

## AISI 1045 Çeliğinin Sürdürülebilir Tornalama İşleminde Sıcaklık Analizi

Mustafa Kuntoğlu<sup>1</sup>, Kübra Kaya<sup>2</sup> ve Rüstem Binali<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği /Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği /Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Türkiye

<sup>3</sup>Makine Mühendisliği /Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Türkiye

\*(rustem.binali@selcuk.edu.tr)

**Özet** – Bu çalışmada AISI 1045 çeliğinin MMY (Minimum Miktarda Yağlama) ve kuru işleme koşullarında işlenmesinde sıcaklık analizi yapılmıştır. Bu maksatla kesme hızı ve ilerleme parametreleri kullanılarak tornalama deneyleri yapılmıştır. İmalat sektöründe en çok tercih edilen malzemelerden olması nedeniyle imalat çeliği olarak da bilinen AISI 1045 çeliğinin işlenebilirliğinin iyileştirilmesi için optimizasyon yaklaşımının yanı sıra grafiksel değerlendirme yapılmış ve ANOVA yöntemiyle anlamlılık testi yöntemi kullanılmıştır. Malzemelerin işlenebilirliği konusunda etkili birçok farklı unsurlar olsa dahi sıcaklık üzerine yapılan bu incelemenin amacı sıcaklığın malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisinin göz ardı edilemeyecek kadar fazla olmasıyla beraber çevresel etkilerinden dolayı tezgâh başında çalışan operatörün sağlığı konusunda da kontrol edilemediği zaman büyük zararlara yol açabilmesidir. Bu yüzden sıcaklık konusu ele alınmış ve detaylı bir şekilde incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – AISI 1045, Sıcaklık, ANOVA, Optimizasyon, MMY

### I. GİRİŞ

İmalat sektöründe oldukça fazla çeşitte malzeme bulunmaktadır. Üretimde kullanılan malzemeler üretilecek iş parçasının nerede, ne kadar süreyle ve hangi işlev amacıyla kullanılacağı gibi farklı sorulara cevap verilerek seçilmektedir. Bu tarz sorulara cevap verilirken kullanılacak malzemenin özellikleri göz önüne alınır. Bu özellikler kimyasal, fiziksel ve en önemlisi mekanik özellikler olarak sayılabilmektedir. Mekanik özelliklerin imalat sektöründe büyük önem arz etmesinin temel sebebi malzemenin kullanımında akla gelebilen bütün soruların cevaplarını barındırmasından dolayıdır. Süneklik, dövülebilirlik, tokluk, sertlik, gevreklik ve son olarak da mukavemet malzemelerin mekanik özelliklerine örnek olarak verilebilir. Bahsedilen bütün mekanik özellikler sıcaklık kavramından fazlasıyla etkilenmektedir. İş parçasının üretimi esnasında malzemenin mekanik özelliklerinin korunması için sıcaklık faktörünün kontrol altında tutulması gerekir. Bunun yanında üretilecek iş parçasının kullanım yeri ve kullanım ömrüne göre malzeme seçimi yapılmalıdır [1-3].

AISI 1045 (C45) çeliği yapısında az miktarda kükürt, fosfor, mangan gibi çelik üretim aşamasından kaynaklanan elementler bulunduran imalat çeliğidir. Aynı zamanda yapılarında bulunan yüksek karbon miktarı nedeniyle karbon çeliği olarak da imalat sanayinde anılmaktadır. Sıcak haddelenmiş veya tavlanmış şekilde tedarik edilebilirler. Kaynak ve işlenebilirlik konularında oldukça elverişli olduğu gibi yüzey sertleştirilmesine de uygundur. Cıvata, krank milleri, aks, hafif dişliler gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Zaman fark etmeksizin talaşlı imalat yöntemleri popülerliğini korumaya ve farklı şekilde uygulanmaya devam etmektedir. Ancak zaman içerisinde bu imalat yöntemleri dönemin teknolojisine ayak uydurarak geliştirilmektedir. Talaşlı imalatla en çok tercih edilen tornalama prosesi silindirik parçalardan talaş kaldırarak iş parçasında istenilen fiziksel özellikleri kazandırabilmektir. Fakat sadece iş parçasının istenilen boyutsal özelliklerinin elde edilmesi tornalama prosesinde beklentileri karşılamamaktadır. Ürünün en düşük maliyetle

üretilmesi, çevre dostu bir üretim yapılması ve iş parçasının mekanik özelliklerinin korunması da istenilen beklentiler arasındadır [4, 5]. Talaş kaldırma işleminde iş parçası ve kesici takım arasındaki hareketten dolayı yüksek sürtünme kuvveti oluşmakla beraber işlem bölgesinde yüksek sıcaklıklar meydana gelmektedir [3, 6]. Üretim esnasında meydana gelen bu sıcaklıklar kontrol altında tutulmaması durumunda kesici takım ömrünün azalmasına ve çalışma performansına negatif etki olarak yansımaktadır [7]. Kesme bölgesinde oluşan ısı malzemede plastik deformasyonlara ve çarpımalara da neden olmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için imalat endüstrisinde yapılacak işleme uygun kesme sıvıları kullanılmalıdır [8].

Kesme sıvılarının üretim esnasında kullanılmasının avantajlarına oluşan talaşların ortamdaki uzaklaştırılması, ortamdaki uzaklaştırılan talaşların tezgâh başındaki operatörün sağlığına olan negatif etkilerinin ortadan kaldırılması ve kesme bölgesinden ısının uzaklaştırılması örnek olarak sayılabilir. Bunun yanında kesme sıvılarının çevresel faktörlerde birçok dezavantajları bulunmaktadır. Bu gibi sebeplerden dolayı kesme sıvısının kullanım miktarının ayarlanmasıyla beraber üretim açısından avantajları kaybedilmeden dezavantajları minimuma indirilmesi gerekmektedir. Bahsedilen dezavantajlardan kaçınmak için kullanılacak kesme sıvılarının seçiminde optimum seçim yapmak veya üretim esnasında kesme sıvılarının kullanımını azaltmak gerekmektedir [9-11].

Minimum Miktarla Yağlama (MMY) bitkisel bazlı yağlama sıvısının basınçlı hava ile karıştırılarak kesme bölgesine işlem esnasında periyodik olarak püskürtülmesi ile yapılmaktadır. Kuru veya ıslak ortamda yapılan işlemlere alternatif olarak sunulur [12]. MMY konusunda oldukça fazla malzeme ile farklı imalat usulleri kullanılan literatür çalışmaları bulunmaktadır. Attanasio vd., çalışmalarında insan sağlığı, çevre konusu üzerinde durmuşlardır ve bununla beraber kesme sıvılarının veya yağların kullanım miktarının azaltılması gerektiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda MMY işleminin kesici takımdaki uç aşınmasının azaltılmasıyla ne gibi avantajlar sağlanacağını tespitini yapmışlardır. Çalışmada kullanılan SEM analiziyle beraber MMY'nin takım ömrünü arttırdığını görmüşlerdir [13]. Astakhov, ise MMY ile kesme sıvısının azaltılmasını ve bununla beraber

gelecekte yapılacak olan çalışmalara kolaylık sağlaması amacıyla MMY yönteminin ilkelerini ve teorilerini gözden geçirmiştir [14]. Bruni vd., AISI 420 B paslanmaz çeliğinin son yüzey frezelemesinde farklı kesme hızları ile kuru, ıslak ve MMY ortamları dikkate alınarak yağlama ve soğutma durumunun etkisini geniş kapsamda incelemiştir. Çalışma sonucunda soğutma yönteminin takım aşınmasında etkisinin az olduğunu sürekli yağlama işleminin büyük yüzey pürüzlülük değerlerine sebep olduğunu belirtmişlerdir [15]. Dhar vd., çalışmaları AISI 4340 çeliğinin karbür kesici takım kullanılarak MMY ortamının kesme sıcaklığı ve takım aşınması üzerindeki etkileri üzerinedir. MMY yönteminin ortamın kesme sıcaklığını, takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde düşürdüğü sonucuna ulaşmışlardır [16]. Taşdelen, ise MMY işleminin basınçlı hava ve emülsiyon gibi farklı ortamlarda alet-talaş temas uzunluğuna etkisine dair deneyler yapmıştır. Elde ettiği sonuçları takım-talaş teması ve talaş morfolojisi konuları açısından kuru kesme ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda MMY ortamının temas uzunluğu üzerindeki etkisi netleştirilmiş ve MMY'nin kısa angajman süreli işlemlerde tercih edildiğinde olumsuz sonuç alınmayacağı sonucuna varmıştır [17]. Khan vd., AISI 9310 alaşımlı çeliğin tornalama işlemi yapılırken minimum miktarda yağlama ortamında bitkisel yağ bazlı kesme sıvısının kullanımının etkilerini araştırmışlardır. Deneylerinde talaş takım arayüz sıcaklığının talaş oluşum açısından tamamen kuru veya ıslak ortama kıyasla tornalama işlemindeki performansı üzerine yoğunlaşmış ve çalışma sonucunda MMY ortamı sayesinde takım aşınmalarının azalması, takım ömrünün ve yüzey kalitesinin artması sonuçlarına ulaşmışlardır. Ek olarak MMY yönteminin çevre dostu bir yöntem olduğuna da değinilmiştir [18]. Görüldüğü üzere geçtiğimiz dönemlerde MMY yöntemi farklı açılardan irdelenmiştir.

Bu çalışmada AISI 1045 çeliğinin üzerinden talaşlı imalatın temel işlemlerinden biri olan tornalama işlemi kullanılarak kuru ve MMY ortamlarında sıcaklık analizi yapılacaktır. Önceden yapılan çalışmalarla beraber imalat sektörüne farklı bir bakış açısı katması ve rehber olarak kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada AISI 1045 çeliği 50 mm çapında ve 200 mm boyunda silindirik malzeme olarak kullanılmıştır. AISI 1045 çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir. Yapılan deneyler CNC Turning Victor V Turn-26 tezgahında TiC coated CCMT 09T308-304 kesici takım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuru ve MMY ortamlarında yapılan deneyler iki farklı kesme hızı (60, 120 m/dk) ve iki farklı ilerleme hızı (0.05, 0.1 mm/dev) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alınan değerler daha önce yapılmış olan literatür çalışmalarına uygun olarak alınmıştır. Sıcaklık ölçümleri için termal kamera kullanılmış ve sıcaklık analizini yorumlamak için gerekli olan değerler elde edilmiştir.

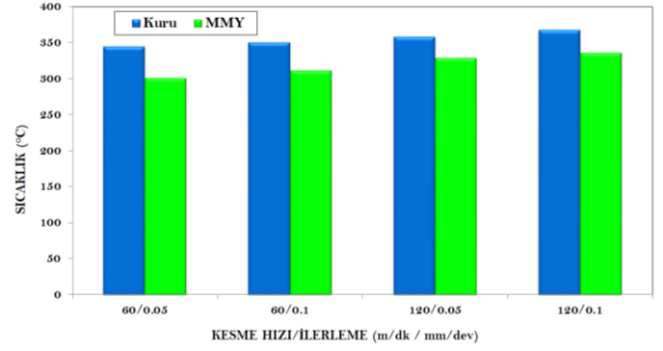
Tablo 1. AISI 1045 Çeliğinin Kimyasal bileşimi. (ağırlıkça %) [19]

Malzeme	C	Si	Mn	P
AISI 1045	0,422	0,244	0,607	0,019
	S	Cr	Mo	Ni
	0,033	0,197	0,0332	0,122

## III. BULGULAR

### A. Grafıksel Değerlendirme

Yapılan deneyler iki farklı kesme hızı (60, 120 m/dk) ve iki farklı ilerleme hızı (0.05, 0.1 mm/dev) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de kesme hızı ve ilerleme seviyelerine göre sıcaklık değişiminin grafıksel değerlendirilmesi verilmiştir. Grafik genel olarak değerlendirildiğinde elde edilen sıcaklıklar 400° ve 300° C civarlarında değişmektedir. Elde edilen en yüksek sıcaklık 120 m/dk kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme hızı parametrelerinin kullanıldığı kuru ortamda yapılan deneyde görülmüştür. En düşük sıcaklık ise kesme hızının 60 m/dk, ilerleme hızının 0,05 mm/dev olduğu MMY ortamında yapılan deneyde bulunmuştur. Bununla beraber kesme hızı ve ilerleme hızının değiştirilmesi tek başına sıcaklık faktörünün değişimi için önemli bir etken olmadığı görülmüştür. Fakat kesme hızı ve ilerlemenin en yüksek değerlerde kullanılmasıyla beraber aynı deney MMY ortamı yerine kuru ortamda yapıldığında sıcaklık değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 1. Kesme hızı ve ilerleme seviyelerine göre sıcaklık değişimi

### B. İstatistiksel Analiz

Çalışmanın istatistiksel analiz kısmında Varyans bir diğer adıyla ANOVA yöntemi kullanılmaktadır. Varyans analizi yapılan deney sonucunu analiz ederek kullanılan farklı parametrelerin etkisini aynı zamanda en etkilisini bulmak için yapılır [20, 21]. Şekil 2’de sıcaklık üzerinde parametrelerin varyans analiz sonuçları verilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen P değerlerinin 0,05 değerinden küçük olması şartıyla yapılan deneylerin anlamlı olduğu kabul edilir [22, 23]. Şekil 2’de verilen P değerlerine bakıldığında hepsinin 0,05’den küçük olmasıyla beraber deneyin anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Varyans analizi sonucunda elde edilen F değerleri ise kullanılan parametrelerin hangisinin araştırılan özelliğe en fazla etki ettiğini göstermektedir. Bu çalışmada alınan istatistiksel sonuç ile sıcaklık üzerinde kesme ortamının en fazla etkisinin olduğu ortaya çıkmaktadır.

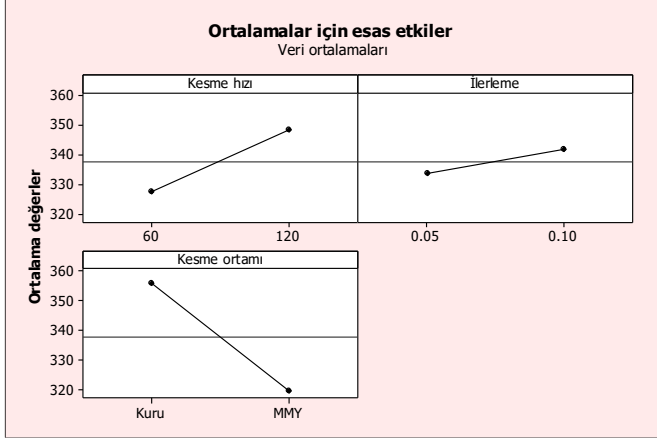
Kaynak	SD	KT	KT	KT	F	P
Kesme hızı	1	861.12	861.12	861.12	55.11	0.002
İlerleme	1	136.12	136.13	136.13	8.71	0.042
Kesme ortamı	1	2628.13	2628.13	2628.13	168.20	0.000
Hata	4	62.50	62.50	15.62		
Toplam	7	3687.88				

Şekil 2. Sıcaklık üzerinde parametrelerin istatistiksel etkisi (varyans analizi)

### C. Optimizasyon

AISI 1045 çeliğinin tornalanmasında sıcaklık üzerindeki parametrelerin optimum değerleri incelenmiştir. Şekil 3’de yapılan incelemenin sonuçları verilmektedir. Optimizasyon çalışmalarının yapılmasının temel nedeni AISI 1045 çeliği ile yapılacak olan ilerideki çalışmalarda MMY yöntemiyle tornalama işlemi yapılmak istenildiğinde malzeme için en iyi parametrelerin seçilmesine ışık tutmasıdır. Şekil 3 incelendiğinde AISI 1045 çeliği için 60 m/dk kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve kesme ortamının MMY olduğu

koşullarda sıcaklık faktörü oldukça düşük olmakla beraber tercih edilmesi gereken parametre değerleridir. Aynı şekilde AISI 1045 çeliğinin sıcaklık faktörü açısından tercih edilmemesi gereken değerler 120 m/dk kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve kesme ortamının kuru olduğu parametre değerleridir.



Şekil 3. Sıcaklık üzerindeki parametrelerin optimum değerleri

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada AISI 1045 çeliğinin tornalama işlemiyle işlenmesinde farklı parametreler kullanılarak kuru ve MMY ortamında sıcaklık analizi yapılması için deneyler yapılmış ve üç farklı değerlendirme yöntemiyle yapılan deneyler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Kullanılan farklı kesme hızları ve ilerleme hızları değerleri olmasına rağmen sıcaklık konusunda bu parametrelerin etkisi vardır fakat göz ardı edilebilecek kadar azdır.
- Yapılan Varyans analizi sonucunda sıcaklık üzerinde en etkili parametre kesme ortamıdır.
- AISI 1045 çeliği için sıcaklığın en düşük olduğu değer 60 m/dk kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve kesme ortamının MMY olduğu koşullarda elde edilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Salur, E., et al., The effects of MQL and dry environments on tool wear, cutting temperature, and power consumption during end milling of AISI 1040 steel. *Metals*, 2021. 11(11): p. 1674.
- [2] Salur, E., Understandings the tribological mechanism of Inconel 718 alloy machined under different cooling/lubrication conditions. *Tribology International*, 2022. 174: p. 107677.
- [3] Binali, R., Sıcak iş takım çeliğinin (TOOLOX 44) işlenebilirliğinin incelenmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [4] Atakök, G., CNC tornada talaş kaldırma işlemlerinde talaş kırıcı geometrisinin işlenebilirliğe etkilerinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi. 2008, Marmara Üniversitesi (Turkey).
- [5] Binali, R., et al., Energy Saving by Parametric Optimization and Advanced Lubri-Cooling Techniques in the Machining of Composites and Superalloys: A Systematic Review. *Energies*, 2022. 15(21): p. 8313.
- [6] Açar, S., A1sı 52100 rulman çeliğinin ultrasonik tornalama yöntemi ile işlenebilirliğinin araştırılması.
- [7] Şahin, H.M. and A. Acır, Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım ve talaş arasında oluşan sıcaklık dağılımının sonlu farklar metodu ile analizi. *Politeknik Dergisi*, 2003. 6(3): p. 541-549.
- [8] Sertsöz, Ş., Küresel grafitli ggg-70 dökme demirin minimum miktarda yağlama tekniği kullanılarak tornalanmasında işlenebilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. 2018, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] Abdalla, H., et al., Development of novel sustainable neat-oil metal working fluids for stainless steel and titanium alloy machining. Part 1. Formulation development. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007. 34: p. 21-33.
- [10] Obikawa, T., Y. Kamata, and J. Shinozuka, High-speed grooving with applying MQL. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2006. 46(14): p. 1854-1861.
- [11] Binali, R., et al., Machinability investigations based on tool wear, surface roughness, cutting temperature, chip morphology and material removal rate during dry and MQL-assisted milling of Nimax mold steel. *Lubricants*, 2023. 11(3): p. 101.
- [12] Masoudi, S., et al., Experimental investigation into the effects of nozzle position, workpiece hardness, and tool type in MQL turning of AISI 1045 steel. *Materials and Manufacturing Processes*, 2018. 33(9): p. 1011-1019.
- [13] Attanasio, A., et al., Minimal quantity lubrication in turning: Effect on tool wear. *Wear*, 2006. 260(3): p. 333-338.
- [14] Astakhov, V.P., Metal cutting theory foundations of near-dry (MQL) machining. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 2010. 7(1-2): p. 1-16.
- [15] Bruni, C., et al., Surface roughness modelling in finish face milling under MQL and dry cutting conditions. *International Journal of Material Forming*, 2008. 1: p. 503-506.
- [16] Dhar, N., M. Kamruzzaman, and M. Ahmed, Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel. *Journal of materials processing technology*, 2006. 172(2): p. 299-304.
- [17] Tasdelen, B., H. Thordenberg, and D. Olofsson, An experimental investigation on contact length during minimum quantity lubrication (MQL) machining. *Journal of materials processing technology*, 2008. 203(1-3): p. 221-231.

- [18] Khan, M., M. Mithu, and N.R. Dhar, Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid. *Journal of materials processing Technology*, 2009. 209(15-16): p. 5573-5583.
- [19] Sadeler, R., et al., AISI 1045 Çeliğinin Düz Ve Fretting Yorulma Davranışları Üzerinde İndüksiyonla Sertleştirilmenin Etkisi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 2007: p. 227-235.
- [20] Qasim, A., et al., Optimization of process parameters for machining of AISI-1045 steel using Taguchi design and ANOVA. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2015. 59: p. 36-51.
- [21] Rüstem, B., Y. Süleyman, and N. Süleyman. Optimization of Machinability Parameters of S960QL Structural Steel by Finite Elements and Taguchi Method. in *Proceedings of the International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'21)(Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No: 7301857)*, Konya, Turkey. 2021.
- [22] Abbas, A.T., et al., Taguchi robust design for optimizing surface roughness of turned aisi 1045 steel considering the tool nose radius and coolant as noise factors. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018. 2018: p. 1-9.
- [23] Asiltürk, İ., et al., A Comprehensive Analysis of Surface Roughness, Vibration, and Acoustic Emissions Based on Machine Learning during Hard Turning of AISI 4140 Steel. *Metals*, 2023. 13(2): p. 437.