

Tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değişkenlerinin torna tezgâhı güç tüketimi üzerine etkileri

Erhan YAVAŞCI**, Mehmet DİNÇSOY*, Murat CANBAZ*, Recep DEMİRSÖZ*

ERHAN YAVAŞCI—KARDÖKMAK A.Ş. eyavasci@kardokmak.com.tr

MEHMET DİNÇSOY—KARDÖKMAK A.Ş. mdincsoy@kardokmak.com.tr

MURAT CANBAZ—KARDÖKMAK A.Ş. mcanbaz@kardokmak.com.tr

RECEP DEMİRSÖZ—KARABÜK ÜNİVERSİTESİ recepdemirsoz@karabuk.edu.tr

(Alınış: 20 Mayıs 2022, Kabul: 17 Haziran 2022, Online Yayınlanma: 30 Temmuz 2022)

Özet- Bu çalışmada güç ölçüm sistemi tasarımı yapılmış ve sistem elemanları tanıtarak, tasarlanan güç ölçüm sistemi kullanılarak Adamit malzemeden üretilmiş hadde merdanesi ürününün CNC Geminis GHT11 tezgâhında yatay tornalama işlemi yapılırken, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği miktarı parametrelerinin tezgâh güç tüketimi üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızı değerlerinin artmasıyla güç tüketimi değerleri artmaktadır.

Anahtar Kelimeler- Takım tezgâhları, CNC yatay torna tezgâhı, güç tüketimi, ilerleme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı

Abstract- In this study, the power measurement system was designed, the system elements were introduced and the effects of the cutting speed, depth of cut, and feed rate parameters on the machine power consumption were investigated while the horizontal turning process of the rolling roll product made of Adamite material using the designed power measurement system was performed on the CNC Geminis GHT11 machine. As a result, power consumption values increase with the increase of cutting speed, depth of cut, and feed rate.

Keywords- Machine tools, CNC horizontal lathe, power consumption, feedrate, depth of cut, feedrate

1. GİRİŞ

Enerji tasarrufunun müşteri, tüketici, endüstriyel ekipmanlar ve devletler açısından giderek önemi artmaktadır. Endüstriyel ekipmanların içerisinde üretim sektörünün önemli bir kısmında kullanılan takım tezgâhları için de bu durum geçerlidir. Modern takım tezgâhları temel güç kaynağı olarak elektrik enerjisini kullanılır. Literatürde takım tezgâhlarının

verimliliğinin genellikle %30'un altında olduğu belirtilmiştir [1]. Bir takım tezgâhının güç ihtiyacı, değişken ve sabit güç bileşenlerini içerir. Takım tezgâhının enerji tüketiminin ortalama güç talebine ve kesme parametreleri tarafından belirlenen işleme süresine bağlı olduğu tespit edilmiştir [2]. Tezgâhların enerji verimliliğinin artırılması, işleme sistemlerinin çevresel performansını önemli ölçüde artırabilir [3]. Bu sebeple, çevrimiçi enerji verimliliği takip sistemi kullanımı önem arz etmektedir [4]. Enerji talebinin son dönemde artmasıyla birlikte, enerji tasarrufu üretim endüstrisinde bir öncelik haline gelmiştir. Taguchi, Anova, gibi optimum parametre bulunma yöntemleriyle işleme parametrelerinin güç tüketimine etkisi incelendiğinde optimum parametreler seçilerek %40 a kadar enerji tasarrufu yapılabilir [4].

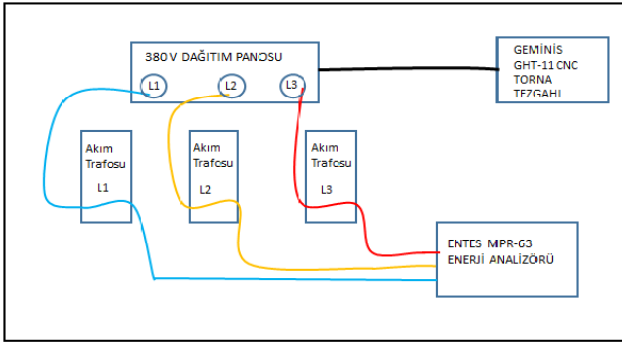
Birçok araştırmacı tarafından operasyonlarda kullanılan takım tezgâhları ile ilgili olarak, en uygun süreç parametrelerini seçerek enerjiyi en aza indigeme araştırması gerçekleştirilmiştir. Campucco-Negrete, AISI 6061 T6 malzemenin tornalanmasında enerji tüketimini en aza indigemek için kesme parametrelerini analiz ederek Taguchi yöntemi ve ANOVA kullanmıştır [5]. Sealy, M.P ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında, kesme işlemi sırasındaki takım aşınmasının daha fazla enerji tükettiğini, yüzey bütünlüğü ve performansı azalttığını tespit etmişlerdir [6]. Kara ve Li, yaptıkları çalışmada, takım tezgâhındaki enerji tüketiminin malzeme kaldırma oranı ile ilişkili olduğunu ortaya çıkarmışlardır. [7]. Peng ve Xu, üretimde enerji maliyetlerini düşürmek için doğru bir enerji tüketimi modelinin şart olduğunu belirtmişlerdir. Böylece, üretim verimliliği ve enerji

maliyeti arasında optimum bir denge sağlamak için modeldeki işleme parametrelerinin optimize edilerek kullanılabilceğini ifade etmişlerdir [8]. Bayoumi ve arkadaşları, enerji tüketimi modellenmesi için kullanılan yöntemlerde ağırlıklı olarak parça işleme teorisi, ampirik formüller, simülasyon ve yapay sinir ağı üzerine odaklanmışlardır. [9]. Zhou ve arkadaşları, minimum enerji tüketimi ve maksimum işleme verimliliği ile kesme parametrelerine odaklanarak çoklu optimizasyon algoritmasına dayalı bir enerji verimliliği optimizasyon modeli üzerinde çalışmışlardır [10].

Bu çalışmada kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerinin tornalama işleminde güç tüketim miktarlarının ölçülebilmesi amacıyla güç ölçüm sistemi tasarımı yapılmış ve söz konusu parametrelerin güç tüketim değerleri üzerine etkileri incelenmiştir.

2. ENERJİ ÖLÇÜM VE İZLEME PANOSU TASARIMI

Şekil 1’de güç ölçümünde kullanılacak güç ölçüm panosuna ait görsel verilmiştir.



Şekil 1. Güç ölçüm ve izleme panosu tasarım görseli

2.1. Pano Montajı

Tasarlanan panonun montajına ait görsel Şekil 2’de verilmiştir. Sistemi oluşturan temel ekipmanlar aşağıda alt maddeler şeklinde tanıtılmıştır.



Şekil 2. Ölçüm sistemi görseli

2.1.1. Enerji Analizörü

Enerji analizörü tükettiğimiz, kullandığımız elektrik enerjisini sürekli olarak izlenmesini, verileri kayıt altına almamızı, gerekirse çevrimiçi izleme sistemiyle canlı olarak izlenmesini, kayıtlı değerleri uzak cihazlara ileterek haberleşmesini sağlayan izleme cihazlarına verilen addır. Bu çalışmamızda ENTES marka MPR-45S enerji analizörü kullandık. Bu cihaz %0,5 ±1 doğruluk ölçümüne sahiptir. Cihazın ölçbildiği parametreler tablo halinde Tablo 1’de verilmiştir.

TABLO 1. ENERJİ ANALİZÖRÜ İLE ÖLÇÜLEBİLEN PARAMETRELER LİSTESİ

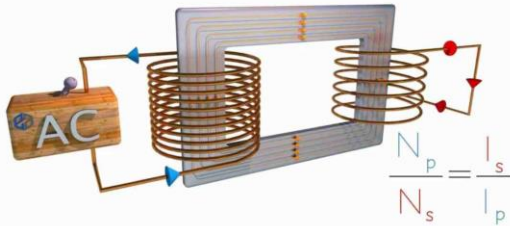
Parametre	Birim
Aktif güç (P)	W
Reaktif güç (Q)	
Görünür güç (S)	
Aktif enerji	kWh, MWh
İndüktif reaktif enerji	kVArh, MVArh
Kapasitif reaktif enerji	kVAh, kVAh
Görünür enerji	
Gerilim ve akımda toplam harmonik bozulma	% THD-V, % THD-I
Maksimum minimum değerler	



Şekil 3. Entes MPR-63 analizörü

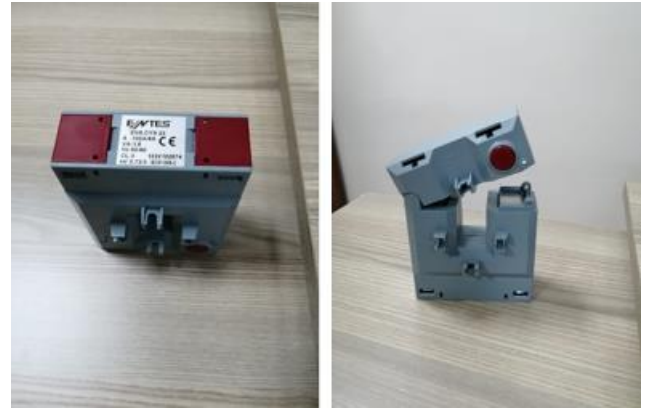
2.1.2. Akım Trafosu

Akım transformatörleri bağlı olduğu devreden geçen akımı ölçmek için kullanılan elektrik ekipmanlarıdır. Akım trafosu olarak da adlandırılırlar. Yüksek akımların ölçü aletleri açısından ölçülmesi tehlikeli, zor ve maliyetli olduğundan devrelere seri olarak bağlanan belli bir akım değerine indirgenmesi gerekir. Ölçüm trafolarının kullanılması büyük akımları ölçmek için ekonomiktir. Bu sebeple primer ve sekonder sargı sayısına göre akım trafoları seçilerek bu işlemler yapılabilir. Şekil 4’de örnek olarak akım trafosu dönüştürme şekli gösterilmiştir. Akım trafosu dönüştürme oranı birincil (I_p) akım girişinin ikincil giriş (I_s) e oranı olarak kabul edilir. Bu oran primer ve sekonder sargı oranı ile ters orantılıdır. Örneğin üzerinde 100/5A yazan akım transformatörünün primerinden 100A geçtiği zaman, sekonder ucunda 5A gösterir. Fakat akım ölçme cihazı 3A değer gösteriyorsa bu primer sargıdan 60A geçiyor anlamına gelmektedir. Akım trafolarının primer ve sekonder uçları devreye seri bağlanır. Eğer sekonder uç devreden ayrılacak olursa; mutlaka topraklanmalıdır.



Şekil 4. Akım trafosu dönüştürme oranı

Bu çalışmada Şekil 5’de görseli verilen ENTES marka ENS CYS 23 100A/5A model ayrılabilir akım trafosu kullanılmıştır.



Şekil 5. Entes akım trafosu

3. MAKİNE’DEKİ GÜÇ TÜKETİMİ

İş motorlarının(senkron, asenkron, servo vb.) güç tüketiminin 2 ana sebebi vardır [2]. Bunlar;

- İş milini ve çalışma masasını torka, sürtünme direncine ve yerçekimine karşı hızlandırmak/yavaşlamak ve hareket ettirmek,
- Kesme direncinin üstesinden gelmek için gerekli kesme kuvvetini sağlamak [2].

Burada ilk madde parçanın konumlandırılması ve ilk çalışma ayarlarının yapılması ile ilgili olduğu için kolaylıkla optimize edilmesine gerek duyulmaz. Bu çalışmada ikinci maddede belirtilen husus üzerinde durulmuştur. İşleme merkezleri için tipik bir süreç olan işleme sırasında kesme koşulları değiştirilirken güç tüketimi ölçülmüştür. İncelenen işleme parametreleri arasında kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği yer almaktadır. Yüksek kesme hızının ve ilerleme hızının, takımın erken talaşlanmasına yol açan hızlı takım aşınmasına neden olabileceğine veya pürüzlülük nedeniyle kaba bir iş bitirme işlemine neden olabileceğine dikkat edilmelidir [11].

Denklem (1) normal çalışma sırasında bir takım tezgâhının güç tüketimi P (Wh) modelini gösterir.

$$P_{\text{Toplam}} = P_{\text{kesme}} + P_{\text{boş}} \quad (1)$$

Talaş kaldırma sırasında gerekli gücü bulmak için eşitlik 2’ de verilen toplam harcanan güçten tezgâhın talaş kaldırmadığı boş çalışmada harcadığı güç çıkartılmaktadır. $P_{\text{boş}}$ yataklardaki güç kayıplarıyla birlikte spindle motorunun istenilen devir değerinde çalışması için güç tüketimlerini içermektedir.

3.1. Takım tezgâhi özellikleri

CNC torna tezgâhi, iş mili, lineer tahrik ve bekleme sistemlerine sahip olup bunlar operasyon için önemli unsurlardır. Ayna rotoru iş parçasının dönme hareketini başlatır, besleme motoru doğrusal veya döner bir hareket sunar,

hidrolik sistem işlenecek parçanın sabitlenmesi için tutma kuvveti oluşturup besleme tahrikini sağlar [12].

Bu çalışmada, Geminis GHT 11 CNC yatay torna tezgahı kullanılmıştır. Söz konusu tezgahta X, Z, C eksenleri mevcuttur. X eksen boyu 5500 mm, Z eksen boyu 1700 mm dir. Buna ek olarak tezgaha ait görsel Şekil 6'da ve teknik özellikler ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Geminis Ght 11 cnc yatay torna tezgâhı görseli

TABLO 2: CNC TORNA TEZGÂHI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

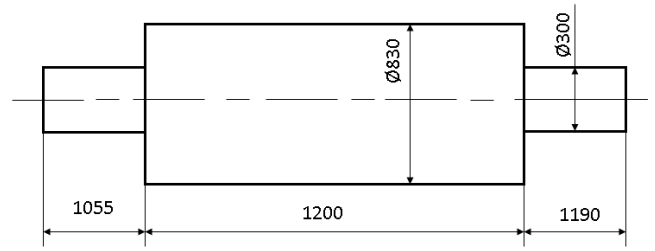
İşlenebilecek en büyük çap	1700 mm
Maksimum tornalama uzunluğu	5500 mm
İş mili delik çapı	Ø1500 mm
İş mili motor gücü	119 HP
Punta Sıkma Motoru	2,2 kW
İş mili burun standardı	DIN 55026-B20

3.2. İşlenen malzemenin özellikleri

Bu çalışmada kullanılan Alaşımli çelik bazlı (Adamit) merdane malzemesine ait kimyasal bileşim Tablo 3'de ve merdane kaba ölçülerinin yer aldığı teknik resim Şekil 7'de verilmiştir. Adamit merdaneler mikroyapıdaki karbür oluşumundan dolayı aşınma dayanımlarının artması sebebiyle kullanılırlar. Ayrıca bu merdaneler derin pasolu olarak kullanılabildikleri için profil haddelemesinde tercih edilirler.

TABLO 3. MALZEMENİN KİMYASAL KOMPOZİSYONU

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
%	1,5	0,7	0,7	0,0	0,0	1,2	1,2	0,2	94,2
Ağ.	30	26	48	15	09	48	60	20	44



Şekil 7. İşlenen parçanın ölçüleri

Talaşlı imalatı yapılan bu merdaneler haddeleme tesislerinde kullanılır. Haddeleme; çelik imalinde hadde merdaneleri arasından kütük, slab vb. mamullerin geçirilerek istenilen kalınlığa, genişliğe ve uzunluğa getirilmesi operasyonudur. Günümüzde gelişen haddeleme yöntemleri sayesinde daha da hassas yapılabilen işlemler sonucunda malzemenin istenilen mekanik özelliğe getirilmesi, daha yüksek mukavemet değerlerinin elde edilmesi ve ince yapılı çelik bileşimlerine ulaşabilmek mümkündür.

3.3. Kesici uç

Yapılan çalışmada kullanılan kesici uç CNMM250924-GH kodlu kesici uçtur.

3.4. İşleme parametreleri ve güç tüketimi

Yapılan çalışmada kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametre olarak Ø830 mm çap değerinde 13, 36 ve 65 m/d kesme hızı değerlerini karşılayan 5, 15 ve 25 d/d ayna devirleri seçilmiştir. Kesme derinliği olarak 5, 10 ve 15 mm olmak üzere üç farklı değer seçilmiştir. İlerleme hızı olarak ise 0,2, 0,5 ve 0,8 mm/s olmak üzere üç farklı değer seçilmiştir. İşleme esnasında herhangi bir soğutucu sıvı kullanılmamış olup tamamen kuru sürtünme söz konusudur. Tüm bu parametreler kullanılarak yapılan çalışmalar neticesinde çıktı olarak güç değerleri elde edilmiştir. Seçilen parametrelerle gerçekleştirilen deneylerin sonucunda ortaya çıkan güç değerlerinin ortalaması alınmıştır. Seçilen parametreler ve elde edilen çıktı değerleri ışığında Minitab programı yardımı ile Response Surface Method (RSM) kullanılarak güç değerlerinin tahmin edilebilmesi amacı ile tahmin (regresyon) denklemi elde edilmiştir. Bu denklem (2) nolu eşitlikte verilmiştir. Ayrıca söz konusu tahmin denklemi kullanılarak hesaplanan değerler ve deneysel sonuç değerleri deney tasarımı ile birlikte Tablo 4'de verilmiştir.

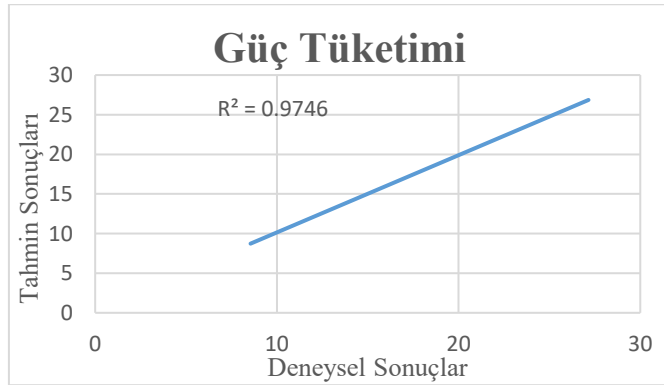
$$P \text{ [kW]} = 6,05 + 0,421.V - 0,009.d - 0,47.f - 0,01243.V^2 - 0,0093.d^2 - 2,31.f^2 + 0,02160.V.d + 0,3625.V.f + 0,630.d.f \quad (2)$$

Tablo 4 incelendiğinde en düşük güç tüketim değerinin en düşük kesme hızı, en düşük kesme derinliği ve en düşük ilerleme değerlerinde (deney 1) elde edildiği görülmektedir. En yüksek güç tüketimi değeri ise en yüksek parametre değerlerine

sahip deney şartlarında (deney 27) elde edilmiştir. Yine tahmin denklemleri kullanılarak elde edilen tahmin değerleri de yine aynı deney şartlarında elde edilmiştir.

5 mm kesme derinliği değeri ve 0,2 mm/s ilerleme hızı ve 5 d/d devir sayısı değerinde elde edilen güç tüketim değeri 8,55 kW iken bu tüketim değeri devir sayısının 15 d/d'ya çıkması ile 12,24 kW'a 25 d/d'ya çıkması ile 14,79 kW'a çıkmıştır. Devrin 5'ten 15 d/d'ya çıkması ile tüketim değerinde %43,16'lık bir artış söz konusu olurken 25 d/d'ya çıkması ile bu artış değeri %72,98 olmuştur. 15 d/d'dan 25 d/d'ya çıkması durumunda ise artış %20,83 olarak ortaya çıkmıştır. İlerleme hızı değerinin 0,8 mm/s seçilmesi durumunda 5 mm kesme derinliği değeri için güç tüketimleri artmakla beraber devir sayısı 5'ten 15 d/d'ya, 5'den 25 d/d'ya ve 15'den 25 d/d'ya çıktığında bu artış değerleri sırası ile %37,91, %68,13 ve %21,91 olarak elde edilmiştir. Görüleceği üzere ilerle ilerleme hızının yüksek olduğu durumda devir sayısı değişimi ile güç tüketimindeki artışlar 15'ten 25 d/d'ya çıktığındaki değer hariç düşük devirlerdeki göre daha az olmuştur.

25 d/d devir sayısı ve 5 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/s ilerleme hızı değerinde elde edilen güç tüketim değeri 14,79 kW iken bu tüketim değeri ilerleme hızının 0,5 mm/s'ye çıkması ile 16,68 kW'a 0,8 mm/s'ye çıkması ile 18,36 kW'a çıkmıştır. İlerleme hızının 0,2'den 0,5 mm/s'ye çıkması ile tüketim değerinde %12,78'lik bir artış söz konusu olurken 0,8 mm/s'ye çıkması ile bu artış değeri %24,14 olmuştur. 0,5 mm/s'den 0,8 mm/s'ye çıkması durumunda ise artış %10,01 olarak elde edilmiştir. Kesme derinliği değerinin 15 mm seçilmesi durumunda 25 d/d devir sayısı için ilerleme hızı 0,2'den 0,5 mm/s'ye, 0,2'den 0,8 mm/s'ye ve 0,5'ten 0,8 mm/s'ye çıktığında bu artış değerleri sırası ile %29,95, %50,58 ve %15,88 olarak elde edilmiştir. Görüldüğü gibi aynı devir sayısında yüksek kesme derinliği değeri için ilerleme hızı artışı ile güç tüketimi artışları daha fazladır.



Şekil 8. Deneysel ve tahmin değerleri uyumluluk grafiği

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile RSM metodu ile elde edilen denklemler kullanılarak hesaplanan tahmin sonuçlarının birbirleri ile uyumunu veren grafik Şekil 9'da

verilmiş olup %97,46 gibi yüksek bir uyumluluk değeri elde edilmiştir.

Elde edilen varyans analizi sonuçları (Tablo 5) incelendiğinde sonuçlar üzerinde en yüksek etki değerine sahip olan parametrenin torna devir sayısı olduğu görülmekte olup be etki değeri %55,76'dır. Bunu ilerleme hızı %20,27 ile takip etmekte olup parametreler içerisinde en düşük etki değerine sahip olan parametre ise %13,82 değeri ile kesme derinliği parametresi olmuştur. İkinci dereceden yapılmış olan bu varyans analizi sonuçlarına göre kesme derinliği ve ilerleme hızı parametrelerinin etki oranları ihmal edilebilecek seviyede azdır. Çıkan sonuçlara göre devir sayısı parametresi etki oranı olarak ilerleme hızı parametresinden daha etkili bir parametredir [13]. Hata değeri %2,54 olarak elde edilmiş olup bu hata değerine etki eden ve göz önüne alınmamış farklı nedenler olabilir. Bunlardan bazıları ise kesici uç aşınması, sürtünme esnasında ortaya çıkan ısı, malzeme üzerindeki mikro kusurlar sayılabilir. P-value değeri sonuçların istatistiksel anlamlılığını ifade etmekte olup bu değer 0,05'ten daha az olması beklenir. Söz konusu değerden yüksek çıkan kesme derinliği ve ilerleme hızı parametrelerinin karelerinin sonuçlara etkilerinin anlamlı olmadığı görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı devir sayısı, kesme derinliği ve ilerleme hızı değerlerinin adanıt merdane tornalanmasında tezgah güç tüketim değerlerine etkileri incelenmiştir. Aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- En düşük güç tüketim değerleri en düşük parametre değerleri olan 5 d/d devir sayısı, 5 mm kesme derinliği ve 0,2 mm/s ilerleme hızı değerinde elde edilmiş olup 8,55 kW olarak bulunmuştur. En yüksek güç tüketim değeri ise en yüksek parametre değerleri olan 25 d/d devir sayısı, 15 mm kesme derinliği ve 0,8 mm/s ilerleme hızı değerlerinde elde edilmiştir.
- En etkili işleme parametresi olarak devir sayısı bulunmuş olup etki değeri %55,75'tir. Bunu sırası ile %20,27 ve %13,82 değerleri ile sırasıyla ilerleme hızı ve kesme derinliği parametreleri takip etmektedir. Bu parametrelerin üçü içinde P-value değerleri %0,05'ten daha düşük çıktığından dolayı sonuçlar istatistiksel olarak anlamlıdır.
- Deneysel sonuçlar ile RSM kullanılarak elde edilen tahmin denklemleri kullanılarak elde edilen tahmin sonuçları arasında %97,46'lık uyumluluk değeri elde edilmiş olup yüksek bir uyumluluk elde edilmiştir.
- Devir sayısı, kesme derinliği ve ilerleme hızı değerlerinin artmasıyla güç tüketimi değerleri de artmaktadır.

Bununla birlikte, tezgâhta yapılan işlemede talaş hacmi esas alındığında toplam tüketimin değişeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı süre zarfında güç tüketimi değerleri

düşük parametre seçimleri ile daha düşük olsa da toplam talaş hacmi düşünüldüğünde aynı hacmin işlenebilmesi için farklı süreler söz konusu olacaktır. Bu durum da toplam güç tüketimini etkileyecektir.

Referanslar

- [1] Junhua Zhao, Li Li, Yue Wang, John W. Sutherland, (2019), Impact of surface machining complexity on energy consumption and efficiency in CNC milling.
- [2] M. Mori, M. Fujishima, Y. Inamasu, Y. Inamasu, (2011) A study on energy efficiency improvement for machine tools.
- [3] Eren N. Hayat F., Günay M., (2020), Sertleştirilmiş 1.2367 Takım Çeliğinin İşlenmesinde Enerji Tüketiminin Analizi ve Modellenmesi.
- [4] Şah A. Yüksek Lisan Tezi, (2018), Frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme enerjisine etkisinin taguchi metodu ile optimizasyonu.
- [5] Negrete C.C. (2015). 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 pp. 109-117
- [6] Sealy, M.P., Liu, Z.Y., Zhang, D., Guo, Y.B., Liu, Z.Q. (2015). Energy consumption and modeling in precision hard milling. J. Clean. Prod. 1-11. <https://doi.org/>.
- [7] Kara, S., Li, W. (2011). Unit process energy consumption models for material removal processes. CIRP Annals – ManufacturingTechnology, Vol.60, No.1, pp. 37 – 40.
- [8] Peng, T., Xu, X., (2014). Energy-efficient machining systems: a critical review. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 72 (9-12), 1389-1406.
- [9] Bayoumi, A., Yücesan, G., Hutton, D. (1994). On the closed form mechanistic modeling of milling: specific cutting energy, torque, and power. J. Mater. Eng. Perform. 3 (1), 151-158.
- [10] Zhou, Z., Zhang, C., Xie, Y., et al., (2015). Cutting parameters optimization for processing energy and efficiency in CNC lathe. Comput. Integr.Manuf. Syst. 21 (9), 2410-2418.
- [11] Küçük Ö. Burak Ö. (2018) Üniversal diş açma makinesine İntertör eklentisi ve diş açma işlemi enerji tüketiminin ölçümü
- [12] M. Kumar Gupta, M. Boy, M. Erdi Korkmaz, N. Yaşar, M. Günay, and G. M. Krolczyk, "Measurement and analysis of machining induced tribological characteristics in dual jet minimum quantity lubrication assisted turning of duplex stainless steel," *Measurement*, vol. 187, p. 110353, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110353>.
- [13] R. Demirsöz, M. Boy, "Measurement and Evaluation of Machinability Characteristics in Turning of Train Wheel Steel via CVD Coated-RCMX arbid Tool," *Manufacturing Technologies and Applications*, vol. 3, no. 1, pp. 1–13, 2022.

TABLO 4. DENEY TASARIMI VE GÜÇ DEĞERLERİ

Deney No	Devir sayısı (Kesme Hızı) (V) [d/d]	Kesme Derinliği (d) [mm]	İlerleme Hızı (f) [mm/s]	Güç Değerleri P [kW]	Tahmin Değerleri P [kW]
1	5	5	0,2	8,55	8,91
2	5	5	0,5	10,50	9,77
3	5	5	0,8	10,92	10,22
4	5	10	0,2	9,33	9,34
5	5	10	0,5	10,32	11,14
6	5	10	0,8	12,21	12,53
7	5	15	0,2	9,93	9,29
8	5	15	0,5	12,66	12,04
9	5	15	0,8	13,20	14,38
10	15	5	0,2	12,24	12,44
11	15	5	0,5	13,68	14,39
12	15	5	0,8	15,06	15,92
13	15	10	0,2	13,86	13,94
14	15	10	0,5	16,20	16,84

15	15	10	0,8	21,57	19,31
16	15	15	0,2	15,09	14,98
17	15	15	0,5	18,39	18,82
18	15	15	0,8	22,80	22,24
19	25	5	0,2	14,79	13,48
20	25	5	0,5	16,68	16,52
21	25	5	0,8	18,36	19,14
22	25	10	0,2	14,82	16,07
23	25	10	0,5	20,82	20,05
24	25	10	0,8	23,70	23,61
25	25	15	0,2	18,03	18,19
26	25	15	0,5	23,43	23,11
27	25	15	0,8	27,15	27,62

TABLO 5. VARYANS ANALİZİ (ANOVA) ANALİZİ SONUÇ TABLOSU

Parametreler	Serbestlik Derecesi (DF)	Düzeltilmiş Kareler Toplamı (Adj SS)	Düzeltilmiş Kareler Ortalaması (Adj MS)	F-Value	P-Value	Etki Oranı (%)
Devir sayısı (V) [d/d]	1	356,979	356,979	373,61	0,000	55,76
Kesme derinliği (d) [mm]	1	88,445	88,445	92,57	0,000	13,82
İlerleme hızı (f) [mm/s]	1	129,766	129,766	135,81	0,000	20,27
V * V	1	9,275	9,275	9,71	0,006	1,45
d *d	1	0,327	0,327	0,34	0,566	0,00
f * f	1	0,26	0,26	0,27	0,608	0,00
V * d	1	13,997	13,997	14,65	0,001	2,19
V * f	1	14,192	14,192	14,85	0,001	2,22
d * f	1	10,716	10,716	11,22	0,004	1,67
Hata	17	16,243	0,955			2,54
Toplam	26	640,201				100,00