

Araştırma Makalesi / Research Article

Kesme Parametrelerinin Haynes 242 Nikel Bazlı Süper Alaşım Malzemenin Tornalamasında Güç Tüketimi Üzerindeki Etkilerinin RSM ve GA ile İncelenmesi

Hakan KAZAN^{1*}, Engin Ufuk ERGÜL²

¹ Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya.

² Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Amasya.

*Sorumlu yazar e-posta: hakan.kazan@amasya.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7745-8974>
engin.ergul@amasya.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0100-5199>

Geliş Tarihi: 15.04.2022

Kabul Tarihi: 05.10.2022

Öz

Talaşlı imalatta yaygın kullanımı nedeniyle tornalama işleminde güç tüketimini azaltmak sürdürülebilir bir üretim süreci için kilit faktörlerden biridir. Nikel bazlı süper alaşımlar, üstün mekanik özelliklerinden nedeniyle endüstride sıklıkla tercih edilirler. Bu çalışmanın amacı işlem parametrelerinin Haynes 242 nikel bazlı süper alaşım malzemenin tornalanmasında güç tüketimi üzerine etkilerinin incelenmesidir. Bu kapsamda, yanıt yüzeyi yöntemi (Response Surface Method-RSM) ile birleştirilen üç seviye Box-Behnken tasarımı ve genetik algoritma (GA) uygulanarak minimum güç tüketiminin tahmin edilmesinde kullanılan optimum parametre değerlerini belirlemek için regresyon modeli oluşturulmuştur. İlk olarak 3 farklı seviyedeki takım uç radüsü (0.4,0.6 ve 0.8 mm), talaş derinliği (0.2,0.4 ve 0.6 mm), ve ilerleme oranı (0.1,0.2 ve 0.3 mm/rev.) dikkate alınarak Box-Behnken deney tasarımı oluşturulmuştur. Ardından, elde edilen deney setlerine göre AdvantEdge™ vasıtasıyla her bir deney setine ait güç tüketimleri ölçülmüştür. Sonrasında, RSM'den elde edilen matematiksel tahmin modelinden yararlanılarak güç tüketimi tahmini için GA kullanılmıştır. Sonuç olarak, bu yöntemlerle bulunan tahmin değerleri karşılaştırılmış ve birbirlerine çok yakın oldukları görülmüştür. Hem istatistiksel hem de simülasyon programı sonuçları, güç tüketimini minimize etmek için düşük ilerleme oranı ve talaş derinliğine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler

Tornalama; Nikel Esaslı Süperalaşım; RSM; Box Behnken; Genetik Algoritma; Güç Tüketimi

Investigation the Effects of Cutting Parameters on Power Consumption in Turning of Haynes 242 Nickel-Based Super Alloy by RSM and GA

Abstract

Due to its widespread use in machining, reducing power consumption in the turning process is one of the key factors for a sustainable production process. Nickel-based superalloys are preferred in variable applications due to their superior mechanical properties. This study aims to investigate the effects of process parameters on power consumption in turning of Haynes 242 nickel-based superalloy. In this context, three levels of Box-Behnken design combined with the Response Surface Method (RSM) and genetic algorithm (GA) were applied to find the optimum parameter values used in the estimation of the minimum power consumption to create the regression model. First, the Box-Behnken experimental design was created based on 3 different levels of tool nose radius (0.4,0.6 and 0.8 mm), depth of cut (0.2,0.4 and 0.6 mm), and feed rate (0.1,0.2 and 0.3 mm/rev.). Then, the power consumption of each test measured by AdvantEdge™ based on the obtained experimental sets. Then, GA was used for power consumption estimation by utilizing the mathematical estimation model obtained from RSM. Finally, the estimated values obtained by both methods were compared. Both statistical and simulation results show that low feed rate and depth of cut are needed to minimize power consumption.

Keywords

Turning; Nickel-Based Superalloy; RSM; Box Behnken; Genetic Algorithm; Power Consumption

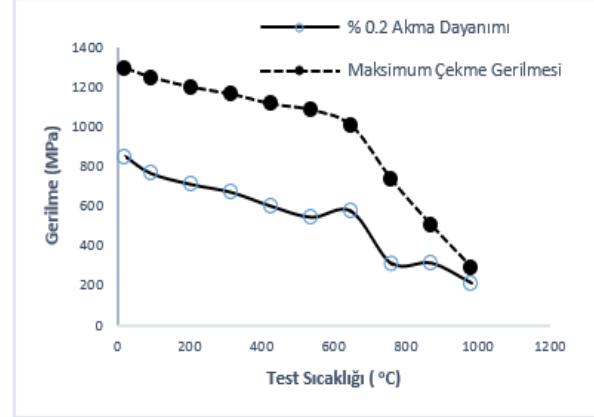
1. Giriş

Sınırsız insan ihtiyaçlarının karşılanması, sürekli artan popülasyon, ticari, konut, ulaşım ve endüstriyel kullanım düşünüldüğünde sınırlı enerji kaynaklarının kullanımı hassas bir noktaya ulaşmıştır. Bu alanlar içerisinde de üretim sektörü toplam enerji tüketiminin yaklaşık %50 lik kısmını oluşturmaktadır (Duflou *et al.* 2012). Sürdürülebilir üretim sürecinin sağlanabilmesi adına, imalatta yaygın olarak kullanılan tornalama işlemi sonucu oluşan güç tüketiminin incelenmesi hem akademi hem de endüstride sıklıkla araştırılan bir konudur. Bu bağlamda tornalama işlem parametrelerinin optimizasyonu sonucu güç tüketiminin düşürülmesi, dolayısıyla çevresel etkilerin ve emisyon oranının azaltılması birçok yazar tarafından incelenmiştir (Ma *et al.* 2014, Mativenga and Rajemi 2011, Mori *et al.* 2011, Yuan *et al.* 2012).

Tokluk, sertlik, ısı direnci gibi yüksek mekanik ve ısı özelliklerine sahip nikel bazlı süper alaşımlar havacılık, otomotiv, gaz türbini gibi birçok uygulamada tercih edilmektedirler (Dymek *et al.* 2006). Bununla birlikte yüksek ısı üretimine ve hızlı iş sertleşmesine yol açan östenitik matris içeriği nedeniyle nikel bazlı alaşımlar işlenmesi zor malzemeler olarak bilinirler. Ani işleme sertleşmesi, takım ömründe azalmaya ve aşırı plastik deformasyona neden olur (Choudhury and El-Baradie 1998, Kribes *et al.* 2015). Nikel bazlı süper alaşımların yüksek mekanik özelliklerinden ödün vermeden bu olumsuzlukların önüne geçebilmek için yüksek sertlikli kesici takım kullanılması, döner işleme gibi ileri tekniklerin uygulanması ve iş parçasının ön ısıtmaya tabi tutulması gibi farklı üretim yöntemleri uygulanmaktadır (Kttagawa and Maekawa 1990, Parida *et al.* 2018, Pérez *et al.* 2000).

Üstün mekanik özellikleri sebebiyle Haynes 242 nikel bazlı süper alaşımlar havacılık ve gaz türbini uygulamaları için tercih sebebi olmuşlardır. Şekil 1, Haynes 242 nikel bazlı süper alaşım malzemenin akma ve çekme gerilmelerinin test sıcaklığına bağlı olarak değişimini göstermektedir (Int Kyn. 1). Buna göre en yüksek gerilme noktası oda sıcaklığında olmakla birlikte 650 °C seviyelerinde dahi 1000 MPa

lık bir gerilme elde edilmektedir. Yüksek çalışma sıcaklıklarında yüksek mekanik performans sergilemesi, korozyona karşı gösterdiği direnç ve düşük termal genleşme Haynes 242'nin diğer avantajları arasında gösterilebilir (Habeeb *et al.* 2008, Srivastava 1992).



Şekil 1. Haynes 242 mekanik özellikleri

Mühendislik uygulamalarının birçoğunda olduğu gibi talaşlı imalat alanında da istatistik ve simülasyon programlarına sıklıkla başvurulmaktadır (Esmailpour *et al.* 2020, Özlü and Uğur 2021). Bu durumun temel sebepleri üretim maliyet ve süresinde olduğu kadar takım aşınması ve güç tüketiminde de gereksiz sarfiyatın önüne geçmektir (Aydın *et al.* 2021). Talaşlı imalat sürecinde kesme parametrelerinin takım aşınması, güç tüketimi, kesme kuvvetleri gibi bağımlı değişkenler üzerine etkileri deneysel ve/veya numerik olarak literatürde kapsamlı olarak incelenmiştir (Uğur 2019, Venkatesan *et al.* 2017, Venkatesh and Chakradhar 2017). Bu amaçla çeşitli nikel bazlı süper alaşım malzemelerin, ilerleme oranı, kesme hızı, talaş derinliği ve ön ısıtma sıcaklığı gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi, aşınma gibi değişkenler üzerindeki etkileri sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir (Chen and Tsai 2017, Leshock *et al.* 2001, Parida 2019, Parida and Maity 2019, Uğur 2022).

Yalnızca simülasyon programları değil istatistiksel analizler de optimum kesme parametrelerinin belirlenmesinde araştırmacılara yol göstermektedir. Talaşlı imalat alanında Taguchi analizi, ANOVA, yüzey yanıt metodu (RSM) gibi istatistiksel yöntemlere sıklıkla başvurulmakta, bu sayede araştırmacıya optimum işlem parametrelerinin

tahmin ve önem sırasını belirlemede yol göstermektedir (Aydın *et al.* 2021, Özlü and Uğur 2021, Uğur 2019). Son yıllarda mevcut yöntemlere ek olarak, topluluk tabanlı optimizasyon yöntemlerinden biri olan Genetik Algoritma (GA) da talaşlı imalat alanında karar verme sürecinde aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda yapılan bir çalışmada yanıt yüzey yöntemi ve genetik algoritma, AISI 316 paslanmaz çeliğin delinmesi işleminde optimum delme parametrelerini bulmak için kullanılmıştır (Kılıçkap ve Hüseyinoğlu 2010). Başka bir çalışmada ise yazarlar, RSM ile birleştirilen üç seviye Box-Behnken tasarımı ve GA uygulanarak transformatör en sıcak nokta sıcaklığı değerinin tahmininde kullanılan optimum parametre değerlerini elde etmek için bir regresyon modeli oluşturmuşlardır (Ergül vd. 2019). Benzer bir biçimde, araştırmacılar tarafından RSM ve GA AISI 1045 çeliğinin tornalanmasında minimum güç tüketimi sağlayan işleme parametrelerinin optimizasyonunda uygulanmıştır (Sangwan and Kant 2017). Ayrıca, lazer kaynak işleminin parametre optimizasyonu için de RSM ve GA uygulanan çalışmalar yapılmıştır (Vijayan *et al.* 2018). Geniş kapsamlı literatür taramalarında, RSM uygulandığında ve bir optimizasyon sürecine ihtiyaç duyulduğunda GA'nın nasıl kullanılabileceği ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır (Alvarez *et al.* 2009). Yüzey pürüzlülüğünün daha düşük değerlerinin tahmin edilebilmesi için GA ve RSM yöntemlerini birlikte dikkate alan modeller de önerilmiş ve optimum kesme koşullarını belirlenmiştir (Öktem *et al.* 2005, Suresh *et al.* 2002). Güncel bir çalışmada ise bir CNC tornalama makinası ve tungsten kaplı karbür sistemi için kesme parametreleri ve yüzey pürüzlülüğü için minimum koşulları RSM ve GA'yı entegre ederek hesaplanmıştır (Panwar *et al.* 2021).

Literatürde Haynes 242 nikel bazlı süper alaşım malzemenin mikro yapısı ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili çalışmalar bulunsa da GA ile karşılaştırmalı istatistiksel yöntemler detaylandırılmamıştır. Bu çalışmanın amacı yüksek mekanik özellikleri sebebiyle tercih edilen Haynes 242 nikel bazlı süper alaşımın tornalama işlemindeki güç tüketimine takım uç radüsü, talaş derinliği ve ilerleme oranı parametrelerinin etkilerinin incelenmesidir. Bu

doğrultuda işlem parametreleri için üç farklı seviyede belirlenen değerler sonlu elemanlar analizi ile incelenmiş ve güç tüketimleri ölçülmüştür. Daha sonra simülasyon sonucu elde edilen güç tüketimleri RSM ve GA modelleriyle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Deneysel Tasarımı

Bu çalışmada \varnothing 10 mm çapında Haynes 242 nikel bazlı süper alaşım malzeme tercih edilmiştir. Üstün mekanik özellikleri nedeniyle gaz türbini uygulamalarında sıklıkla kullanılan Haynes 242 nikel bazlı süper alaşım malzemenin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Çizelge 1 ve Çizelge 2' de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 1. Haynes 242 nikel bazlı süper alaşım malzemenin kimyasal bileşimi (Int Kyn. 1)

Element	Ni	B	Cr	Co	Fe	Mn	Si	Mo	C	Al	Cu
Ağırlık (%)	Bal.	0.006	8	2.5	2	0.8	0.8	26	0.03	0.5	0.5

Çizelge 2. Haynes 242'nin fiziksel özellikleri

Dinamik elastikiyet modülü (GPa)	Yoğunluk (g/cm ³)	Elektrik direnci ($\mu\text{ohm-cm}$)	Özısı (J/kgK)	Termal iletkenlik (W/(mK))
229	9.06	122	386	11.3

Haynes 242 nikel bazlı süper alaşım tornalanmasında elde edilecek güç tüketimin belirlenmesi için kullanılan kesme parametreleri Box-Behnken olarak adlandırılan standart yanıt yüzey yöntemi tasarımı ile analiz edilmiştir. Yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon yapılabilmesi için ilk önce kesme parametreleri ve seviyeleri belirlenmiştir. Güç tüketimine etkili olacak kesme parametreleri Çizelge 3'te görüldüğü gibi üçer seviye olacak şekilde oluşturulmuştur.

Çizelge 3. İşlem seviye ve parametreleri

Parametreler	Seviye		
	Düşük (1)	Ortalama (2)	Yüksek (3)
Takım uç radüsü (mm)	0.4	0.6	0.8
Talaş derinliği (mm) (d)	0.2	0.4	0.6
İlerleme oranı (mm/rev) (f)	0.1	0.2	0.3

15 deney seti yanıt yüzey yöntemi ile Box-Behnken tasarımına göre belirlenmiştir. Third Wave AdvantEdge® yazılımı kullanılarak üç seviyedeki kesme parametreleri ve bu seviyelere karşılık gelen ortalama güç tüketim değerleri incelenmiştir.

2.2 Nümerik Analiz

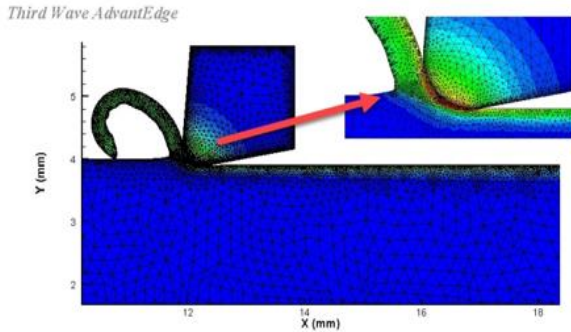
Genel olarak, yüksek plastik gerinim, gerinim oranı ve sıcaklık nedeniyle işleme simülasyonlarında iş parçalarının deformasyonu gözlemlenir. Bu sebeple, iş parçalarının gerilim-gerinim davranışını tanımlamak için gerinim hızına, iş sertleşmesine ve sıcaklığa bağlı olarak malzeme modelleri kullanılır (Rao *et al.* 2011, Shrot and Bäker 2012). Burada, iş parçasının mekanik davranışını tanımlamak için Johnson-Cook akma yüzeyi oluşturan malzeme modeli kullanılmıştır. Denklem 1, iş parçasının akış gerilimini tanımlamak için kullanılan Johnson-Cook malzeme modelini gösterir.

$$\sigma = \underbrace{[A + B\varepsilon^n]}_{\text{Elasto-Plastic}} \underbrace{\left[1 + C \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right]}_{\text{Viscosity}} \underbrace{\left[1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}}\right)^m\right]}_{\text{Thermal Softening}} \quad (1)$$

AdvantEdge™, aşağıdaki denklemde Coulomb sürtünmesi tarafından tanımlanan bir sürtünme katsayısı kullanır:

$$F_f = \mu F_n \quad (2)$$

Tornalama işleminin sayısal analizi (tornalama simülasyonları) Third Wave AdvantEdge® yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Analizlerde sabit 1 mm kesme derinliğinde 2B orthogonal kesme ve Lagrange yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 2. Orthogonal işleme modeli

Çizelge 4'te gösterilen kesme parametreleri doğrultusunda Şekil 2 ile gösterilen işleme modeli her bir deney seti için çalıştırılmıştır. Sonuç olarak yine Çizelge 4'te gösterilen güç tüketimleri kaydedilmiştir.

Çizelge 4. Optimum deneysel tasarım planı ve kaydedilen güç tüketim değerleri

#	Parametreler			Yanıt
	Takım uç radüsü (mm)	Talaş derinliği (mm)	İlerleme oranı (mm/rev.)	Güç tüketimi (W)
1	0.8	0.4	0.1	821.2
2	0.8	0.4	0.3	1032.54
3	0.6	0.2	0.3	459.58
4	0.4	0.4	0.1	479.84
5	0.6	0.4	0.2	863.4
6	0.6	0.2	0.1	313.6
7	0.6	0.4	0.2	863.4
8	0.6	0.6	0.1	968.65
9	0.8	0.6	0.2	1585.69
10	0.6	0.4	0.2	863.4
11	0.6	0.6	0.3	1525.85 ⁽¹⁾
12	0.8	0.2	0.2	419.98
13	0.4	0.2	0.2	502.79
14	0.4	0.4	0.3	953.68
15	0.4	0.6	0.2	1104.5

Çizelge 4 incelendiğinde, 9 ve 11 numaralı deney setlerinde güç tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir. 9 numaralı deney setinde takım uç radüsü ve talaş derinliği parametrelerinin yüksek, ilerleme oranının ise orta seviyede olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, 11 numaralı deney setinde ise talaş derinliği ve ilerleme oranının yüksek, takım uç radüsünün de orta seviyede olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Thirdwave Advantage programı kütüphane verileri kullanılarak elde edilen bu veriler literatürde Haynes 242 ile ilgili kapsamlı bir nümerik çalışma bulunmadığından dolayı Inconel 718 üzerine yapılmış olan çalışmaya ait kesme parametreleri ile karşılaştırılmış ve hata oranları hesaplanmıştır (Parida and Maity 2019). Sonuç olarak, çalışmada belirtilen kesme kuvveti verileri simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırıldığında Çizelge 5'te gösterildiği üzere tüm kesme koşulları için %10'luk hata oranının altında değerler elde edilmiş olması mevcut çalışmada kullanılan kütüphane değerlerinin kabul edilebilir olduğunu ortaya koymuştur.

Çizelge 5. FE doğrulama değerleri (Parida and Maity 2019)

Kesme hızı (mm/min)	İlerleme oranı (mm/rev)	Kesme derinliği (mm)	Deneysel kesme kuvveti (N)			FE kütüphane kesme kuvveti (N)			Hata oranı (%)		
			30 °C	300 °C	600 °C	30 °C	300 °C	600 °C	30 °C	300 °C	600 °C
66	0.1	1.5	325	274	268	336.23	288.18	291.74	3.46	5.17	8.85
188	0.15		439	396	389	451.97	423.48	418.26	2.95	6.94	7.52

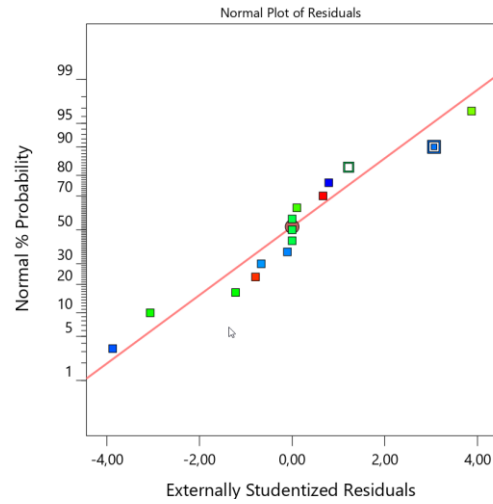
3. Bulgular ve Tartışma

3.1 RSM ile Analiz

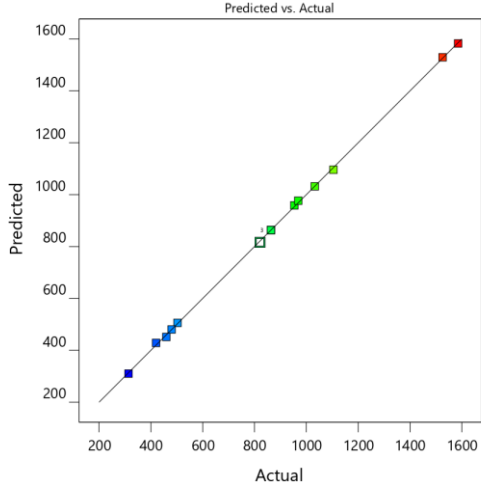
Kesme parametreleri analiz sonuçlarının Box-Behnken tasarımına göre değerlendirilmesi için Design Expert 11.1.0.1 paket programı kullanılmıştır. Design Expert programı ile optimum güç tüketimi için uygun ikinci derecede regresyon modeli kuadratik olarak Denklem 3'te oluşturulmuştur. Katsayılarına göre denklem incelendiğinde güç tüketimine etki eden en etkili kesme parametresinin talaş derinliği olduğu görülmektedir.

$$\begin{aligned}
 W = & +215.98750 - 913.3 * r - 1311.8875 * \\
 & d + 4206.6 * f + 3521 * r * d - 3281.25 * r * \\
 & f + 5140.25 * d * f + 559.4275 * r^2 + \\
 & 437.0625 * d^2 - 6396.25 * f^2 \quad (3)
 \end{aligned}$$

Şekil 3 ve kuadratik modele göre oluşturulan hata dağılımları incelendiğinde sabit bir varyansla dağıldığı görülmektedir. Bu durum deney tasarımının güvenilirliğini göstermektedir. Analizler sonucunda elde edilen modelin regresyon katsayısı R^2 0.9998, R_{Adj}^2 0.9995 ve R_{pred}^2 0.9971 olduğu görülür. R^2 değerinin 1'e yakın olması kuadratik modelin yanıtı uygun olduğunu göstermektedir.

**Şekil 3.** Hataların dağılım eğrisi

Güç tüketimine etki eden kesme parametrelerinin etkisini belirlemek için oluşturulan modelin güvenilirliği ve istatistiksel olarak anlamlılığını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Tüm girdi değişkenleri için kareler toplamı (SS), serbestlik derecesi (df), ortalama kare (MS), F değeri ve P değeri ile kareleri ve etkileşim terimleri Çizelge 6'da verilmektedir. Çizelge 6 incelendiğinde güç tüketimine etki eden en etkili parametrenin talaş derinliği olduğu görülmektedir. 3033.42 Model F değeri $p < 0.0001$ olduğundan dolayı modelin anlamlı olduğunu gösterir. Talaş derinliğinden sonra en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu, en son olarak da takım uç radüsü olduğu belirlenmiştir. Kuadratik denklem modellemesine göre oluşturulan denkleme göre elde edilen tahmini sonuçlar ile analiz sonuçları arasında bir uyum olması gerekmektedir. Şekil 4'te analiz sonucunda elde edilen güç tüketimi (yanıt) için tahmini değer ve gerçek değerler arasında uyum olduğu görülmektedir.

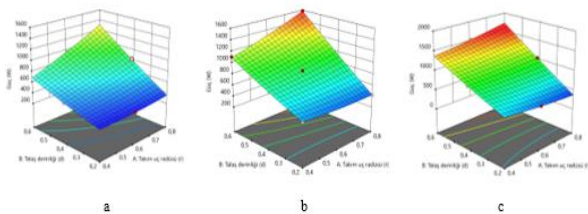


Şekil 4. Deneysel ve tahmin edilen güç tüketimi

Çizelge 6. Güç tüketimi (yanıt) için ANOVA sonuçları

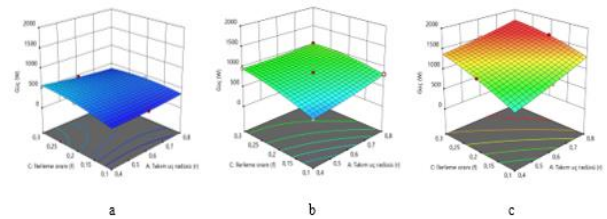
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	2,005E+06	9	2,227E+05	3033,42	< 0.0001	significant
A-Takım uç radüsü (r)	83746,87	1	83746,87	1140,55	< 0.0001	
B-Talaş derinliği (d)	1,521E+06	1	1,521E+06	20721,04	< 0.0001	
C-İlerleme oranı (f)	2,409E+05	1	2,409E+05	3281,40	< 0.0001	
AB	79501,44	1	79501,44	1082,73	< 0.0001	
AC	17226,56	1	17226,56	234,61	< 0.0001	
BC	42275,47	1	42275,47	575,75	< 0.0001	
A ²	1848,93	1	1848,93	25,18	0,0040	
B ²	1128,51	1	1128,51	15,37	0,0112	
C ²	15105,97	1	15105,97	205,73	< 0.0001	
Residual	367,13	5	73,43			
Lack of Fit	367,13	3	122,38			
Pure Error	0,0000	2	0,0000			
Cor Total	2,005E+06	14				

Kuadratik modele göre talaş derinliği ve takım uç radüsünün güç tüketimine etkisi Şekil 5'te gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde talaş derinliğinin ve ilerleme oranının artması ile güç tüketiminin arttığı ancak takım uç radüsünün artırılması ile güç tüketiminin çok fazla değişmediği kaydedilmiştir.



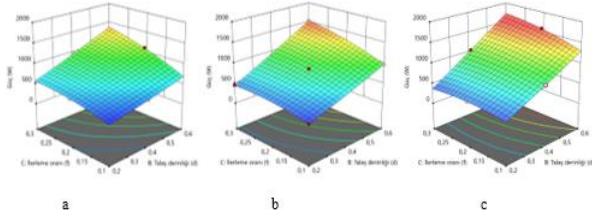
Şekil 5. Talaş derinliği ve takım uç radüsünün güç tüketimi üzerine etkisi a) ilerleme oranı 0.1 b) ilerleme oranı 0.2 c) ilerleme oranı 0.3

Şekil 6' dan da görüleceği gibi farklı talaş derinliklerinde ilerleme ve takım uç radüsünün güç tüketimine etkisi incelenmiştir. Farklı talaş derinliklerinde ilerleme oranının ve takım uç radüsünün değişmesinin güç tüketimine etkisinin çok olmadığı görülmektedir.



Şekil 6. İlerleme oranı ve takım uç radüsünün güç tüketimi üzerine etkisi a) talaş derinliği 0.2 b) talaş derinliği 0.4 c) talaş derinliği 0.6

Farklı takım uç radüslerinde ilerleme oranı ve talaş derinliğinin etkileri Şekil 7’de görülmektedir. Aynı takım uç radüslerinde ilerleme oranının artırılmasının güç tüketimine etkisinin çok olmadığı ancak talaş derinliğinin artırılması ile güç tüketiminde artışın etkili olduğu Şekil 7 a, b, ve c’de görülmektedir.



Şekil 7. İlerleme oranı ve talaş derinliğinin güç tüketimi üzerine etkisi a) takım uç radüsü 0.4 b) takım uç radüsü 0.6 c) takım uç radüsü 0.8

3.2 Güç tüketiminin GA ile optimizasyonu

Bu çalışmanın amacı, GA entegrasyonu ile güç tüketiminin optimizasyonunu sağlamaktır. Güç tüketiminin tahmini için deney verileri kullanılarak, RSM yöntemi ile bir matematik model oluşturulmuştur. 3 numaralı denklemde gösterilen bu model, güç değerinin; takım uç radüsü, talaş derinliği ve ilerleme oranı ile olan bağlantısını yansıtmaktadır. Modelin amacı güç tüketimi değerini minimize eden optimum parametreleri belirlemektir. GA ile bu problemin çözülebilmesi için ilk önce amaç fonksiyonu belirlenmelidir. Denklem 3’te yer alan ifade amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Belirlenen amaç fonksiyonundaki parametrelerin alt ve üst sınırları Çizelge 7’de verilmektedir.

Çizelge 7. Parametre alt ve üst sınırları

Parametreler	Alt Sınır	Üst Sınır
Takım uç radüsü (mm) (r)	0.4	0.8
Talaş derinliği (mm) (d)	0.2	0.6
İlerleme oranı (mm/rev) (f)	0.1	0.3

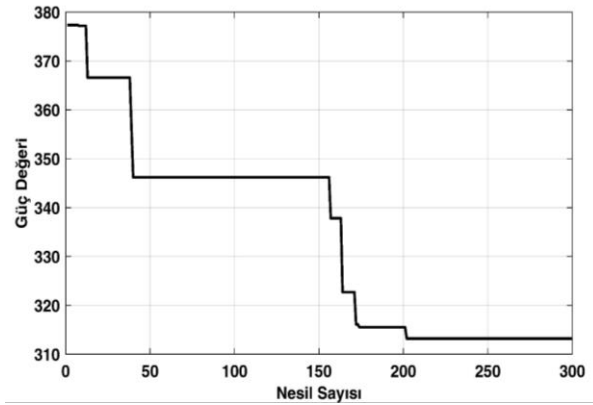
GA, Çizelge 8’de verilen parametrelerle çalıştırılarak minimum yani en iyi güç tüketim değeri ve bu değerdeki parametreler bulunmuştur. GA’da stokastik evrensel örnekleme, iki noktalı çaprazlama ve uniform mutasyon kullanılmıştır. Elitizm mekanizması ile her bir iterasyondaki en iyi bireyler

saklanmış ve bir sonraki nesle aktarılmışlardır. Genetik algoritmanın başarımının artırılması için gamma düzeltmesi tabanlı puan/uygunluk ölçekleme yöntemi (Ergül and Eminoglu 2020) de algoritmaya uygunluk değerinin belirlendiği aşamada eklenmiştir.

Çizelge 8. GA parametreleri

GA Parametreleri	Değeri
Birey Sayısı	100
Bit Sayısı	30
Nesil Sayısı	300
Çaprazlama Olasılığı	1
Mutasyon Olasılığı	1/bit sayısı
Gamma	3

Çizelge 8’de verilen parametrelerle GA programı çalıştırılmıştır. Şekil 8’de güç tüketimi değerinin nesil sayısına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 8. Güç tüketimi değerinin nesil sayısı ile değişimi

GA uygulanarak gerçekleştirilen optimizasyon işlemi sonucunda optimum yani minimum güç tüketim değeri 313.1971 W olarak bulunmuştur. Bu değerinde elde edildiği optimum parametre değerleri ise şöyledir: takım uç radüsü 0.4872, talaş derinliği 0.2098 ve ilerleme oranı 0.1002.

Genetik algoritma ile bulunan bu optimum parametre değerleri kullanılarak deney tekrarlanmıştır ve sonuç olarak güç tüketim değeri 307.3 W olarak bulunmuştur.

4. Sonuç

Bu çalışmada Haynes 242 nikel bazlı süper alaşım malzemenin tornalanma işlemi 3 farklı seviyede takım uç radüsü, talaş derinliği ve ilerleme oranı

parametrelerinin güç tüketimine etkileri incelenmiştir. Bu analizde sonlu elemanlar yöntemiyle ölçülen güç tüketimleri, RSM ve GA yöntemleri ile analiz edilerek optimum kesme parametreleri belirlenmiştir.

Box-Behnken deney mimarisinde tanımlanan deneysel bir veri tabanı kullanılarak, takım uç radüsü, talaş derinliği ve ilerleme oranı kullanılarak güç tüketim modeli oluşturulmuştur. Bu modeli optimize etmek için en iyi tahmin değerlerini belirleyen bir genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmadan Haynes 242 nikel bazlı süper alaşım malzemenin tornalanmasında işlem parametrelerinin güç tüketimi üzerine etkileri için aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Sonlu elemanlar sonuçlarına göre en düşük güç tüketimi, talaş derinliği ve ilerleme oranının minimum olduğu 6 numaralı deney setinde gerçekleşmiştir.
- RSM analizlerine göre, talaş derinliği ve ilerleme oranındaki artışların güç tüketimin arttırdığı ancak takım uç radüsünün değişiminin güç tüketim üzerine etkisinin daha az olduğu gözlemlenmiştir.
- GA ile yapılan optimizasyon işleminde minimum güç değeri 313.1971 W olarak bulunmuştur. Bu değer, sonlu elemanlar sonuçlarıyla neredeyse tamamen eşleşmektedir.
- GA ile yapılan optimizasyon işlemine göre, takım uç radüsü 0.4872 mm, talaş derinliği 0.2098 mm ve ilerleme oranı 0.1002 mm/rev. optimum işlem parametreleridir.
- Genetik algoritma ile bulunan bu optimum parametre değerleri kullanılarak deney tekrarlanmıştır ve sonuç olarak güç değeri 307.3 W bulunmuştur. Sonuç olarak, GA ve RSM ile bulunan sonuçların deneysel çalışmalarla bulunan sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

5. Kaynaklar

- Alvarez, M., Ilzarbe, L., Viles, E. and Tanco, M., 2009. The use of genetic algorithms in response surface methodology. *Quality Technology & Quantitative Management*, **6(3)**, 295-307.
- Aydın, K., Akgün, A., Yavaş, Ç., Gök, A. and Şeker, U., 2021. Experimental and Numerical Study of Cutting Force Performance of Wave Form End Mills on Gray Cast Iron. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **46(12)**, 12299-12307.
- Aydın, K., Katmer, S., Gok, A. and Seker, U., 2021. Experimental and statistical investigation of the machining performance of wave form end mills on AISI 316L stainless steel. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **36(4)**, 2225-2238.
- Chen, S.-H. and Tsai, K.-T., 2017. The study of plasma-assisted machining to Inconel-718. *Advances in Mechanical Engineering*, **9(12)**, 1687814017735789.
- Choudhury, I. and El-Baradie, M., 1998. Machinability of nickel-base super alloys: a general review. *Journal of Materials Processing Technology*, **77(1-3)**, 278-284.
- Duflou, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., Hauschild, M. and Kellens, K., 2012. Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. *CIRP Annals*, **61(2)**, 587-609.
- Dymek, S., Wróbel, M., Dollar, M. and Blicharski, M., 2006. Influence of plastic deformation and prolonged ageing time on microstructure of a Haynes 242 alloy. *Journal of Microscopy*, **224(1)**, 24-26.
- Ergül, E. U. and Eminoglu, I., 2020. Power-law fitness scaling on multi-objective evolutionary algorithms: interpretations of experimental results. *Soft Computing*, **24(5)**, 3893-3907.
- Ergül, E. U., Gezegin, C. and YILDIZ, A., 2019. Yanıt yüzey yöntemi ve genetik algoritma kullanılarak transformatör sargı en sıcak nokta sıcaklığının modellenmesi ve optimizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, **10(2)**, 467-480.
- Esmailpour, R., Kim, H., Park, T., Pourboghra, F., Agha, A. and Abu-Farha, F., 2020. Effect of hardening law and process parameters on finite element simulation of single point incremental forming (SPIF) of 7075 aluminum alloy sheet. *Mechanics & Industry*, **21(3)**, 302.
- Habeeb, H., Abou-El-Ho, K., Mohamad, B., Ghani, J. A. and Kadrigama, K., 2008. Investigating of tool wear, tool

- life and surface roughness when machining of nickel alloy 242 with using of different cutting tools. *Asian Journal of Scientific Research*, **1(3)**, 222-230.
- Kılıçkap, E. and Hüseyinoğlu, M., 2010. Tepki yüzey modeli ve genetik algoritma kullanılarak AISI 316'nın delinmesinde oluşan çapak yüksekliğinin modellenmesi ve optimizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, **1(1)**, 71-80.
- Kribes, N., Hessainia, Z. and Yallese, M. A., 2015. Optimisation of machining parameters in hard turning by desirability function analysis using response surface methodology. In *Design and Modeling of Mechanical Systems-II* (pp. 73-81): Springer.
- Kttagawa, T. and Maekawa, K., 1990. Plasma hot machining for new engineering materials. *Wear*, **139(2)**, 251-267.
- Leshock, C. E., Kim, J.-N. and Shin, Y. C., 2001. Plasma enhanced machining of Inconel 718: modeling of workpiece temperature with plasma heating and experimental results. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **41(6)**, 877-897.
- Ma, J., Ge, X., Chang, S. and Lei, S., 2014. Assessment of cutting energy consumption and energy efficiency in machining of 4140 steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **74(9)**, 1701-1708.
- Mativenga, P. and Rajemi, M., 2011. Calculation of optimum cutting parameters based on minimum energy footprint. *CIRP Annals*, **60(1)**, 149-152.
- Mori, M., Fujishima, M., Inamasu, Y. and Oda, Y., 2011. A study on energy efficiency improvement for machine tools. *CIRP Annals*, **60(1)**, 145-148.
- Öktem, H., Erzurumlu, T. and Kurtaran, H., 2005. Application of response surface methodology in the optimization of cutting conditions for surface roughness. *Journal of Materials Processing Technology*, **170(1-2)**, 11-16.
- Özlü, B. and Uğur, L., 2021. Optimization of cutting forces on turning of Ti-6Al-4V Alloy by 3D FEM simulation analysis. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, **10(2)**, 1789-1795.
- Panwar, V., Sharma, D. K., Kumar, K. P., Jain, A. and Thakar, C., 2021. Experimental investigations and optimization of surface roughness in turning of en 36 alloy steel using response surface methodology and genetic algorithm. *Materials Today: Proceedings*, **46**, 6474-6481.
- Parida, A. K., 2019. Analysis of chip geometry in hot machining of Inconel 718 alloy. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, **43(1)**, 155-164.
- Parida, A. K. and Maity, K., 2018. Experimental investigation on tool life and chip morphology in hot machining of Monel-400. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, **21(3)**, 371-379.
- Parida, A. K. and Maity, K., 2019. Numerical and experimental analysis of specific cutting energy in hot turning of Inconel 718. *Measurement*, **133**, 361-369.
- Pérez, J., Llorente, J. and Sanchez, J., 2000. Advanced cutting conditions for the milling of aeronautical alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, **100(1-3)**, 1-11.
- Rao, B., Dandekar, C. R. and Shin, Y. C., 2011. An experimental and numerical study on the face milling of Ti-6Al-4V alloy: Tool performance and surface integrity. *Journal of Materials Processing Technology*, **211(2)**, 294-304.
- Sangwan, K. S. and Kant, G., 2017. Optimization of machining parameters for improving energy efficiency using integrated response surface methodology and genetic algorithm approach. *Procedia CIRP*, **61**, 517-522.
- Shrot, A. and Bäker, M., 2012. Determination of Johnson-Cook parameters from machining simulations. *Computational Materials Science*, **52(1)**, 298-304.
- Srivastava, S., 1992. A Low-Thermal Expansion, High Strength Ni-Mo-Cr Alloy for Gas Turbines. *Superalloys*, **92**, 227-236.
- Suresh, P., Rao, P. V. and Deshmukh, S., 2002. A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **42(6)**, 675-680.
- Uğur, L., 2019. 7075 Alüminyum Malzemesinin Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Yanıt Yüzey Metodu İle Optimizasyonu. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **12(1)**, 326-335.
- Uğur, L., 2022. Ti-6Al-4V Sıcak İşlenmesi Üzerine Etkilerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, **10(2)**, 532-537.
- Venkatesan, K., Ramanujam, R. and Kuppan, P., 2017. Investigation of machinability characteristics and chip morphology study in laser-assisted machining of Inconel 718. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **91(9)**, 3807-3821.

Venkatesh, G. and Chakradhar, D., 2017. Influence of thermally assisted machining parameters on the machinability of Inconel 718 superalloy. *Silicon*, **9(6)**, 867-877.

Vijayan, K., Ranjithkumar, P. and Shanmugarajan, B., 2018. Comparison of Response Surface Methodology and Genetic Algorithm in parameter optimization of laser welding process. *Applied Mathematics & Information Sciences*, **12(1)**, 239-248.

Yuan, C., Zhai, Q. and Dornfeld, D., 2012. A three dimensional system approach for environmentally sustainable manufacturing. *CIRP Annals*, **61(1)**, 39-42.

İnternet Kaynakları

1. <http://www.haynesintl.com/242site/> (2005).