler ve seviyelerine bağlı değişimi Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, debinin artması ile birlikte kesme sıcaklığının azaldığı görülmektedir. Debi açısından en yüksek değeri 40 ml/s seviyesi verirken en düşük kesme sıcaklığı değerini 100 ml/s seviyesi vermiştir. Öyle ki 40 ml/s debide kesme sıcaklığı ortalama 150.4 °C olurken 70 ml/s debide 143.6 °C olmuş, 100 ml/s debide ise 135.93 °C olarak ölçülmüştür. Bu durum oransal olarak incelendiğinde 40 ml/s debiye göre 70 ml/s debide kesme sıcaklığı ortalama %4.52 oranında azalırken bu azalma oranı 100 ml/s debide %9.62 olmuştur. Bu durum, debinin artmasıyla birlikte kesme bölgesine daha fazla kesme sıvısı iletilmesi ile ilişkilendirilmiştir. Kesme bölgesine gönderilen daha fazla kesme sıvısı hem soğutma hem de yağlama özelliğini daha iyi yapmaktadır. Bilindiği gibi kesme sıcaklıklarını oluşturan ana unsur takım-talaş ve/veya takım-iş parçası arasındaki sürtünmenin seviyesidir [18]. Yine bilindiği gibi, kesme bölgesine gönderilen kesme sıvıları takım-talaş ve/veya takım-iş parçası arasındaki sürtünen yüzeylere nüfuz etmekte, oluşturduğu yağ filmi aracılığıyla bu yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltmaktadır. Dahası, kesme bölgesinde yer alan kesme sıvıları, termal iletkenlik değerlerine bağlı olarak, kesme esnasında oluşan ısının kesme bölgesi dışına tahliye edilmesine yardımcı olmaktadır [19]. Sonuç olarak, deney sonuçları yukarıda verilen durumlara uygun şekilde çıkmış ve literatürle de paralellik göstermiştir. Şekil 7 incelendiğinde görülen bir başka durum ise püskürtme basıncına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişimdir. Grafik incelendiğinde püskürtme basıncının artmasıyla birlikte kesme sıcaklığının düştüğü görülmektedir. Püskürtme basıncı açısından en yüksek kesme sıcaklığı değerini 4 bar basınç verirken en düşük kesme sıcaklığı değerini 8 bar basınç vermiştir. Öyle ki 4 bar basınçta kesme sıcaklığı ortalama 150.4 °C olurken 6 bar basınçta 140.47 °C olmuş, 8 bar basınçta ise 139.07 °C olarak ölçülmüştür. Bu durum oransal

olarak incelendiğinde 4 bar basınca göre 6 bar basınçta kesme sıcaklığı ortalama %6.6 oranında azalırken bu azalma oranı 8 bar basınçta %7.53 seviyesinde olmuştur. Bu durum, kesme bölgesine daha yüksek basınç ile gönderilen kesme sıvısının soğutma görevini daha iyi yerine getirmesi olarak düşünülmektedir. Dahası, yüksek basınç ile takım-talaş arayüzüne gönderilen kesme sıvısı kesme bölgesine daha iyi nüfuz etmiş ve soğutma görevinin yanında yağlama görevini de daha iyi yapmıştır. Ayrıca, yüksek basınç talaşı kesme bölgesinden daha etkili bir şekilde uzaklaştırmaktadır. Bu durumun da sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 8, kesme sıvısı içerisinde katılan katı yağlayıcının konsantrasyon oranına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişimi göstermektedir. Şekil 8 incelendiğinde, konsantrasyon oranının artması ile birlikte kesme sıcaklığının düştüğü, ancak konsantrasyon oranındaki artışın devam etmesiyle birlikte kesme sıcaklığının yeniden yükselme trendine girdiği görülmektedir. %0.2 konsantrasyon oranında kesme sıcaklığı ortalama 149.3°C olarak ölçülürken, bu seviye %0.6 konsantrasyon oranında 140°C ve %1.0 konsantrasyon oranında 140.63°C olmuştur. Bir başka deyişle, konsantrasyon oranının artması bir yere kadar olumlu olurken bir noktadan sonra artması olumlu etkisini azaltmıştır. Bu durum, iki şekilde açıklanabilir. Birinci şekilde saf kesme sıvısının içerisinde katılan katkı maddesi kesme sıvısının termal iletkenlik, viskozite ve ıslanabilirlik gibi değerini artırmaktadır [10]. Böylece, kesme sıvısının hem yağlayıcılık hem de soğutucu yeteneği gelişmektedir. İkinci şekilde ise belli bir oranın üstündeki katkı maddesi kesme sıvısının viskozitesini çok fazla artırmakta ve kesme sıvısı takım-talaş arayüzüne girememektedir [20]. Bir başka deyişle, görevlerini yerine kısmen getirmekte veya hiç getirememektedir. Bu da işleme operasyonu üzerindeki verimliliğini azaltmaktadır. Çalışmanın bu bölümündeki deney sonuçları da bu iki durumla örtüşmektedir.



Şekil 7. Basınç ve debinin T üzerindeki etkilerini gösteren 3D yüzey grafiği (3D surface plots for effects on T of pressure and flow rate)



Şekil 8. Debi ve konsantrasyon oranının T üzerindeki etkilerini gösteren 3D yüzey grafiği (3D surface plots for effects on T of flow rate and concentration ratio)

3.3. Varyans Analizi (Analysis of variance)

Taguchi L₉ dikey dizini aracılığıyla yapılan talaş kaldırma deneylerinde faktörler ve seviyelerinin sonuç üzerindeki etki oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Böylece, hangi faktörün çıktı üzerinde ne kadar öneme sahip olduğu daha kolay anlaşılacaktır. Bu çalışmada, faktörlerin çıktı üzerindeki etki düzeylerini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Yapılan ANOVA analizi %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı için gerçekleştirilen ANOVA sonuçları sırasıyla Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 7. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları (ANOVA results for surface roughness)

Faktörler	SD	KT	KO	F	P	PCR (%)
Debi	2	0.030040	0.015020	4.70	0.175	38.57
Basınç	2	0.031602	0.015801	4.95	0.168	40.58
KO	2	0.009850	0.004925	1.54	0.393	12.65
Hata	2	0.006390	0.003195	-	-	8.20
Toplam	8	0.077882	-	-	-	100

Tablo 8. Kesme sıcaklığı için ANOVA sonuçları (ANOVA results for cutting temperature)

Faktörler	SD	KT	KO	F	P	PCR (%)
Debi	2	314.3	157.15	3.10	0.244	38.96
Basınç	2	229.1	114.54	2.26	0.307	28.40
KO	2	162.0	81.00	1.60	0.385	20.07
Hata	2	101.4	50.69	-	-	12.57
Toplam	8	806.8	-	-	-	100

Tablo 7’de sunulan verilerden yola çıkarak ortalama yüzey pürüzlülüğü için en etkili faktörün basınç (%40.58) olduğu görülürken onu sırasıyla debi (%38.57) ve konsantrasyon oranı (%12.65) takip etmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için hata oranı da %8.20 seviyesinde gerçekleşmiştir. Tablo 8 incelendiğinde, kesme sıcaklığı için en etkili faktörün %38.96 oranı ile debi olduğu görülürken onu %28.40 ile basınç ve %20.07 ile konsantrasyon oranı takip etmiştir. Kesme sıcaklığı için ise hata oranı %12.57 seviyesinde çıkmıştır. Hem ortalama yüzey pürüzlülüğü hem de kesme sıcaklığı için hata seviyesinin %20’nin altında olması yapılan istatistiksel analizin güvenli olduğunu göstermektedir [21].

3.4. Regresyon Analizi (Analysis of regression)

Regresyon analizi, bağımsız değişkenlerle bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermek için matematiksel fonksiyon kullanan bir analiz yöntemidir. Regresyon analizlerini uygulayarak bazı denklemler oluşturulur ve bu denklemler sayesinde bağımlı değişkenlerin referansında bağımsız değişkenlerin tahmini yapılabilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde bağımlı değişkenler ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığıyken bağımsız değişkenler debi, basınç ve konsantrasyon oranıdır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için elde edilen birinci seviyeden lineer regresyon denklemi Eşitlik 2’de verilmiştir;

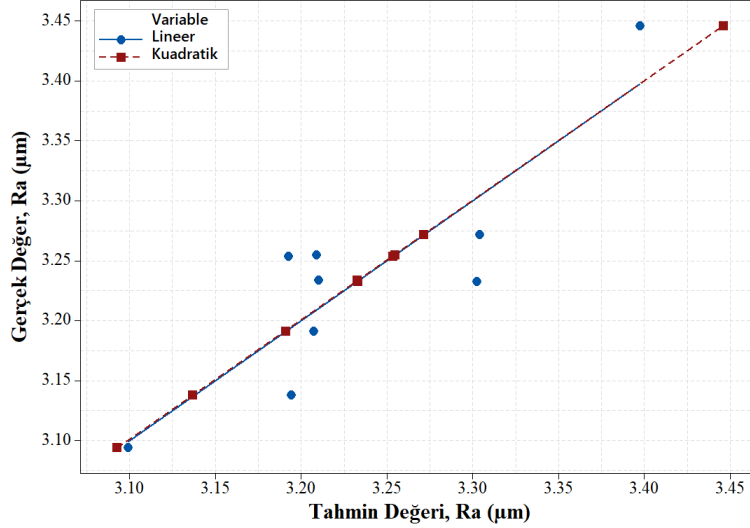
$$Ra (\mu m) = 3.638 - 0.002244 \times \text{Debi} - 0.0344 \times \text{Basınç} - 0.0658 \times \text{KO} \quad (2)$$

Ortalama yüzey pürüzlülüğü için elde edilen lineer denklemin belirleme katsayısı (R^2) 0.7677 çıkmıştır. Bu durum, gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki doğruluk oranının %76.77 olduğu anlamına gelmektedir. Böyle bir denklem ile yapılan tahminlerin sapma oranı çok yüksek olacaktır. Bu nedenle, faktör etkileşimleri de devreye alınarak ikinci seviyeden bir denklem olan kuadratik denklem oluşturulmuştur ve Eşitlik 3’te verilmiştir. Kuadratik denklem sonucu elde edilen

belirleme katsayısı 1'dir ve gerçek değere çok yakın tahmin değerleri elde edileceği anlamına gelmektedir.

$$Ra (\mu m) = 3.962 - 0.000852xDebi - 0.1127xBasınç - 0.7608xKO - 0.000042xDebixDebi + 0.004958xBasınçxBasınç + 0.4104xKOxKO + 0.000411xDebixBasınç + 0.003333xDebixKO \quad (3)$$

Talaş kaldırma deneyi sonucu elde edilen gerçek sonuçlar ile regresyon analizi ile elde edilen tahmin değerlerinin karşılaştırılması Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde denklem belirleme katsayılarına paralel bir sonuç çıktığı ve kuadratik denklemin gerçek değerlere çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Ra için regresyon modellerinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması (comparing of the regression models with results from the experiment for Ra)

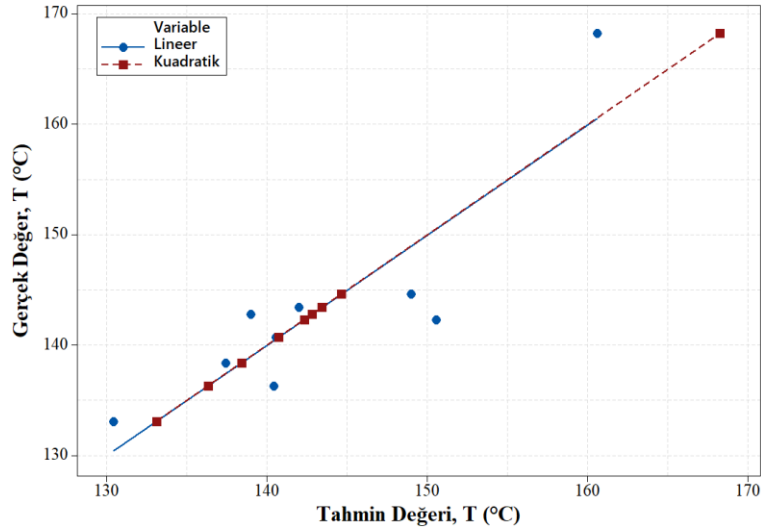
Kesme sıcaklığı için debi, basınç ve konsantrasyon oranını faktör olarak seçip oluşturulan birinci seviyeden lineer denklem Eşitlik 4'te verilmiştir;

$$T (°C) = 183.7 - 0.2411xDebi - 2.83xBasınç - 10.83xKO \quad (4)$$

Kesme sıcaklığı için oluşturulan lineer denklemin belirleme katsayısı (R^2) 0.7676 çıkmıştır. Bu durum, gerçek kesme sıcaklığı değerleri ile tahmin değerleri arasındaki doğruluk oranının %76.76 olduğu anlamına gelmektedir. Böyle bir denklem ile yapılan tahminlerin sapma oranı çok yüksek olacaktır. Bu nedenle, faktör etkileşimleri de devreye alınarak ikinci seviyeden bir denklem olan kuadratik denklem oluşturulmuştur ve Eşitlik 5'te verilmiştir. Kuadratik denklem sonucu elde edilen belirleme katsayısı 1'dir ve gerçek değere çok yakın tahmin değerleri elde edileceği anlamına gelmektedir.

$$T (°C) = 270.2 - 0.8820xDebi - 21.95xBasınç - 69.61xKO - 0.000481xDebixDebi + 0.9625xBasınçxBasınç + 51.87xKOxKO + 0.1111xDebixBasınç + 0.06944xDebixKO \quad (5)$$

Kesme sıcaklığı deneylerindeki gerçek sonuçlar ile regresyon analizi aracılığıyla elde edilen tahmin değerlerinin karşılaştırılması Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10 incelendiğinde denklem belirleme katsayılarına paralel bir sonuç çıktığı ve kuadratik denklemin gerçek değerlere çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 10. T için regresyon modellerinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması (comparing of the regression models with results from the experiment for T)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, AA 2024 T3 alüminyum alaşımı tornalanarak bazı MMY parametreleri ve nano katkı malzemesi konsantrasyon oranının yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deney tasarımının yapılması ve sonuçların analiz edilmesinde Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Deney sonuçları ve analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Çeşitli işleme parametreleri altında yapılan tornalama deneyleri sonucunda parametre kombinasyonlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklıklarının farklı oranlarda değiştiği görülmüştür.
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığında en iyi sonucu veren parametre grubu 100 ml/s debi, 8 bar basınç ve %0.6 konsantrasyon oranı olmuştur.
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre %40.58 katkı oranı ile basınç olurken kesme sıcaklığı üzerinde en etkili parametre %38.96 katkı oranı ile debi olmuştur.
- Hem yüzey pürüzlülüğü hem de kesme sıcaklığında debi ve basıncın artmasıyla birlikte işleme verimliliği artmıştır. Bu durum kesme bölgesine daha hızlı ve yüksek miktarda kesme yağı gönderilmesinin olumlu etki yapmasıyla ilişkilendirilmiştir.
- Konsantrasyon oranının bir noktaya kadar artması ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı sonuçlarını olumlu etkilerden konsantrasyon oranındaki artışın devam etmesiyle birlikte verimlilik bir miktar düşmüştür.
- Regresyon analizi ile elde edilen lineer denklemlerdeki belirleme katsayısı ortalama yüzey pürüzlülüğü için 0.7677 çıkarken kesme sıcaklığı için bu değer 0.7676 çıkmıştır. Kuadratik denklemlerin oluşturulmasıyla belirleme katsayısı her iki çıktı değeri için 1 olarak elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje kodu: FYL-2020-10160).

Bu çalışma, Ayşegül Yücel tarafından yazılan “Al 2024 Alaşımının Tornalanmasında Molibden Disülfür Katkılı Nano Kesme Sıvısının İşleme Performansı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması” isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Z. Huda, N. I. Taib, T. Zaharinie, Characterization of 2024-T3: an aerospace aluminum alloy, *Materials Chemistry and Physics*, 113(2-3), 515-517, 2009.
2. M. P. Jahan, P. Kakawand, E. L. M. Kwang, M. Rahman, Y. S. Wong, An experimental investigation into the micro-electro-discharge machining behaviour of aluminium alloy (AA 2024), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(5-8), 1127-1139, 2015.
3. A. Çakır, AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2015.
4. Ç. V. Yıldırım, Investigation of hard turning performance of eco-friendly cooling strategies: Cryogenic cooling and nanofluid based MQL, *Tribology International*, 144, 106127, 2020.
5. H. J. Kim, K. J. Seo, K. H. Kang, D. E. Kim, Nano-lubrication: A review, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 17(6), 829-841, 2016.
6. Ç. V. Yıldırım, T. Kivak, F. Erzincanlı, I. Uygur, M. Sarıkaya, Optimization of MQL Parameters Using the Taguchi Method in Milling of Nickel Based Waspaloy. *Gazi University Journal of Science*, 30(2), 173-186, 2017.
7. Z. Q. Liu, X. J. Cai, M. Chen, Q. L. An, Investigation of cutting force and temperature of end-milling Ti-6Al-4V with different minimum quantity lubrication (MQL) parameters. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225(8), 1273-1279, 2011.
8. A. Moghadassi, S. Masoud Hosseini, D. Henneke, A. Elkamel, A model of nanofluids effective thermal conductivity based on dimensionless groups, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 96(1), 81-84, 2009.
9. Ç. V. Yıldırım, M. Sarıkaya, T. Kivak, Ş. Şirin, The effect of addition of hBN nanoparticles to nanofluid-MQL on tool wear patterns, tool life, roughness and temperature in turning of Ni-based Inconel 625, *Tribology International*, 134, 443-456, 2019.
10. N. Talib, E. A. Rahim, Performance of modified jatropha oil in combination with hexagonal boron nitride particles as a bio-based lubricant for green machining, *Tribology International*, 118, 89-104, 2018.
11. Ş. Şirin, T. Kivak, Performances of different eco-friendly nanofluid lubricants in the milling of Inconel X-750 superalloy. *Tribology International*, 137, 180-192, 2019.
12. A. Marques, M. P. Suarez, W. F. Sales, Á. R. Machado, Turning of Inconel 718 with whisker-reinforced ceramic tools applying vegetable-based cutting fluid mixed with solid lubricants by MQL. *Journal of Materials Processing Technology*, 266, 530-543, 2019.
13. T. M. Duc, T. Q. Chien, Performance evaluation of MQL parameters using Al₂O₃ and MoS₂ nanofluids in hard turning 90CrSi steel, *Lubricants*, 7(5), 40, 2019.
14. M. Sarıkaya, A. Güllü, Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL, *Journal of Cleaner Production*, 65, 604-616, 2014.
15. D. Fratila, C. Caizar, Investigation of the influence of process parameters and cooling method on the surface quality of AISI-1045 during turning, *Materials and Manufacturing Processes*, 27 (10), 1123-1128, 2010.
16. M. Amrita, R. R. Srikant, A. V. Sitaramaraju, Performance evaluation of nanographite-based cutting fluid in machining process, *Materials and Manufacturing Processes*, 29(5), 600-605, 2014.
17. R. Padmini, P. Vamsi Krishna, K. M. Rao, Effectiveness of vegetable oil based nanofluids as potential cutting fluids in turning AISI 1040 steel, *Tribology International* 94, 490-501, 2016.
18. S. Yağmur, A. Acır, U. Şeker, M. Günay, Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 1-6, 2013.

19. O. Öndin, T. Kıvak, M. Sarıkaya, Ç. V. Yıldırım, Investigation of the influence of MWCNTs mixed nanofluid on the machinability characteristics of PH 13-8 Mo stainless steel. *Tribology International*, 148, 106323, 2020.
20. M. Sayuti, A. A. D. Sarhan, F. Salem, Novel uses of SiO₂ nano-lubrication system in hard turning process of hardened steel AISI4140 for less tool wear, surface roughness and oil consumption. *J. Clean. Prod.* 67, 265–276, 2014.
21. T. Kıvak, Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts, *Measurement*, 50 (1), 19-28, 2014.

AISI 4140 Çeliğinin Delinmesinde Kesme Kenar Radyüsü ve Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu

Serhan Açıy^{1,*}, Mehmet Kolaç¹, Ozan Ali Atak¹

¹Bosch San. Ve Tic. A.Ş., Bursa, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 12.10.2020

Kabul: 18.12.2020

Anahtar Kelimeler:

Parametre

Optimizasyon

Kesme kenarı

ÖZET

Bu çalışmada, bir enjektör gövdesine delik delme işlemi için kullanılan Ø8 mm helisel matkabı için uygun kesme kenarı radyüsü ve kesme parametreleri belirlenmiştir. Deneysel tasarımı Taguchi L/9 yarım dizayn (deneysel sayısını azaltmak için) oluşturulmuş ve sonuçlar MiniTab 17 ile incelenmiştir. Kesme kuvvetinin azaltılması ile takım aşınması %30 azaltılmış ve takım ömrü güvenli bölgede kalınarak %20 artırılmıştır.

Optimization of Cutting Edge Radius and Cutting Parameters During Drilling of AISI 4140 Steel

ARTICLE INFO

Received: 12.10.2020

Accepted: 18.12.2020

Keywords:

Parameter

Optimization

Cutting edge

ABSTRACT

In this study, suitable cutting edge radius and cutting parameters has been defined for Ø8 mm helical drill which is use for drilling an injector body. The design of experiment has been create on Taguchi L/9 half design (to reduce number of test) and results has been investigated with MiniTab 17. By reduction of cutting force the tool wear reduced 30% and tool life increased 20% as stay in safe side.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir işletmenin sürdürülebilirliğini ve performansını belirleyen önemli faktörler ürün maliyeti, ürün kalitesi ve teslimattır. Rekabetçiliğin devam ettirilebilmesi için bu faktörlerin iyileştirilmesine yönelik sürekli ve sürdürülebilir iyileştirmeler yapılmaktadır. Özellikle ürün maliyeti ve kalitesi için yapılan aktiviteler kurumsal işletmeler için büyük önem arz etmektedir. Bu iyileştirmelerden sağlanan faydalar dolaylı yönden teslimat adetlerini de iyileştirmektedir.

Üretimdeki bu maliyet kalemlerini ana başlıklar altında toplayacak olursak takım maliyetleri, işletme maliyetleri ve bakım maliyetleri şeklinde olacaktır. Takım maliyetleri, talaşlı imalat için belirlenen işleme yöntemi ve kullanılan takımlara göre değişmektedir.

Makinelerin verimli kullanım oranı ile ilişkili olan kayıplar, takım değişimi ve makine duruşları gibi duraksamalar kesici takımlarda düşük performansa ve düşük takım ömrüne sebep olmaktadır. Bu çalışmada da kesme şartlarının iyileştirilmesi ile kesici takım performansının artırılması ve takım maliyetinin azaltılması amaçlanmaktadır.

Delik delme işlemi sık kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinden birisidir. Delme işlemi genellikle helisel matkap, rayba ve derin delik matkabı gibi takımlarla takım tezgahlarında gerçekleştirilir [1].

Tüm delik delme işlemlerinde uygulanan genel kural olarak rijitlik ve hassasiyet için etkin takım uzunluğunun (L) minimize edilmesi önemlidir. Delik işlemede etkin takım uzunluğu delik derinliği olarak belirlenebilir. Rijitlik, takım çapı (D) büyüdükçe artar ancak talaş tahliyesi ve radyal hareketler yönünden delik içerisindeki boşlukta dikkate alınması gerekmektedir. Rijitlik L/D oranı ile tanımlanır ve mümkün olduğunda bu oranın düşük olması istenir [2,3].

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: serhanacay@gmail.com

Delik derinliğinin delik çapına oranı (L/D Oranı) delme işleminin türünü de belirler. Derin delik tanımı delik derinliğinin delik çapına oranının 5 ve üzerinde olduğu durumlar için kullanılır. Derin delikler L/D oranı olarak 100 kata kadar çıkabilmektedir [3].

Chou ve Song yüzey pürüzlülüğünde takım uç radyüsünün ve takım aşınmasının güçlü etkisi olduğunu ortaya koymuş ve büyük uç radyüsün iyibir yüzey kalitesi getirmesine rağmen takım aşınmasını artırdığını göstermişlerdir [4].

Fulemova ve Janda da kesme kenarı hazırlama işlemi ve kenar radyüsünün işlenmiş yüzeydeki yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne olan etkileri üzerinde çalışmışlardır [5].

Uhlmann ve arkadaşları takım çapının büyümesi veya küçülmesinin işleme çıktılarına etkisinde mikro geometri olan kenar radyüsünün etkisini ortaya koymuşlardır. Mikro takımlarda da mikro geometrinin önemini göstermişlerdir [6].

Delik delmede talaşın kırılması ve işleme bölgesinden tahliyesi önemlidir. Delik derinliği ne kadar fazla olursa işlem kontrolü ve talaş tahliyesi de o kadar zor olur. Delme işlemi esnasındaki talaş oluşumu kesme kuvvetlerini, sıcaklığı ve işlem çıktısı olarak deliğin yüzey kalitesini ve ölçü tamlığını etkilemektedir [3,7].

Yaşar, Sekmen ve Günay sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme hızı ve ilerleme değeri ve kesme derinliği değerlerini optimize etmişler, ayrıca yüzey pürüzlülüğü modeli oluşturmuşlardır. Çalışmalar için deney tasarımı oluşturmuş ve farklı kesme parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü için en etken parametrenin ilerleme değeri olduğunu göstermişlerdir [8].

Uysal ve Altan kesici kenarı yuvarlatılmış ve aşınmış takımlarla ortagonal talaş kaldırma için geliştirilen bir kayma düzlemi modeli ile ampirik bir çalışma ile farklı koşullarda kesme kuvveti ve radyal kuvvetlerin itme kuvvetine oranını göstermiş, ayrıca itme kuvvetinin kesme parametreleriyle olan etkileşimini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda serbest yüzey aşınması arttıkça itme kuvvetlerinin kesme ve radyal kuvvetler üzerindeki etkisinin de arttığını belirlemiş, kesici kenar yuvarlama yarıçapı arttıkça kesici kenarın iş parçasını itmesi için daha fazla kuvvete ihtiyaç duyduğunu, talaş derinliğinin artması ile birlikte itme kuvvetinin de arttığını göstermişlerdir. Kesme hızı ve talaş açısı arttıkça kesme kuvveti ve radyal kuvvet azalmakta iken itme kuvveti fazla etkilenmemiştir [9].

Baytok, Tuna, Toprak, Özlü ve Budak karbür kesici takımların, freze ve delik delme işlemlerindeki performansını incelemişlerdir. Kesme kuvvetleri arasında en büyük farkın %15 'ten az olduğu ve farkların ilk olarak ilerleme değeri yani talaş kalınlığı ile değiştiği, özellikle finiş işlemede kullanılan düşük talaş kalınlığında kesme ağız yuvarlatma çapının daha etkili olduğunu, yüksek yuvarlama yarıçapının kesme kuvvetleri üzerinde etkili bir rolü olduğunu ve takım ile parça esnemelerinde artışa sebebiyet verdiğini belirtmişlerdir [10].

Kesici takımlardan beklenen özellikler tokluk değerine sahip olmalarının yanı sıra, yüksek sıcaklıklardaki ısıl direnç ve kimyasal kararlılıktır. Birçok takıma uygulanan kaplama işleminden de beklenen bu özelliklerin iyileştirilmesidir. İyi bir kaplamanın özellikleri yüksek sertlik, iş parçasına düşük ancak kesici takıma yüksek yapışma kabiliyeti, yüksek aşınma direnci, yüksek kimyasal kararlılık ve tokluk, yüksek yük taşıma kapasitesi, düşük ısıl iletim katsayısı şeklinde sıralanabilir. Bu amaçla kullanılan TiN(Titanyum nitrür), TiAlN(Titanyum alüminyum nitrür), TiCN(Titanyum karbo-nitrür), CrN(Krom Nitrür) gibi kaplama türlerine ilaveten kaplama teknolojilerinde eğilim kaplama katmanlarında da değişiklik yaparak tek katmanlı kaplamalardan, nano veya çok kaplamalara doğru olmaktadır [2,11].

Meral, Sarıkaya ve Dilipak delik delme işleminde kesme parametrelerinin Taguchi metoduyla ele alınması ve kesme koşullarının optimizasyonu ile ilgili benzer bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada Taguchi metodu ile değişkenlerin etkisi hızlıca tespit edilebilmiş, zaman ve maliyet azaltılarak ürün

kalitesi arttırılmıştır. Kesme kuvvetlerini etkileyen en etkin faktörlerin ilerleme değeri ve matkap çapı olduğu, kesme hızının ise daha düşük bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir [12].

Bu çalışmada ele alınan üretim biriminin takım kırılma oranlarını düşürmek için Pareto analizi ile en çok kırılan takımlardan ikincisi olan Ø8 mm helisel matkap seçilmiş ve bu matkabın kesme parametrelerinin iyileştirilerek takım kırılmalarının azaltılması ve takım maliyetlerinin azaltılması amaçlanmıştır.

Güncel durumda çalışmanın gerçekleştirildiği işletmede uygun kesme parametrelerinin belirlenmesinde yapılan denemeler zaman ve iş parçası açısından maliyetli olup, derin bir uzmanlık bilgisi gerektirmekte ve kesme işlemi esnasında oluşan mekanik yükler ölçülemeden takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü gibi işlem çıktıları ile değerlendirilmektedir. Bu çalışma ile delme işlemi esnasındaki mekanik yüklerin sensörlü bir takım tutucu yardımı ile ölçülmesi, optimizasyon çalışmaları için yapılan deneme adedinin azaltılması ve optimizasyon için sistematik bir yaklaşım hedeflenmektedir [13, 14].

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. İş Parçası ve Kesme Şartları (Work Piece and Cutting Conditions)

Deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi 37 ± 3 HRC sertliğinde AISI 4140 (DIN 1.7225) ıslah çeliğidir. Bu çelik otomotiv ve uçak sanayisinde, yüksek süneklikteki parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Ø65 x 55 mm ölçülerindeki iş parçasına Ø8 mm matkap ile 20 adet 36 mm efektif derinlikte ve 10 mm ön delme yataklama derinliği olmak üzere toplamda 46 mm derinliğinde delik delinmiştir (Şekil 1). Yataklama için Ø8,02 mm çapında helisel matkap ile 10 mm derinliğinde bir ön delik delinmiştir.



Şekil 1. İş parçası (Work piece)

Kesici takım Ø8 x 120 mm ebatlarında içten soğutmalı, komple karbür helisel matkap kullanılmıştır. Seri imalat şartlarında takım ömrü her bilemeye gidiş geliş arası 600 delik olup, karşılığı 27,6 m 'dir. Seri imalat kesme parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Seri imalat kesme parametreleri (Serial production cutting parameters)

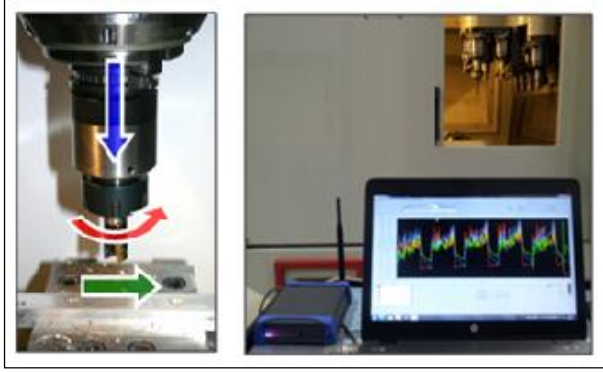
Kesme hızı (Vc)	75 m/dk
Devir sayısı (n)	3000 dev/dk
İlerleme değeri (fn)	0,11 mm/dev
Uç radyüs (r)	5 µm

2.2. Takım Tezgahı ve Kesici Takım Özellikleri (Machine Tool and Cutting Tool Properties)

Deneyler Chiron firmasına ait TBZ 12 W derin delik tezgahında Şekil 3'teki enjektör gövdesi delinerek gerçekleştirilmiştir. Kesme sıvısı olarak katkı maddesi içermeyen yağ kullanılmıştır. Delme işlemi esnasında meydana gelen itme kuvveti, tork ve burulma momenti gibi değerler sensörlü takım tutucu (Şekil 2) yardımı ile ölçülmüştür. Ölçüm değerleri yazılım aracılığıyla incelenmiştir.

Tablo 2. Kesici takım özellikleri (Cutting tool properties)

Karbür kalitesi	K20 – K30 UF
Uç açısı (°)	120
Talaş açısı (°)	10
1.boşluk açısı (°)	14
2.boşluk açısı (°)	20
Helis açısı (°)	30
Kaplama	TiAlN

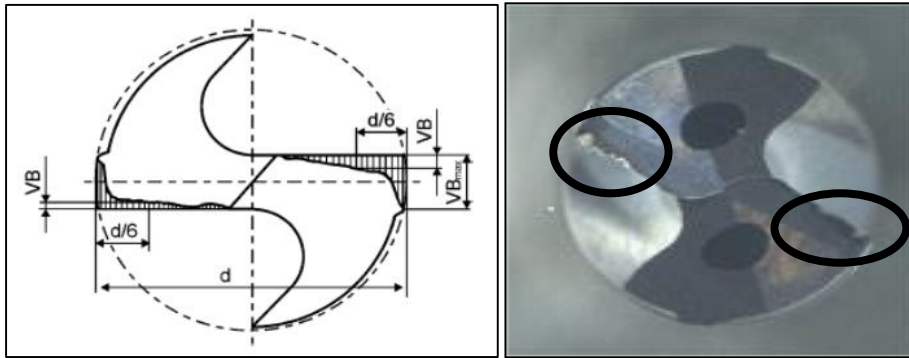


Şekil 2 : Sensörlü Takım Tutucu (Sensory tool holder)



Şekil 3 : Enjektör Gövdesi (Injector body)

Deneyler esnasında sensörlü takım tutucu ile alınan mekanik yük ölçümlerine ek olarak helisel matkapın V_{bmax} serbest yüzey aşınmasına ölçülmüş (Şekil 4) ve seri imalattaki mevcut durum ile karşılaştırılarak seride kullanılan kesici takım ömrünün artırılmasında ölçüt olarak alınmıştır. V_{bmax} serbest yüzey aşınması için ISO 3685'te verilen, düzensiz aşınma için tanımlanmış maksimum değer olan 0,6 mm değeri referans alınmıştır.



Şekil 4: Helisel Matkap Serbest Yüzey Aşınması (Helical drill flank wear)

3 faktör ve 3 seviye olarak belirlenmiş olan deney seti girdileri Tablo 3’te verilmiştir. Bu girdilerle Minitab 17’de L/9 ‘Half Design’ düzlemine orta noktaları 3 kez tekrar et komutuna göre oluşturulan deney tasarımı Tablo 4’te verilmiştir. Toplamda 3^3 test gerektiren bu çalışma yarım dizayn ile 8 test’te tahminleme çalışmaları için ampirik sonuçlara yakın çıktılar verebilmektedir. Özellikle test sonuçlarının bir an önce alınıp, çıktılarının kullanılması gereken yerlerde önemli bir zaman ve maliyet kazancı sağlamaktadır.

Tablo 3. Deney Faktörleri ve Seviyeleri (Experiment Factors and Levels)

Seviyeler	1	2	3
Kesme hızı (Vc)	70 m/dk	90 m/dk	110 m/dk
İlerleme değeri (fn)	0,05 mm/dev	0,075 mm/dev	0,10 mm/dev
Uç radyüs (r)	5 μ m	10 μ m	15 μ m

2.2. Kesme Kenarı Hazırlama (Cutting Edge Preperation)

Deneylerde kullanılan değişken parametrelerden biri olan kesme kenarı radyüsü, matkapların kesme kenarı boyunca uzanan radyal formdur (Şekil 5). Takımdaki bu formu değiştirmekteki amaç, formun talaş yönlendirmesi, darbe direnci ve kesme sırasında oluşan mekanik kuvvetlere etki etmesidir. Deney sırasında bu radyüsün mekanik kuvvetlere ve takım aşınmasına olan etkileri gözlenmiştir.



Şekil 5: Helisel Matkap Kesme Ağız Radyüsü (Helical drill cutting edge Radius)

Takım endüstrisinde kesme kenarı radyüsünün değiştirilmesinde fırçalama, drag finiş gibi yöntemler kullanılmaktadır. Deneyler sırasında kullanılan takımların radyüsleri drag finiş metoduyla hazırlanmıştır.

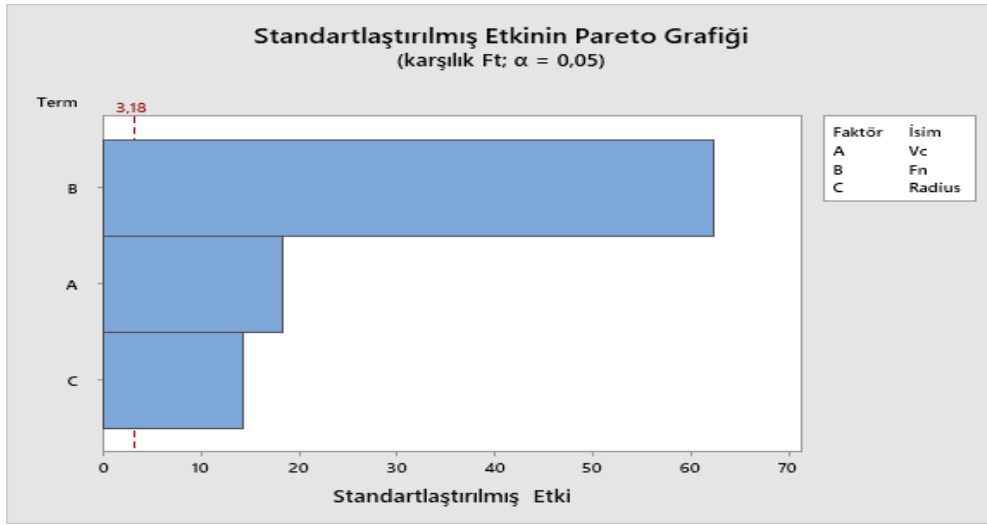
3. DENEY VE OPTİMİZASYON SONUÇLARI (EXPERIMENT AND OPTIMIZATION RESULTS)

Her bir faktör için itme kuvvetindeki etki durumu Şekil 6’da verilmiştir ve en baskın faktör ilerleme değeri olmuştur.

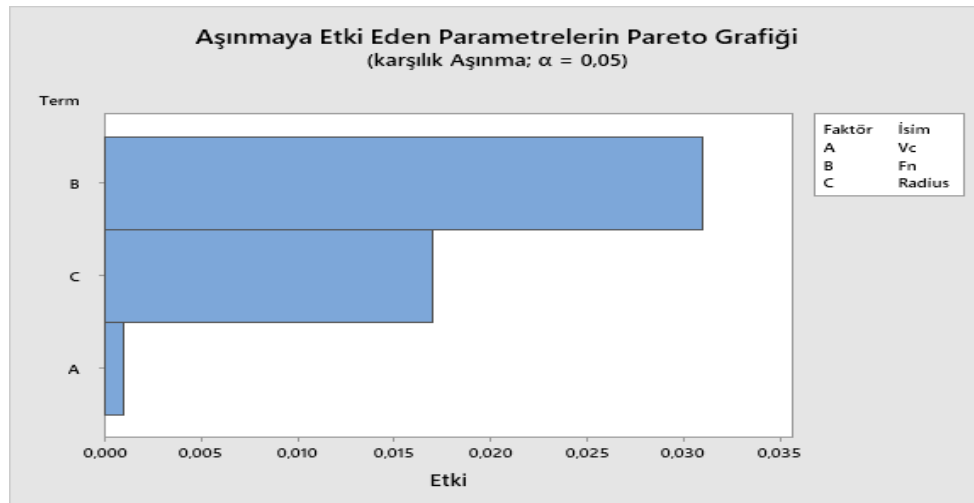
Deneylerde ölçülen tork değerleri ve itme kuvveti sonuçları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Kesme kuvveti için ölçüm sonuçları (Measurement results for cutting forces)

Test No	Vc(m/dk)	Fn (mm/dev)	Radyüs	Ft – Tork(Nm)	Ff – İtme kuvveti (N)	Fcz Kesme kuvveti (N)
1	90	0,075	10	1,76	891,34	447,27
2	70	0,1	5	2,4	1030,3	609,91
3	90	0,075	10	1,79	900	454,89
4	90	0,075	10	1,74	899,34	442,19
5	110	0,1	15	1,91	1020,4	485,39
6	110	0,05	5	1,19	712,98	302,41
7	70	0,05	15	1,25	612,5	317,66
8	90	0,075	10	1,77	880,34	449,81

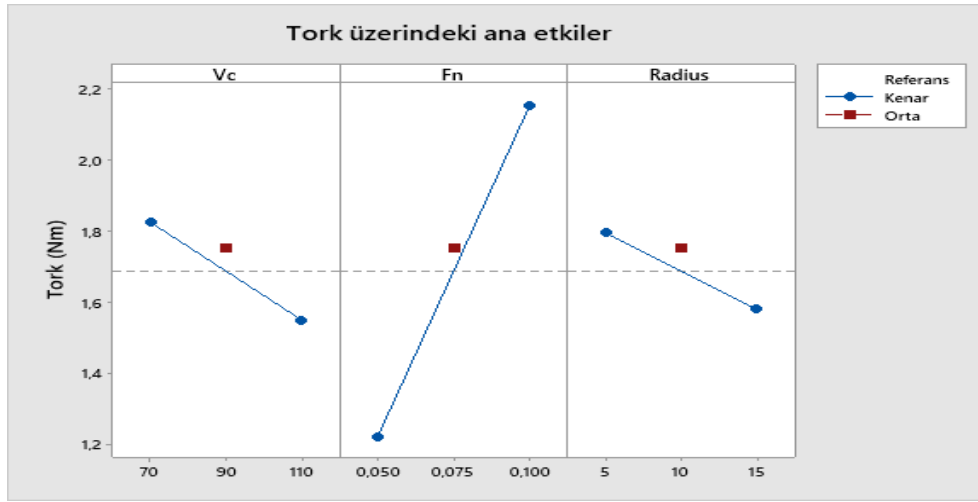


Şekil 6 : Deney Faktörlerinin İtme Kuvvetine Etkileri (Effect of test factors on thrust force)

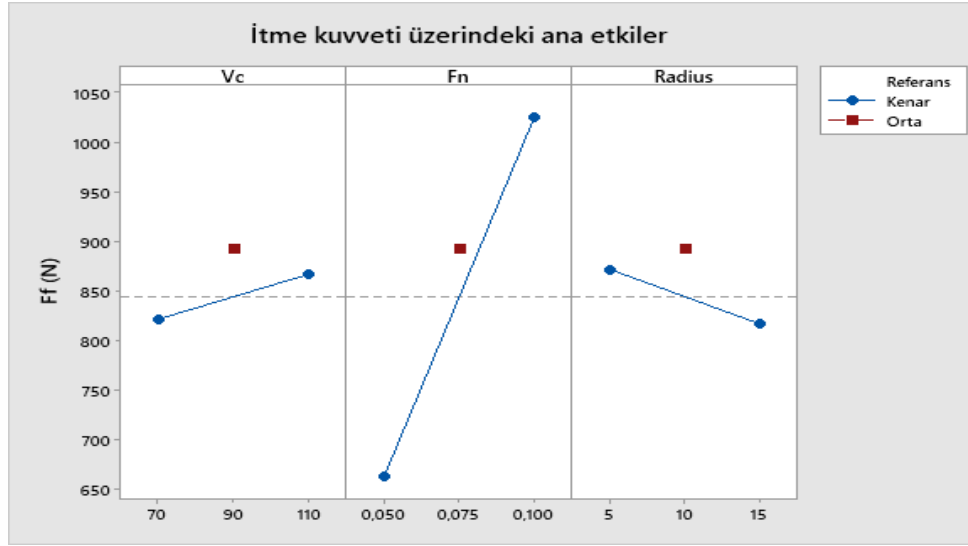


Şekil 7 : Deney Faktörleri Aşınmaya Etkileri (Effect of test factors on wear)

Sinyal/Gürültü oranına minimum tork değeri için bakılacak olup, buna göre “en küçük en iyidir” yaklaşımına göre en baskın faktör ilerleme değeri olmuştur (Şekil 8). İlerleme değerindeki artış ile birlikte tork değeri de artmaktadır. İlerleme değeri sonrasında sırasıyla kesme hızı ve kesme kenarı radyüsünün itme kuvveti üzerinde etkili olduğu Şekil 6’da gösterilmiştir. Aşınma üzerinde de Şekil 7’de gösterildiği üzere ilerleme değeri en etkili parametre olmuştur.



Şekil 8 : Parametrelerin Tork - Ft üzerinde etkileri (Effect of parameters on torque – Ft)



Şekil 9 : Parametrelerin itme kuvveti - Ff üzerinde etkileri (Effect of parameters on thrust force – Ff)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada matkap ile delme işleminde kenar radyüsünün tork ve itme kuvveti üzerindeki etkisi ve optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmış ve bu doğrultuda deneyler yapılarak çıktılar incelenmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- İlerleme değeri tork ve itme kuvveti üzerinde en etkili parametre olmuştur (Şekil 6, 8 ve 9),
- Kesme hızının artışı tork'u azaltmış ancak itme kuvvetlerini baskın olmayan şekilde artırmıştır (Şekil 8, 9),
- Kesme kenarı radyüsü literatürlerde yapılan çalışmaların aksine bu çalışma için arttıkça tork ve itme kuvveti değerlerini azaltıcı etki göstermiştir. Bu da kesme kenarı radyüsünün her işlem ve malzeme kombinasyonu için belirlenmesinin ve mikro geometrinin önemini göstermektedir.

- Aşınmalar maks. 0,296 mm seviyesinde kaldığından çalışmayı yalınlaştırmak adına görselleri eklenmemiştir. Elde edilen bu değer kombinasyonu ise $F_n=0,1$ mm/dev, $V_c=70$ m/dk ve $R=5$ μ m ile oluşmuştur.
- En düşük aşınma değeri ise 0,166 mm olarak $F_n=0,1$ mm/dev, $V_c=110$ m/dk ve $R=15$ μ m ile oluşmuştur.
- Aşınmalar üzerinde en büyük etken ilerleme değeri ve kenar radyüsü da ikincil etken olmuştur (Şekil 7),

Yapılan deneyler neticesinde tork değerlerini “en düşük en iyidir” neticesinde değerlendirildiğinde en uygun parametreler $F_n=0,05$ mm/dev, $V_c=110$ m/dk ve $R=15$ μ m olmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. M. Arafat, CNC Delme İşleminde Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye, 2009.
2. M.C. Çakır, Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, 2. Baskı, DORA Yayıncılık Ltd. Şti., Bursa, 2010.
3. D. Biermann, M. Heilmann, Tiefbohren mit kleinen Durchmessern WB Werkstatt + Betrieb, pp 54-57, 2010.
4. Y.K. Chou, H. Song, Tool nose radius effects on finish hard turning, J Mater Process Technology 148(2):259–268, 2004.
5. J. Fulemova, Z. Janda, Influence of the cutting edge radius and the cutting edge preparation on tool life and cutting forces at inserts with wiper geometry, Procedia Engineering 69:565–573, 2014.
6. E. Uhlmann, D. Oberschmidt, A. Löwenstein, Y. Kuche, Influence of cutting edge preparation on the performance of micro milling tools, Procedia CIRP, 46: 214-217, 2016.
7. S. Yağmur, A. Acır, U. Şeker, M. Günay, Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Kesme Bölgesindeki Sıcaklığa Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 28 (1): 1-6, 2013.
8. N. Yaşar, M. Sekmen, M. Günay, Sıcak İş Takım Çeliğinin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu Ve Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi, Beşinci Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 23-25 Ekim 2014, Bursa.
9. A. Uysal, E. Altan, Kesici Kenarı Yuvarlatılmış Aşınmış Takım İle Talaş Kaldırmada İtme Kuvveti, Beşinci Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 23-25 Ekim 2014, Bursa.
10. E. Baytok, B. Tuna, A. Toprak, E. Özlü, E. Budak, Freze Ve Delik Delme İşlemlerinde Kullanılan Karbür Takımların Sistemik Olarak Performans Karşılaştırması, Dördüncü Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 7-9 Kasım 2013, Kuşadası.
11. M. Savaşkan, Y. Taptık, M. Ürgen, Deney Tasarımı Yöntemi İle Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu, İTÜ Dergisi, 3 (6): 117-128, 2004.
12. G. Meral, M. Sarıkaya, H. Dilipak, Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, Erciyes University Journal of the Institute of Science And Technology, 27(4): 332-338, 2011.
13. S. Açay, İslah çeliklerinin (42CrMo4) derin delik matkabı ile delinmesinde işlem değişkenlerinin kesme kuvvetine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 2017.
14. İ. Tekaüt, H. Demir, U. Şeker, Experimental Analysis and Theoretical Modelling of Cutting Parameters in the Drilling of AISI H13 Steel with Coated and Uncoated Drills, Transactions of Famena, 42: 83-96, 2018.

Sertleştirilmiş 1.2367 Takım Çeliğinin İşlenmesinde Enerji Tüketiminin Analizi ve Modellenmesi

Naime EREN^{1,*}, Fatih HAYAT², Mustafa GÜNAY²

¹Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karabük, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 04.11.2020

Kabul: 19.12.2020

Anahtar Kelimeler:

Enerji tüketimi

Sert işleme

DIN 1.2367

Modelleme

ÖZET

Talaş kaldırma işlemlerinde enerji tüketimini en aza indirmek amacıyla tezgah, işlenen malzeme, kesici takım, kesme ortamı gibi faktörlerin birbiriyle uyumlu olarak seçilmesinin yanısıra, işleme planı ve kesme parametrelerinin optimum seçimi ve işlenebilirlik kriterlerinin modellenmesi süreçlerinin eş zamanlı uygulanması son derece önemlidir. Bu çalışmada, DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliğinin sert tormalanmasında kesme parametrelerinin enerji tüketimine etkileri araştırılmış ve toplam güç tüketiminin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Bu bağlamda, üç farklı kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarı seçilerek CBN takım ile sert tormalama işlemleri yapılmış ve makine akım değerleri ölçülmüştür. Bu değerler yardımıyla toplam güç tüketimi (P_T) hesaplanmış ve kesme parametrelerinin P_T üzerindeki etki oranları varyans analizi ile belirlenmiştir. Deneysel sonuçlarında, kesme parametrelerindeki artışın anlık akım değerini arttırdığı, ancak özellikle ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artmasıyla azalan işleme süresine bağlı olarak toplam güç tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir. Buna göre, P_T üzerinde en fazla öneme sahip parametre %64.92 PCR ile ilerleme miktarıdır. Yanıt yüzey metodoloji ile geliştirilen matematiksel modelin belirtme katsayısı ($R^2= 0.9955$), toplam güç tüketiminin yüksek güvenilirlikle tahmin edileceğini göstermektedir.

Analysis and Modeling of Energy Consumption in Machining of Hardened 1.2367 Tool Steel

ARTICLE INFO

Received: 04.11.2020

Accepted: 19.12.2020

Keywords:

Energy consumption

Hard machining

DIN 1.2367

Modeling

ABSTRACT

In order to minimize energy consumption in machining processes, it is extremely important to select factors such as machine, processed material, cutting tool and cutting environment in harmony with each other, as well as the optimum selection of machining plan and cutting parameters and the modeling of machinability criteria simultaneously. In this study, the effects of cutting parameters on energy consumption in hard turning of DIN 1.2367 hot work tool steel were investigated and a mathematical model of total power consumption was created. In this context, three different cutting depths, cutting speed and feed rate were selected and hard turning operations were performed with CBN tool and machine current values were measured. With the help of these values, the total power consumption (P_T) was calculated and the effect rates of the cutting parameters on P_T were determined by analysis of variance. As a result of the experiments, it was determined that the increase in the cutting parameters increases the instantaneous current value, but the total power consumption decreases due to the decreasing machining time, especially with the increase in the amount of feed and the cutting depth. Accordingly, the most important parameter on P_T is the amount of progress with 64.92% PCR. The coefficient of determination ($R^2 = 0.9955$) of the mathematical model developed with the response surface methodology shows that the total power consumption can be estimated with high reliability.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sert işleme teknikleri dişli miller, yatak ve hidrolik bileşenler, yüksek boyut ve şekil doğruluğunu gerektiren kalıp bileşenleri gibi sertleştirilmiş çeliklerden yapılan makine parçalarının, yüzey kalitesi ve işlevsel performansla ilgili özel gereksinimlerin son şekillendirilmesin için kullanılır. Genel olarak, sert işleme süreci özel kesme mekaniği, talaş oluşumu, takım aşınması, yüzey bütünlüğü ve parça doğruluğu ve enerji tüketimi ile karakterize edilir [1,2]. Bu bağlamda, kesilmesi zor alaşımlar ve seramikler gibi sertleştirilmiş çelikler ve kırılğan malzemelerin işlenmesinde enerji verimliliğinin iyileştirilmesine ihtiyaç vardır. Sürdürülebilir bitirme işlemi olarak sert tornalama ve frezeleme gibi işleme teknikleri hassas makine bileşenlerinin imalatında üstün bir yüzey bütünlüğü ve ölçü tamlığı sağlayabilir [3, 4]. Aynı zamanda, zayıf işlenebilirlik yüzünden daha düşük talaş kaldırma oranlarına ve dolayısıyla daha düşük enerji verimliliği meydana gelir. Talaş kaldırma yöntemlerinde enerji tüketimini azaltarak enerji verimliliğini artırmak, yalnızca üreticilere ekonomik olarak fayda sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda çevresel performansların da iyileşmesini sağlamaktadır [5].

Bilgisayar kontrollü takım tezgahları, iş mili sistemi, besleme sürücü sistemi, elektrik kontrol sistemi, yardımcı sistemler, kesici takımlar ve fikstür dahil olmak üzere birçok işlevsel parçaya sahiptir. Bunlar arasında, iş mili motoru takımı veya iş parçasının dönüşünü tahrik eder, besleme motorları doğrusal veya döner hareket sağlar, hidrolik sistem kenetleme kuvveti veya besleme tahriki sağlar, soğutma ve yağlama sistemi soğutma ve yağlama sağlar ve takım kolu motorları otomatik olarak kesici takımları değiştirir [6-8]. Bu noktada, takım tezgahlarının tüm ekipmanlarının tahriki için gerekli gücü sağlamak amacıyla makineyle işleme sırasında, işleme sonrasında ve boşta kalma (rölanti) durumunda bir enerji tüketimi söz konusudur. Bununla birlikte, bir takım tezgahının tasarımı malzemenin işlenmesi sırasında ortaya çıkacak en yüksek güç gereksinimine dayanmaktadır. Minimum güç gereksinimi için işleme parametrelerinin optimizasyonu veya kesme kuvveti, güç tüketimi, yüzey pürüzlülüğü gibi işleme çıktılarına tahmin edici matematiksel modeller, daha düşük kapasiteli motorların, sürücülerin ve yardımcı ekipmanların uygulanmasına yol açar ve dolayısıyla yalnızca makineyle işleme sırasında değil, aynı zamanda makineyle işleme sonrası ve rölanti koşullarında enerji tüketiminden tasarruf edilebilir. Bu bağlamda, enerji tüketimi açısından sürdürülebilir işleme katkı sağladığı düşünülen çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Zhou vd., takım tezgahlarının enerji verimliliği ve enerji tüketim modelleri üzerine bir derleme çalışması yapmışlardır. Ürün tasarımı, üretim uygulaması ve süreç planlamasını entegre etmeye yönelik yaklaşımların hem değişken hem de sabit enerji tüketimini azaltarak sistem açısından enerji verimliliğini artırabileceği belirtilmiştir. Enerji tüketim modellerinin üç sınıfa ayıran araştırmacılar, birincisini, makine kesme enerji tüketimini tahmin etmek için spesifik enerji tüketimi (SEC) ve MRR arasında katsayıların elde edilmesi, ikincisini, enerji tüketimi ile malzeme özellikleri, kesici takım açısı, kesme parametreleri vb. işleme parametreleri arasındaki ilişkinin çözülmesi, üçüncüsünde, parça işleme sürecinin enerji tüketimini hesaplamak için evrensel tipte bir enerji tüketimi modeli oluşturulması şeklinde açıklamışlardır [9].

Zerti vd., 59 HRC sertliğinde AISI 420 paslanmaz çeliğinin kaplamalı seramik takımla işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, güç tüketimi ve talaş hacmi için kesme parametrelerini optimize etmişlerdir. kaplamalı seramik kullanılmıştır. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü için en önemli faktör olduğu, kesme derinliğinin ise kesme kuvveti, güç ve talaş hacmi için önemli olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, YSA ve RSM metodolojileri ile geliştirilen modellerin iyi bir tahmin edici olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [10]. Korkmaz ve Günay, kaplamalı karbür takımla AISI 420 martensitik paslanmaz çeliğin sonlu elemanlar yöntemi (FEM) esaslı tornalama simülasyonları ile kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenleri ve güç tüketimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elektrik tüketimi açısından kesme derinliğinin %49.55, ilerleme miktarının %19.79 ve kesme hızının %26.03 oranında etkili olduğu bulunmuştur. Kesme kuvvetleri açısından deney ve simülasyon sonuçları arasında % 7'lik bir elde edilmiş olup, sürdürülebilir işleme katkı açısından FEM'in kullanılabileceğini vurgulamışlardır [11].

Karabulut ve Şahinoğlu, R260 ray çeliğinin karbür kesici takım ile kuru şartlar altında işlenmesinde ilerleme hızının ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve tezgâh gürültüsü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İlerleme hızı ve kesme derinliğindeki artışla birlikte

tezgâh gürültüsü ve güç tüketiminde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme hızının ve kesme derinliğinin sırasıyla %72 ve %20, tezgâh gürültüsü üzerinde %68 ve %25 oranında etkili olduğu bulunmuştur. Enerji tüketimi açısından ise kesme derinliği ve ilerleme hızı sırasıyla %78 ve %18 etki oranına sahiptir [12]. Kant ve Sangwan, kaplamasız tungsten karbür takımlar kullanarak AISI 1045 çeliğin işlenmesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve güç tüketimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Optimum kesme parametresini elde etmek için RSM ve gri ilişkisel analiz yöntemlerini kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü ve güç tüketimini azaltmak için parametrelerin ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızı şeklinde bir önem seviyesine sahip olduğunu belirtmişlerdir [13].

Moradnazhad ve Ünver, belirli takım tezgahları veya işleme süreçleri için enerji tüketimi modellemesinin enerji verimliliğini önemli ölçüde artırmak için kullanılabileceğini vurgulamıştır. Takım tezgahlarının yardımcı bileşenlerinin özellikle kesme sırasında kullanılan enerjiden çok daha fazla enerji tükettiğini göstermiştir. Bu gerçek, operasyon zincirlerini bütünsel olarak analiz ederek takım tezgahlarının boşa kalma sürelerini azaltmak için daha fazla çalışma yapılmasını gerektirir. Yapılan araştırmalar, işleme sistemlerinin davranışını ve performansının tahmini, mekanik sistemlerin optimize edilmesi ve optimum kesme parametrelerinin seçilmesi ile enerji tüketimini azaltmak amacıyla enerji tasarruflu teknikler geliştirileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, takım tezgahları, kesici takımlar, malzemeler ve enerji kaynakları hakkında eksiksiz bir bilgi veri tabanı oluşturmak, daha doğru enerji optimizasyonunu sağlayacaktır [14].

Literatürdeki araştırmalar, talaş kaldırma işlemlerinde enerji (güç) tüketimini en aza indirmek için çeşitli deney, istatistik ve modelleme tekniklerinin kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, takım tezgâhlarında kullanılan elektrik enerjisi genellikle fosil yakıtlardan elde edilmekte olup, bu enerji kaynaklarının yanması sonucu açığa çıkan gazlar ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum, sürdürülebilirlik anlamında enerji tüketimi konusunda daha dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmada, son zamanlarda sıklıkla kullanılan sert tornalama teknolojisinde kesme parametrelerinin enerji tüketimine etkileri ve toplam güç tüketiminin modellenmesi üzerine bir araştırma sunulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

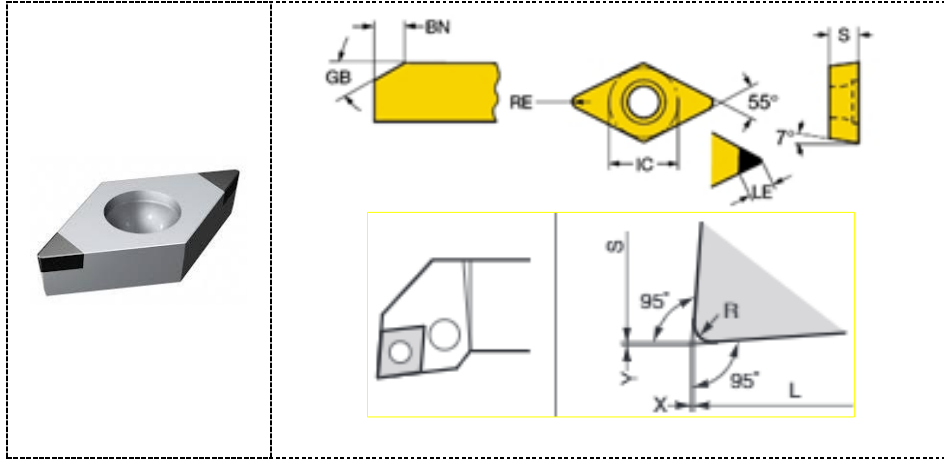
2.1. Malzeme ve Ekipman (Material and Equipment)

Bu çalışmada, sertleştirilmiş DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde oluşan güç tüketiminin kesme parametrelerine göre değişimi detaylı olarak analiz edilmiştir. Deney malzemesi olarak kullanılan sıcak iş takım çeliğinin krom-molibden içeriği yüksek olup, H11 ve H13 sıcak iş çeliklerinden daha yüksek sıcaklık dayanımı ve iyi sertleşebilirlik sergilemektedir. Bu bağlamda, ekstrüzyon kalıpları, sıcak dövme kalıpları, sıcak kesme bıçakları, sıcak zimbalar ve mandreller ile bakır ve pirinç için kalıp döküm takımlarının imalatında tercih edilmektedir. DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliğinden hazırlanan Ø200x50 mm boyutlarında deney numunelerine sertleştirme ısıl işlemi uygulanmıştır. Isıl işlem prosedürü olarak öncelikle numuneler 1050 °C'ye ısıtıldıktan sonra yağda soğutma uygulanmıştır. Daha sonra, 500 °C'de temperleme ısıl işlemi uygulanmış ve numunelerin sertlik değeri 55±1 HRC olarak ölçülmüştür. Sert tornalama işlemlerinde kullanılan deney malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	V
0.40	0.50	0.40	0.02	0.01	5.10	3.10	0.50

Tornalama deneyleri, Tezmaksan firması tarafında üretilen 20 HP gücünde ve maksimum 4000 rpm'de çalışabilen CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Kesici takım olarak, Sandvik Coromant firmasına ait 7125 kalite CBN kesici uç (DCGW11T304S01020F kodlu), bu takıma uygun 95° yanaşma açısına sahip SDLCR2525M11 kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Şekil 1'de kesici takım ve takım tutucu geometrisi verilmiştir.



Şekil 1. Kesici takım geometrisi

Sert tornalama işleminde kesme parametrelerine göre toplam güç tüketiminin belirlenmesi amacıyla belirli bir kesme uzunluğu için makinenin tek fazlı akım değeri ölçülmüştür. Bunun için UNI-T UT 201 model Pens ampermetre kullanılmıştır. Akım ölçen kablo aydınlatma, hidrolik, konveyör ve diğer ekipmanlara bağlı değildir. Böylece, makine yardımcı ekipmanlarının çalışmasından kaynaklı oluşacak elektrik akımının ölçüm sonuçlarını etkilemesi engellenmiştir. Makinenin bağlı olduğu regülatör ile gerilim değerlerinde dalgalanmalar ve enerji kayıplarından kaynaklanan değişimler minimize edilmiştir. Ölçülen akım değeri üç ile çarpılarak toplam akım (I) değeri elde edilmiş olup, toplam akım değerinin voltaj (V) değeriyle çarpılması ile anlık güç tüketimi (P) bulunmuştur (Eş.1). Toplam güç tüketimi (P_T) ise anlık güç tüketiminin toplam işleme süresi (t_i) ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır (Eş.2). Tablo 2’de verilen her bir deney dizini için talaş hacmi sabit tutulmuş olup, kesme derinliğine (a) göre paso sayısı (i) değiştirilerek deneyler yapılmıştır.

$$P = (I * 3) * V \quad (1)$$

Burada, P , watt (W); I , amper (A); V ise voltu (V) göstermektedir.

$$t_i = \frac{d * \pi * L * i}{V_c * 1000 * f} \quad (2)$$

Burada, d , işparçası çapı (mm), L , işleme uzunluğu (mm); i , paso sayısı, V_c , kesme hızı (m/dak); f , ilerleme miktarı (mm/dev)’dir.

$$P_T = t_i * P \quad (3)$$

2.2. Deney Tasarımı ve Analizi (Experiment Design and Analysis)

Deney tasarımı öncesi ilk olarak güç tasarrufu üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, kesme derinliği (a), kesme hızı (V_c) ve ilerleme miktarı (f) olmak üzere üç parametre seçilmiştir. Bu parametrelerin seviyeleri ise sert malzemelerin finiş tornalanması için kesici takım firması önerileri ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan parametreler ve bunların seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu bağlamda, Taguchi L_{27} dikey dizini seçilerek deney tasarımı yapılmıştır. Deneyler sırasında ölçülen akım değerleri ve buna bağlı hesaplanan toplam güç tüketimi (P_T) üzerinde kesme parametrelerinin etki oranlarını belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

Tablo 2. Kesme parametreleri

Parametre	Seviye		
	1	2	3
Kesme derinliği, (a) (mm)	0.10	0.15	0.20
Kesme hızı, (V_c) (m/dak)	175	200	225
İlerleme miktarı, (f) (mm/dev)	0.06	0.12	0.18

Ayrıca, yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak P_T 'nin tahmini için bir matematiksel modelleme yapılmıştır. Matematiksel modelleme, çeşitli girdi parametrelerine bağlı olarak herhangi bir alanda bir çıktı parametresi elde etmek için farklı teknikler kullanılarak yapılabilir. Bu prosedürlerden biri olan yanıt yüzeyi yöntemi (RSM), işleme parametreleri ile çıktılar arasındaki etkileşimi anlamak ve iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan bir metodolojidir. Ek olarak, deneysel sonuçlara bağlı olarak yanıt yüzey yöntemi ile çıktı parametrelerinin istatistiksel analizi mümkündür. Bu bağlamda, deneysel veriler ışığında toplam güç tüketimi için RSM kullanılarak matematiksel model geliştirilmiştir. İşleme çıktısı olan toplam güç tüketimi için matematiksel model karesel (kuadratik) regresyon denklemi kullanılarak elde edilmiştir (Eş.4):

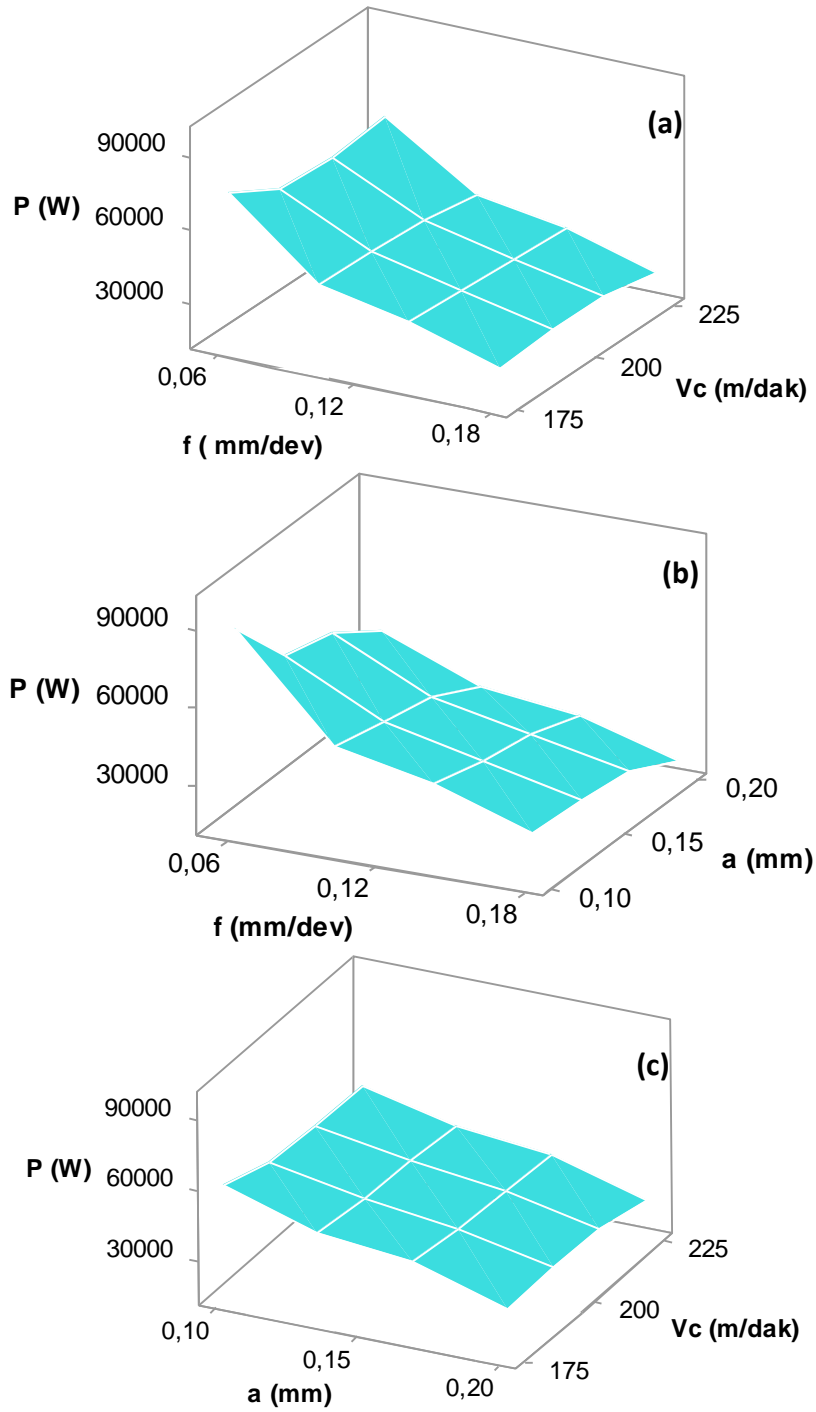
$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 \quad (4)$$

Bu eşitlikte, Y bağımlı değişken, β_0 sabit regresyon katsayısı, β_i ve β_{ii} değişkenlerin katsayısı, X_i bağımsız değişkenlerin kodlanmamış (gerçek) değerleridir ve k parametre sayısıdır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Güç Tüketiminin Analizi (Analysis of Power Consumption)

DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde oluşan toplam güç tüketiminin ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliğine göre değişimi etkileşim grafiklerinde üç boyutlu olarak gösterilmiştir (Şekil 3). Özgül kesme kuvveti, başka bir deyişle özgül kesme enerjisi önemli bir işleme çıktısıdır. Takım tezgahının toplam enerji tüketimini ve iş parçasından çıkarılan talaş kaldırma oranını (MRR) içerir. Bu çıktının minimum değeri, tornalamada minimum enerji tüketimi ve maksimum MRR ile ilişkilidir [15]. Diğer yandan, talaş kaldırma sırasında akım değerinin ölçülmesi kolay ve pratik bir uygulamadır. Bu değer, takım aşınması, malzeme sertliği ve malzemenin akma dayanımı ile ilgili bilgiler sağlar. Bununla birlikte, takım tezgahlarında yük miktarının, örneğin talaş kesiti, artması nedeniyle akım değerlerinin arttığı bilinmektedir [16]. Şekil 2a) ve 2b) incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla güç tüketiminin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi, ilerlemenin artmasıyla artan talaş kesitine bağlı talaş olumu için gerekli güç gereksiniminin artmasıdır. Diğer yandan, kesme derinliğindeki artışla birlikte toplam güç tüketiminin azaldığı görülmektedir. Normalde, kesme derinliğindeki artış talaş kesitini artması ve dolayısıyla akım değerinin artmasına neden olur. Bu çalışmada, belirli bir malzeme hacmi için sert tornalama deneyleri yapılmıştır. Bu nedenle, Karaaslan ve Şahinoğlu [17] tarafından açıklandığı gibi kesme derinliğinin artmasıyla kesilen malzeme uzunluğu azalmakta ve işleme süresi kısalmaktadır. Bu bağlamda, Eş.(3)'ten anlaşılacağı gibi işleme süresindeki azalma doğrudan toplam kesme gücünün azalmasını sağlamıştır. Ek olarak, kesme hızındaki artışla birlikte kesme gücünün kayda değer bir şekilde azalmadığı söylenebilir (Şekil 2c). Bu sonuç, Eş.(2)'den açıkça anlaşılabilir olup, kesme hızındaki artışın işleme zamanını azaltmasına atfedilmektedir. Buradan, kesme parametrelerindeki artış anlık akım değerini arttırsa da işleme süresini kısalttığı için güç tüketiminin azaldığı sonucuna varılmıştır. Ancak, talaş kaldırma işlemlerinde ilerleme miktarındaki artışın yüzey pürüzlülüğünü arttıracak unutulmamalıdır. Bundan dolayı, yüzey kalitesini bozmadan enerji sarfiyatını azaltmak ve işleme süresini kısaltmak için kesme hızı ve kesme derinliği artırılırken, ilerleme miktarı azaltılmalıdır. Ancak, özellikle sert tornalamada kesme hızının artmasıyla takım ömrü azalacağından, işlenen malzemeye göre seçilen kesme parametrelerinin optimizasyonu en verimli çözüm yöntemlerinden birisi olmaktadır.



Şekil 3. Toplam güç tüketiminin kesme parametrelerine göre değişimi

Tablo 3, doğrusal (a , V_c , f), ikinci dereceden (a^2 , V_c^2 , f^2) ve etkileşimli ($a*V_c$), ($a*f$), (V_c*f) parametreler için ANOVA sonuçlarını gösterir. Bu çalışmada $\alpha=0.05$ anlamlılık seviyesi kullanılmıştır, yani sonuçlar %95'lik bir güven düzeyi için doğrulanmıştır. P değeri 0.05'ten küçükse, karşılık gelen parametre performans karakteristiğine istatistiksel olarak önemli bir katkı sağlar ve P değeri 0.05'ten büyükse, ilgili parametrenin istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı olmadığı anlamına gelir. Sonuçlara göre, tüm doğrusal parametreler ile f^2 , ($a*f$) ve (V_c*f) terimleri istatistiksel olarak önemlidir. Ayrıca, toplam güç tüketimi (P_T) üzerinde kesme parametrelerinin etki derecelerini gösteren yüzde katkı oranları (PCR) gösterilmiştir (Tablo 3). Buna göre, P_T üzerinde en fazla öneme sahip parametre %64.92 PCR ile ilerleme miktarıdır. P_T üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %22.44 PCR değeri ile kesme derinliğidir.

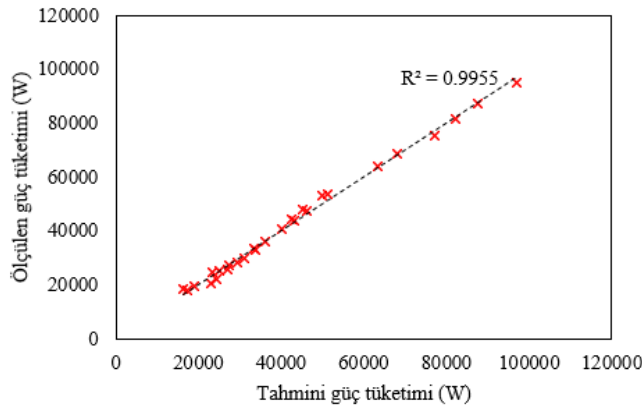
Tablo 3. Güç tüketimi için varyans analizi

Parametre	DF	SS	MS	F	P	PCR (%)
a	1	2970750774	2970750774	852.6	0.000	22.44
Vc	1	243758954	243758954	69.96	0.000	1.84
f	1	8595019287	8595019287	2467	0.000	64.92
$a*a$	1	8255830	8255830	2.37	0.142	0.06
$Vc*Vc$	1	6275129	6275129	1.8	0.197	0.05
$f*f$	1	700351284	700351284	201	0.000	5.29
$a*Vc$	1	11013787	11013787	3.16	0.093	0.08
$a*f$	1	590073173	590073173	169.4	0.000	4.46
$Vc*f$	1	54631823	54631823	15.68	0.001	0.41
Hata	17	59235101	3484418			0.45
Toplam	26	13239365141				100

3.2. Güç Tüketimi Matematiksel Modeli (Power Consumption Mathematical Model)

Yanıt yüzey metodolojisi, herhangi bir deney veya süreçte girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi ihtiyacıyla uygulanan deneysel bir modelleme yaklaşımıdır. Özellikle malzeme işleme alanında yaygın olarak kullanılan bu tekniğin esas amacı, girdi parametrelerinin yanıtlar üzerindeki etkisini keşfetmek, ölçmek ve buna bağlı olarak yanıtları optimize etmektir. Aynı zamanda, işleme süreçleri hakkında mevcut veriler minimum olduğunda kolay uygulanması ve doğrusal olmayan problemlerde bile kolay bir şekilde modellerin geliştirilmesine imkan vermesi bu yöntemin avantajıdır [18]. Sert tornalama deneylerinden elde edilen toplam güç tüketimi (P_T) için yanıt yüzey metodolojisi ile %95 güven düzeyinde geliştirilen matematiksel model Eş. 5'te gösterilmiştir. Yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak oluşturulan matematiksel modelin uygunluğunu göstermek amacıyla belirtme katsayısı (R^2) değeri bulunmuştur. Diğer bir deyişle, R^2 'nin kesme parametreleri ile yanıt arasındaki ilişkiyi tanımladığı söylenebilir. Buradan, kesme parametreleri ve toplam güç tüketimi arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmekte olup, R^2 değeri 0.9955 olarak hesaplanmıştır. P_T denklemi incelendiğinde, model katsayılarından anlaşılacağı gibi kesme parametrelerinin (a , Vc ve f) negatif etkisi göze çarpmaktadır. ANOVA tablosunda bahsedildiği gibi, toplam güç tüketiminin artmasına neden olan parametrelerin etki sıralaması ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesme hızı şeklinde olduğu Eş.5'ten açıkça görülmektedir. Ayrıca, toplam güç tüketimi için deneysel ve tahmin edilen sonuçların karşılaştırılması Şekil 3'te grafikte gösterilmektedir.

$$P_T = 344868 - 549952 \times a - 1087 \times Vc - 1719569 \times f - 469207 \times a^2 + 1.64 \times Vc^2 + 3001096 \times f^2 + 766 \times a \times Vc + 2337443 \times a \times f + 1422 \times Vc \times f \quad (5)$$



Şekil 3. Toplam güç tüketiminin karşılaştırılması

Şekil 3 incelendiğinde, grafikteki noktaların eğilim çizgisine yakın dağılım göstermesi geliştirilen modelin istatistiksel olarak önemli olduğuna işaret etmektedir. Hem model belirtme katsayısı (R^2) hem de grafik dikkate alındığında, geliştirilen matematiksel modelin sıcak iş takım çeliğinin CBN kesici takım ile finiş tormalama işleminde toplam güç tüketimini (P_T) güçlü bir şekilde tahmin edebileceği söylenebilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sertleştirilmiş sıcak iş takım çeliği üzerinde Taguchi L_{27} dikey dizinine göre yapılan sert tormalama sırasında enerji tüketimi ve kesme parametreleri arasındaki etkileşimler deneysel ve istatistiksel analizler kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kesme parametrelerinin (a , V_c , f) artışıyla birlikte anlık akım değerinin arttığı, ancak a ve f değerlerinin artmasıyla azalan işleme süresinin toplam güç tüketimini olumlu etkilediği belirlenmiştir.
- Toplam güç tüketimi üzerinde kesme parametrelerinin önem sıralaması varyans analizi kullanılarak belirlenmiş olup, ilerleme miktarı (%64.92), kesme derinliği (%22.44) ve kesme hızı (%1.84) şeklinde bulunmuştur.
- Yanıt yüzey metodoloji ile toplam güç tüketiminin matematiksel modeli, DIN 1.2367 sıcak iş takım çeliğinin sert tormalama işleminde enerji tüketiminin %95 güven düzeyinde tahmin edilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmanın devamında, sürdürülebilir imalata katkı açısından enerji tüketimi ve yüzey kalitesini içerecek şekilde optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi ilgili alana önemli fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. J.P. Davim, Machining of hard materials. Springer, London, 2011.
2. W. Grzesik, Advanced machining processes of metallic materials. Elsevier, Amsterdam, 2017.
3. F. Klocke, E. Brinksmeier, K. Weinert, Capability profile of hard cutting and grinding processes, CIRP Annals, 54(2):22-45, 2005.
4. H. Yurtkuran, M.E. Korkmaz, M. Günay, Modelling and optimization of the surface roughness in high speed hard turning with coated and uncoated CBN insert, Gazi University Journal of Science, 29(4): 987-995, 2016.
5. M.P. Sealy, Z.Y. Liu, D. Zhang, Y.B. Guo, Z.Q. Liu, Energy consumption and modeling in precision hard milling”, Journal of Cleaner Production, 135: 1591-1601, 2016.
6. W. Lee, C.Y. Lee, B.K. Min, Feed drive model for machine tool energy consumption simulation. Trans N Amer Manufac, 42:409-416, 2014.
7. V. Singh, P.V. Rao, S. Ghosh, Development of specific grinding energy model. Int J Mach Tool Manu; 60:1-13, 2012.
8. T. Li, L.L. Kong, H.C. Zhang, Recent research and development of typical cutting machine tool's energy consumption model. J Mech Eng; 50: 102-111, 2014.
9. L. Zhou, J. Li, F. Li, Q. Meng, J. Li, X. Xu, Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review, Journal of Cleaner Production 112:3721-3734. 2016.
10. A. Zerti, M.A. Yallese, I. Meddour, S. Belhadi, A. Haddad, T. Mabrouki, Modeling and multi-objective optimization for minimizing surface roughness, cutting force, and power, and maximizing productivity for tempered stainless steel AISI 420 in turning operations. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 102, 1-23, 2019.
11. M.E. Korkmaz, M. Günay, Finite element modelling of cutting forces and power consumption in turning of AISI 420 martensitic stainless steel. Arab J Sci Eng:1-8, 2018.
12. R260 çeliklerinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve makine gürültüsü üzerine etkileri, Politeknik Dergisi, 21(1):237-244, 2018.

13. G. Kant, K.S. Sangwan, Prediction and optimization of Machining parameters for minimizing power consumption and Surface roughness in machining. *J. Clean. Prod.* 83: 151–164, 2014.
14. M. Moradnzhad, H.O. Ünver Energy efficiency of machining operations: A review, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231:(11) 1871-1889, 2017.
15. C. Camposeco-Negrete, Optimization of cutting parameters using response surface method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in turning of AISI 6061 T6 aluminum, *Journal of Cleaner Production* 91:109-117, 2015.
16. A. Şahinoğlu, M. Rafighi, Investigation of vibration, sound intensity, machine current and surface roughness values of AISI 4140 during machining on the lathe, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45:765–778, 2020.
17. F. Karaaslan, A. Sahinoglu, Determination of ideal cutting conditions for maximum surface quality and minimum power consumption during hard turning of AISI 4140 steel using TOPSIS method based on fuzzy distance, *Arabian Journal for Science and Engineering*,
18. A. Chabbi, M.A. Yallese, M. Nouioua, I. Meddour, T. Mabrouki, F. Girardin, Modeling and optimization of turning process parameters during the cutting of polymer (POM C) based on RSM, ANN, and DF methods. *Int J Adv Manuf Technol* 91:2267–2290, 2017.