

# AISI304 ÇELİKLERİN TORNALANMASINDA EP KATKILI KARMA BİTKİSEL ESASLI KESME SIVILARININ PERFORMANSI

**M. Hüseyin ÇETİN ve Babür ÖZÇELİK**

Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 41400,  
Gebze/Kocaeli

[cetin-endustri@hotmail.com](mailto:cetin-endustri@hotmail.com), [ozcelik@gyte.edu.tr](mailto:ozcelik@gyte.edu.tr)

(Geliş/Received: 06.10.2010; Kabul/Accepted: 06.04.2011)

## ÖZET

Bu çalışmada, ayçiçek ve kanola yağından formüle edilen % 8 ve 12 EP katkıli iki tip karışım bitkisel esaslı ve bir tip ticari (mineral) kesme sıvılarının performansları yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ), tornalama kuvveti ( $F_c$  ve  $F_f$ ) ve takım aşınması (VC and VB) yoluyla araştırıldı. Deneyler karbür takma uçlu kesiciyle AISI 304 çeliğin tornalanması yoluyla gerçekleştirildi. İşleme parametreleri olarak; devir sayısı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği belirlendi. Kesici kenar yanıl yüzey aşınması 0,2-0,6 mm aralığında alındı. Genel olarak deney sonuçları, geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının kuvveti, takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmadaki performansının referans olarak kullanılan ticari kesme sıvısından daha iyi olduğunu gösterdi.

**Anahtar Kelimeler:** Karma bitkisel esaslı kesme sıvıları, EP katkısı, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, tornalama.

## PERFORMANCE OF BLEND VEGETABLE BASED CUTTING FLUIDS INCLUDING EXTREME PRESSURE IN TURNING OF AISI304 STEELS

### ABSTRACT

In this study, performances of two different blend vegetable-based cutting fluids (BCFs) including 8 and 12% of extreme pressure additives formulated from sunflower and canola oils, and one commercial cutting fluid (mineral) were investigated for surface Roughness ( $R_a$ ), turning forces ( $F_c$  and  $F_f$ ) and tool wear (VC and VB). The experiments were realized by turning of AISI 304 austenitic stainless steel with carbide insert tool. Spindle speed, feed rate and depth of cut were considered as machining parameters. Flank wear was taken between 0.2-0.6 mm. Experimental results generally revealed that vegetable based cutting fluids resulted better performances than mineral based commercial cutting fluids considering parameters of lower force, tool wear and surface roughness.

**Key Words:** Vegetable based cutting fluid blends, EP additive, Cutting force, Surface roughness, Tool wear, Turning.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalat endüstrisinde sanayi devriminden sonra büyük ilerlemeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler modern malzemeler olarak adlandırılan paslanmaz çelikler, titanyum alaşımları ve kompozit malzemeler gibi kesilmesi zor malzemelerin işlenebilirliğini kolaylaştırmıştır [1]. Yüksek sertlik ve yüksek deformasyon sertleşmesine sahip bu malzemelerin talaşlı imalatında kesme bölgesinde oluşan gerilim,

sürtünme ve yüksek sıcaklıklar takım aşınmasını, kesme kuvvetlerini artırmakta, yüzey kalitesini düşürmektedir. Modern malzemelerin talaşlı imalatında metal kesme sıvıları imalat verimliliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Kesme sıvılarının yağlama, soğutma ve kaynağı önleme fonksiyonları, kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı ve sürtünmeyi azaltacağı için takım ömrü ve yüzey kalitesi artacak, tornalama kuvvetleri azalacaktır. Ayrıca kesme sıvılarının iş parçasını geçici olarak oksidasyona ve korozyona karşı

korumaları mühendislik açısından önemlerini arttırmaktadır.

Metal kesme endüstrisinde kullanılan kesme sıvıları mineral esaslı, sentetik - yarı sentetik esaslı ve bitkisel esaslı olarak sınıflandırılabilir. Petrolün rafine edilmesiyle elde edilen mineral yağlar ve laboratuvar ortamında üretilen sentetik ve yarı sentetik yağlar günümüz endüstrisinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Ekolojik çevre hava, toprak ve su kanalıyla karışan madeni yağ esaslı kesme sıvıları içerdikleri hidrokarbonlar dolayısı ile canlı varlığına zarar vermektedir [2]. Metal kesme sıvılarının olumsuz etkilerinden birincil derecede etkilenenler ise sürekli sıvılarla temas halinde olan makine operatörleridir. Özellikle talaşlı imalatta ortam ısısından dolayı buharlaşan kesme sıvıları ve mikro partiküller olarak çalışma ortamına yayılan sıvılar ciddi akciğer, solunum yolları rahatsızlıklarına, dermatolojik ve kalıtsal rahatsızlıklara sebebiyet vermektedir [3]. Olumsuz etkilerinden dolayı mineral ve sentetik yağlar yerine kaynakları tükenmeyen, biyolojik olarak parçalanabilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının metal kesme işlemlerinde kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yapılmaktadır [4-15]. Bitkisel esaslı yağların oksidatif ve termal kararlılıklarının düşük olması endüstriyel olarak kullanılmalarını kısıtlamasına rağmen, kimyasal olarak emülsifiyer ve EP (aşırı basınç) katkı maddeleriyle oluşturulan kesme sıvısı formülasyonları mineral ve sentetik yağlara oranla düşük sürtünme katsayısı oluşumu, sınır yağlamada artan yük taşıma kapasitesi ve korozyona karşı direnç gösterme açısından daha yüksek performansa sahip olmaktadır [16].

Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması imalat verimliliğini etkileyen en temel faktörlerdendir. Birbirleriyle temas halinde çalışan makine parçalarının istenilen işlevi uzun süreli ve minimum enerji harcayarak gerçekleştirilmesi yüzey pürüzlülüğüne dolayısıyla takım aşınmasına bağlıdır. Kesme sıvıları soğutma fonksiyonları ile kalıcı gerilmeleri azaltarak boyutsal hassasiyeti sağlarken, yağlama fonksiyonları ile kesme bölgesinde bir sınır tabaka oluşturarak yüzey pürüzlülük kalitesinin artmasını ve takım aşınmalarının azalmasını sağlamaktadırlar. Xavier ve Adithan [4] yaptıkları çalışmada AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerinin karbür takımlarla işlenmesinde, bitkisel ve mineral kesme sıvılarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. ANOVA sonuçlarına göre kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğü (%14,29) ve takım aşınması (%4,65) üzerine dikkate değer etkileri olduğu tespit edilmiştir. Hindistan cevizi yağının kullanılan mineral yağlara oranla takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü

azaltmada daha iyi bir kesme sıvısı olduğu belirlenmiştir. Özçelik ve ark. [5] yaptıkları çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliklerin delinmesinde ayçiçeğinden geliştirilmiş iki farklı kesme sıvısı ve ticari esaslı iki kesme sıvısının (yarı sentetik ve mineral esaslı) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Taguchi deney tasarımı ile bitkisel esaslı kesme sıvıları için optimum yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bitkisel esaslı kesme sıvılarının yüzey kalitesi açısından ticari kesme sıvılarından daha iyi performans verdiği görülmüştür.

Metal kesme işleminde malzemenin işlenmeye karşı gösterdiği direnç kesme kuvvetlerini meydana getirir. Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [17]. Belluco ve Chiffre'nin [6] yaptığı çalışmada klasik HSS-Co matkap kullanılarak AISI 316L östenitik paslanmaz çelik delinirken 6 farklı kesme sıvısının takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvveti ve talaş şekline olan etkileri değerlendirilmiştir. Referans ürün olarak mineral esaslı ticari kesme sıvısı kullanılmış ve farklı katkı seviyelerinde formüle edilmiş 5 adet bitkisel esaslı kesme sıvısı test edilmiştir. Bitkisel esaslı kesme sıvılarının kullanılmasıyla takım ömründe %177 artış ve itme kuvvetinde %7 azalma sağlanmıştır. Kuram ve diğerleri [7] yaptıkları çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde ayçiçeği ve kanola yağından geliştirilmiş iki farklı kesme sıvısı ile ticari esaslı yarı sentetik kesme sıvısının kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ayçiçeği yağından geliştirilmiş kesme sıvısının takım aşınmalarını azaltmada referans sıvıya göre daha yüksek performans gösterdiği, kesme kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının daha performanslı olduğu belirlenmiştir. Kuram ve diğerleri [8] rafine ayçiçek yağından geliştirilen bitkisel yağlar (ham ve rafine) ile bitkisel ve mineral esaslı endüstriyel metal kesme yağlarının 304 paslanmaz çelik malzeme üzerinde delme test sonuçlarını incelemişlerdir. En düşük ilerleme kuvveti değerleri ayçiçeği esaslı kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri ise ticari bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde elde edilmiştir.

Bitkisel esaslı kesme sıvılarının talaşlı imalatta kullanılabilirliğini arttırmak için emülsifiyerler, EP katkıları, pH düzenleyiciler, korozyon ve koku önleyiciler, parlama noktası yükselticiler gibi katkıları kullanılmaktadır. EP katkıları ve emülsifiyerler doğrudan imalat performansına etki ederken diğer katkı maddeleri kesme sıvısını kimyasal olarak düzenleyici etki göstermektedir. Jayal ve Balaji [18]

AISI 1045 malzemenin tornalanmasında EP katkısının, minimum miktarda yağlamanın (MQL), kuru kesme şartlarının ve sürekli akış halinde kesme sıvısı kullanımının takım aşınması üzerindeki etkisini incelemişlerdir. En uzun takım ömrü sürekli akış halinde kesme sıvısının kullanımıyla elde edilmiş, en kısa takım ömrü ise EP katkılı MQL yönteminin uygulandığı deney şartlarında ölçülmüştür. EP katkı maddelerinin yüzeye reaksiyona girmesi takım ömrünü olumsuz etkilemiştir. Srikant ve ark. [19] emülsifiyer katkısının imalat verimliliğine etkisini incelemişler, verimlilik kriteri olarak sıcaklık, kesme kuvvetleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ölçmüşlerdir. Emülsifiyer oranının artışının bütün performans kriterlerinde verimliliği arttırdığı, %15'den fazla emülsifiyer oranının ise performansa etki etmediği görülmüştür.

Bu çalışmada farklı EP oranlarında ayçiçeği ve kanola yağlarından karma olarak geliştirilmiş bitkisel esaslı kesme sıvılarının AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin tornalanmasındaki performansı araştırılmıştır. Referans olarak ticari mineral kesme sıvısı kullanılmış, ayrıca kuru kesme şartlarında tornalama deneyleri yapılmıştır. Performans karşılaştırması için kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınmaları ölçülmüştür.

## 2.DENEY TASARIMI (EXPERIMENTAL DESIGN)

Bitkisel esaslı kesme sıvılarının performans deneyleri Tezsan marka 7,5 kw ana motor gücünde universal torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Iscar firmasına ait DCMT 11T304-SM IC907 kesici uç ve mekanik tespit sistemli SDJCR 2525M-11 takım tutucu kullanılmıştır. Kesme bölgesindeki sürtünme kuvvetlerini azaltmak ve takım ömrünü artırmak için titanyum nitrid (TiN) kaplamalı sinterlenmiş metal karbür uç ile tornalama yapılmıştır. TiN yağlayıcı etkisi ile kesme bölgesinde sürtünme katsayısını ve talaşın takıma yapışma eğilimini azaltır [17]. Her bir kesme sıvısının performans analizi için; devir sayısı, kesme derinliği ve ilerleme hızından oluşan kesme

parametreleri sabit değerlerde alınmıştır ve deneyler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1). Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü verileri her tornalama işleminde, takım aşınmaları ise ilk 4 tornalama işleminden ve ilk 4 işlemde sonra her 4 kez boyuna tornalama işleminden sonra ölçülmüştür.

**Çizelge 1.** Performans deneyleri için kesme parametreleri (Cutting parameters for performance experiments)

Kesme sıvısı türü	Devir sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme derinliği (mm)
BCF-II (%8 EP) BCF-II (%12 EP) CMCF KURU KESME	500	0,22	1,00

Deneylerde kullanılan yüksek krom ve nikel muhtevasına sahip AISI 304 paslanmaz çelikler diğer karbonlu veya alaşımlı çeliklerden daha yüksek süneklığe ve daha düşük ısıl iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli olan yüksek enerji, talaşlarla birlikte iş parçasından uzaklaşmak yerine kesme bölgesinde hapsolür [20].

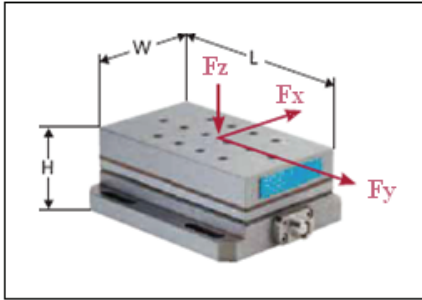
Kesme bölgesinde oluşan ısının uzaklaştırılması ve takım ömrünün artırılması için kesme sıvılarının kullanılması gerekmektedir. Çizelge 2'de bitkisel kesme sıvılarının analizi için kullanılan 350 HV sertlik değerindeki AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin kimyasal analizinden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Deneyler için 40 mm çapında ve 300 mm boyunda 10 adet çubuk malzeme kullanılmıştır. Deney malzemeleri TS 10329 göz önünde bulundurularak boy/çap oranı 10/1'den küçük olacak şekilde hazırlanmıştır. Deneyler sonucunda işlenmiş yüzeylerin pürüzlülük ölçümü, Mitutoyo SurfTest SJ 301 tipi portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde örnekleme uzunluğu (cut-off) 0,8 mm ve örnekleme sayısı 5 olarak seçilmiştir.

**Çizelge 2.** AISI 304 paslanmaz çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of AISI304 austenitic steel)

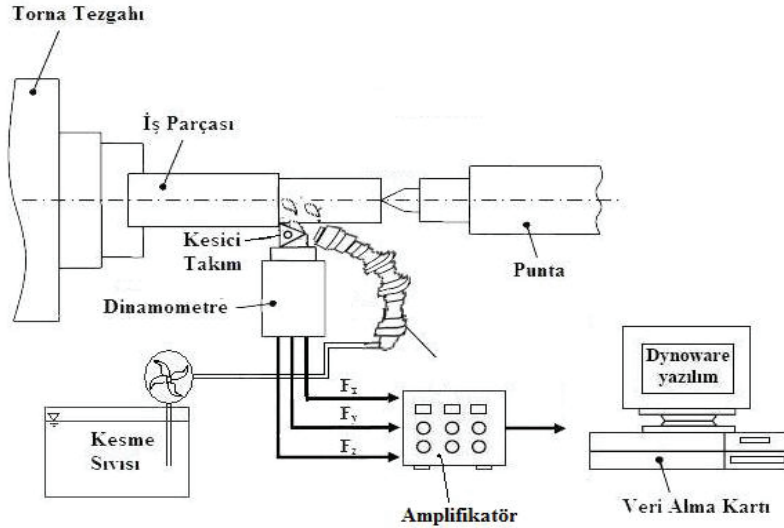
(% Ağırlık) SERTLİK:350 HV Çap: 40 mm Boy: 300 mm								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
0.068	0,487	1,56	0,0027	0,025	18,21	7,54	0,348	0,0031
Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb	Mg	B
0.52	0,129	0,0048	0,024	0,068	0,05	0,025	0,019	0,0024
Sn	Zn	As	Bi	Ca	Ce	Zr	La	Fe
0.03	0,029	<0,001	<0,002	0,0007	0,021	0,0062	0,0029	70,8

Her bir talaş kaldırma işleminden sonra parçanın 6 farklı noktasından yüzey pürüzlülüğü ölçümü alınmış ve ölçülen 6 değer ortalama alınarak analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün 6 noktadan alınmasının sebebi örnek hacmini geniş tutarak ideal değerden sapmayı minimize edebilmektir. Kesme kuvvetleri KISTLER 9257B tipi dinamometre ve KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör kullanılarak ölçülmüştür. Dinamometre ile ölçülen kuvvet değerleri DynoWare yazılımı kullanılarak grafiksel olarak kaydedilmiştir. Her bir boyuna tornalama işlemi sırasında elde edilen kuvvetlerin ortalaması alınarak, o işlem için kuvvet değeri belirlenmiştir. Kesme kuvvetlerine ait yönler Şekil 1'de dinamometre üzerinde görülmektedir.



Şekil 1. KISTLER 9257B dinamometre (KISTLER 9257B dynamometer)

- BCF-II %8 EP : %25 kanola yağı + %25 ayçiçek yağı + %22,5 surfaktant 1 + %13 surfaktant 2 + %8 EP katkısı + %6,5 korozyon önleyici
- BCF-II %12 EP : %25 kanola yağı + %25 ayçiçek yağı + %22,5 surfaktant 1 + %13 surfaktant 2 + %12 EP katkısı + %2,5 korozyon önleyici
- CMCF : Ticari mineral esaslı kesme sıvısı



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Schematic presentation of experimental set-up)

Takım aşınması ölçümünde yan kesici kenar aşınması ve burun aşınması olmak üzere iki farklı aşınma ölçülmüştür. Aşınmalar Nikon SMZ800 Stereo mikroskopta ölçülmüş, 50x büyütme ile görüntüleme yapılmıştır. Kesme sıvıları tek nozullu sistem kullanılarak, kesme bölgesine 75 derecelik açı ile püskürtülmüştür. Kesme sıvısı bütün deneylerde kesme bölgesine 6 lt/dak. debi ile uygulanmıştır. Şekil 2'de deney düzeneği kurulumu ve kesme sıvısının kesme bölgesine uygulandığı şematik olarak gösterilmiştir [14].

## 2.1 Bitkisel Esaslı Kesme Sıvıları (Vegetable based cutting fluids)

Deneyel çalışmalarda 3 çeşit kesme sıvısı kullanılmıştır. Bunlardan 2 tane bitkisel esaslı kesme sıvısı TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilmiş sıvılardır. Diğer kesme sıvısı ise ticari olarak konsantre halinde temin edilmiştir. Ticari mineral esaslı kesme sıvısı referans sıvı olarak düşünülmüştür. Deneylerde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri Çizelge 3'te gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme sıvıları:

**Çizelge 3.** Kesme sıvılarının özellikleri [14] (Properties of cutting fluids)

Kesme Sıvısı	pH	pH (%8 Emülsiyon)	Yoğunluk (g/ml)	Yoğunluk (g/ml) (%8 Emülsiyon)	Viskozite 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	Viskozite 40°C (mm <sup>2</sup> /sn) (%8 Emülsiyon)	Parlama Noktası (°C)	Kırılma İndisi (n <sub>d</sub> )	Kırılma İndisi (%8 Emülsiyon)
BCF-II (%8 EP)	9,95	9,70	0,99	0,99	79,00	2,50	178,00	1,4800	1,3467
BCF-II (%12 EP)	10,15	9,24	0,97	1,00	88,00	2,40	185,00	1,4798	1,3491
CMCF	10,05	9,30	0,95	0,99	66,00	2,20	195,00	1,4942	1,3463

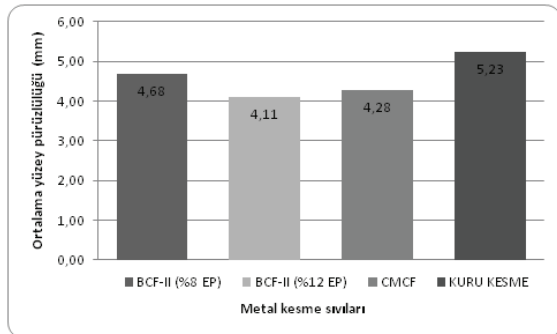
Bütün kesme sıvıları %8 konsantrasyonda hazırlanmıştır. Kesme sıvılarını seyreltme işleminde çeşme suyu kullanılmıştır. Çeşme suyunun sertliği, yapılan ölçümler sonucunda 128 mg CaCO<sub>3</sub>/l olarak bulunmuştur.

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Yeni geliştirilen EP katkı bitkisel esaslı kesme sıvılarının ve referans olarak kullanılan ticari kesme sıvılarının performans deneylerinde AISI304 malzemenin boyuna tornalamasında oluşan yüzey pürüzlülüğü (R<sub>a</sub>), tornalama kuvvetleri (F<sub>c</sub> ve F<sub>r</sub>) ve takım aşınmaları (VC ve VB) ölçülerek analiz edilmiştir. Deneylerde 2 farklı EP oranına sahip bitkisel esaslı kesme sıvısının talaşlı imalatta kullanılabilirliği incelenmiştir. Verimli ve ekonomik bir talaşlı imalat işlemi için sağlanması gereken kriterler yüksek yüzey kalitesi, düşük tornalama kuvvetleri ve uzun takım ömrüdür.

#### 3.1. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Kesme sıvılarının tornalamadaki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama işleminden sonra ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınmıştır ve sonuçlar Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Performans deneyleri sonucu ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması [14] (Averages of specified surface roughness values after performance experiments)

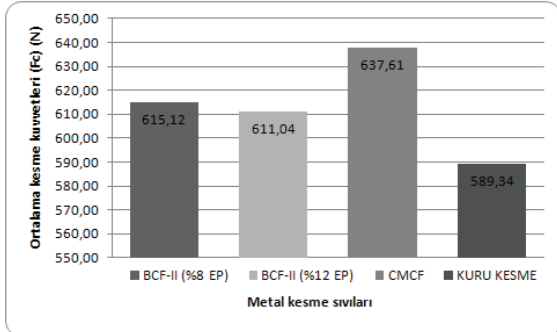
Şekil 3'te görüldüğü gibi 500 dev/dak devir sayısı, 0,22 mm/dev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği şartları altında en iyi performansı (en düşük yüzey pürüzlülüğünü) geliştirilen BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı ile tornalama deneyleri sonucunda yüzey pürüzlülüklerinin ortalaması 4,11 µm olarak ölçülmüştür. CMCF ve kuru kesme deney verileri referans olarak düşünülürse, bitkisel esaslı kesme sıvılarının yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından yüzdelik performansları Çizelge 4'te verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-II (%12 EP), CMCF ve BCF-II (%8 EP). Bu sonuçlara göre geliştirilen BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı referans sıvıdan yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi performans göstermiştir. EP katkısı açısından bakıldığında BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı BCF-II (%8 EP) kesme sıvısından yüksek performans göstermiştir. Bu sonuçlar kesme sıvılarının emülsiyon halindeki viskozite değerlerine bakılarak açıklanabilir. BCF-II (%12 EP) kesme sıvısının emülsiyon halindeki viskozite değeri BCF-II (%8 EP) kesme sıvısının emülsiyon halindeki viskozite değerinden düşüktür. Düşük viskoziteli kesme sıvısı takım talaş ara yüzeyine daha iyi nüfuz ederek sınır yağlamayı aynı zamanda da EP katkı maddesinin aktivitesini artırmıştır. Bu sebeple yüzey kalitesi BCF-II (%12 EP) kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde daha yüksek çıkmıştır.

**Çizelge 4.** Referans alınan kesme sıvılarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı [14] (Vegetable based cutting fluids performances in terms of surface roughness with respect to reference cutting fluids)

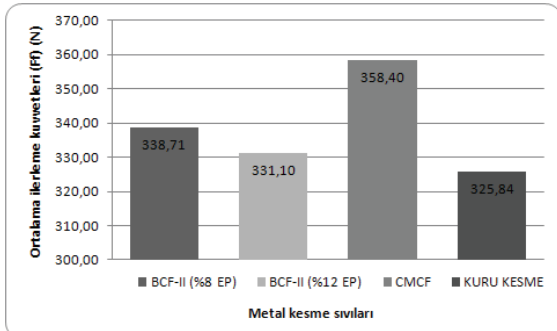
Kesme sıvıları	BCF-II (%8 EP)	BCF-II (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	9,35	3,97
Kuru kesmeye göre (%)	10,52	21,41

### 3.2. Tornalama Kuvvetleri (Turning Forces)

Kesme sıvılarının tornalamadaki performansını belirleyebilmek için, her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında ölçülen kuvvetlerin ayrı ayrı ortalaması alınmış ve sonuçlar Şekil 4-5'de gösterilmiştir. Ölçümler, takım ömrü tamamlanincaya kadar elde edilen değerlerin ortalaması alınarak yapılmıştır. Şekil 4-5'de görüldüğü gibi kesme ve ilerleme kuvvetleri açısından en düşük kuvveti BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. Grafiklerde kuru kesme şartlarında düşük kuvvetlerin görülmesi, tornalama kuvvetlerinin ilk deney verilerinde düşük olması ve kuru kesme şartlarında, takım ömrünün bu düşük değerlerden hemen sonra bitmesi ile açıklanabilir (Şekil 8-9). Bu sebeple kuru kesme şartları performans sıralamasına dahil edilmemiştir. Kesme kuvvetinin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-II (%12 EP), BCF-II (%8 EP) ve CMCF. EP katkı maddeleri yüzeyle belirli bir sıcaklık (300-700 °C arası - EP katkı maddelerinin karakteristiğine göre) ve basınçta (yaklaşık 1500 N/mm<sup>2</sup>) kimyasal reaksiyona girdikten sonra yüzeyi absorbe ederek kayma gerilmesini düşürmektedir [21]. Bu çalışmada da EP oranı arttıkça kesme kuvvetlerinin düşmesi bu olayla açıklanabilir [14].



Şekil 4. Performans deneyleri sonucu ölçülen kesme kuvvetlerinin ( $F_c$ ) ortalaması [14] (Averages of specified cutting forces values after performance experiments)



Şekil 5. Performans deneyleri sonucu ölçülen ilerleme kuvvetlerinin ( $F_f$ ) ortalaması [14] (Averages of specified feed forces values after performance experiments)

İlerleme kuvvetinin daha küçük olması istendiğinden kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-II (%12 EP), BCF-II (%8 EP) ve CMCF. CMCF kesme sıvısı referans olarak düşünülürse, bitkisel esaslı kesme sıvılarının tornalama kuvvetlerini düşürme açısından yüzdelik performansları Çizelge 5'de verilmiştir. Kesme

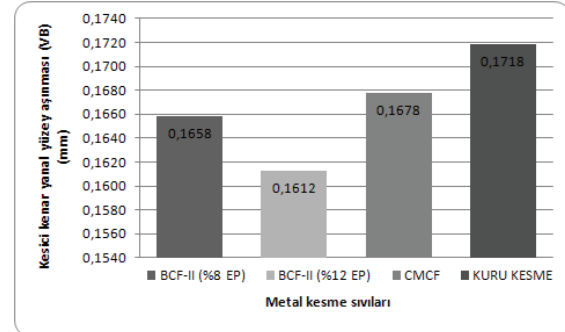
sıvılarının içindeki EP katkı maddesi oranı arttıkça parça yüzeyindeki kayma gerilmesinin düşmesi sebebiyle tornalama kuvvetlerinde azalış beklenir. Bu hipotez harman (ayçiçeği ve kanola yağı karışımı) esaslı kesme sıvısının kullanıldığı deneylerde doğrulanmaktadır.

**Çizelge 5.** Referans alınan kesme sıvılarına göre tornalama kuvvetleri açısından bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı [14] (Vegetable based cutting fluids performances in terms of turning forces with respect to reference cutting fluids)

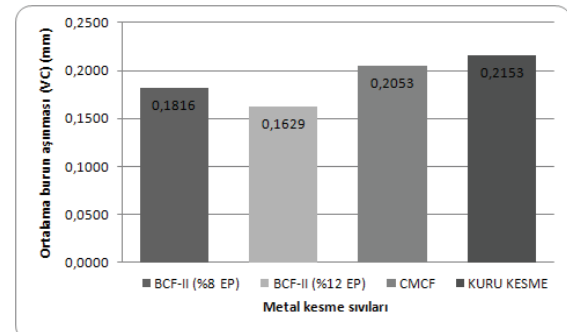
Kesme kuvvetleri açısından		
Kesme sıvıları	BCF-II (%8 EP)	BCF-II (%12 EP)
CMCF'ye (%)	3,53	4,17
İlerleme kuvvetleri açısından		
Kesme sıvıları	BCF-II (%8 EP)	BCF-II (%12 EP)
CMCF'ye göre (%)	5,49	7,62

### 3.3. Takım Aşınması (Tool Wear)

Kesme sıvılarının performans analizi için, her bir kesme sıvısı ile tornalama esnasında ölçülen yan kesici kenar ve burun aşınmalarının ortalaması alınmış ve sonuçlar Şekil 6-7'de gösterilmiştir. Şekil 6-7'de görüldüğü gibi yan kesici kenar ve burun aşınması açısından en iyi performansı (en düşük takım aşınmasını) geliştirilen BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı göstermiştir. BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı ile tornalama deneyleri sonucunda ölçülen yan kesici kenar aşınması ortalaması 0,1612 mm ve burun aşınması ortalaması 0,1629 mm olarak ölçülmüştür. Ortalama yan kesici kenar ve burun aşınması açısından en düşük performansı kuru kesme şartları ve referans olarak kullanılan CMCF kesme sıvısı göstermiştir.



Şekil 6. Kesici kenar yan yüzey aşınmasının ortalama değerleri [14] (Average of flank wear values)



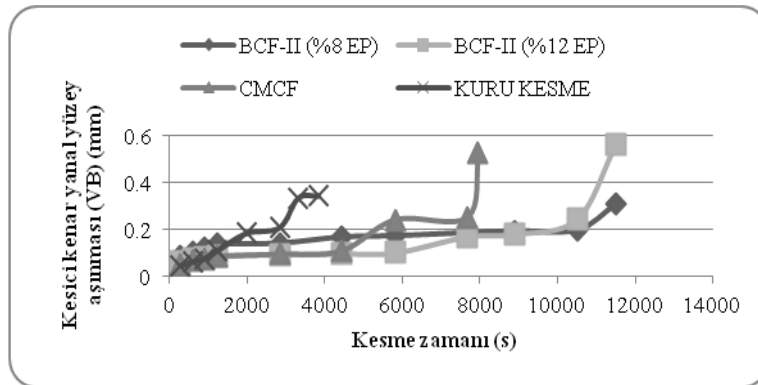
Şekil 7. Burun aşınması değerlerinin ortalaması [14] (Average of nose wear values)

Kuru kesme şartlarında takım talaş ara yüzeyinde sürtünmeden kaynaklanan yüksek sıcaklıklar nedeniyle takımın adhesiv aşınma oranı artmış, bu sebeple en yüksek aşınma değerleri kuru kesme koşullarında ölçülmüştür. Kesme sıvılarının takım aşınması açısından performans sıralamasını yapabilmek için ortalama aşınma miktarları aşınma sürelerine bölünerek ortalama aşınma hızları hesap edilmiştir (Çizelge 6). Ortalama aşınma hızlarına göre yan kesici kenar aşınması açısından kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-II (%12 EP), BCF-II (%8 EP) ve CMCF. Bu sonuçlara göre geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvıları CMCF referans kesme sıvısından yan kesici kenar aşınması açısından daha iyi performans göstermiştir. Burun aşınması açısından ortalama aşınma hızlarına göre kesme sıvılarının performansı iyiden kötüye doğru şöyle sıralanabilir: BCF-II (%12

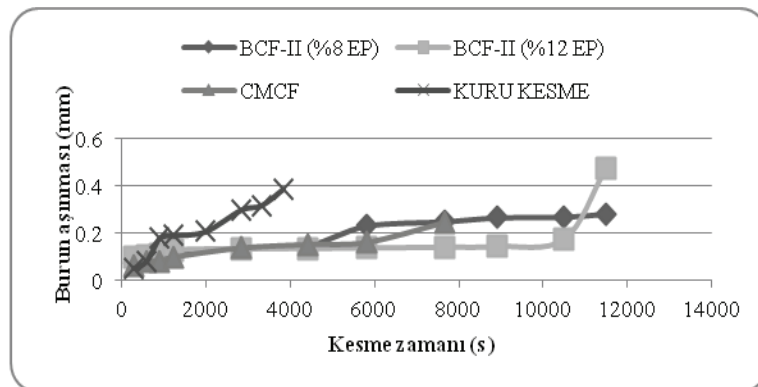
EP), BCF-II (%8 EP) ve CMCF. BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı emülsiyon halindeki viskozitesinin düşüklüğü nedeniyle kesme bölgesine daha iyi nüfuz ederek geliştirilen BCF-II (%8 EP) kesme sıvısından yüksek performans göstermiştir. Kuru kesme deneyinde ise takım efektif kesme bölgesini çok hızlı bir şekilde geçerek deforme olmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlara göre geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının hepsi referans sıvılardan burun aşınması açısından daha iyi performans göstermiştir. Bitkisel yağların moleküler olarak uzun, ağır ve iki kutuplu olması metal yüzeylere karşı kimyasal olarak afinitesini arttırmaktadır. Bitkisel esaslı kesme sıvıları belirtilen kimyasal yapılarından dolayı kesme bölgesinde ince, güçlü ve uzun ömürlü yağlama tabakası oluştururlar. Bu sayede kesme bölgesindeki basıncı absorbe ederek kesme kuvvetlerini düşürür, takım aşınmalarını azaltırlar [14].

**Çizelge 6.** Kesme sıvılarına göre ortalama takım aşınma hızları [14] (Average tool wear speeds with respect to cutting fluids)

Kesme sıvıları	BCF-II (%8 EP)	BCF-II (%12 EP)	CMCF	Kuru Kesme
Yan kesici kenar aşınması hızı, VB hızı (mm/dakika)	$865 \cdot 10^{-6}$	$841 \cdot 10^{-6}$	$1314 \cdot 10^{-6}$	$2690 \cdot 10^{-6}$
Burun aşınması hızı, VC hızı (mm/dakika)	$948 \cdot 10^{-6}$	$850 \cdot 10^{-6}$	$1607 \cdot 10^{-6}$	$3371 \cdot 10^{-6}$



**Şekil 8.** Kesme zamanına bağlı olarak kesici kenar yanal yüzey aşınmasının değişimi [14] (Flank wear variation depending upon the cutting time)



**Şekil 9.** Kesme zamanına bağlı olarak burun aşınmasının değişimi [14] (Nose wear variation depending upon the cutting time)



Aşınma-zaman grafikleri için Şekil 8-9 incelendiğinde BCF-II (%8 EP) ve BCF-II (%12 EP) kesme sıvılarının karakteristik aşınma eğrisine uygun bir aşınma grafiği verdikleri görülmektedir. Kesme süresinin birkaç dakikasına kadar aşınma üstel ilerlemiş, sonra aşınma miktarı sabit bir değerde geniş bir kesme süresi boyunca ilerlemiştir. Bu bölge bitkisel esaslı kesme sıvıları ile sağlanan takım ömrü bölgesidir. Takım aşınmalarının artmasıyla oluşan kuvvet yükselmeleri kesme bölgesi sıcaklığını artıracığı için grafiğin son bölgelerinde takım aşınmaları hızlı bir artış göstermeye başlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar bitkisel esaslı kesme sıvılarının talaşlı imalatta kullanılabilirliğini ve imalatta verim artırıcı etkisi olduğunu kanıtlamaktadır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

İşlenebilirliği zor olan ve endüstriyel açıdan büyük önem taşıyan paslanmaz çelikler, titanyum alaşımları ve kompozit malzemelerin talaşlı imalatında, imalat bölgesinde oluşan yüksek ısıyı düşürecek, sürtünmeyi azaltacak, takım ömrünü uzatacak bir soğutma ve yağlama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple imalat verimliliğinin artırılması için kesme sıvılarının kullanımı önem taşımaktadır. Bu çalışmada, yeni geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvıları ile ticari olarak elde edilen mineral esaslı kesme sıvısı ve kuru kesme şartlarının yüzey kalitesini artırma, tornalama kuvvetlerini düşürme ve takım aşınmalarını azaltma açısından tornalama işlemindeki performansları karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda;

- Yüzey pürüzlülüğünü düşürme açısından mineral esaslı kesme sıvısına göre en yüksek performansı yeni geliştirilen bitkisel esaslı BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı vermiştir. BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı referans alınan CMCF kesme sıvısına göre yüzey kalitesini %3,97 oranında artırmıştır.
- Kuru kesme şartlarına göre BCF-II (%8 EP) kesme sıvısı yüzey kalitesini %10,52 oranında, BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı ise %21,41 oranında artırmıştır.
- EP (aşırı basınç) katkısının %50 oranında artması yüzey kalitesini %10,89 oranında artırmıştır. Bu sonuç EP katkı maddesinin kesme sıvısı içinde yüzdesel olarak artışının yüzey kalitesi açısından efektif bir performans artışı sağlamadığını göstermektedir.
- Tornalama kuvvetlerini ( $F_c$  ve  $F_f$ ) düşürme açısından bitkisel esaslı BCF-II (%8 EP) ve BCF-II (%12 EP) kesme sıvıları referans olarak kullanılan CMCF kesme sıvısına göre performansı %3 ile %7 oranında artırmıştır. EP katkı maddesinin oranı arttıkça parça yüzeyindeki kayma gerilmesinin düşmesi sebebiyle tornalama kuvvetlerinde azalış meydana gelmiştir. Bu sebeple BCF-II (%12 EP) kesme sıvısı BCF-II (%8 EP) kesme sıvısından tornalama kuvvetlerini düşürme açısında yüksek performans göstermiştir. Bu sonuç bitkisel esaslı kesme sıvılarının ve EP katkı maddesinin

işlenebilirlik açısından önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

- Kesme sıvılarının takım aşınması açısından performans analizi için ortalama takım aşınması hızları hesap edilmiştir. Yan kesici kenar aşınması ve burun aşınması açısından BCF-II (%12 EP) ve BCF-II (%8 EP) kesme sıvıları birbirine yakın takım ömrü vermiştir. Yeni geliştirilen bitkisel esaslı BCF-II (%12 EP) ve BCF-II (%8 EP) kesme sıvıları ticari CMCF kesme sıvısından takım ömrünü uzatma açısından daha yüksek performans göstermiştir.

- Kesme sıvılarının performans analizi için elde edilen deneysel sonuçlar yeni geliştirilen bitkisel esaslı kesme sıvılarının ticari olarak kullanılan mineral esaslı kesme sıvısına ve kuru kesme şartlarına göre imalat verimliliğini artırdığını göstermektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma; 107M164 no'lu TÜBİTAK projesi desteğiyle yapılmıştır. Yazarlar, bitkisel esaslı kesme sıvılarını proje kapsamında hazırladıkları için Dr. Erhan Demirbaş ve Emrah Şık'a, deneysel çalışmadaki yardımlarından dolayı Emel Kuram ve Bilgin Tolga Şimşek'e teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sharma, V. S., Dogra M., Suri, N. M., "Cooling Techniques for Improved Productivity in Turning", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Cilt 49, 435-453, 2009.
2. Birova, A., Pavloviova, A., Cvengro, J., "Lubricating Oils Based on Chemically Modified Vegetable Oils", **Journal of Synthetic Lubrication**, Cilt 18, 291-298, 2002.
3. Bennett, E. O., "Water Based Cutting Fluids and Human Health", **Tribology International**, Cilt 12, 45-60, 1983.
4. Xavior, M. A., Adithan, M., "Determining the Influence of Cutting Fluids on Tool Wear and Surface Roughness During Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 209, 900-909, 2009.
5. Ozcelik, B., Demirbas, E., Kuram, E., and Şik, E., "Optimization of Surface Roughness in Drilling Using Vegetable Based Cutting Oils Developed from Sunflower Oil", **Industrial Lubrication and Tribology**, Cilt 63, No 4, 271-276, 2011.
6. Belluco, W. and De Chiffre, L., "Performance Evaluation of Vegetable-based Oils in Drilling Austenitic Stainless Steel", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 148, 171-176, 2004.
7. Kuram, E., Simsek, B. T., Ozcelik, B., Demirbas, E., Askin, Ş., "Optimization of the Cutting Fluids and Parameters Using Taguchi and ANOVA in Milling", **The World Congress on Engineering 2010**, (WCE 2010), Volume II, pp. 1292-1296, 30 June - 2 July, London, U.K., 2010.
8. Kuram, E., Ozcelik, B., Demirbas, E., Şik, E., "Effects of the Cutting Fluid Types and Cutting



- Parameters on Surface Roughness and Thrust Force”, **The World Congress on Engineering 2010**, (WCE 2010), Volume II, 1312-1315, 30 June - 2 July, London, U.K., 2010.
9. Khan, M. M. A., Dhar, N. R., “Performance Evaluation of Minimum Quantity Lubrication by Vegetable Oil in Terms of Cutting Force, Cutting Zone Temperature, Tool Wear, Job Dimension and Surface Finish in Turning AISI-1060 Steel”, **Journal of Zhejiang University**, Cilt 7, 1790-1799, 2006.
  10. Özçelik, B., Demirbaş, E., Kuram, E., Şık, E., Tansel, İ. N., “Geliştirilen Ayçiçeği ve Kanola Esaslı Bitkisel Soğutma Yağlarının AISI 304 Malzemenin Delinmesindeki Performansları”, Yıldız Teknik Üniversitesi, **I. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu**, UTİS 2009, S:121-129, 02-03 Ekim, Beşiktaş-İSTANBUL 2009.
  11. Şık, E., **Bitkisel Tabanlı Yağlardan Metal Kesme Sıvısı Eldesi ve Karakterizasyonu**, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 2009.
  12. Karahan, M., **Ham Soya Yağından Metal Kesme Sıvı Eldesi ve Karakterizasyonu**, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 2009.
  13. Kuram, E., **Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Delmedeki Performansının Araştırılması**, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gebze-Kocaeli, 2009.
  14. Çetin, M. H., **Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Tornalamadaki Performansının Araştırılması**, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gebze-Kocaeli, 2010.
  15. Dal, M., **Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Frezelemedeki Performansının Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 2009.
  16. Fox, N. J., Stachowiak G. W., “Vegetable Oil Based Lubricants – A Review of Oxidation”, **Tribology International**, 40, 1035-1046, 2007.
  17. DeGarmo, E.P., Black, J.T. and Kohser, R.A., “Machining”, **Materials and Processes in Manufacturing**, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 214-652, 1997.
  18. Jayal, A. D., Balaji, A. K., “Effects of Cutting Fluid Application on Tool Wear in Machining: Interactions With Tool-Coatings and Tool Surface Features”, **Wear**, Cilt 267, No9-10, 1723-1730, 2009.
  19. Srikant, R. R., Rao, D. N., Rao, P. N., “Influence of Emulsifier Content in Cutting Fluids on Cutting Forces, Cutting Temperatures”, Tool Wear and Surface Roughness, **Journal of Engineering Tribology**, Cilt 223, 203-209, 2008.
  20. Çiftçi, İ., Kasap, M., Şeker, U., “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirlik Parametrelerinin Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Deneysel Çalışmalar”, **Z.K.Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi**, Sayı 3-4, 130-141, 1999.
  21. Clarens AF, Zimmerman JB, Landis HR, Hayes KF, Skerlos SJ. Experimental comparison of vegetable and petroleum base oils in metalworking fluids using the tapping torque test. Proceedings of Japan-USA Symposium on Flexible Automation: 1-6, July 19-21, 2004 Denver

