

## AISI 1050 çeliğinin kuru frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü 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

\* [rustem.binali@selcuk.edu.tr](mailto:rustem.binali@selcuk.edu.tr)

**Özet** – Bu çalışmada AISI 1050 çeliğinin kuru frezeleme koşullarında işlenmesinde yüzey pürüzlülük analizi yapılmıştır. Bu maksatla kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri kullanılarak frezeleme deneyleri yapılmıştır. İşlenebilirlik imalat sektöründe önem arz eden parametrelerde ilk sıralarda yer aldığı su götürmez bir gerçektir. Malzemenin özellikleriyle beraber işlem sonunda elde edilmesi istenilen iş parçasının özelliklerini işlenebilirlik konusu altında değerlendirilmesi doğru bir yaklaşımdır. Endüstriyel olarak çok kullanılan malzemelerden olan AISI 1050 çeliğinin işlenebilirliğinin iyileştirilmesi için optimizasyon yaklaşımının yanı sıra grafiksel ve istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda yüzey pürüzlülüğü ile ilgili ele alınan parametrelerden ilerlemenin en etkili parametre olduğu ve optimum yüzey pürüzlülüğü koşulları için kesme hızının yüksek, ilerlemenin düşük ve talaş derinliğinin düşük tutulması gerektiği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler** – AISI 1050, Yüzey Pürüzlülüğü, ANOVA, Kuru Frezeleme, İşlenebilirlik

### I. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte imalat sektöründe yapılan çalışmalarda ihtiyaçlar oldukça artmaya başlamıştır. Bununla beraber imalat sektöründe oldukça fazla yeni işleme yöntemleri geliştirildiği gibi imalat sektörünün yapı taşlarından olan bazı talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaya devam edilmiş ve bu yöntemler üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artarak beraber önemlerini kaybetmemişlerdir [1, 2]. Talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan Frezeleme yöntemi iş parçasının Freze tezgahı fikstürüne bağlandıktan sonra kesici uçların bir veya birden fazla ekseninde ilerletilmesiyle parça yüzeyinden talaş kaldırma işlemidir. Frezeleme prosesi başlıca savunma ve otomotiv sektörlerinde en çok kullanılan yöntemdir [3]. Frezelemenin en çok tercih edilen yöntem olmasından dolayı bu yöntemde en düşük maliyetle hassas parçaları işleyebilmek ve bu süreci hızlandırabilmek adına yapılan araştırmalar ve çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır [4]. Frezeleme prosesi işlem esnasında kullanılan kesici takım uçlarının oldukça fazla çeşitliliğe sahip olması nedeniyle istenilen yüzey kalitesi, iyi bir yüzey

pürüzlülüğü ve farklı geometrilerin elde edilebilme imkanı gibi sebeplerden dolayı yüzey işleminde başvurulan temel prosestir. İş parçasında kullanılan mühendislik malzemelerinin yapılan işlem sonucundaki yüzey kalitesi, işlemin doğru bir şekilde yapıldığını gösterdiği gibi elde edilen iş parçası malzemesinin önemli bir kalite göstergesidir [5]. Yüzey kalitesinin en önemli parametrelerinden birisi yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametreler ise kesme derinliği, ilerleme hızı gibi kesme şartlarıyla beraber kesici takımların geometrisidir [6-9]. Yüzey kalitesi yukarıda belirtilen parametreler dışında ortam koşullarına ve yapılan işlemde kesme sıvısının kullanılıp kullanılmamasına da oldukça bağlıdır. Özellikle mineral bazlı kesme sıvılarının imalat esnasında çevreye verdiği zararın yanı sıra operatörün sağlığı konusunda ki olumsuz etkileri azımsanamayacak kadar fazladır [10, 11]. Frezeleme işlemi kesintili bir işlem olduğu için kuru işleme koşulları bu yöntem için oldukça uygundur. Aynı zamanda kesintili işlemler de termal şoklar olmadığından dolayı daha uzun takım ömrü elde edilir. İşlem sırasında takım aşınmasına neden olan yüksek

sıcaklıklar ve kesme sıvısının kullanılmamasından dolayı parça yüzeyinden ve takımdan uzaklaştırılmayan talaşların yüzey pürüzlülüğüne negatif etkisi kuru işleme koşullarının dezavantajlarına örnek olarak verilebilmektedir [12]. Seçilen malzemenin mekanik özellikleri de aynı şekilde işleme koşullarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etki etmektedir. AISI 1050 çeliği imalat sektöründe C45 çeliği olarak da anılmaktadır. Yapısında bulundurduğu elementlerin çoğunluğunun karbon olması nedeniyle karbon çeliği olarak da bilinmektedir. Otomotiv sektöründe neredeyse her parçada, makine parçaları ve kalıp setleri gibi büyük parçalarda kullanılmasının yanı sıra orta zorlamaları olan mil, cıvata ve saplamalarda da kullanılmaktadır. Literatürde yüzey pürüzlülüğü üzerine birçok farklı malzeme ve farklı ortam koşullarında çalışmalar yapılmıştır. Yalçın ve ark. yumuşak malzeme kullanılan iş parçalarının bilgisayar destekli frezeleme sırasında çeşitli soğutma yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemiştirlerdir. Çalışmanın sonucunda yumuşak malzemelerde kuru kesme ortamı ile yapılan işlemlerde malzemenin yapışma eğilimi nedeniyle yüksek hız çeliği kullanılan takımların frezeleme yönteminde kullanılamaz olduğunu ortaya koymuşlardır [13]. Erarslan ve ark. çalışmalarında mekanik özellikleri açısından benzer G18NiMoCr3-6+QT1 çelik döküm (CS) ve 1050-6 östemperlenmiş sfero dökümün (ADI) frezeleme işlemi sırasında özelliklerini incelemiştirlerdir. Geleneksel kesme sıvısı, minimum miktarda yağlama ve kuru kesme ortamları için iki malzeme içinde ayrı olarak testleri yapmışlardır. Testlerin sonucunda kuru kesme ortamında daha az takım aşınması ve kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Sfero dökümün frezeleme işleminde çelik döküme göre daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. Kuru işleme koşulları geleneksel kesme sıvısı ve MQL yöntemlerine göre daha iyi yüzey kalitesi için seçilmesi gereken ilk kesme ortamıdır. Bununla beraber kuru kesme ortamı takım ömrünün uzaması için daha elverişlidir [14]. Pichai ve ark. çalışmalarında iki farklı çelik olan AISI P20 ve AISI 1050 çeliklerini kullanarak frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin ve aşınma mekanizmasının etkisini araştırmışlardır. İki malzemede aynı işleme koşullarında en iyi yüzey kalitesi 2.120 µm pürüzlülük değeri ile AISI 1050

çeliğidir. Aynı zamanda iki malzeme içinde en kaliteli frezeleme yüzeyleri 45 mm/dk ilerleme hızı, 637 rpm iş mili hızı ve 3 mm talaş derinliği parametreleri seçildiğinde elde edilmiştir [15]. Uğur çalışmasında 7075 Alüminyum malzemesinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün yanıt yüzey yöntemi ile iyileştirilmesi üzerine yapmıştır. Yanıt yüzey yöntemi ile üç seviyeli Box-Behnken tasarımını birleştirerek deneyleri yapmıştır. Çalışmasının sonucunda literatürde bulunan diğer çalışmalara benzer olarak ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olduğu, kesme hızı parametresinin yüzey pürüzlülüğü konusunda çok fazla etkisi olmadığı ve Box-Behnken tasarımı ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı bu deney tasarımının yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesinde sorunları çözmek için kullanılabileceği ortaya çıkarılmıştır [16]. Özay ve arkadaşı Taguchi deney tasarımı kullanarak AISI 1040 çeliğinin tornalama-frezeleme ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün genetik algoritma yöntemi ile optimizasyonu konusu üzerine çalışmışlardır. İş parçası devri, talaş derinliği, işlem, kesici takım devri ve aksel ilerleme deneysel çalışmalarda işleme parametreleri olarak seçilmiştir. Minitab15 paket programı kullanılarak S/N oranları dönüştürülüp optimum kesme parametreleri belirlenmiş ve ANOVA varyans analizi ile de istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Deneylerin sonucunda iş parçası devri ve kesici takım devri parametrelerinin belirli bir değere kadar artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını değer artırılmaya devam edilmesi ile yüzey pürüzlülüğü değerinin yükseldiği ortaya çıkmıştır. Aksel ilerleme hızının ve talaş derinliğinin artırılmasının yüzey pürüzlülüğüne negatif bir etki ettiği, Varyans analizi incelendiğinde işleme parametresinin yüzey pürüzlülüğü konusunda en fazla etkiye sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır [17]. Reddy ve ark. kuru frezeleme yönteminde yüzey pürüzlülük tahmin modelinin optimizasyonu için algoritmik bir yaklaşım üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında ilerleme hızı, radyal talaş açısı, köşe yarıçapı ve kesme hızı parametrelerini değerlendirmişlerdir. Deneyleri kesme sıvısı kullanarak ve kuru kesme ortamında gerçekleştirmişlerdir. Deneylerin sonucunda ilerleme hızı parametresinin yüzey pürüzlülüğü konusunda en etkili parametre olduğuna, çalışmada oluşturulan optimizasyon

metodolojisi verilen koşullarda en iyi yüzey kalitesi için tercih edilebileceğini ve işleme ait uygun parametrelerin seçilmesiyle beraber kesme sıvısı kullanımının gerekli olmamasıyla beraber çevre dostu bir yaklaşım elde edileceği ortaya konulmuştur [18]. Alauddin ve ark. Parmak Frezeleme yönteminde yüzey pürüzlülüğü konusunda bilgisayar destekli analiz üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmaların sonucunda ilerleme miktarının ve eksenel kesme derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artarken kesme hızının artmasının yüzey pürüzlülüğü üzerine pozitif etki ederek azalma eğilimi gösterdiği ortaya konulmuştur [19]. Mansour ve Abdalla ise çalışmalarında EN32 çeliğinin kuru frezeleme prosesi için yüzey pürüzlülüğü üzerine bir model geliştirmişlerdir. Çalışmaların sonucunda ilerleme ve eksenel kesme derinliğindeki artışın yüzey pürüzlülüğünü arttırdığına, kesme hızındaki artışın ise yüzey pürüzlülüğünü azalttığı sonucuna varılmıştır. Ele alınan parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi yanıt yüzey metodolojisi ve deney tasarımı kullanılarak elde edilmiştir [20].

Bu çalışmada imalat sektöründe oldukça fazla kullanım alanına sahip AISI 1050 çeliğinin kuru kesme ortamında frezeleme işlemiyle yüzey pürüzlülüğü konusundaki etkileri tartışılacaktır. Bu çalışmayla beraber gelişen teknolojinin çevre üzerindeki negatif etkileri göz önüne alınacak olursa kuru kesme ortamında herhangi bir soğutma sıvısının kullanılmaması çevresel problemlerin ve iş başındaki operatörün sağlığı konusunda pozitif etkilerinin fazlalığı sebebiyle negatif etkilerin yarattığı endişelerin önüne geçmesi beklenildiği gibi ileride yapılacak olan kuru kesme ortamındaki frezeleme çalışmalarına öngörü olabilmesi ve yol göstermesi amaçlanmaktadır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılacak iş parçası olarak AISI 1050 malzemesi 80\*100 mm boyutlarında tercih edilmiştir. Malzemenin işleme boyu 100 mm boyutundaki kenarıdır ve malzemenin kalınlığı 50 mm'dir. Çalışmaların tümü Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Merkez Laboratuvarında bulunan Sunmill marka CNC dik işleme tezgahı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşlem sırasında kullanılan kesici takımların özelliği PVD kaplamasına sahip karbür takım olmasıdır. Deneyler yapılırken tercih edilen parametreler dört

farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300 m/dk), iki farklı ilerleme hızı (0.15, 0.3 mm/dev) ve iki farklı talaş derinliği (1, 2 mm) şeklindedir. Çalışmanın değerlendirme bölümünde yapılan grafiksel değerlendirmede Excel programından, istatistiksel analiz kısmında ise Minitab programından yardım alınarak Varyans analizi yapılmıştır.

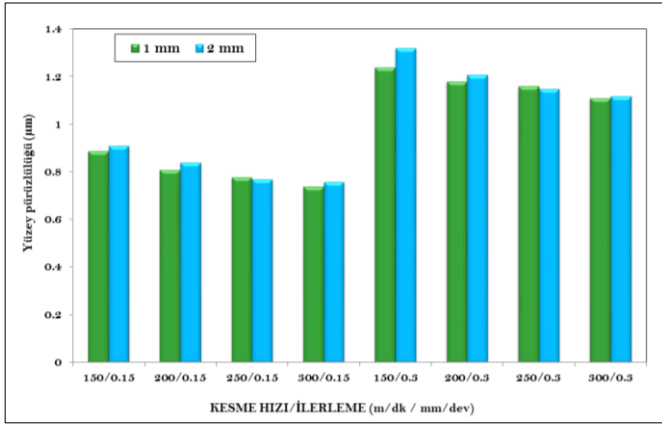
## III. BULGULAR

Yapılan deneylerin sonuçları üç farklı değerlendirme yöntemi kullanılarak sonuçlandırılmıştır. Deney sonuçlarının üç farklı yöntemle değerlendirmesi araştırılan konunun farklı açılardan incelenbilmesine ve tartışılabilmesine kolaylık sağlamıştır. Grafiksel değerlendirmede dört farklı kesme hızı, iki farklı ilerleme miktarı ve iki farklı talaş derinliği parametreleri kullanılarak yapılan deney verileri grafik ile görselleştirilmiştir. Varyans analizi ile kuru kesme şartlarında frezeleme yapılan AISI 1050 çeliğinin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin hangisi olduğu irdelenmiştir. Optimizasyonda ise malzemenin yüzey pürüzlülüğü açısından en optimum değerinin elde edildiği parametre verilerinin hangileri olduğu tartışılmıştır.

### A. Grafiksel değerlendirme

Çalışma bazında dört farklı kesme hızı (120, 200, 250, 300 m/dk), iki farklı ilerleme (0.15, 0.3 mm/dev) ve iki farklı talaş derinliği (1, 2 mm) parametreleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de verilen kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine göre pürüzlülük değişimi grafiği incelendiğinde en yüksek pürüzlülük değerinin 150 m/dk kesme hızı, 0.3 mm/dev ilerleme ve 2 mm talaş derinliği parametrelerinin seçilerek yapıldığı deneyde elde edilirken en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 1 mm talaş derinliği, 300 m/dk kesme hızı ve 0.15 ilerleme parametreleri ile elde edilmiştir. Kesme hızı göz ardı edildiğinde ilerleme ve talaş derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi değerleri ilerlemenin düşük olduğu ve kesme derinliğinin de düşük olduğu deneylerde elde edilmiştir. Bu hususta istisna bir yaklaşım sadece 250 m/dk kesme hızının kullanıldığı ilerlemenin düşük fakat talaş derinliğinin fazla olduğu deneyde yüzey pürüzlülüğünün en iyi değerleri elde edildiği gözlemlenmiştir. Şekil 1'deki grafik farklı bir açıdan incelendiğinde ilerlemenin sabit bir değerde

tutulmasıyla kesme hızının en yüksek değerinde ve talaş derinliğinin de en düşük değerinde optimum yüzey pürüzlülüğü elde edileceği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine göre pürüzlülük değişimi

### B. İstatistiksel analiz

Bu çalışmada göze alınan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü konusunda en fazla etkiyi hangisinin gösterdiğine dair ANOVA (Varyans) analizi yöntemi kullanılmıştır. Şekil 2’de Pürüzlülük üzerinde parametrelerin istatistiksel etkisi (varyans analizi) gösterilmektedir. Varyans analizinin sonuçları tabloda gösterilen P ve F değerlerine göre yorumlanmaktadır. P değerleri olasılığı ifade ederken F değerleri kritik değeri göstermektedir. P değerinin 0.05 den küçük olması yapılan analizin anlamlılığını yansıtırken F değerlerinin en büyük olanı araştırılan konuda etkili olan en önemli parametreyi göstermektedir [21, 22]. Şekil 2 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü için en büyük F değerinin ilerleme parametresinde elde edildiği görülmektedir. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğü konusunda üç parametrenin arasında en etkili ilerleme hızı olarak ortaya çıkmaktadır.

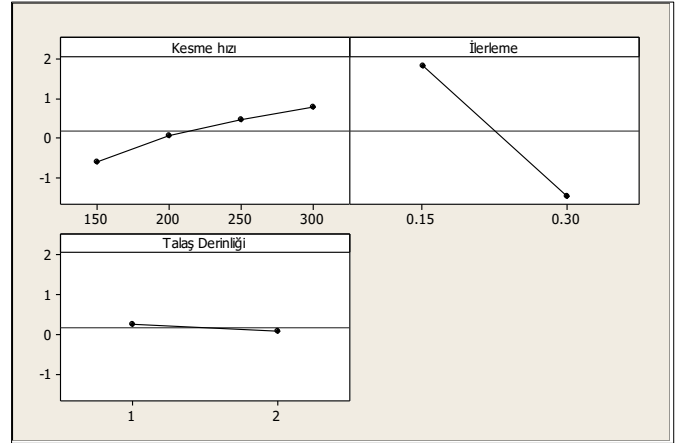
Kaynak	SD	KT	KT	KT	F	P
Kesme hızı	3	4.3538	4.3538	1.4513	53.31	0.000
İlerleme	1	43.4633	43.4633	43.4633	1596.46	0.000
Talaş Derinliği	1	0.1212	0.1212	0.1212	4.45	0.061
Hata	10	0.2722	0.2722	0.0272		
Toplam	15	48.2104				

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

### C. Optimizasyon

Yüzey pürüzlülüğüne farklı bir pencereden bakılarak Şekil 3’de görülen Pürüzlülük üzerindeki parametrelerin optimum değerleri grafiği

oluşturulmuştur. Bu değerlendirmenin amacı işlenebilirlikte yüzey pürüzlülüğü için en verimli sonuçların alındığı ve parametre seçimi yapılacağına hangi parametrelerin tercih edilmesi gerektiğini belirlemektir. Oluşturulan grafikler en yüksek seviyeye göre yapılmıştır. Bu sebeple grafiğin maximum noktaları yüzey pürüzlülüğünün optimum olduğu noktalardır. Şekil 3 incelendiğinde 300 m/dk kesme hızında, 0.15 mm/dev ilerlemede ve 1 mm talaş derinliğinde optimum yüzey pürüzlülüğü değerinin elde edileceği görülmektedir. Bu sonuç 1. Grafıksel değerlendirme yönteminde elde edilen sonuçla örtüşerek doğrulanmıştır. Aynı zamanda en elverişsiz yüzey pürüzlülüğü değeri ise 150 m/dk kesme hızı, 0.3 mm/dev ilerleme ve 2 mm talaş derinliği parametreleri kullanılırsa elde edileceği görülmektedir.



Şekil 3. Pürüzlülük üzerindeki parametrelerin optimum değerleri

### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada AISI 1050 çeliğinin kuru frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü üç farklı değerlendirme yöntemiyle tartışılmıştır. Kullanılan bu değerlendirme yöntemleri işlenebilirliğin en önemli parametrelerinden olan yüzey pürüzlülüğü konusunda ayrıntılı bir bakış açısı sunmaktadır. Çalışmanın sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Yüzey pürüzlülüğü için en elverişli parametre değerleri 300 m/dk kesme hızı 0.15 ilerleme ve 1 mm talaş derinliğidir.
- Göz önüne alınan parametrelerden yüzey pürüzlülüğü için en önemlisi ilerleme miktarıdır.

- Talaş derinliği diğer parametrelere göre yüzey pürüzlülüğü açısından çok önemli değildir.
- En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri kesme hızının 150 m/dk, ilerlemenin 0.3 mm/dev ve talaş derinliğinin 1 mm olduğunda elde edilmiştir.
- Kesme hızının artmasıyla beraber yüzey pürüzlülük değerleri gözle görülür şekilde azalma eğilimi göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Başar, G., F. Kahraman, and G.T. Önder, Mathematical modeling and optimization of milling parameters in AA 5083 aluminum alloy. *European Mechanical Science*, 2019. 3(4): p. 159-163.
- [4] Sada, S. and S. Ikpeseni, Evaluation of ANN and ANFIS modeling ability in the prediction of AISI 1050 steel machining performance. *Heliyon*, 2021. 7(2).
- [5] Çetin, M., et al., Kaplamasız Sermet Takımla Aısı 6150 Çeliğinin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 2011. 1(1): p. 168-176.
- [6] Özel, T. and Y. Karpat, Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks. *International journal of machine tools and manufacture*, 2005. 45(4-5): p. 467-479.
- [7] Makhesana, M.A., et al., Influence of MoS2 and graphite-reinforced nanofluid-MQL on surface roughness, tool wear, cutting temperature and microhardness in machining of Inconel 625. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2023. 41: p. 225-238.
- [8] Makhesana, M.A., K.M. Patel, and P.J. Bagga, Evaluation of Surface Roughness, Tool Wear and Chip Morphology during Machining of Nickel-Based Alloy under Sustainable Hybrid Nanofluid-MQL Strategy. *Lubricants*, 2022. 10(11): p. 315.
- [9] Binali, R., et al., Advance monitoring of hole machining operations via intelligent measurement systems: A critical review and future trends. *Measurement*, 2022: p. 111757.
- [10] 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.
- [11] Carvalho, D.O.A., et al., Performance evaluation of vegetable-based cutting fluids in turning of AISI 1050 steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019. 103: p. 1603-1619.
- [12] Debnath, S., et al., Nanofluid-minimum quantity lubrication system in machining: towards clean manufacturing, in *Sustainable Manufacturing*. 2021, Elsevier. p. 109-135.
- [13] Yalçın, B., A. Özgür, and M. Koru, The effects of various cooling strategies on surface roughness and tool wear during soft materials milling. *Materials & Design*, 2009. 30(3): p. 896-899.
- [14] Eraslan, D., et al., Machinability evaluations of austempered ductile iron and cast steel with similar mechanical properties under eco-friendly milling conditions. *journal of materials research and technology*, 2021. 11: p. 1443-1456.
- [15] Pichai, J., S. Wonthaisong, and D. Araganont, Effect of Machining Parameters and Wear Mechanism in Milling Mold Steel AISI-P20 and AISI-1050. *Applied Mechanics and Materials*, 2014. 590: p. 294-298.
- [16] Levent, U., 7075 Alüminyum Malzemesinin Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Yanıt Yüzey Metodu İle Optimizasyonu. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 2019. 12(1): p. 326-335.
- [17] Çetin, Ö. and Z. Küçük, AISI 1040 çeliğinin tormalama-frezeleme ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün genetik algoritma yöntemi ile optimizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2020. 11(3): p. 1081-1091.
- [18] Suresh Kumar Reddy, N. and P. Venkateswara Rao, A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model in dry milling. *Machine Science and Technology*, 2005. 9(1): p. 63-84.
- [19] Alauddin, M., M. El Baradie, and M. Hashmi, Computer-aided analysis of a surface-roughness model for end milling. *Journal of materials processing technology*, 1995. 55(2): p. 123-127.
- [20] Mansour, A. and H. Abdalla, Surface roughness model for end milling: a semi-free cutting carbon casehardening steel (EN32) in dry condition. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002. 124(1-2): p. 183-191.
- [21] Ratnam, C., et al., Process monitoring and effects of process parameters on responses in turn-milling operations based on SN ratio and ANOVA. *Measurement*, 2016. 94: p. 221-232.
- [22] Salur, E., et al., Optimization of cutting forces during turning of composite materials. *Acad. Platf. J. Eng. Sci*, 2020. 8: p. 423-431.