

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 15.11.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 26.03.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.353379	

Karma Taguchi ve yüzey yanıt yöntemi kullanılarak astm b574 (hastelloy c-22)'in tornalanması esnasındaki işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu

Gültekin Basmacı*¹, İsmail Kırbas², Mustafa Ay³, Musa Peker⁴

ÖZ

Bu çalışmada ASTM B574 (Hastelloy C-22) malzemesi üzerinde tornalama işlemi sonrasında kesme parametrelerinin (kesme derinliği, kesme hızı, radius, ilerleme hızı, debi, talaş açısı, yanaşma açısı) yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kesme parametrelerini etkileyen faktörleri belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanırken, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin optimizasyonu Taguchi ortogonal deney tasarımına dayanan Tepki Yüzeyi Metodolojisi (RSM) ile elde edilmiştir. Geliştirilen modellerin yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık tahmini için gerekli olan doğruluğu oldukça başarılıdır. Ölçüt olarak R^2 değerinin kullanıldığı çalışmada ortalama Ra yüzey pürüzlülüğü için %93.85, doğruluk değeri elde edilmiştir. ANOVA analizleri sonucunda %95 güven aralığında, Ra için en etkili parametreler sırasıyla kesme hızı, yanaşma açısı, talaş açısı ve debi olarak tespit edilmiş ve en düşük yüzey pürüzlülüğü oranı için en uygun kesme parametre değerleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tepki Yüzeyi Metodolojisi, Taguchi Metodu, Varyans Analizi (ANOVA), ASTM B574 (Hastelloy C-22), Kesme Parametreleri, Yüzey Pürüzlülüğü, Parametre Optimizasyonu.

Optimisation and influence of cutting parameters on surface roughness during turning of astm b574 (hastelloy c-22) using a hybrid of Taguchi and rsm methods

ABSTRACT

In this study, the impact of cutting parameters (depth-of-cut, cutting speed, feed, flow, rake angle, lead angle) on surface roughness in the turning process with regard to ASTM B574 (Hastelloy C-22) material has been investigated. Variance analysis (ANOVA) has been applied in order to determine the factors affecting the surface roughness. The optimization of the parameters affecting the surface roughness has been obtained using Response Surface Methodology (RSM) based on the Taguchi orthogonal experimental design. The accuracy required for surface roughness and temperature estimation of the developed models is quite successful. As a criterion, when the value of R^2 is used, 93.85% accuracy value is obtained for the average Ra surface roughness. As a result of ANOVA analysis, the most effective parameters for Ra were determined as cutting speed, lead angle, rake angle and flow rate, respectively, at 95% confidence interval and optimal cut parameter values were determined for the lowest surface roughness ratio.

Keywords: Response Surface Methodology, Taguchi Method, Variance Analysis (ANOVA), ASTM B574 (Hastelloy C-22), Cutting Parameters, Surface Roughness, Parameter Optimisation.

¹ Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine, Burdur- gasmaci@mehmetakif.edu.tr

² Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar, Burdur- ismailkirbas@mehmetakif.edu.tr

³ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine, İstanbul- muay@marmara.edu.tr

⁴ Muğla Sıtkı Kocaman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Muğla- pekermusa@gmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalatta talaş kaldırmanın önemli parametrelerinden birisi de kesici takım üzerine etki eden kesme kuvvetleridir. Bu parametre, kesici takım, tezgâh ve diğer gerekli aparatların tasarım ve imalatında dikkate alınmaktadır [1]. Kesme kuvvetleri; ilerleme miktarı, kesme hızı, talaş açısı, kesme derinliği, iş parçasının malzemesi gibi kesme parametrelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Parça üretim maliyetinin tespit edilebilmesi için kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede, gerekli gücün tespit edilebilmesi ve tezgâhın doğru boyutlandırılması gibi önemli işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Kuvvet ve zorlanma etkisiyle oluşan gerilmeler iyi analiz edilirse, üretim kalitesinin artırabilmesi ve tezgâhların uzun ömürlü olabilmesi mümkün olabilmektedir. [1].

Talaş kaldırmada, en yüksek üretim miktarı hedeflenirken, bunun en düşük maliyetle gerçekleştirilmesi amaçlanır. Bu ise kesme kuvvetlerinin minimize edilmesiyle sağlanabilir. Kesme kuvvetlerinin minimize edilmesi, kesme parametrelerinin optimize edilmesine bağlıdır. Son yıllarda akademik ve ticari sahada, tornalamada parametre optimizasyonu üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Literatürde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini inceleyen bazı çalışmalar hakkında kısa bilgiler şu şekildedir; Abou-El-Hossein v.d. [2], AISI P20 çeliği üzerinde yaptıkları çalışmada kuvvet tahmini için bir çalışma gerçekleştirdiler. Yapılan ANOVA analizi sonuçları incelendiğinde, ilerleme ve talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerindeki en etkili parametreler olduğu tespit edilmiştir. Zhao v.d. [3] minimum kesme kuvvetini elde etmek için sezgisel optimizasyona dayalı bir çözüm önerdiler. Araştırmacılar, parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile tornalamada ilerleme oranı ve devir sayısı kombinasyonunu optimize ettiler. Wang v.d. [4] F91 çeliği üzerinde deneyler yaptılar. Bu çalışmada kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri üzerine olan etkileri incelenmiş ve yazarlar kuvvet tahminine yönelik üssel bir fonksiyon geliştirdiler. Sonuç olarak, düşük kuvvet değerlerinin, düşük takım aşınmalarına ve daha yüksek talaş kaldırma oranına sebep olduğu vurgulanmıştır. Çalışkan v.d. [5] çalışmalarında ilerleme oranı, kesme hızı, talaş derinliği ve kesici takım kaplamasının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerine etkilerini araştırdılar. Yaptıkları

deneylerde L27 Taguchi deneysel tasarım yöntemini kullandılar. RSM yöntemini kullanarak süreci optimize ettiler. Aggarwal v.d. [6] AISI P-20 takım çeliğinin tornalanmasında, sıvı nitrojen kullanarak, yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi, kesme kuvveti ve takım ömrü tüketimini optimize ettiler. Yöntem olarak RSM yöntemini kullandılar. Bouacha v.d. [7] AISI 52100 çeliğini Kübik Bor Nitrür (CBN) ile tornalayarak, parça sertliğinin değişimi ve kesme hızına karşı kesme kuvvetleri ve takım aşınması değişimini incelediler. Yapılan deneyler sonucunda kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli parametreler olduğunu tespit ettiler. Devillez v.d. [8] kuru talaşlı imalatın yüzey bütünlüğü (integrity) üzerindeki etkisini ve Inconel 718 alaşımının tornalanmasındaki kesme kuvvetlerini araştırmıştır. Islak ve kuru tornalama testleri, kaplanmış karbür takımı ile çeşitli kesme hızlarında gerçekleştirilmiştir (0.5 mm kesme derinliği ve 0.1 mm/devir ilerleme hızı). Malagi v.d. [9] tornalamada kesme kuvvetlerini etkileyen faktörleri araştırmış ve ilerleme hızı ile kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetinin de arttığını belirtmiştir. Gök [10] kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü minimize etmek için fuzzy TOPSIS and grey relational analysis yöntemlerini kullanmış ve çalışma kapsamında kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisi değerlendirmiştir.

Çalışmamızda, tornalamada kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüklerine yönelik etkileri araştırılmıştır. Kuvvet tahmini ve uygun parametre değerlerinin tespiti için optimum kesme parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Literatür incelendiğinde, tornalama operasyonlarında parametre optimizasyonunun büyük önem taşıdığı görülmektedir. Bu da bu alana olan ilginin artmasına neden olmaktadır. Bu amaçtan yola çıkarak yapılan bu çalışma, endüstride maliyet kaybını ve imalat zamanını minimize etmek amacıyla tornalama operasyonunun optimizasyonunu hedeflemektedir. Literatürde kullanılan malzemelerden farklı olarak ASTM B574 (Hastelloy C-22) malzemesi üzerinde deneyler yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda daha çok kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmalarda kesici takım geometrisinin çok fazla değerlendirilmediği belirlenmiştir. Bu çalışmada sonuçlara etki eden parametre sayısı arttırılmıştır. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine ek olarak soğutma sıvısı (MQL) debisi (flow), talaş açısı ve

yanaşma açısı parametrelerinin de sonuçlara etkisi araştırılmıştır.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. İşleme Koşulları ve Kesme Kuvvetleri

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada iş parçası malzemesi olarak yüzey merkezli kübik yapıda, nikel bazlı ve korozyona dirençli bir Nikel-Krom-Molibden alaşım olan Hastelloy C22 malzemesi kullanılmıştır. Bir süper-alaşım olan Hastelloy C22, yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması ve erozyon direncinin yüksek olması nedeniyle roket kapaklarında yaygın şekilde kullanılır. Bu alaşım, yüksek sıcaklık dayanımı sebebiyle uçak türbin motorları ve süper turbo yükleyicilerinin üretiminde [11], gaz türbinlerinde ve savunma sanayinde tercih edilmektedir. Deneysel olarak kullanılan ASTM B574 (Hastelloy C-22) malzemesinin kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. ASTM B574 (Hastelloy C-22) kimyasal özellikleri;

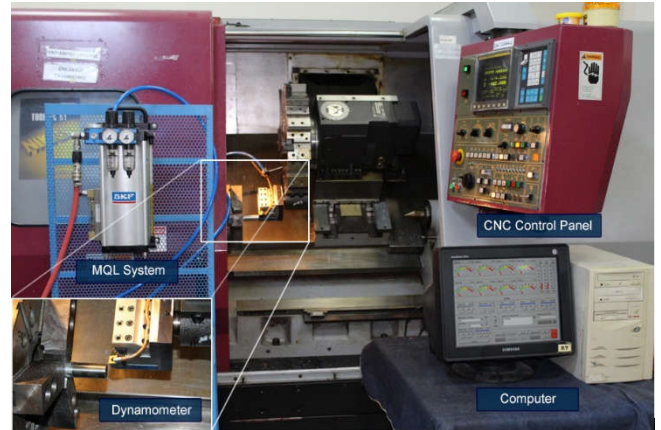
P	<0.005
S	<0.0003
Fe	5.2
C	0.004
Mn	<0.02
Mo	12.8
Cr	22.07
Si	<0.05
Al	0.18
Ti	<0.02
Ni	56.4
Co	0.13

Deneysel olarak kullanılan malzemenin boyutları 200x50 mm olup, CNC torna tezgâhına 50 mm boyunda bağlanmış, 30 mm tornalama boyunda işlenmiştir. Deneysel olarak kullanılan ASTM B574 (Hastelloy C-22) malzemesi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. ASTM B574 (Hastelloy C-22) malzemesi

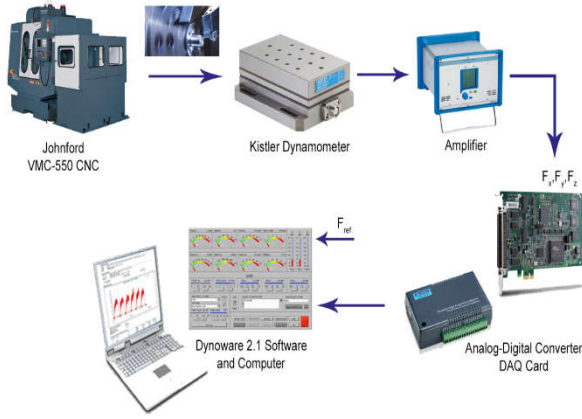
Deneysel olarak Johnford TC 35 CNC Fanuc OT X-Z eksenli tezgâh kullanılmıştır. MQL sisteminde SKF firmasının Vario model MQL cihazı tercih edilmiştir. Kullanılan sistem metal gövdeli, 1.8 litre yağ kapasitesine sahip olup, 3 çıkışıdır. Sistemde MQL sıvısı olarak Lubrioil (Asit Bazlı Ester) kullanılmıştır. Kuvvet ölçümü için KISTLER 5019b tipi yük amplifikatörü, KISTLER 9121 kuvvet sensörü ve DynoWare analiz programı kullanılmıştır. Deneysel düzeneği Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Deneysel Düzeneği

Hazırlanan iş parçası malzemesi, özellikleri belirtilen CNC tezgâhında işlenerek yüzey pürüzlüğü (R_a) ve sıcaklık (T) verileri elde edilmiştir. Ölçümler için gerekli işlem adımları Şekil 3'de sunulmuştur.

G. Basmacı ve diğ. /Karma Taguchi ve yüzey yanıt yöntemi kullanılarak astm b574 (hastelloy c-22)'in tormalanması esnasındaki işleme parametrelerinin yüzey...



Şekil 3. Yüzey Pürüzlüğü ve Sıcaklık Değerlerinin Bilgisayar Yardımı ile Ölçümü

Kesme parametrelerinin değerleri, üretici firma kataloğuna uygun olarak saptanmıştır. Tablo 2’de sunulan kesme parametreleriyle deneyler yapılmış ve üç farklı eksendeki kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada tormalama deneyleri için talaş açısı faktörleri 2 farklı seviyede, ilerleme, kesme hızı, debi, talaş derinliği ve yanaşma açısı faktörleri 3 farklı seviyede belirlenmiştir.

Tablo 2. Tormalama Parametreleri ve Seviyeleri

Sembol	Faktörler	Birim	Seviye		
			1	2	3
r_α	Talaş açısı	açı (°)	15	16
v	Kesme Hızı	m/min.	60	80	100
f	İlerleme Oranı	mm/dev.	0.1	0.2	0.3
d	Kesme Derinliği	mm	0.1	0.3	0.5
f_0	Debi	ml/h	40	50	60
l_α	Yanaşma Açısı	açı (°)	55	75	90
t_d	Kesici Uç Çapı	mm	0.4	0.8

2.2. Tepki Yüzeyi Metodolojisi (RSM)

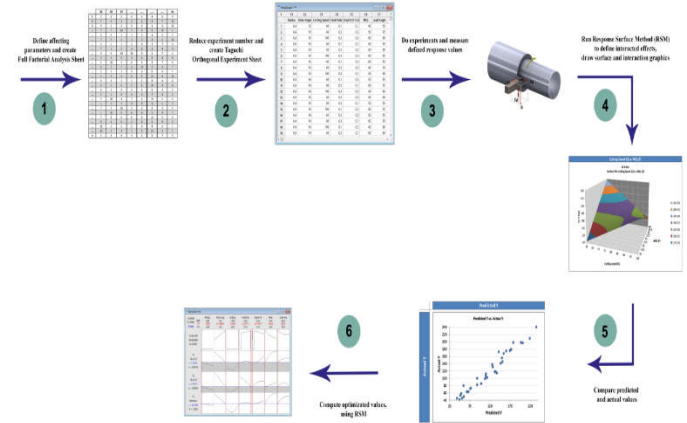
RSM, bir kesme sisteminde giriş parametrelerinin optimizasyonu için kullanılan bir matematiksel modelleme yöntemidir. Bu yöntem uygun deneysel tasarımdan elde edilen nicel veriler ile çok faktörlü modellerin oluşturulması ve benzer şekilde çözümlenmesinde kullanılır. Cevap yüzeyi olarak grafik şeklinde sunulabilen bu modeller; farklı faktörlerin cevabı nasıl etkilediğinin belirlenmesinde, değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamakta ve cevap yüzeyinin tüm faktörlerinin birleşik etkisini ortaya çıkarmakta kullanılır. Genel olarak RSM yöntemi üç aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada bir deneysel parametre kombinasyonu oluşturularak, tepki değerlerinin elde edilebilmesi için fiziksel deneyler

gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, daha az ve verimli deneyler yapılarak maliyetlerin azaltılması sağlanmaktadır. Oluşturulan matematiksel modelin getirdiği en önemli katkılardan birisi de ara tepki değerlerinin hızlı bir şekilde belirlenmesidir. Sonraki aşamada, oluşan tepki değerlerinin giriş parametreleri ile olan ilişkisi üssel bir fonksiyon şeklinde tanımlanmaktadır. Son aşamada ise varyans analizi ve yüzey grafikleri gibi yöntemlerle uygun noktaların tespit edilmesi gerçekleştirilmektedir.

RSM problemlerinde giriş ve çıkış parametreleri arasındaki ilişki genellikle Denklem 1’de sunulan ikinci dereceden polinomsal bir denklem kullanılarak ifade edilmektedir [12]:

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_i \sum_j \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Burada η tahmin edilen tepkiler (R_a ve T); β_0 sabit bir katsayı; β_i , β_{ii} ve β_{ij} birinci ve ikinci dereceden kodlanan giriş parametreleri ve parametre etkileşim katsayılarıdır. Bu çalışmada yapılan RSM optimizasyon çalışması ve bu çalışmada izlenen yol Şekil 4’de sunulmuştur [2].



Şekil 4. RSM Akış Diyagramı

2.3. Deney Tasarımı

Bu çalışmada ASTM B574 (Hastelloy C-22) malzemesinden tormalama yöntemi ile talaş kaldırılmıştır. Talaş açısı, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, debi ve yanaşma açıları değerlerinin yüzey pürüzlüğü ve sıcaklık üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu incelemelerin tasarımında literatürde çokça kullanılan Taguchi optimizasyon metodu kullanılmıştır. Taguchi yöntemi, optimizasyon ve parametrik analiz çalışmalarında maliyeti düşürmek, sonuçlara daha az sayıda deney yaparak kısa sürede ulaşmak ve parametrelerin

hedef sonuç üzerindeki etkilerini belirlemek için tam faktoriyel deney tasarımına alternatif olarak geliştirilmiş güçlü bir yöntemdir [13]. Bu çalışmada 6 parametre ve her parametre için 3 seviye belirlendi. L₃₆ Taguchi deney tasarımının kullanılması ile toplam 36 deney gerçekleştirildi. Tablo 2’de seçilen faktör ve seviyelerine göre L₃₆ karışık seviye deney tasarımı görülmektedir. Bu faktör ve seviyelere göre hazırlanan deney tasarımı, çalışma sisteminin temelini oluşturmaktadır. Tabloda verilen parametre değerlerine göre elde edilen kuvvet ölçüm değerleri de sunulmuştur. Bu düzene göre yapılan deneyler 3’er defa tekrar edilerek elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Model Oluşturulması

Bu çalışmada, kesme parametrelerinin etkisi altında kesme kuvvetlerinin tahmini için RSM tabanlı quadratic modeller geliştirilmiştir. Verilerin analizi için Statistica 10 (StatSoft Inc., Oklahoma, USA) yazılımı kullanılmıştır. Parametreler ve elde edilen tepki değerleri ile 2. dereceden polinomsal bir tepki tahmin fonksiyonu oluşturuldu. Her tepki için elde edilen tahmin eşitlikleri Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 3. Kesme Koşulları Taguchi ortogonal deney tasarımı L36 Ortogonal index (Mixed Level Design)

Radius (mm)	Talaş Açısı (°)	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme Oranı (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)	Debi (mm/h)	Lead Angle
0.4	15	60	0.1	0.1	40	55
0.4	15	80	0.2	0.3	50	75
0.4	15	100	0.3	0.5	60	90
0.4	15	60	0.1	0.1	40	75
0.4	15	80	0.2	0.3	50	90
0.4	15	100	0.3	0.5	60	55
0.4	15	60	0.1	0.3	60	55
0.4	15	80	0.2	0.5	40	75
0.4	15	100	0.3	0.1	50	90
0.4	16	60	0.1	0.5	50	55
0.4	16	80	0.2	0.1	60	75
0.4	16	100	0.3	0.3	40	90
0.4	16	60	0.2	0.5	40	90
0.4	16	80	0.3	0.1	50	55
0.4	16	100	0.1	0.3	60	75
0.4	16	60	0.2	0.5	50	55
0.4	16	80	0.3	0.1	60	75
0.4	16	100	0.1	0.3	40	90
0.8	15	60	0.2	0.1	60	90
0.8	15	80	0.3	0.3	40	55
0.8	15	100	0.1	0.5	50	75
0.8	15	60	0.2	0.3	60	90
0.8	15	80	0.3	0.5	40	55
0.8	15	100	0.1	0.1	50	75
0.8	15	60	0.3	0.3	40	75
0.8	15	80	0.1	0.5	50	90
0.8	15	100	0.2	0.1	60	55
0.8	16	60	0.3	0.3	50	75
0.8	16	80	0.1	0.5	60	90
0.8	16	100	0.2	0.1	40	55
0.8	16	60	0.3	0.5	60	75
0.8	16	80	0.1	0.1	40	90
0.8	16	100	0.2	0.3	50	55
0.8	16	60	0.3	0.1	50	75
0.8	16	80	0.1	0.3	60	90
0.8	16	100	0.2	0.5	40	55

Tablo 4. Regresyon Modeli ve R² Değerleri

Yüzey Pürüzlüğü	F ₁	F ₂	F ₃	R ²
Regresyon modelleri	45	50	105	
Yüzey Pürüzlüğü =	2385	- 56 t _d	- 285 r _a	- 49 v
	15568 f	+ 315 d	+ 30.0 f ₀	+ 14 l _a
		- 0.192 v * v	- 2351 f * f	
		+ 1454 d * d	- 0.002 f ₀ * f ₀	
		- 0.169 l _a * l _a	+ 24 t _d * r _a	
		+ 1.8 t _d * v	- 1385 t _d * f	
		+ 1335 t _d * d	- 9.74 t _d * f ₀	93.85%
		- 2.8 t _d * l _a	+ 5.5 r _a * v	
		- 902 r _a * f	+ 87 r _a * d	
		- 1.77 r _a * f ₀	+ 0.25 r _a * l _a	
		- 31.5 v * f	- 18.8 v * d	
		+ 0.035 v * f ₀	+ 0.022 v * l _a	
		- 3850 f * d	- 0.3 f * f ₀	
		+ 53.3 f * l _a	- 0.0 d * f ₀	
		- 13.7 d * l _a	+ 0.002 f * l _a	

Tablo 4 incelendiğinde, kuvvetlere ait regresyon denklemlerinin tahmin yeteneklerini gösteren R² değerinin %90’den daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu grafiklerdeki noktalar, tahmin değerlerini gösterir. Bu noktaların grafikteki doğrusal çizgiye olan mesafesi ise gözlenen değerlerin beklenen değerlere uyumunu göstermektedir.

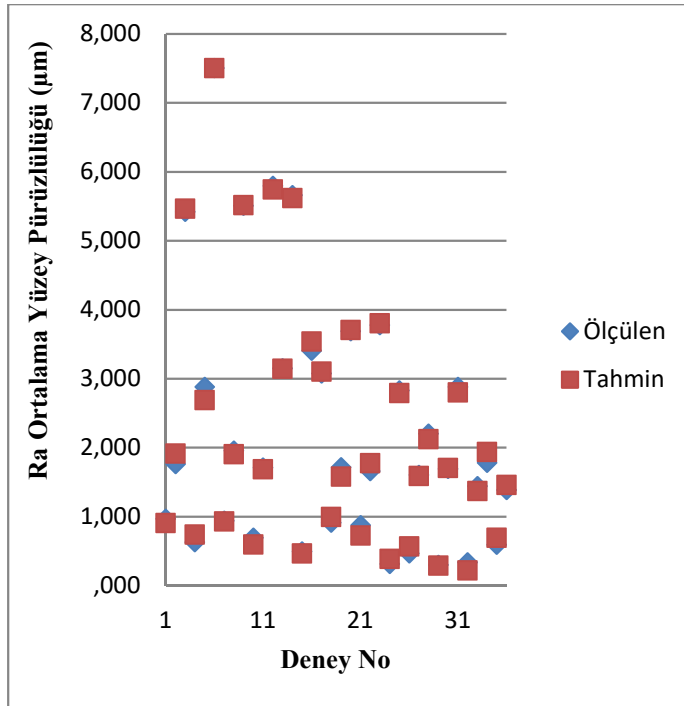
Tornalama işleminde kullanılan bağımsız değişkenler (kesici takım uç radiusu, talaş açısı, kesme hızı, devir başına ilerleme, kesme derinliği, debi, yanalma açısı) ile bağımlı değişken (R_a Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü) arasında tahmini

denklem oluşturma ve bunlar arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için regresyon analizi kullanılmıştır. Talaş kaldırma deneyleri neticesinde oluşan Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ait matematiksel model elde edilirken; kesici takım uç radiusü (r), talaş açısı (α), kesme hızı (v), devir başına ilerleme (f), kesme derinliği (a), debi (d), yanaşma açısı (q) ya bağlı olarak ikinci dereceden regresyon modeli:

$$R_a = k_0 + k_1 * r + k_2 * \alpha + k_3 * v + k_4 * f + k_5 * a + k_6 * d + k_7 * q + k_8 * v^2 + k_9 * f^2 + k_{10} * a^2 + k_{11} * d^2 + k_{12} * q^2 + k_{13} * r * \alpha + k_{14} * r * v + k_{15} * r * f + k_{16} * r * a + k_{17} * r * d + k_{18} * r * q + k_{19} * \alpha * v + k_{20} * \alpha * f + k_{21} * \alpha * a + k_{22} * \alpha * d + k_{23} * \alpha * q + k_{24} * v * f + k_{25} * v * a + k_{26} * v * d + k_{27} * v * q + k_{28} * f * a + k_{29} * f * d + k_{30} * f * q + k_{31} * a * d + k_{32} * a * q + k_{33} * d * q$$

şeklinde ifade edilmiştir. Bu denklemdeki sabit katsayılar Minitab R16 paket programı yardımıyla yanıt yüzey (response surface) metodu kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 6'da ortalama yüzey pürüzlülüğünü modellendiğimizde ise korelasyon katsayısı %93.85 olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin %85 üzerinde çıkması modellerin uygun ve kullanılabilir olduklarını göstermektedir.



Şekil 6. Deneysel ve Teorik R_a Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Verilerinin Karşılaştırılması

3.2. Varyans Analizi (ANOVA)

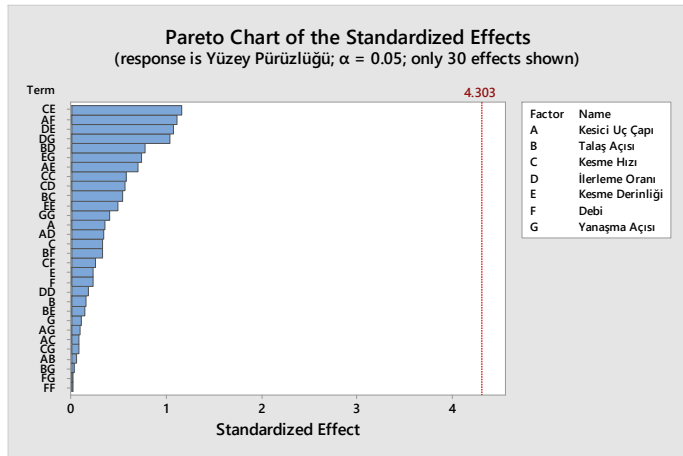
İşleme etki eden faktörlerin performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için istatistiğe dayalı bir karar aracı olan varyans analizleri (The Analysis of variance, ANOVA) yapılmıştır. Varyans analizi, bağımsız değişken ya da değişkenlerin farklı değerlerinin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Tablo 5'de, yüzey pürüzlülüğü için ANOVA analizlerinin sonuçları verilmiştir. ANOVA analizinde bir parametre veya etkileşimin tepki üzerindeki etkisi P (önem/olasılık) değerine bakılarak anlaşılmaktadır. %95 güven aralığında yani $P < 0.05$ olduğunda parametrenin tepki üzerinde etkili olduğu sonucu elde edilir. Buna göre hiçbir parametre tek başına bir önem arz etmemektedir. Bunu yerine parametreler arasındaki ikili etkileşimlerin daha belirleyici olduğu görülmektedir.

Tablo 5. ANOVA Sonuçları R_a Yüzey Pürüzlülüğü

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	33	401017	12152.0	0.93	0.649
Linear	7	10298	1471.2	0.11	0.988
Kesici Uç Çapı	1	1621	1620.5	0.12	0.759
Talaş Açısı	1	296	296.4	0.02	0.894
Kesme Hızı	1	1394	1394.3	0.11	0.776
İlerleme Oranı	1	1	1.5	0.00	0.992
Kesme Derinliği	1	716	716.0	0.05	0.837
Debi	1	711	710.8	0.05	0.838
Yanaşma Açısı	1	152	152.1	0.01	0.924
Square	5	21379	4275.8	0.33	0.865
Kesme	1	4366	4365.9	0.33	0.623
Hızı*Kesme Hızı					
İlerleme Oranı*İlerleme Oranı	1	420	419.7	0.03	0.875
Kesme Derinliği*Kesme Derinliği	1	3090	3090.3	0.24	0.676
Debi*Debi	1	2	2.1	0.00	0.991
Yanaşma Açısı*Yanaşma Açısı	1	2119	2118.7	0.16	0.727
2-Way Interaction	21	231998	11047.5	0.84	0.676
Kesici Uç Çapı*Yanaşma Açısı	1	42	42.0	0.00	0.960
Kesici Uç Çapı*Kesme Hızı	1	84	83.6	0.01	0.944
Kesici Uç Çapı*İlerleme Oranı	1	1521	1520.6	0.12	0.766

Çapı*Kesme Derinliği	Uç	1	6353	6352.9	0.48	0.559
Çapı*Debi	Uç	1	15985	15984.6	1.22	0.385
Çapı*Yanaşma Açısı	Uç	1	110	110.0	0.01	0.935
Açısı*Kesme Hızı	Talaş	1	3881	3881.2	0.30	0.641
Açısı*İlerleme Oranı	Talaş	1	7771	7770.9	0.59	0.522
Açısı*Kesme Derinliği	Talaş	1	272	271.7	0.02	0.899
Talaş Açısı*Debi	1	1383	1383.5	0.11	0.776	
Talaş Açısı*Yanaşma Açısı	1	11	10.9	0.00	0.980	
Kesme Hızı*İlerleme Oranı	1	4244	4244.1	0.32	0.627	
Kesme Hızı*Kesme Derinliği	1	17761	17761.2	1.35	0.365	
Kesme Hızı*Debi	1	876	876.5	0.07	0.820	
Kesme Hızı*Yanaşma Açısı	1	81	81.1	0.01	0.945	
Hata		2	26273	13136.5		
Toplam		35	427290			

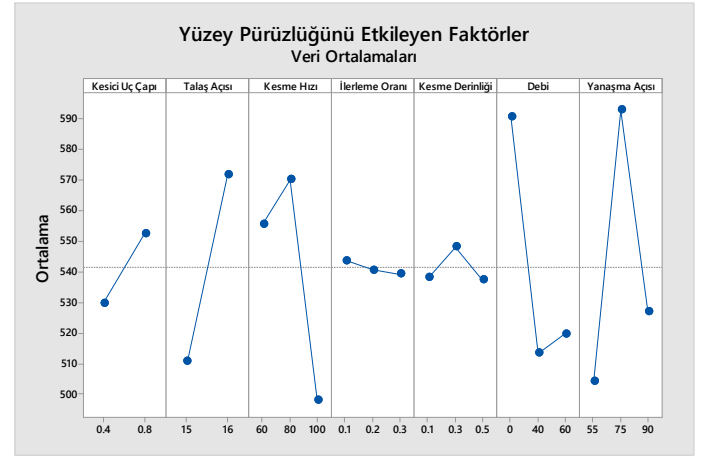
Şekil 7'de ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini etkileyen parametre çiftleri için oluşturulmuş olan pareto grafiği yer almaktadır. Bu grafiğe bakıldığında en önemli etken çiftinin Kesme hızı ve kesme derinliği olduğu görülmektedir. Bunun ardından ise Kesici uç çapı ile kesme derinliği faktörlerinin bileşimi önemli rol oynamaktadır. Tek başına faktörlerin etkisi ikili faktör seviyelerine göre daha düşük değerlerde kalmaktadır.



Şekil 7. Ra Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Parametreler İçin Pareto Grafiği

Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin almış oldukları değerlere göre etki dereceleri ise Şekil 8'de detaylı olarak verilmiştir. Buna göre

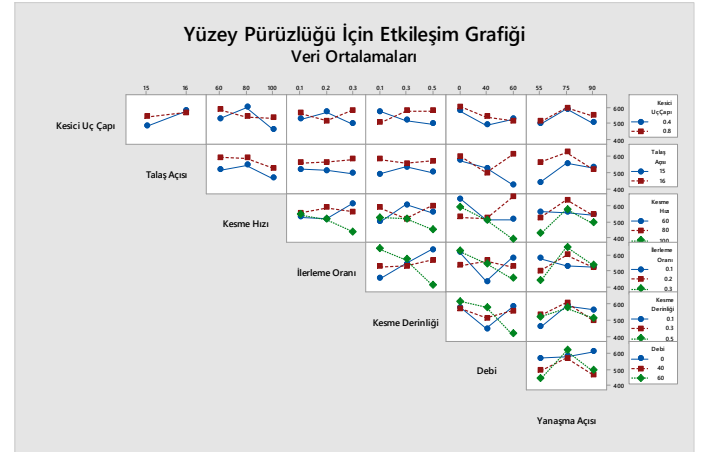
parametre aralığına göre yüzey pürüzlülüğü oranı en yüksek olan faktör yanaşma açısı, kesme hızı ve debi olarak görülmektedir.



Şekil 8. Ra Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Parametrelerin Değerleri ve Etkinlik Dereceleri

Kesici uç çapı, talaş açısı ve ilerleme oranı ile yüzey pürüzlülüğü ortalama değeri arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Kesme açısı, debi, yanaşma açısı faktörleri içinse bir uygun değer hesaplaması gerekmektedir.

Şekil 9'da ise veri ortalamalarına göre faktörlerin birbirleri ile olan etkileşimleri hesaplanarak grafiksel olarak ifade edilmiştir.



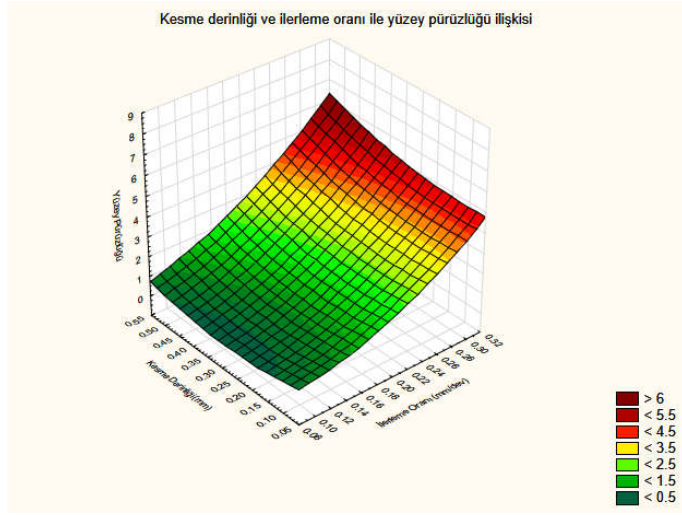
Şekil 9. Ra Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Parametrelerin Etkileşim Grafiği

3.3. Yüzey Grafikleri ve Analizi

3B yüzey grafikleri, elde edilen regresyon denklemlerine bağlı olarak çizdirilir. Bu grafikler sayesinde deney parametrelerinin tepkiler üzerindeki etkisi ve en uygun parametre kombinasyonları anlaşılmaktadır. Bu grafiklerde hedeflenen en uygun noktalar, grafiklerdeki parametre etkileşimine göre yüzey pürüzlülüğünün

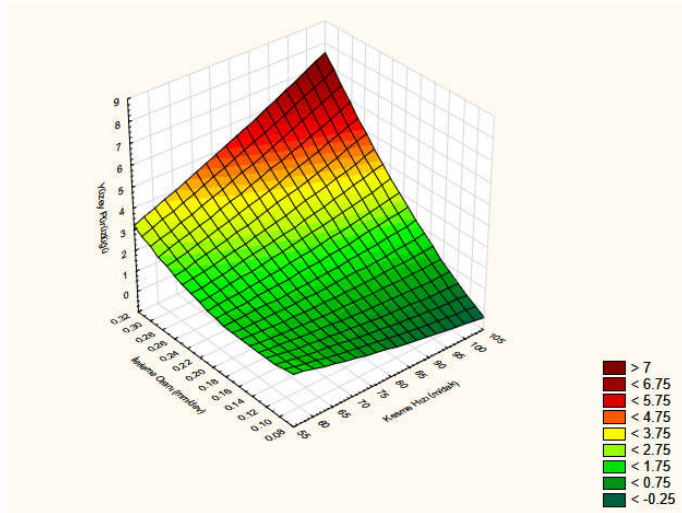
en düşük seviyede olduğu bölgelerin belirlenmesi ile elde edilecektir.

Şekil 10'da verilen grafik kesme derinliği ve ilerleme oranının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi verilmiştir. Buna göre ilerleme oranı değeri arttıkça yüzey pürüzlüğünün de buna bağlı olarak yükseldiği görülmektedir. Kesme derinliğinin artması da yüzey pürüzlüğünü artırmış ancak bu artış ilerleme hızı parametresi kadar etkili olmamıştır.



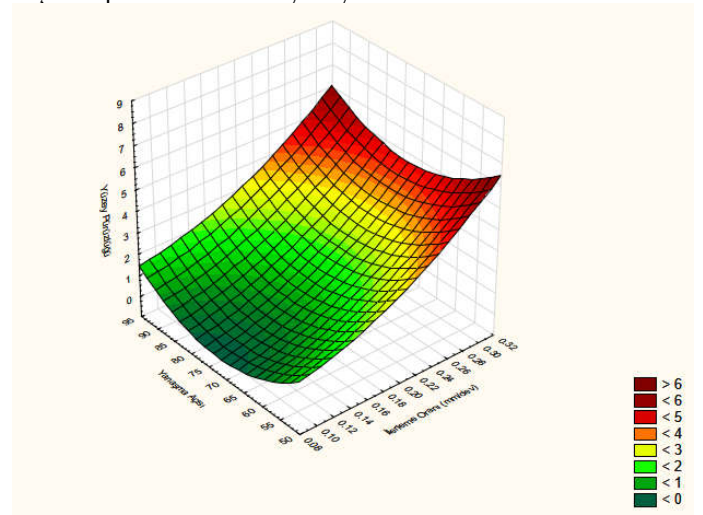
Şekil 10. Kesme Derinliği ve İlerleme Oranının Yüzey Pürüzlüğüne Etki Grafiği

Şekil 11'de kesme hızı ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiş ve iki parametrenin de yüzey pürüzlüğünün artması noktasında etkili olduğu görülmüştür.



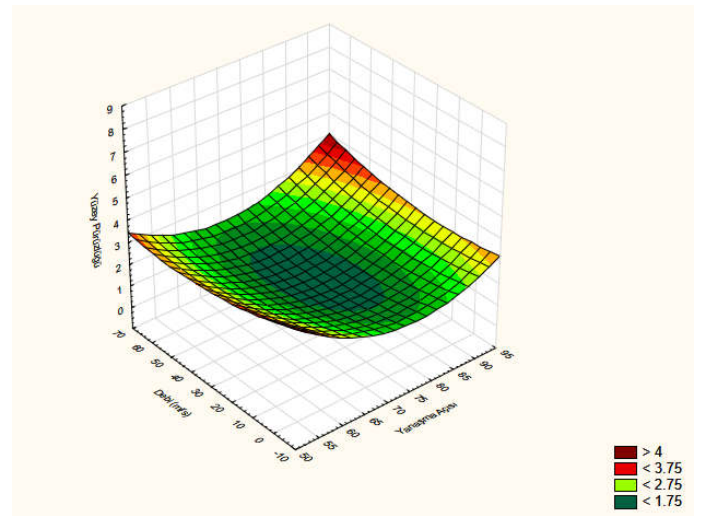
Şekil 11. Kesme Hızı ve İlerleme Oranının Yüzey Pürüzlüğüne Etki Grafiği

Şekil 12'de yanaşma açısı ile ilerleme oranı faktörleri yüzey pürüzlülüğü açısından incelenmiş ve ilerleme oranını etkili bir parametre olduğu tespit edilmiştir.



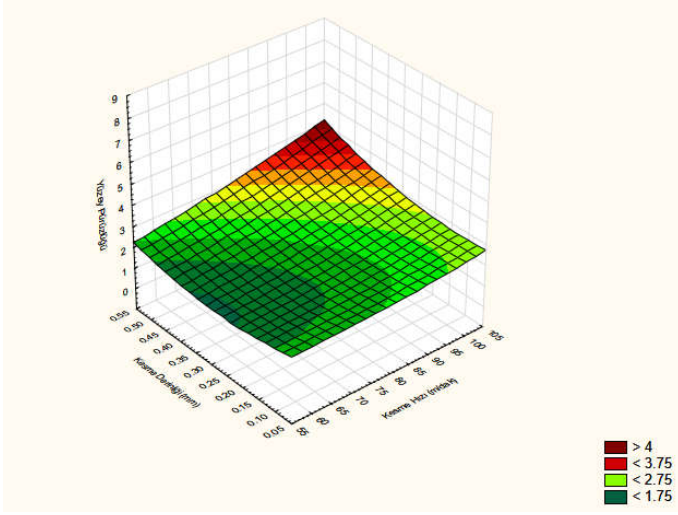
Şekil 12. Yanaşma Açısı ve İlerleme Oranının Yüzey Pürüzlüğüne Etki Grafiği

Şekil 13'de yanaşma açısı ile debi faktörleri yüzey pürüzlülüğü açısından incelenmiş ve her iki parametrenin de orta seviyelerinin yüzey pürüzlüğü değerinin endüşük olduğu noktalar olduğu tespit edilmiştir.



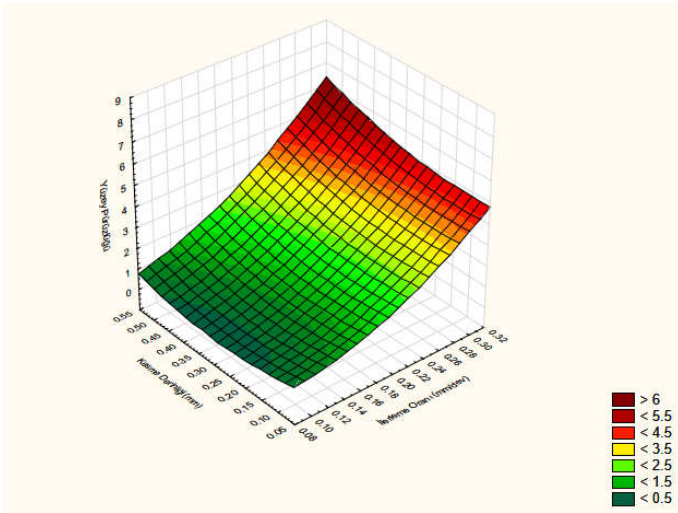
Şekil 13. Debi ve Yanaşma Açısının Yüzey Pürüzlüğüne Etki Grafiği

Şekil 14'de kesme hızı ve kesme derinliği ilişkisi incelendiğinde faktörlerin birbirlerini etkilediği yüksek değerlerin daha fazla yüzey pürüzlüğüne sebep olduğu görülmektedir.



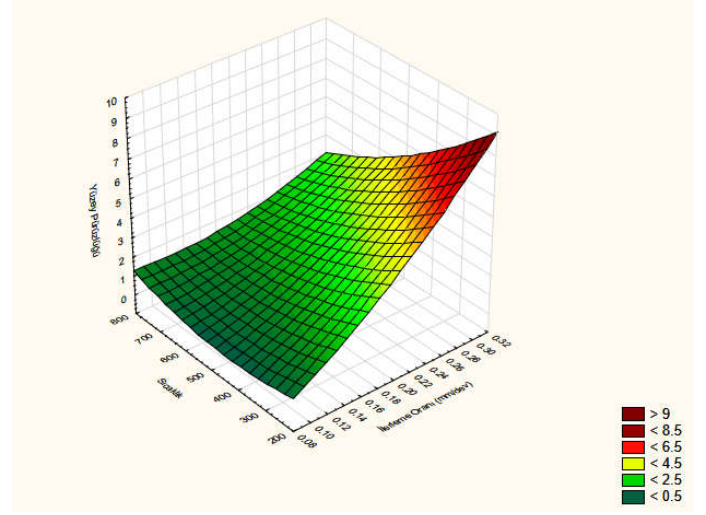
Şekil 14. Kesme Hızı ve Kesme Derinliğinin Yüzey Pürüzlüğüne Etki Grafiği

Kesme derinliği ve ilerleme oranı faktörlerinin etkisi Şekil 15’de incelenmiş ve ilerleme oranını belirgin şekilde yüzey pürüzlüğünü artırdığı görülmüştür.

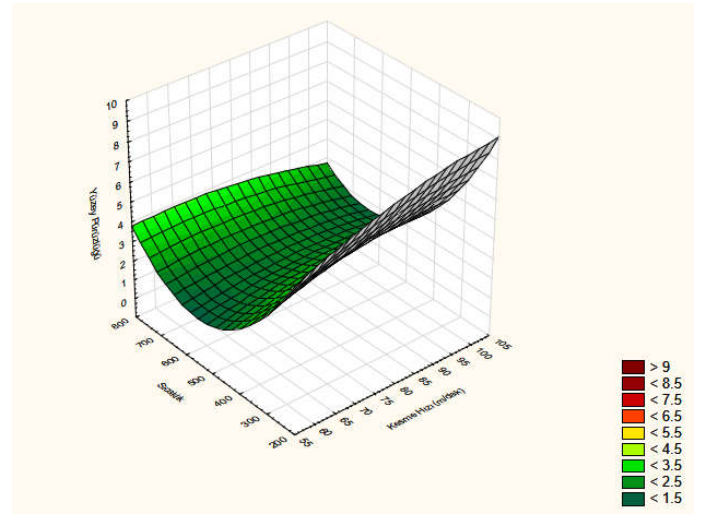


Şekil 15. Kesme Derinliği ve İlerleme Oranının Yüzey Pürüzlüğüne Etki Grafiği

Şekil 16’da sıcaklık ve ilerleme oranı ilişki grafiği verilmişken Şekil 17’de de sıcaklık ve kesme hızının yüzey pürüzlüğüne etkisi gösterilmiştir. Buna göre sıcaklık ile yüzey pürüzlüğü arasında doğrusal olmayan bir ilişki söz konusudur.

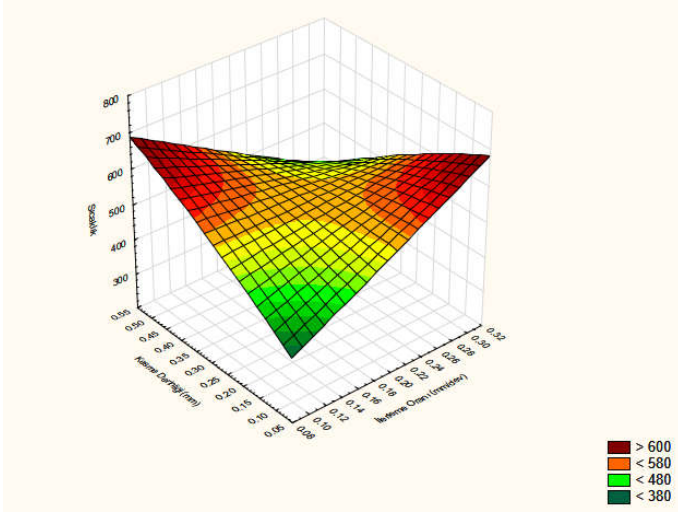


Şekil 16. Sıcaklık ve İlerleme Oranının Yüzey Pürüzlüğüne Etki Grafiği



Şekil 17. Sıcaklık ve Kesme Hızının Yüzey Pürüzlüğüne Etki Grafiği

Şekil 18’de sıcaklık, kesme derinliği ve ilerleme oranı etkileşimi 3 boyutlu grafik şeklinde verilmiştir. Grafikte ilerleme oranı ve kesme derinliği arttıkça sıcaklık değerinin doğrusal olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 18. Sıcaklık, Kesme Derinliği ve İlerleme Oranı Etkileşim Grafiği

3.4. Parametre Optimizasyonu

Bu çalışmanın son aşamasında parametre optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon için belirlenen kriterler dikkate alınarak oluşturulan optimizasyon tablosu Tablo 6'da sunulmuştur. Hedef olarak, yüzey pürüzlüğünün minimize edilmesi belirlenmiştir.

Tablo 6. RSM metoduna göre parametre optimizasyonu

Kesici uç Çapı	Talaş Açısı	Kesme Hızı	İlerleme Oranı	Kesme Derinliği	Debi	Yanaşma Açısı
0.4	16	100	0.2	0.3	60	75

Tabloda da görüldüğü gibi, en düşük yüzey pürüzlüğü değerinin elde edilmesi için için en ideal parametre kombinasyonu $t_d=0.4$ mm, $r_\alpha=16^\circ$, $v=100$ m/min, $f=0.2$ mm/dev, $d=0.3$ mm, $f_0=60$ ml/h ve $l_\alpha=75^\circ$ olarak bulunmuştur.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada ASTM B574 (Hastelloy C-22) malzemesi üzerinde tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin minimizasyonu için gerekli olan parametre kombinasyonunun tespiti amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çalışmanın dikkat çeken sonuçları aşağıda listelenmiştir;

Uygulanan RSM yöntemiyle etkili sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen regresyon denklemlerinin geçerliliği R^2 oranlarına bağlı olarak ($R_a=0.93.85$) son derece yüksek bulunmuştur. Sonuçlar aynı zamanda tahmin grafikleri ile de sunulmuştur.

Sonuçlar incelendiğinde regresyon, ANOVA ve yüzey grafikleri sonuçlarının birbirleri ile tutarlı olduğu görülmektedir. Benzer çalışmalar için de bu yöntemin güvenle kullanılabileceği öngörülmektedir.

Hastelloy C-22 malzemesinin işlenmesi ile çok düşük ortalama pürüzlülük değerlerine ulaşıldığı ve daha sonra herhangi bir işleme gerek kalmayacak şekilde yüzey kalitesi elde edildiği belirlenmiştir.

REFERENCES

- [1] N. Z. Yussefian, A. Hosseini, K. Hosseinkhani And H. A. Kishawy, "Design For Manufacturing Of Variable Microgeometry Cutting Tools," *Journal Manufacturing Science and Engineering*, vol. 1, pp. 15-17, 2017.
- [2] K. A. Abou-El-Hossein, K. Kadrigama, M. Hamdi, And K. Y. Benyounis, "Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol.182, pp. 241-247, 2007.
- [3] H. Zhao, J.G. Li, Y.X. Yao, and C.Q. Liu, "Cutting Parameters Optimization for Constant Cutting Force in Milling," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 10, pp. 483-487, 2008.
- [4] Z.J. Wang, F.H. Sun, and G.W. Zhao, "Optimization of Cutting Force by Exponential Model in Milling Heat-Resistant Steel F91," *Advanced Materials Research*, vol. 397, pp. 53-54, 2008.
- [5] H. Çalışkan, C. Kurbanoglu, P. Panjan, ve D. Kramar, "Investigation of the performance of carbide cutting tools with hard coatings in hard milling based on the response surface methodology," *International Journal*

Advanced Manufacturing Technology, vol. 12,
pp. 170-174, 2012.

- [6] A. Aggarwal, H. Singh, P. Kumar, and M. Singh, "Optimizing power consumption for CNC turned parts using response surface methodology and Taguchi's technique-A comparative analysis," *Journal Materials Processing Technology*, vol. 200, pp. 373-384, 2008.
- [7] K. Bouacha, M. A. Yallese, T. Mabrouki, and J. F. Rigal, "Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 28, pp. 349-361, 2010.
- [8] A. Devillez, F. Schneider, S. Dominiak, D. Dudzinski, D. Larrouquere, "Cutting forces and wear in dry machining of Inconel 718 with coated carbide tools," *Wear*, vol. 262, pp. 931-942, 2007.
- [9] R.R. Malagi and B.C. Rajesh, "Factors Influencing Cutting Forces in Turning and Development of Software to Estimate Cutting Forces in Turning," *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, vol. 2, pp. 37-43, 2012.
- [10] A. Gök, "A New Approach to Minimization of the Surface Roughness and Cutting Force via Fuzzy TOPSIS, Multi-Objective Grey Design and RSA," *Measurement*, vol. 70, pp. 100-109, 2015.
- [11] W. Betteridge, J. Heslop, "The Nimonic Alloys, and Other Nickel-Base High Temperature Alloys, Books, pp. 925-933. New York. 29, 1974.
- [12] İ. Asiltürk, S. Neşeli, and M. A. İnce, "Optimisation of parameters affecting surface roughness of Co28Cr6Mo medical material during CNC lathe machining by using the Taguchi and RSM methods," *Measurement*, vol.78, pp. 120-128, 2016.
- [13] G. Taguchi, E. Elsayed, T. Hsiang, "Quality Engineering in Production Systems", *McGraw-Hill*, Books, pp. 235-241. New York, 1989.