

# CNC TORNALAMA İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME KUVVETLERİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELENMESİ

<sup>1</sup>Barış ÖZLÜ <sup>2</sup>Halil DEMİR <sup>3</sup>Engin NAS

<sup>1</sup>Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 68100, Aksaray, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Böl., 78050, Karabük, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Cumayeri Meslek Yüksekokulu, 81700, Düzce, TÜRKİYE

**Özet-** Bu çalışmada; 30MnVS6 mikro alaşımlı çeliğinin tornalanmasında, kesme hızı (V) ve ilerleme miktarının (f) yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) ve kesme kuvvetleri ( $F_c$ ) üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri değerlerinin, kesme parametreleri ile olan ilişkilerinin matematiksel olarak modellenmesi için çeşitli eğri uydurma algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan bu eğri uydurma algoritmalarından elde edilen matematiksel modeller, korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) kullanılarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** İşlenebilirlik, Yüzey pürüzlülüğü, Kesme kuvveti

## THE MATHEMATICAL MODELING OF PARAMETERS EFFECTING SURFACE ROUGHNESS AND CUTTING FORCE DURING CNC TURNING PROCESS

**Abstract-** This study, reveals the effects of cutting speed (V) and the amount of feed rate (f) on surface roughness ( $R_a$ ) and cutting force ( $F_c$ ) during the turning of microalloyed 30MnVS6 steel. Various curve fitting algorithms were used for the mathematical modeling of relationship of obtained values of surface roughness and cutting force with cutting these parameters. The mathematical models obtained through the curve fitting algorithms were assessed by using coefficients of correlation ( $R^2$ ).

**Key Words-** Machinability, Surface roughness, Cutting force

\* [barisozlu@aksaray.edu.tr](mailto:barisozlu@aksaray.edu.tr)

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde metallerin işlenebilirliği sürecinde ürünün aynı kalitede üretilebilmesi için çeşitli deneyler gerçekleştirilmektedir. Metallerin işlenebilirliğinde kullanılan kesme parametreleri, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından büyük önem taşımaktadır. İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kriterlerden birisidir [1,2]. Malzemelerin işlenmesi anında kullanılan her bir parametre yüzey hassasiyetini etkilemektedir [3]. Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir [4]. Kesici takımdan veya üretim sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri pürüzlülük olarak tanımlanır. Pürüzlülük çapraz ilerleme izleri ile diğer düzensizlikleri kapsar [5]. Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Parçanın yüzey doğruluğunu kapsayan yüzey kalitesi, talaş kaldırma işleminin belirlenmesini yönlendiren en önemli özelliğidir. Talaş kaldırma işlemlerinde, kesme kuvvetlerine birden çok parametreler etki etmektedir. Kesici takım üzerine etki eden kesme kuvvetleri, talaş kaldırmanın önemli bir safhasını oluşturur. Kesme kuvvetleri; takım tezgâhlarının rijit olması ile birlikte kesme derinliği, talaş açısı, kesme hızı, ilerleme miktarı, iş parçasının malzemesi vb. faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir [6]. Kesme kuvvetlerinin modellenmesi metal kesme teorisinin uğraş alanlarından birisidir. Kesme kuvvetlerini etkileyen birbiriyle ilişkili çok sayıda parametre mevcut olması bu alanda bir model geliştirmesini zorlaştırmaktadır [7].

Matematiksel model bir çalışmanın ifade edilmesinin en etkili yöntemlerinden biridir. Bu yöntem deneysel yolla elde edilen verilere dayanılarak oluşturulmaktadır. Model belirli parametrelere bağlı olup, bu parametreler kullanılarak deneyler sonucu elde edilen verilerden oluşturulur. Eğri uydurma algoritmaları kısıtlı sayıda elde edilen verilerden yola çıkarak en uygun matematik modeli oluşturmakta kullanılır. Modelin oluşumu sonraki deneysel çalışmalarda kolaylık sağlamaktadır. Yani oluşturulan model ile önceden bilinmeyen değerleri hesaplamak mümkündür. Eğri uydurma ile ilgili olarak bilinen birçok algoritma mevcuttur. Bu algoritmaların bir kısmının (Fourier gibi) kullanılabilmesi için, değerlendirilecek en az 4 adet verinin bulunması gerekmektedir. Bu nedenle analizlerde kullanılan veri sayıları dikkate alınarak, uygun algoritmaların seçilmesi gerekmektedir [8]. Başka bir değişkene bağlı olmadan değerler alabilen değişkenlere bağımsız, başka bir değişkene veya değişkenlere bağlı olarak değerler alabilen değişkenlere de bağımlı değişken denir [8, 9]. Bir bağımsız (Y) ve bir bağımlı değişkenin (X) bulunduğu rastgele dağılan değişkenlerde  $R^2$ , 0 ya da 1'e eşit, ya da 0 ile 1 arasında ( $0 \leq R^2 \leq 1$ ) değer almaktadır [8, 10].  $R^2=1$  ise, mükemmel bir çakışma ve  $R^2=0$  ise, kötü bir çakışma (hiçbir veri çakışmamıştır) vardır. 0 ile 1 arasındaki  $R^2$  değerleri için de; 1'e ne kadar yakınsa o kadar iyi, 0'a ne kadar yakınsa o kadar kötü bir çakışma vardır [8, 11]. Literatürde metallerin işlenebilirliği, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin ölçülmesi üzerine çeşitli matematiksel modeller geliştirilerek çalışmalar yapılmıştır.

Göloğlu ve Arslan yaptığı deneysel çalışmada iş mili devri, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesici yanal ilerlemesi ile spiral takım yolu gibi farklı kesme parametreleri kullanarak cep imalatı sonrası elde edilebilecek yüzey pürüzlülüğü değerlerini Genetik Programlama (GP) ile modellemişlerdir. Farklı genetik işlemci değerleri ile değişik deneyler yapmışlar ve geliştirdikleri modeller ile elde ettikleri yüzey pürüzlülük değerinde % 98 oranında başarıya ulaşmışlardır. Elde edilen sonuçlar, GP ile yapılan deneysel çalışmaların imalata önemli katkı sağlayacağını göstermiştir. Ay ve Turhan yaptığı deneysel çalışmada torna işleminde kullanılan alüminyum malzemenin yüzey kalitesini analiz etmişlerdir. Bağımlı değişkenler üzerinde etkili olabilecek iş parçası boyu, iş parçası çapı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı gibi değişkenler seçilmiştir. Tornalamada önemli bir işleme parametresi olan kesme hızı bu çalışmada sabit tutulmuştur. Literatürdeki çalışmaların incelenmesi sonucu kesme hızının belirlenen bağımsız değişkene etkisinin göz ardı edilebileceğine karar verilmiştir Optimal sonuçlara ulaşılarak zaman ve maliyetten kazanımların olacağı düşünülerek istatistiksel yöntem

olarak Taguchi metodu kullanılmıştır. Bu metot ile deneylere harcanacak zaman ve maliyetten tasarruf edilmiş, deney sonuçlarında elde edilen veriler optimize edilerek iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki matematiksel olarak regresyon analiz yöntemiyle modellenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda da Taguchi yönteminin uygulandığı bu çalışmada kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim gibi işleme yöntemlerinde minimize edilip, performans artırılmış ve elde edilen ürün kalitesi iyileştirilmiştir [13]. Yücel ve Günay yaptığı çalışmada, yüksek alaşımlı beyaz dökme demirin (Ni-Hard) tornalanmasında oluşan esas kesme kuvvetinin modellenmesini amaçlamışlardır. Öncelikle, Taguchi L<sub>18</sub> deney tasarımına göre CNC torna tezgahında yapılan kesme deneyleri sonucunda kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Deneyler, seramik ve kübik boron nitrür (CBN) olmak üzere iki farklı kesici takım ile kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin üç farklı seviyesi seçilerek gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar kullanılarak yapılan varyans analizi ile değişkenlerin Fc üzerindeki etki seviyeleri belirlenmiştir. Son olarak, çoklu regresyon analizi uygulanarak esas kesme kuvvetinin istatistiksel modeli geliştirilmiştir [14]. Özel ve Karpat yaptığı deneysel çalışmada, AISI H-13 çeliğinin CBN takımlarla tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yanak aşınması üzerine etkisini regresyon analizi ile incelemişlerdir. İlerleme miktarının azalmasıyla en iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiğini ve kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının arttığını tespit etmişlerdir [15]. Mavi ve Korkut yaptığı deneysel çalışmada farklı mikro yapıya sahip vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğini deneysel olarak araştırmışlardır. Kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi çoklu regresyon analizi ile modellenmiştir. Deneylerde dört farklı kesme hızı (150, 170, 190 ve 210 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0.2, 0.25 ve 0.30 mm/dev) kullanılmıştır. Kesme derinliği ise tüm deneylerde sabit 2.5 mm alınmıştır. Deneyler sonucunda kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin değerlendirilebilmesi için SPSS 15.0 programında çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Ayrıca mikroyapı (perlitik, ferritik, perlitik+ferritik), kesme hızı ve ilerleme miktarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin belirlenmesinde Varyans Analizi (ANOVA) tablosu kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin belirlenerek matematiksel model geliştirilmiştir. Çoklu regresyon analizi ve varyans analizi ile geliştirilen her iki modelin de % 95 güven aralığında ve kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir [16]. Özler v.d. yaptığı çalışmada; kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve ısı işlem gibi belirlenen farklı kesme şartları altında östenitik manganlı çeliği işleyip, yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmüşlerdir. Elde ettikleri verileri kullanarak regresyon analizi ile yüzey pürüzlülük değerini matematiksel olarak ifade etmişlerdir. Çalışma sonunda analiz ile elde edilen değerlerin deneysel değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir [17]. Özkul ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada, sıcak iş takım çeliklerinden Dievar çeliği üzerinde çeşitli matkaplar ile delik delme esnasında meydana gelen eksenel kuvvetler, kesme momentleri, yüzey pürüzlülükleri, ölçü tamlığı ve dairesellikten sapma değerlerini araştırmışlardır. Deneyler dik işleme merkezinde soğutma sıvısı ile Ø16 mm çaplarında kaplamasız karbür matkap ve kendinden raybalı TiAlN kaplamalı matkap kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde ilerleme miktarını 0,16 mm/dev, kesme hızını ise 36, 40, 44, 48 m/dak olarak kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar doğrusal regresyon metodu ile modellenmiş ve polinom regresyon eğrisi eşitliği anlamlılık değerleri mukayese edilmiştir. Aynı zamanda varyans analizi yapılarak kesme hızı ve matkap tipinin eksenel ilerleme kuvveti, momenti, yüzey pürüzlülüğü ölçü tamlığı ve dairesellikten sapma değeri sonuçları üzerine etkileri incelenmiştir [18]. Asiltürk ve Çunkaş'ın yaptığı çalışmada; devir sayısı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği gibi farklı kesme parametreleri kullanarak tornalama süresince yüzey pürüzlülüğü değerlerini ölçmüşlerdir. Deney tasarımı için, deneysel verilerin güvenilirliği ve güven sınırını artırmak için yapay sinir ağları ve çoklu regresyon analizi kullanmışlardır. Bu analizle AISI 1040 çeliğinin yüzey pürüzlülük değerleri için model oluşturulmuştur. Analizler sonucunda, yapay sinir ağı modeli çoklu regresyon analiziyle mukayese edildiğinde, daha yüksek hassasiyette yüzey pürüzlülüğünü tahmin ettiği görülmüştür [19]. Aggarwal ve arkadaşları yaptığı deneysel çalışmada sıvı nitrojen kullanarak, AISI P-20 takım çeliğinin

tornalanmasında kesme kuvveti, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve güç tüketimini optimize etmişlerdir. Deneyler için tepki yüzey yöntemi (RSM) kullanmışlardır [20]. Meral ve arkadaşları yaptıkları çalışmada deneyler sonucunda elde edikleri ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerinin, matkap türü (kaplamalı-kaplamasız), matkap çapı, ilerleme miktarı ve kesme hızı gibi işleme parametrelerine bağlı olarak, lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve üstel regresyon metotları ile modellenmesi yapılmıştır. Deneylerde, AISI 1050 malzemenin delinmesinde 6, 8 ve 10 mm çaplarında kaplamasız ve TiAlN kaplı HSS matkaplar kullanılmıştır. Deneyler, üç farklı kesme hızı (20, 30, 40 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0.05, 0.1, 0.15 mm/dev) değerinde kuru delme şartlarında CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. İlerleme miktarı, kesme hızı, matkap çapı ve matkap türünün yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme kuvvetleri üzerindeki etkisini belirlemek için, ANOVA kullanılmıştır. İkinci dereceden regresyon modelinden elde edilen sonuçlara göre, ilerleme kuvvetinin kaplamalı matkaplara göre kaplamasız matkaplarda daha fazla olduğu, ayrıca artan ilerleme miktarı ve matkap çapı ile beraber daha da arttığı gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü modelinden elde edilen sonuçlara göre, kaplamalı matkapların daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme miktarı ve matkap çapı artışıyla doğru orantılı olarak artmış ve kesme kuvveti artışı ile ters orantılı bir şekilde azalmıştır [21]. Özel ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise; seramik wiper takma uçlar kullanarak AISI D2 takım çeliğinin tornalanmasında takım yanak aşınması ve yüzey morfolojisi incelenmiştir. Yanak aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün tahmini için çoklu regresyon modelleri ve yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda; matematiksel modellerden elde edilen veriler ile deneysel veriler kıyaslandığında, takım aşınması ve yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için oluşturulan modellerin uygun olduğu görülmüştür [22]. Bouacha ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; 64 HRC sertliğinde AISI 52100 çeliğini CBN takım ile tortalayarak kesme hızı ve iş parçası sertliğinin değişimine karşı takım aşınması ve kesme kuvvetlerini incelemişlerdir. ANOVA analizi ile kesme parametrelerin birbiri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden önemli parametrelerin ilerleme miktarı ve kesme hızının olduğunu tespit etmişlerdir [23].

Bu çalışmada; CNC torna tezgâhında 30MnVS6 mikro alaşımlı çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde kesme hızı, ilerleme miktarı ve sabit kesme derinliği kullanılmıştır. Her bir deney için elde edilen veriler dikkate alınarak uygun olan eğri uydurma algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan bu algoritmalar ile deneysel olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ve kesme kuvvetleri için farklı matematiksel modeller oluşturulmuştur. Modeller oluşturulurken veri sayıları elde edilen matematiksel modellerin korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) değerlendirilerek her bir deneysel uygulama için en uygun matematiksel modeller seçilmiştir. Oluşturulan ilişki tablolarında  $R^2$  ile beraber hata kareler toplamına (SSE) ve artık kareler toplamına da (RMSE) yer verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada dört farklı deney gerçekleştirilmiştir. Her deney sonucunda ki veriler kullanılarak elde edilen matematiksel modeller, bir bağımsız değişken için ( $R_a$  ve  $F_c$ ), birer adet bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Analizler sonucunda bazı matematiksel modeller için,  $R^2$  değerleri 1 olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla bu deneylerde; kullanılan eğri algoritmaları ile veriler tam olarak çakışmıştır. Bu çakışma mükemmel çakışma olarak adlandırılmaktadır [8]. Analizlerin yapılmasında ve eğri uydurma algoritmalarının elde edilmesinde ise, MATLAB sayısal analiz programı kullanılmıştır.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

Deneysel çalışmalar için Ø50 x 100 mm boyutlarındaki yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler (HSLA) olarak ta adlandırılan 30MnVS6 mikro alaşımlı çelik kullanılmıştır. İş parçasının kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** 30MnVS6 mikro alaşımlı çeliğin kimyasal bileşimi (The chemical composition of microalloyed steel)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Cu	W	Al
0,31	0,49	1,27	0,018	0,037	0,22	0,006	0,129	0,091	0,17	0,02	0,02

Deney numunesi 900±5 °C sıcaklıkta ısıl işlem fırınında bir saat östenitleme ısıl işlemi uygulandıktan sonra hava ortamında soğutulmuştur.

İşlenebilirlik deneyleri FANUC kontrol ünitesine sahip olan "Johnford TC-35" torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. CNC torna tezgâhının gücü 10 KW olup, tezgah iş mili değişken kademesiz hıza sahip ve 4000 dev/dak' ya kadar çıkabilmektedir. Kesici takım olarak Kennametal firmasından temin edilen KC9110 kalitedeki kobaltça zenginleştirilmiş K-MTCVD-TiCN kaplanmış sementit karbür (SK) takımlar kullanmıştır. Kesiciler ISO'ya göre CNMG 120404MP takım geometrisindedir. Kesici uçlar, rijit olarak PCNB R 2525M12 ISO kodlu takım tutucu ile bağlanmıştır. Deneyler 90, 120, 150 ve 180 m/dak kesme hızları 0.1, 0.15 ve 0.20 mm/dev ilerleme miktarı ve 1 mm sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde işleme boyu 25 mm olarak sabit tutulmuş ve deneyler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri "Mahr" marka Perthometer M1 tipi yüzey pürüzlülük ölçme cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler iş parçası eksenine paralel olacak şekilde ve kendi eksenine etrafında 120° döndürülerek yüzeyin üç farklı noktasından alınmıştır. Ölçümlerde Ra değerleri esas alınmış ve ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama Ra değerleri hesaplanmıştır. Deneysel çalışma dört farklı deney gurubunda gerçekleştirilmiştir. Deney gurupları ve kullanılan parametreler Tablo 2' de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Deneylerde kullanılan parametreler (Parameters used in the experiments)

Deney No	Kesme hızı (V- m/dak)	İlerleme miktarı (f - mm/dev)	Kesme derinliği (a - mm)	Kesme kuvvet (Fc)
1	90-120-150-180	0.1	1	-
2		0.1-0.15-0.20		-
3		0.1		Newton
4		0.1-0.15-0.20		Newton

### 3. BULGULAR (FINDINGS)

#### 3.1. Yüzey Pürüzlülüğü ile Kesme Hızının Değerlendirilmesi (Evaluation of Surface Roughness and Cutting Speed)

İşlenebilirlik deneyleri dört farklı kesme hızı (V), sabit kesme derinliği (a), sabit ilerleme miktarı (f) ve soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan parametreler ve deneyler sonucunda elde edilen veriler (Ra) Tablo 3' de, Ra-V arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi ise Tablo 4' de sunulmuştur.

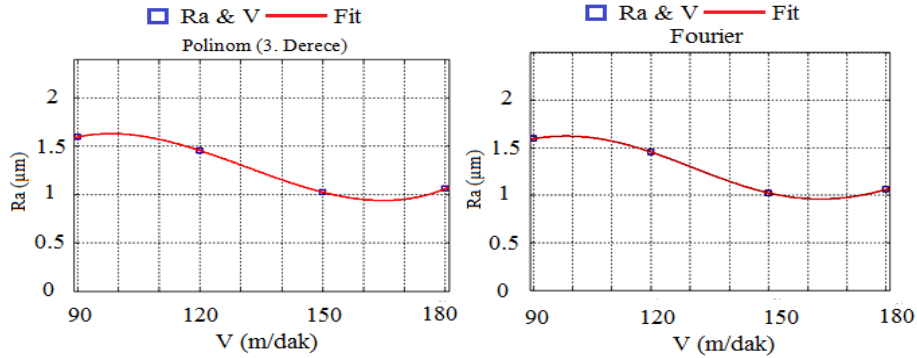
**Tablo 3.** Deneylerde kullanılan parametreler ve Ra değerleri (Parameters and Ra values used in the experiments)

V	90	120	150	180
<b>Ra</b>	<b>1.593</b>	<b>1.453</b>	<b>1.023</b>	<b>1.06</b>
f	0.1			
a	1			

**Tablo 4.** Ra-V arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi (Evaluation of the relationship between Ra-V)

Eğri Uydurma	Denklem	R <sup>2</sup>	SSE	RMSE
Polinom 1.Derece	$Ra = -0.006763 * V + 2.195$	0.84	0.03648	0.1351
Polinom 2. Derece	$Ra = 4.917e-005 * V^2 - 0.02004 * V + 3.036$	0.88	0.02865	0.1693
Polinom 3. Derece	$Ra = 4.673e-006 * V^3 - 0.001843 * V^2 + 0.2268 * V - 7.297$	1	2.981e-028	-
Fourier	$Ra = 1.288 + 0.01348 * \cos(V * 0.04836) - 0.3307 * \sin(V * 0.04836)$	1	3.619e-016	-
Exponential	$Ra = 2.612 * \exp(-0.005393 * V)$	0.86	0.03216	0.1268
Gaussian	$Ra = 5.283e+035 * \exp(-((V+3.029e+004)/3360)^2)$	0.86	0.03218	0.1794
Power	$Ra = 34.06 * V^{-0.6762}$	0.86	0.03239	0.1273
Power 2	$Ra = 11.88 * V^{-0.2505-2.23}$	0.86	0.03184	0.1784
Rational	$Ra = (240.7) / (V + 58.62)$	0.80	0.03156	0.1256
Rational 11	$Ra = (-0.1847 * V + 298.4) / (V + 84.25)$	0.87	0.03147	0.1774
Sinüs Fonksiyonu	$Ra = 15.15 * \sin(0.0004472 * V + 2.996)$	0.84	0.03652	0.1911

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen Ra değerleri ile V arasındaki ilişki için uygulanan eğri uydurma algoritmaları, matematiksel modeller ve istatistiksel değerler Tablo 4' de gösterilmiştir. Uygulanan eğri uydurma algoritmaları değerlendirildiğinde birinci derece Polinom ve Sinüs Fonksiyonu için 0.84, ikinci derece Polinom için 0.88, üçüncü derece ve Fourier için 1, Exponential, Gaussian, Power için 0.86, Rational için 0.80, Rational 11 için 0.87 olmuştur. Deneysel tasarım için en uygun matematiksel modelin üçüncü dereceden Polinom ve Fourier denklemleri % 100 doğruluk oranı ile bu deneysel tasarım için önerilmiştir. Deneysel tasarım için yapılan grafiklerden en uygun eğri uydurma algoritmalarından üçüncü derece Polinom ve Fourier Şekil 1' de gösterilmektedir.



**Şekil 1.** Ra-V arasındaki ilişkinin grafiksel olarak değerlendirilmesi (Evaluation of the relationship between Ra and V as graphical)

### 3.2. Kesme Hızı ve İlerleme Miktarının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi (Evaluation of the Effects on Surface Roughness of Cutting Speed and Feed Rate)

Yapılan deneysel çalışmada sabit kesme derinliği, dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarı kullanılmıştır. Deneyler sonucunda bu parametrelere bağlı olarak Ra değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler Tablo 5'de sunulmuştur.

**Tablo 5.** Deneysel çalışmada kullanılan parametreler ve Ra değerleri (Parameters and Ra values used in the experiments)

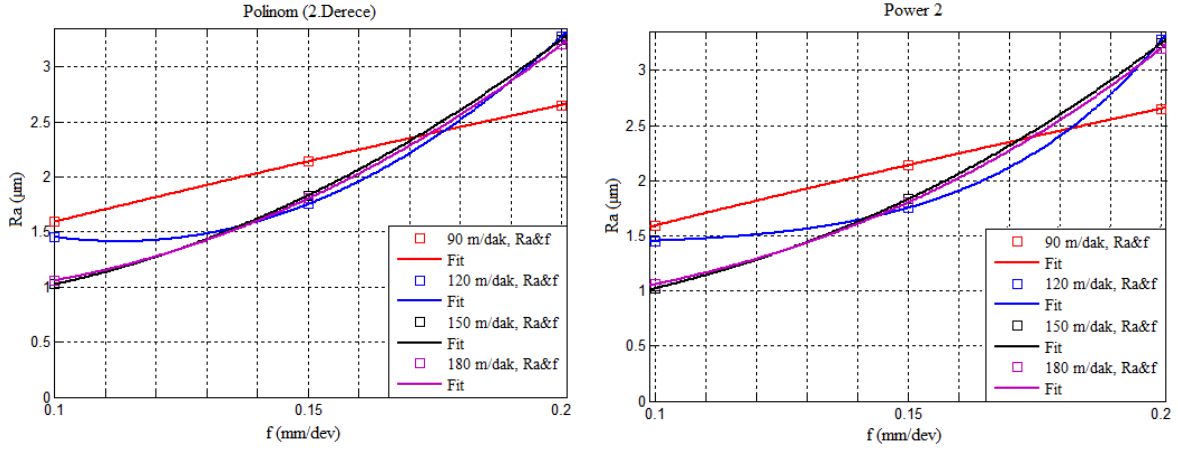
a	f	V				Ra
		90	120	150	180	
1	0.1	<b>1.593</b>	<b>1.453</b>	<b>1.023</b>	<b>1.06</b>	
	0.15	<b>2.14</b>	<b>1.753</b>	<b>1.833</b>	<b>1.803</b>	
	0.20	<b>2.653</b>	<b>3.276</b>	<b>3.25</b>	<b>3.203</b>	

Bu değerlere göre farklı V ve f arasındaki ilişki için uygulanan eğri uydurma algoritmaları, matematiksel modeller ve istatistiksel değerler Tablo 6' da gösterilmiştir. Uygulanan eğri uydurma algoritmaları değerlendirildiğinde farklı V ve f değerleri incelendiğinde belirleme katsayıları birinci derece Polinom için en iyi oranı 90 m/dak V ve bütün f değerlerinde (0.1-0.15 ve 0.20) 0.99, ikinci derece Polinom ve Power 2 için en uygun değeri tüm V ve f değerlerinde 1 olarak belirlenmiştir. Weibull için en iyi oranı 90 ve 150 m/dak V ve bütün f değerlerinde 0.98, Exponential için en iyi oranı 150 m/dak V ve f değerlerinde 1 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu deneysel tasarım için uygulanan eğri uydurma algoritmalarından en uygun matematiksel modelin bütün V ve f değerlerinde %100 doğruluk oranı Power 2 ve ikinci derece Polinom önerilmiştir.

**Tablo 6.** Ra-V-f arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi (Evaluation of the relationship between Ra-V-f)

V	F	Eğri Uydurma	Denklem	R <sup>2</sup>	SSE	RMSE
90	0.1 0.15 0.20	Polinom 1. Derece	Ra = 10.6*f + 0.5387	0.99	0.0001927	0.01388
120			Ra = 18.23*f - 0.5872	0.85	0.283	0.5319
150			Ra = 22.27*f - 1.305	0.97	0.06141	0.2478
180			Ra = 21.43*f - 1.193	0.96	0.07194	0.2682
90	0.1 0.15 0.20	Polinom 2. Derece	Ra = -6.8*f <sup>2</sup> + 12.64*f + 0.397	1	2.465e-031	-
120			Ra = 260.6*f <sup>2</sup> - 59.95*f + 4.842	1	2.884e-029	-
150			Ra = 121.4*f <sup>2</sup> - 14.15*f + 1.224	1	2.662e-030	-
180			Ra = 131.4*f <sup>2</sup> - 17.99*f + 1.545	1	1.43e-030	-
90	0.1 0.15 0.20	Power 2	Ra = 9.096*f <sup>0.8115</sup> +0.1891	1	2.395e-013	-
120			Ra = (7.025e+004)*f <sup>6.554</sup> +1.433	1	1.39e-011	-
150			Ra = 195.1*f <sup>2.673</sup> +0.6089	1	2.987e-019	-
180			Ra = 263.1*f <sup>2.899</sup> +0.7283	1	3.167e-017	-
90	0.1 0.15 0.20	Weibull	Ra = 10.79*2.138*f <sup>(1.138)</sup> *exp(-10.79*f <sup>2.138</sup> )	0.98	0.00792	0.08899
120			Ra = 27.84*2.834*f <sup>(1.834)</sup> *exp(-27.84*f <sup>2.834</sup> )	0.82	0.3364	0.58
150			Ra = 43.92*3.189*f <sup>(2.189)</sup> *exp(-43.92*f <sup>3.189</sup> )	0.98	0.04701	0.2168
180			Ra = 40.3*131*f <sup>(2.131)</sup> *exp(-40*f <sup>3.131</sup> )	0.97	0.0617	0.2484
90	0.1 0.15 0.20	Exponential	Ra = 0.9906*exp(4.965*f)	0.99	0.004533	0.06733
120			Ra = 0.4775*exp(9.498*f)	0.93	0.1288	0.3589
150			Ra = 0.3247*exp(11.52*f)	1	4.935e-005	0.007025
180			Ra = 0.3391*exp(11.22*f)	0.99	0.0008507	0.02917

Deneysel tasarım için yapılan grafiklerinden bütün V ve f değerlerinde en uygun eğri uydurma algoritmalarında ikinci derece Polinom ve Power 2 Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Ra-V-f arasındaki ilişkinin grafiksel olarak değerlendirilmesi (Evaluation of the relationship between Ra, V and f as graphical)

### 3.3.Kesme Hızı ve Kesme Kuvvetleri Arasındaki İlişki (Relationship Between Cutting Speed and Cutting Forces)

Yapılan deneysel çalışma sabit kesme derinliği, sabit f ve dört farklı V değeri alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneyslerde kullanılan parametreler ile elde edilen Fc değerleri Tablo 7' de gösterilmektedir.

**Tablo 7.** Deneyslerde kullanılan parametreler ve Fc değerleri (Parameters and Fc values used in the experiments)

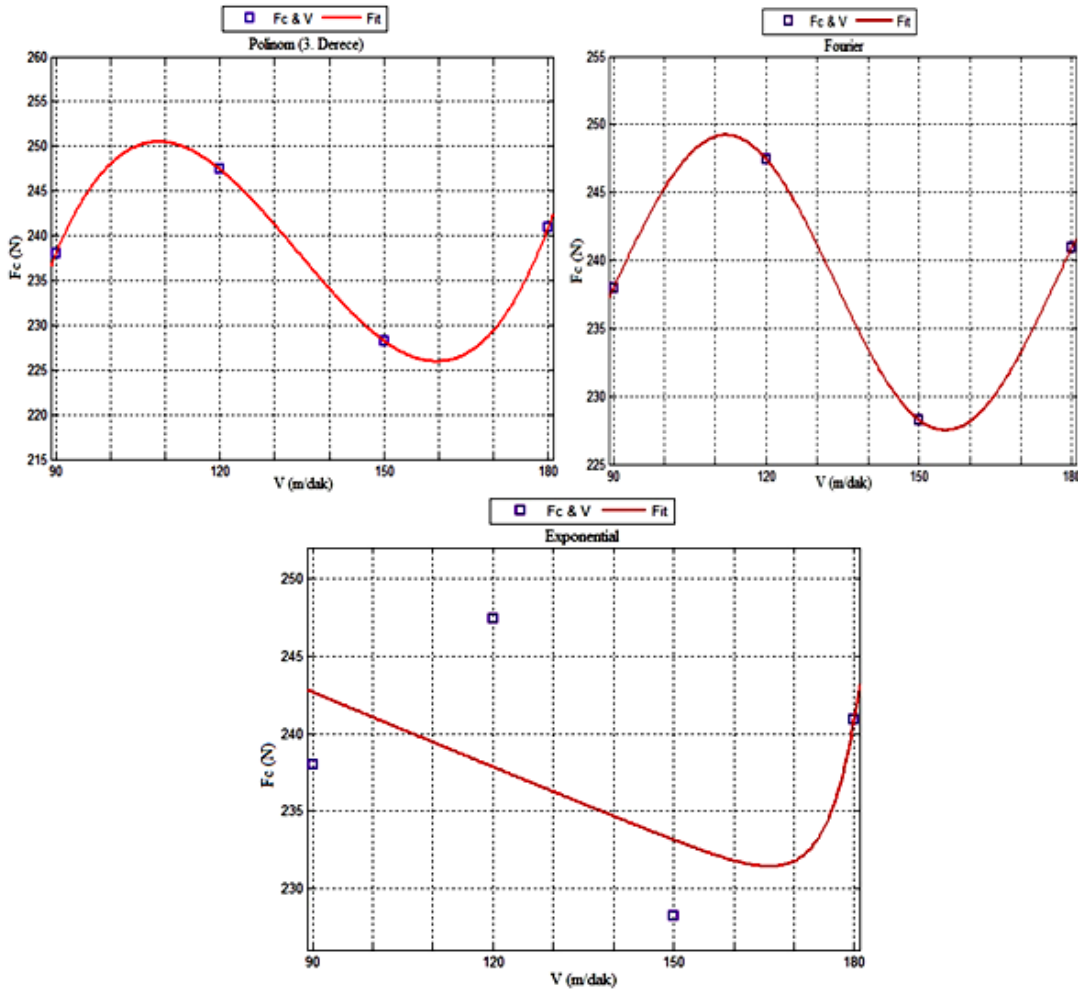
V	90	120	150	180
<b>Fc</b>	<b>238</b>	<b>247.43</b>	<b>228.25</b>	<b>240.94</b>
f	0.1			
a	1			

Bu değerlere göre farklı V ve f değerleri arasındaki ilişki için uygulanan eğri uydurma algoritmaları, matematiksel modeller ve istatistiksel değerler Tablo 8' de ve deneysel tasarım için eğri uydurma algoritmaları ise Şekil 3' de gösterilmektedir gösterilmiştir. Uygulanan eğri uydurma algoritmaları değerlendirildiğinde en iyi oranı üçüncü derece Polinom için ve Fourier için 1, Exponential için 0.27 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu deneysel tasarım için uygulanan eğri uydurma algoritmalarından en uygun matematiksel model üçüncü derece Polinom ve Fourier önerilmiştir

**Tablo 8.** Fc-V arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi (Evaluation of the relationship between Fc-V)

Eğri Uydurma	Denklem	R <sup>2</sup>	SSE	RMSE
Polinom 3. Derece	$Fc = 0.0003733 \cdot V^3 - 0.1503 \cdot V^2 + 19.44 \cdot V - 566.7$	1	1.751e-024	-
Fourier	$Fc = 238.4 - 3.27 \cdot \cos(V \cdot 0.07285) + \sin(V \cdot 0.07285)$	1	3.642e-018	-
Exponential	$Fc = 257.8 \cdot \exp(-0.0006702 \cdot V) + 6.921e-015 \cdot \exp(0.1951 \cdot V)$	0.27	137.7	-





Şekil 3. V-Fc arasındaki ilişkilerin grafiksel olarak değerlendirilmesi. (Evaluation of the relationship between V and Fc as graphical)

### 3.4. Kesme Parametreleri ile Kesme Kuvvetleri Arasındaki İlişki (Relationship Between Cutting Forces with Cutting Parameters)

Yapılan deneysel çalışma sabit kesme derinliği, üç farklı  $f$  ve dört farklı  $V$  değeri alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan parametreler ile elde edilen  $F_c$  değerleri Tablo 9' da gösterilmektedir.

**Tablo 9.** Deneylerde kullanılan parametreler ve  $F_c$  değerleri (Parameters and  $R_a$  values used in the experiments)

V	90	120	150	180	f
F <sub>c</sub>	238	247.43	228.25	240.94	0.1
	350.95	327.77	318.99	326.65	0.15
	458.93	430.84	417.31	402.64	0.20
a	1				

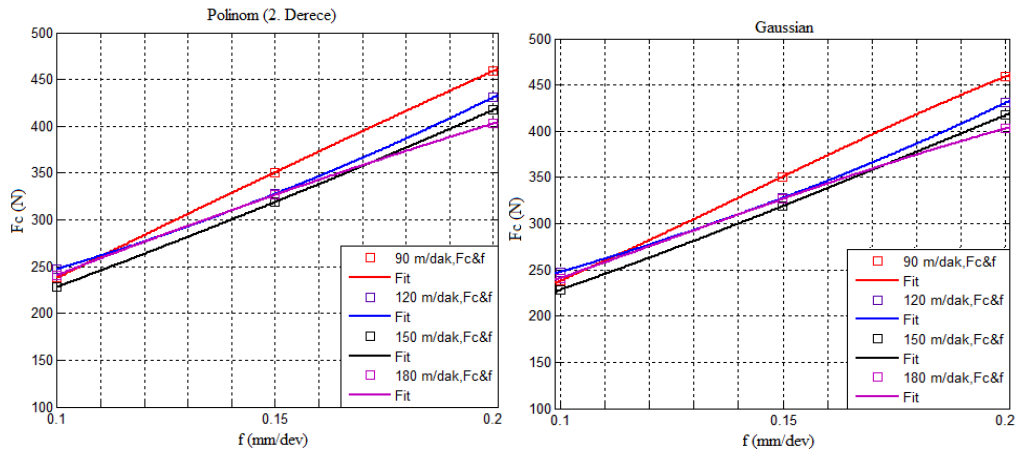
Bu değerlere göre farklı  $V$  ve  $f$  değerleri arasındaki ilişki için uygulanan eğri uydurma algoritmaları, matematiksel modeller ve istatistiksel değerler Tablo 10' da gösterilmiştir. Uygulanan eğri uydurma algoritmaları değerlendirildiğinde birinci derece Polinom için en uygun değer tüm  $V$  ve  $f$  değerlerinde 0.99, ikinci derece Polinom ve Gaussian için en uygun değer 1 olarak belirlenmiştir. Son olarak da Exponential için en uygun değer 120 - 150

m/dak V ve bütün f değerlerinde 0.99 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu deneysel tasarım için uygulanan eğri uydurma algoritmalarından en uygun matematiksel model için ikinci derece Polinom ve Gaussian önerilmiştir.

**Tablo 10.** Fc-V-f arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi (Evaluation of the relationship between Fc-V-f)

V	f	Eğri Uydurma	Denklem	R <sup>2</sup>	SSE	RMSE
90	0.1 0.15 0.20	Polinom 1. Derece	$F_c = 2209*f + 17.9$	0.99	4.117	2.029
120			$F_c = 1834*f + 60.23$	0.99	86.11	9.279
150			$F_c = 1891*f + 37.93$	0.99	9.576	3.095
180			$F_c = 1617*f + 80.86$	0.99	15.75	3.968
90	0.1 0.15 0.20	Polinom 2. Derece	$F_c = -994*f^2 + 2507*f - 2.81$	1	1.616e-026	-
120			$F_c = 4546*f^2 + 470.3*f + 154.9$	1	3.231e-027	-
150			$F_c = 1516*f^2 + 1436*f + 69.51$	1	3.231e-027	-
180			$F_c = -1944*f^2 + 2200*f + 40.36$	1	1.373e-026	-
90	0.1 0.15 0.20	Exponential	$F_c = 131.3*\exp(6.307*f)$	0.98	260.4	16.14
120			$F_c = 142.6*\exp(5.532*f)$	0.99	1.02	1.01
150			$F_c = 128.9*\exp(5.902*f)$	0.99	67.46	8.214
180			$F_c = 150*\exp(4.973*f)$	0.98	147.3	12.14
90	0.1 0.15 0.20	Gaussian	$F_c = 549.7*\exp(-((f-0.2867)/0.204)^2)$	1	9.309e-024	-
120			$F_c = (4.65e+004)*\exp(-((f-1.937)/0.8027)^2)$	1	1.985e-013	-
150			$F_c = 635.4*\exp(-((f-0.3784)/0.2751)^2)$	1	9.74e-015	-
180			$F_c = 461.8*\exp(-((f-0.2849)/0.2292)^2)$	1	5.422e-022	-

Deneysel tasarım için yapılan grafiklerinden bütün V ve f değerlerinde en uygun eğri uydurma algoritmalarından ikinci derece Polinom ve Gaussian Şekil 4' de gösterilmektedir.



**Şekil 4.** f-Fc arasındaki ilişkilerin grafiksel olarak değerlendirilmesi (Evaluation of the relationship between f and Fc as graphical).

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada; 30MnVS6 mikro alaşımlı çeliğinin tornalanmasında; kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkileri ortaya konmuştur. Ayrıca, elde edilen yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetlerinin, bu parametreler ile olan ilişkilerinin

matematik modellenmesi için çeşitli eğri uydurma algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan bu eğri uydurma algoritmalarından elde edilen matematiksel modeller, belirleme katsayıları ( $R^2$ ) kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerleri, her bir deney için eğriler üzerinde grafiksel olarak gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Birinci deneyde kullanılan parametreler (f, a, V) ile elde edilen sonuçlardan en düşük yüzey pürüzlülük değeri 150 m/dak kesme hızında elde edilmiş olup bu deney için kullanılan eğri uydurma algoritmalarından matematiksel model için en uygun denklemler üçüncü derece Polinom ve Fourier olarak önerilmiştir.
- İkinci deneyde kullanılan parametreler (f, a, V) ile elde edilen sonuçlardan kesme hızının artması ile bütün ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. İlerleme miktarının 0.1- 0.15- 0.20 mm/dev değerlerinde ise ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin olumsuz yönde geliştiği belirlenmiştir. Bu deney için uygulanan eğri uydurma algoritmalarından matematiksel model için en uygun denklem bütün kesme ve hızı ilerleme miktarlarında ikinci derece Polinom ve Power 2 olarak önerilmiştir.
- Üçüncü deneyde kullanılan parametreler (f, a, V) ile elde edilen sonuçlardan 150 m/dak kesme hızında en düşük kesme kuvvetinin olduğu belirlenmiştir. Bu deney için uygulanan eğri uydurma algoritmalarından matematiksel model için en uygun kesme kuvvetini oluşturan denklemi üçüncü derece Polinom ve Fourier olarak önerilmiştir.
- Dördüncü deneyde kullanılan parametreler (f, a, V) ile elde edilen sonuçlardan kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinde azalma meydana geldiği ve ilerleme miktarının artması ile kesme kuvveti değerlerini olumsuz yönde geliştirdiği belirlenmiştir. Bu deney için uygulanan eğri uydurma algoritmalarından matematiksel model için en uygun kesme kuvvetini oluşturan denklemin bütün kesme ve ilerleme hızlarında ikinci derece Polinom ve Gaussion olarak önerilmiştir.

## 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Çaydaş, U., Hasçalık A., (2005). CNC Tornalamada İşlem Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, *Teknoloji*, 8(2), 167-172.
- [2]. Stout, K.J., (1998). Engineering surfaces – A Philosophy of Manufacture (A Proposal For Good Manufacturing Practise), *Proc. Instn.Mech.B*, 212, 169 – 174.
- [3]. Griffiths, B.J., (2001). Manufacturing Surface Technology, İn: Surface Integrity And Functional Performance, *Penton Press*, London.
- [4]. Puertas, I. and Luis perez, C.J., (2003). Surface Rougness Prediction By Factorial Design of Experiments in Turning Processes, *Journal of Materials Processing Technology*, 143 – 144 390 – 396.
- [5]. Korucu, S., (1996). Hidrolik Kopya Aparatı Yardımı İle Elde Edilen Parçalarda Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi.
- [6]. Duran, A. and Acır, A., (2004) HSS Torna Kalemindeki Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 7(3), 211-215.
- [7]. Özkan, A. İ., Sarıtaş İ., Yıldız S., (2009). Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetlerinin ve Takım Ucu Sıcaklığının Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.
- [8]. Nas, E., Samtaş, G., Demir, H., (2012). CNC Frezelemede Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 47-59.
- [9]. Baykul, Y., (1999). İstatistik Metotlar ve Uygulamalar, 442 s. *Am Yayıncılık*, Ankara.
- [10]. Montgomery, D.C., Runger, G.C., (2011). *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 5th ed., 784 s. Wiley, U.S.A.

- [11]. Watson, P. K. and Teelucksingh, S.S., (2002). A Practical Introduction to Econometric Methods: Classical and Modern, 307 s. *University of the West Indies Press*, Jamaica.
- [12]. Göloğlu, C. and Arslan, Y., (2006). Genetik Programlama ile İmalat İçin Yüzey Pürüzlülük Modeli Geliştirilmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21 (4), 667-674.
- [13]. Ay, M. and Turhan, A., (2010) Torna İşleminde Kesme Parametrelerinin Ve İş Parçası Uzunluđunun Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3), 55-67.
- [14]. Yücel, E. and Günay, M., (2012). Yüksek Alaşımli Beyaz Dökme Demirlerin (Ni-Hard) Torna İmalatında Kesme Kuvvetinin Modellenmesi, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, Türkiye.
- [15]. Özel, T. and Karpat, Y., (2005). Predictive Modeling Of Surface Roughness and Tool Wear in Hard Turning Using Regression And Neural Networks, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. (45), 467–479.
- [16]. Mavi A., and Korkut İ., (2010). Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Regresyon Analizi ile Modellenmesi, *Politeknik Dergisi*. 13(4), 281-286.
- [17]. Özler L., Tosun N. ve İnan A., (2000). Östenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*. (24), 287-296.
- [18]. Özkul İ., Buldum B. B. and Akkurt A., (2013). Dievar Sıcak İş Takım Çeliğinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Kalitesine Etkisinin Regresyon Analiziyle Modellenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), Sayfalar 1-9.
- [19]. Asiltürk I. and Çunkaş M., (2011). Modeling and Prediction Of Surface Roughness in Turning Operations Using Artificial Neural Network And Multiple Regression Method, *Expert Systems with Applications*, (38), 5826–5832.
- [20]. Aggarwal A., Singh H., Kumar P. and Singh M., (2008). Optimization of Multiple Quality Characteristics for CNC Turning Under Cryogenic Cutting Environment Using Desirability Function, *Journal of Materials Processing Technology*. (205), 42–50.
- [21]. Meral G., Dilipak H. and Sarıkaya M., (2011). AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde İlerleme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğünün Regresyon Analiziyle Modellenmesi, *TÜBAV Bilim*, 4(1) 31-41
- [22]. Özel T., Karpat Y., Figueira L. and Davim P., (2007). Modelling of Surface Finish And Tool Flank Wear in Turning of AISI D2 Steel With Ceramic Wiper Inserts, *Journal of Materials Processing Technology*, (189), 192–198.
- [23]. Bouacha K., Yaltese A. M., Mabrouki T. and Rigal J., (2010). Statistical Analysis Of Surface Roughness and Cutting Forces Using Response Surface Methodology in Hard Turning Of AISI 52100 Bearing Steel With CBN Tool, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, (28), 349–361.