

## KARBÜR KESİCİ KULLANARAK SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI 1040 ÇELİKLERİN FREZELENMESİNDEKİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN REGRESYONLA MODELLENMESİ

**İlhan ASİLTÜRK\*, Mehmet Turan DEMİRCİ\*\***

\*[iasilturk@selcuk.edu.tr](mailto:iasilturk@selcuk.edu.tr) Selçuk Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü, 42003-Konya

\*\*[turandemirci@selcuk.edu.tr](mailto:turandemirci@selcuk.edu.tr) Selçuk Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü, 42003-Konya

### ÖZET

Bu çalışmada, karbür takımlar kullanarak sertleştirilmiş AISI 1040 çeliklerin frezeleme işleminde bağımsız değişken olarak alınan kesme parametreleri; kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme hızı ( $f$ ) ve kesme derinliğine ( $a_p$ ) bağlı olarak bağımlı değişken yüzey pürüzlülüğü lineer, ikinci dereceden ve üstel regresyon metotları ile modellenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme hızı ( $f$ ) ve talaş derinliğinin ( $a_p$ ) etkisini belirlemek için, ANOVA (Varyans Analizi) tablosu kullanılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, en iyi tahmin sonucunu ikinci dereceden regresyon modelinin verdiği tespit edilmiştir. Deneyde kullanılan kesme parametrelerinden yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin ilerleme hızı olduğu ve bunun literatür çalışmalarına paralel olduğu gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ikinci dereceden regresyon modelinin hataların kareleri ortalaması (MSE) 0.173 ve  $R^2$  değeri 95.3% bulunmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Yüzey pürüzlülüğü, regresyon modeli, kesme parametreleri

### ABSTRACT

In this study, surface roughness depending on independent variables such as cutting speed ( $V_c$ ), feed rate ( $f$ ) and depth of cut ( $a_p$ ) was modeled with linear, second order and exponential regression methods at milling operation of hardened AISI 1040 steels by using carbide tools. For defining the effects of cutting speed ( $V_c$ ), feed rate ( $f$ ) and depth of cut ( $a_p$ ) in the surface roughness, ANOVA table and coefficients table were used. Regression models of the hardened AISI 1040 steels with surface roughness were estimated at milling operations. As a result of the study, obtained well results showed usability of three different regression models, but the best result was given by second order regression model. It was observed that the most important parameter was feed rate and it agreed with literatures. Mean square error (MSE) of surface roughness of second order regression model was 0.173 and  $R^2$  was 95.3 %

**Key Words:** Surface roughness, regression model, cutting parameters

## 1.GİRİŞ

Talaşlı imalat prosesleri, parça üretiminde minimum maliyet ve kaliteyi amaçlamaktadır. Bu amaçlara uygun olarak talaşlı imalat frezeleme, tornalama, taşlama gibi metal kesme proseslerinden meydana gelmektedir. Metal parçaları talaşlı imalat proseslerinde yüksek sıcaklık ve basınç, metallerin difüzyonu ve kimyasal reaksiyonlar ve titreşim kötü yüzey kalitesine, tolerans aralıkları dışı üretime, takımın ve iş parçasının zarara uğramasına ve yüzey kalitesinin bozulmasına neden olur [1].

Bir talaşlı imalat proseslerinde, üretilen ürünün kalitesi ana hatlar çerçevesinde, ürünün yüzey kalitesine göre belirlenir. Yüzey kalitesi belirlenirken, aynı zamanda ürünün talaşlı imalat maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır. Takım aşınması maliyeti, yüzey kalitesi tespit edilirken dikkate alınması gereken parametrelerden birisidir [1,2]. Frezelenen parça yüzeyinde yorulma dayanımı, korozyon direnci veya sürünme ömrü gibi mekaniksel durumlar geliştiğinde, yüzey kalitesinin belirlenmesinde önemli roller oynamaktadır. Yüzey pürüzlülüğünü, yüzey sürtünmesine sebep olan temas, aşınma, ışık yansımaları, ısı geçişi, yağ tutma ve dağıtma kabiliyeti, yatak yüklemesi kapasitesi, kaplama veya yorulma direnci gibi parçaların fonksiyonel özellikler de önemli oranda etki etmektedirler. Bu yüzden, arzu edilen finiş yüzeyi belirlenir ve gerekli kaliteye ulaşmak için uygun proses seçilir [3,4].

Metal kesme operasyonlarında bazı parametreler, finiş yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Finiş yüzey pürüzlülüğü iki bağımsız etkinin toplamı olarak düşünülebilir. Birinci bağımsız etki; ideal yüzey pürüzlülüğü takım geometrisi, ilerleme hızı ve kesme derinliğidir. Diğer etki ise, doğal yüzey pürüzlülüğü kesme operasyonlarının düzensizlikleridir. Kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızı parametreleri kontrol edilen parametrelerdir. Buna karşın takım geometrisi, takım aşınması, talaş yükleri ve talaş oluşumu veya takım iş parçası malzeme özellikleri gibi faktörler kontrol edilememektedir. Makine takımlarının titreşimi, iş malzemelerinin yapılarındaki hatalar, takım aşınması veya düzensiz talaş oluşumu işleme süresince yüzey hasarlarına sebebiyet vermektedir. Kontrol edilebilen parametreler ile istenilen yüzey pürüzlülüğü ve üretim kalitesini arttırmak için hız ve ilerleme gibi işleme parametrelerinin uygunluğunu değerlendirmek için frezelemeden önce ürünün yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için teknikler geliştirilmektedir. Tahmin tekniğinde önemli olan hususlar; hassasiyeti, güvenilirliği ve maliyetidir [1,5,6,7].

Mike S. ve ark. yaptıkları çalışmada finiş frezeleme operasyonu için yüzey pürüzlülük tahmin tekniği olarak çoklu regresyon modellemeyi kullanmışlardır. Çoklu regresyon modelinde, cevap olarak  $R_a$  (ortalama yüzey pürüzlülük değeri) kullanılırken, bağımsız değişken parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğini kullanmışlardır. Regresyon modelini SPSS istatistiksel paket programında oluşturmuşlardır. Yapılan model sonucunda ilerleme hızının en etkin işleme parametresi olduğunu tespit etmişlerdir [1]. Demirayak ve Çakır çalışmalarında kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliğinin ve kesici takım kaplamasının iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü ve kesme parametreleri arasında regresyon modeli oluşturmuşlar ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemişlerdir. Aynı zamanda kesici uç kaplamalarının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini de tespit etmişlerdir. Oluşturdukları modelde yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametre olarak ilerleme hızını bulmuşlardır. Cakir ve ark. çalışmalarında  $Al_2O_3$  ve TiN kaplı CNMG 120408 tipi karpit uçları kullanarak, kesme parametrelerinin yüzey

pürüzlülüğüne etkisini modelleyerek incelemişleridir. Modellemede, lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve eksponansiyel regresyon modelleri uygulamışlardır [2,7]. Reddy ve ark. CNC tornalamada karpit kesme takımları ile kesme parametrelerini (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) kullanarak elde edilen yüzey pürüzlülüğünü çoklu regresyon modeli ve yapay sinir ağları ile tahmin etmişlerdir. İki modeli de birbiriyle mukayese ederek, en uygun modelin yapay sinir ağları olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada, sertleştirilmiş AISI 1040 orta karbonlu çelikler, 3 farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinde karbür kesiciler ile frezelenerek farklı yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir [3]. Thamma yapmış olduğu çalışmasında, alüminyum 6061 iş parçasına CNC tornada 4 farklı kesme parametrelerinde (kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve takım ucu yarıçapı) kullanarak, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapmıştır. Elde ettiği yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerlerine çoklu regresyon modelleme uygulayarak, yüzey pürüzlülüğü tahmini yapmıştır. Yüzey pürüzlülüğü tahmininde çoklu regresyonun uygulanabilir olduğunu tespit etmişlerdir [8]. Tosun ve Özler çalışmalarında LPG ile ısıtılmış yüksek mangan çelik numuneleri, yüzey sıcaklığı, kesme hızları, kesme derinliği ve ilerleme hızları gibi farklı kesme şartlarında tornada hazırlamışlar ve regresyon metodu ile takım ömrünü tahmini için matematik model geliştirmişlerdir. Aynı zamanda regresyon modeli ile yapay sinir ağları modelini mukayese etmişlerdir [9]. Yang ve ark. çalışmalarında yarı iletken olarak iyon implantasyon, elektron çubuklarında kullanılan yüksek saflıkta grafit iş parçasının CNC frezeleme operasyonunda iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızını regresyon ile modelleyerek, kesme parametrelerinin etkilerini belirlemişlerdir. ANOVA varyans analizi ile parametreler arasındaki ilişkiyi incelemişler ve tahmin modeli oluşturmuşlardır [10].

Yapılan bu çalışmada, ısıl işleme uygulanarak sertleştirilen AISI 1040 çelik iş parçası üç farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliklerinde CNC freze tezgâhında işlenerek, ortalama yüzey pürüzlülük  $R_a$  değerleri elde edilmiştir. Alınan bu  $R_a$  değerlerine göre üç farklı regresyon modeli uygulanarak en uygun model tespit edilmiş ve optimum kesme şartları ve yüzey kalitesine etki eden en önemli kesme faktörleri belirlenmiştir.

## 2. METARYAL VE METOT

Yapılan çalışmada iş parçası malzemesi olarak AISI 1040 çelik kullanıldı. Isıl işlem sonrası deney numunesi 40 HRC sertlik değerine getirildi.  $50 \times 50 \times 400 \text{ mm}$  boyutlarındaki AISI 1040 iş parçasının yüzeyleri, KAFU CNC dik işleme merkezinde 2 mm derinlikte frezelenerek, ısıl işlem sonrası oluşan boyut farklılıkları ve yüzeysel hatalar giderildi ve deneye hazır hale getirildi. Deneyde, 5 ağızlı RILT730-M-W-D2500/5 takım ve APKT 1604 PDTR takım uçları kullanıldı. Üretici tavsiyeleri içerisinde üç farklı kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme hızı ( $f$ ) ve kesme derinliği ( $a$ ) belirlenmiş olup, bu kesme parametreleri Tablo 1. de verilmiştir. Tam faktöriyel deney tasarımına göre iş parçasına 27 deney yapıldıktan sonra, üç farklı kesme parametresinden dolayı oluşan yüzey pürüzlülüklerinin  $R_a$  değeri Mitutoyo SJ-201 cihazı ile 3 farklı noktada ölçülmüştür. Regresyon modelleri ve varyans analizi MINITAB ve SPSS programlarında yapılmıştır.

Tablo 1. Kesme parametreleri

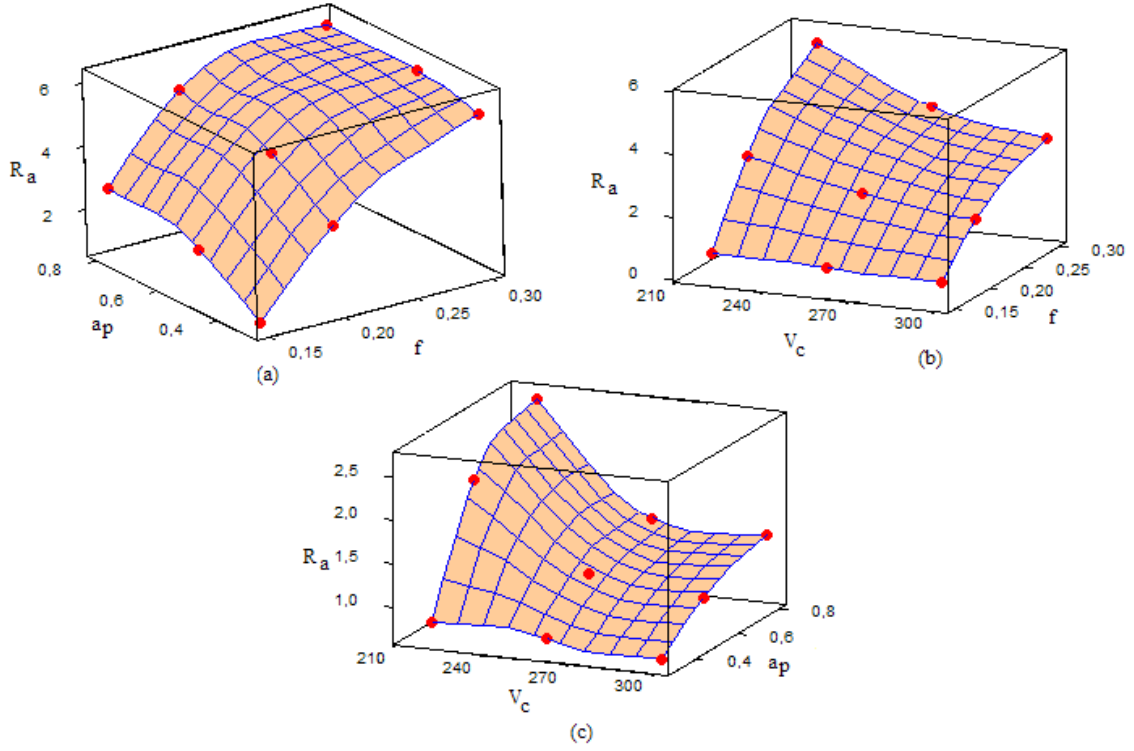
Sembol	Kesme Parametreleri	Seviyeler		
		220	260	300
A	Kesme hızı (m/dk)	220	260	300
B	İlerleme hızı (mm/diş)	0.15	0.2	0.3
C	Kesme derinliği (mm)	0.3	0.5	0.8

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR

Tablo 1’de verilen kesme parametreleriyle deneyler yapıldıktan sonra yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Çalışmada tahmin edilen değişkenlerin kombinasyonu ve değişkenlik kriteri arasındaki korelasyonu belirlemek için kullanılan AISI 1040 iş parçasının işlenmesinde, yüzey pürüzlülük tahmini için regresyon modeli kullanılmıştır. Regresyon analizi aralarında sebep sonuç ilişkisi olan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi incelemek ve o konuyla ilgili tahmin yapabilmek amacıyla oluşturulan ve matematiksel bir model ile belirtilen istatistiksel bir analizdir [11,12]. Genelde regresyon analizi; bağımlı değişkendeki değişimi açıklayabilmek, faktörlerin, diğer faktörlerin etkisi olmaksızın bağımlı değişkene etkilerinin tahminini yapabilmek, bağımlı değişkene ilişkin ortalama değerlerin bulunması amacıyla kullanılmaktadır [13]. Böyle bir regresyon modelinde bağımlı değişkendeki değişim, bağımsız değişkenler ile açıklanılmaya çalışılır. Belirtme katsayısı ( $R^2$ ) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise regresyon modelindeki açıklama miktarının açıklanmayan miktara olan oranıdır. Regresyon katsayısı ise, ilgili bağımsız değişkendeki bir birimlik artışın değişkende oluşturacağı değişim miktarıdır. Tüm bu nedenlerden dolayı regresyon analizleri, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi tahmin edici kesme parametresi değişkenleri ile finiş yüzey değişkenlik kriterini tahmin etmeyi sağlamaktadır. Tablo 2’de yapılan 27 deneyin ortalama  $R_a$  sonuçları verilmiştir. Şekil 1’de 220 m/dk kesme hızı, 0,3 mm kesme derinliği ve 0.15 mm/dk ilerleme hızında,  $R_a$ ,  $a_p$ ,  $f$ ,  $V_c$  grafikleri verilmiştir.

Tablo 2. Kesme parametrelerine karşılık gelen  $R_a$  değerleri.

	V=220 m/dk			V = 260 m/dk			V = 300 m/dk		
	Talaş derinliği (mm)			Talaş derinliği (mm)			Talaş derinliği (mm)		
İlerleme (mm/dk)	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.8	0.3	0.5	0.8
0.15	0.82	2.17	2.67	0.77	1.23	1.44	0.68	1.1	1.39
0.20	3.29	4.64	5.17	2.49	2.72	3.13	2.06	2.61	2.83
0.30	5.56	6.02	6.01	3.9	5.31	5.45	3.32	4.82	5.04



Şekil 1. (a) 220 m/dk kesme hızlarında  $R_a$ ,  $a_p$  ve  $f$  grafiği, (b) 0,3 mm kesme derinliğinde,  $R_a$ ,  $V_c$  ve  $f$  grafiği, (c) 0,15 mm/dk ilerleme hızında,  $R_a$ ,  $a_p$  ve  $V_c$  grafiği

Şekil 1 (a), (b), (c)'de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğüne en fazla etkiyi ilerleme hızının yaptığı gözlemlenilmektedir. İlerleme hızındaki azalma kesme kuvvetlerinin düşmesine ve meydana gelen titreşimlerin azalmasına neden olmuş ve yüzey kalitesinin artmasını sağlamıştır. Kesme hızının artması, doğal frekans ve titreşim oluşumunu azaltmakta ve yüzey kalitesini iyileştirmektedir [2,7]. Bu durum Şekil 1 (c)'de açıkça görülmektedir. Kesme derinliğinin artması ise Şekil 1 (a) ve (c) görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır.

### 3.1 Yüzey Pürüzlülüğü Modelleri

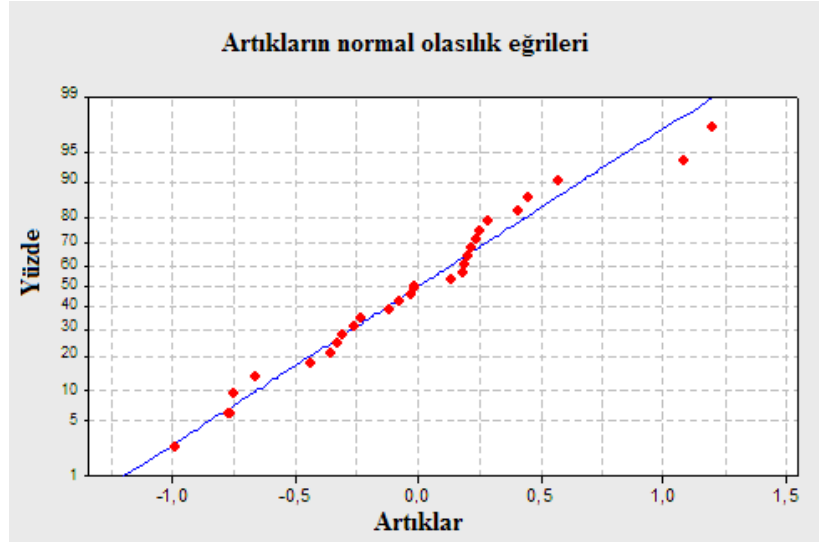
Tablo 2'de verilen deney sonuçlarına lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve üstel dereceden regresyon uygulanarak en uygun regresyon modeli seçilmiştir. En uygun regresyon modeli, denklemlerin  $R^2$  belirtme katsayısı değerine göre tespit edilmiştir. Regresyon modellerinde bağımlı değişken  $R_a$  iken, bağımsız değişkenler kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme hızı ( $f$ ) ve kesme derinliği ( $a_p$ ) dır.

Lineer Regresyon modelinde elde edilecek denklem formu denklem (1) deki gibidir [7].

$$R_a = k_0 + k_1 V_c + k_2 f + k_3 a_p \quad (1)$$

MINITAB paket programı vasıtasıyla elde edilen lineer regresyon modeli denklemini Denklem (2)'de verilmiştir. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı olan  $R^2 = 91.3\%$  ve düzeltilmiş  $R^2_d = 90.2\%$  olarak bulunmuştur. Regresyon modelinde ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farklılıklar artık ya da hata olarak ifade edilir. Lineer regresyon artıklarının normal olasılık eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.

$$R_a = 1.44 - 0.0174V_c + 23.7f + 2.17a_p \quad (2)$$



Şekil 2. Lineer regresyon modelinin normal olasılık artık eğrileri.

Şekil 2 incelendiğinde hataların çizgi etrafında yoğunlaştığı ve verilerin normal dağılımdan geldiği söylenebilir. Bu durumda alınan verilere 1. dereceden regresyon modeli uygulanabilir. SPSS programından alınan Tablo 3'e bakıldığında significant (önemli) değeri 0.05 değerinden düşük olduğundan regresyon modeli anlamlılık kazanmıştır.

Tablo 3. Lineer regresyon modeli ANOVA tablosu

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	72,939	3	24,313	80,702	,000(a)
	Residual	6,929	23	,301		
	Total	79,868	26			

a Predictors: (Constant),  $f$ ,  $a_p$ ,  $V_c$

b Dependent Variable:  $R_a$

Tablo 4. Lineer regresyon modeli katsayılar tablosu

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
1	(Constant)	1,439	,963		1,493	,149
	$V_c$	-,017	,003	-,330	-5,369	,000
	$f$	23,686	1,694	,859	13,983	,000
	$a_p$	2,166	,514	,259	4,213	,000

a Dependent Variable:  $R_a$

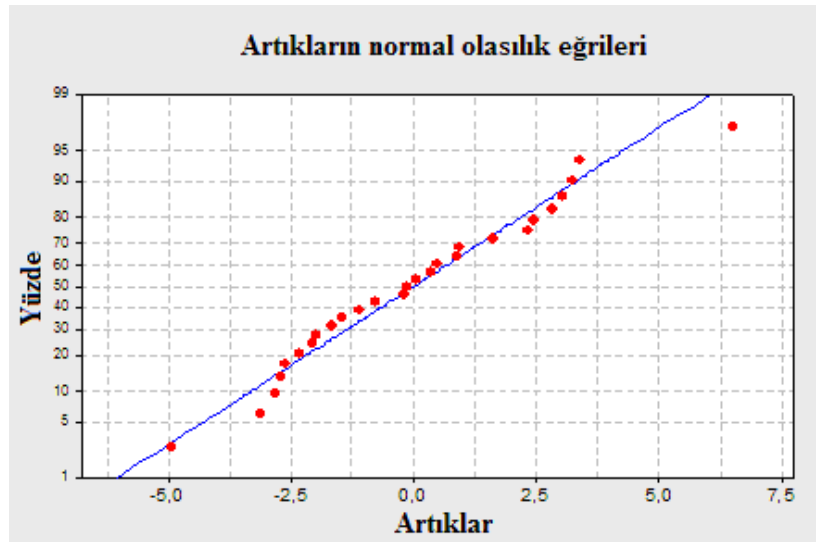
Tablo 4 incelendiğinde kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinlikleri 0.05 değerinden düşük olduğu için lineer regresyon modelinde kullanılmalarının anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

İkinci dereceden çoklu regresyon modeli uygulandığında ise yüzey pürüzlülüğü için (3)' deki denklem formu elde edilmektedir [7,13].

$$R_a = k_0 + k_1V_c + k_2f + k_3a_p + k_4V_c^2 + k_5f^2 + k_6a_p^2 + k_7V_c f + k_8V_c a_p + k_9f a_p \quad (3)$$

Deney verilerine MINITAB paket programı vasıtasıyla, ikinci dereceden regresyon modeli uygulanmış ve Denklem (4)' elde edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı olan denklemin belirtme katsayısı  $R^2 = 95.3\%$  ve düzeltilmiş  $R^2_d = 92.9\%$  olarak bulunmuştur. Artıkların normal olasılık eğrileri Şekil 3. de verilmiştir.

$$R_a = 65.1 - 0.910V_c + 423f + 60.0a_p + 0.00192V_c^2 - 206f^2 - 44.4a_p^2 - 0.850V_c f - 0.0651V_c a_p + 94.7f a_p \quad (4)$$



Şekil 3. İkinci dereceden regresyon modelinin normal olasılık artık eğrisi.

Şekil 3 incelendiğinde hataların çizgi etrafında yoğunlaştığı ve verilerin normal dağılımdan geldiği söylenebilir. Bu durumda alınan verilere ikinci dereceden regresyon modeli uygulanabilir. Tablo 5'e bakıldığında significant (önemli) değeri 0.05 değerinden düşük olduğundan regresyon modeli anlamlılık kazanmıştır.

Tablo 5. İkinci dereceden regresyon modeli için ANOVA tablosu

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3572,699	9	396,967	38,657	,000(a)
	Residual	174,573	17	10,269		
	Total	3747,272	26			

a Predictors: (Constant),  $f^*$ ,  $a_p$ ,  $V_c^2$ ,  $f^2$ ,  $a_p^2$ ,  $V_c * a_p$ ,  $V_c * f$ ,  $a_p$ ,  $f$ ,  $V_c$

b Dependent Variable:  $R_a$

Tablo 6. İkinci dereceden regresyon modeli katsayılar tablosu

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
1	(Constant)	65,073	60,623		1,073	,298
	V <sub>c</sub>	-,910	,433	-2,524	-2,100	,051
	f	422,906	147,619	2,239	2,865	,011
	a <sub>p</sub>	60,038	35,894	1,047	1,673	,113
	V <sub>c</sub> <sup>2</sup>	,002	,001	2,776	2,353	,031
	f <sup>2</sup>	-205,535	266,450	-,499	-,771	,451
	a <sub>p</sub> <sup>2</sup>	-44,392	21,949	-,870	-2,022	,059
	V <sub>c</sub> * f	-,850	,303	-1,284	-2,806	,012
	V <sub>c</sub> * a <sub>p</sub>	-,065	,092	-,313	-,708	,489
	f * a <sub>p</sub>	94,686	48,128	,458	1,967	,066

a Dependent Variable: R<sub>a</sub>

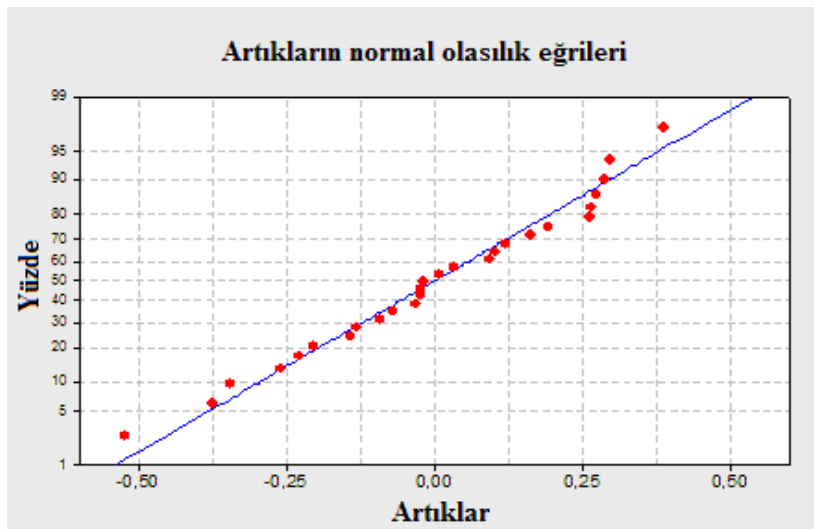
Tablo 4 incelendiğinde (f), (V<sub>c</sub><sup>2</sup>), (V<sub>c</sub> \* f), 0.05' den düşük olduğu yani % 95 güvenilirlik aralığı arasında bulunduğundan, pürüzlülükte etkin parametrelerdir. Fakat (a<sub>p</sub>), (f<sup>2</sup>), (a<sub>p</sub><sup>2</sup>), (V<sub>c</sub> \* a<sub>p</sub>) ve (f \* a<sub>p</sub>) 0.05'den büyük olduğundan yani % 95 güvenilirlik aralığı arasında bulunmadığından, etkin parametre olarak bulunmamıştır.

Üstel yüzey pürüzlülük modeli incelendiğinde, bu modelin genel denklemi Denklem (5) verilmiştir [6].

$$R_a = k_0 V_c^{k_1} f^{k_2} a_p^{k_3} \text{ veya } \ln R_a = \ln k_0 + k_1 \ln V_c + k_2 \ln f + k_3 \ln a_p \quad (5)$$

MINITAB paket programı vasıtasıyla elde edilen üstel regresyon modeli Denklemi (6)'da verilmiştir. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı olan denklemin belirtme katsayısı R<sup>2</sup> = 88.1% ve düzeltilmiş R<sup>2</sup><sub>d</sub> = 86.6% olarak bulunmuştur. Artıkların normal olasılık eğrileri Şekil 4. de verilmiştir.

$$R_a = 12.6 - 1.48V_c + 1.95f + 0.495a_p \quad (6)$$



Şekil 4. Üstel regresyon modelinin normal olasılık artık eğrisi.



Şekil 4 incelendiğinde hataların eğri çizgi etrafında olduğundan, normal dağılımdan geldiği söylenebilir. Bu durumda alınan verilere regresyon modeli uygulanabilir. Tablo 7'e bakıldığında significant (önemli) değeri 0.05 değerinden düşük olduğundan regresyon modeli anlamlılık kazanmıştır.

Tablo 7. Üstel regresyon modeli için ANOVA tablosu

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10,315	3	3,438	56,987	,000(a)
	Residual	1,388	23	,060		
	Total	11,703	26			

a Predictors: (Constant),  $V_c$ ,  $f$ ,  $a_p$

b Dependent Variable:  $R_a$

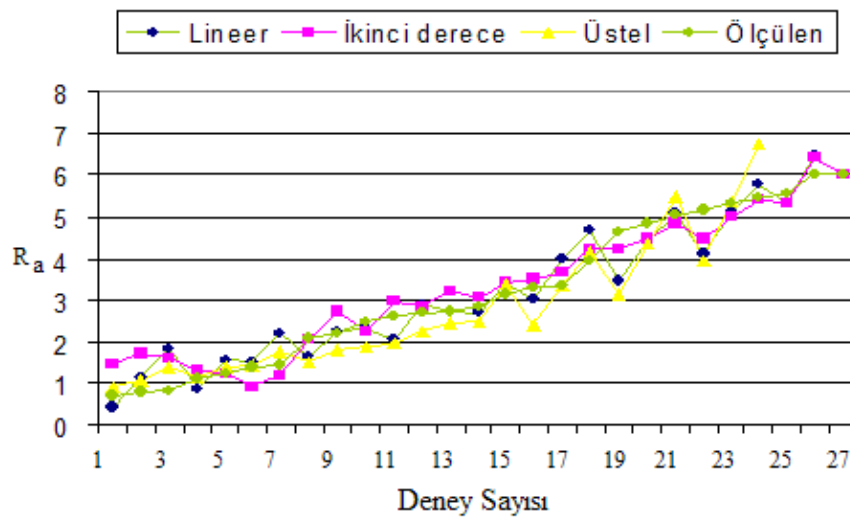
Tablo 8. Üstel regresyon modeli katsayılar tablosu

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	12,608	2,090		6,034	,000
	$V_c$	-1,479	,373	-,285	-3,966	,001
	$F$	1,950	,166	,842	11,730	,000
	$a_p$	,495	,118	,301	4,198	,000

a Dependent Variable:  $R_a$

Tablo 8 incelendiğinde kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme hızı ( $f$ ) ve kesme derinliği ( $a_p$ ) 0.05 değerinden düşük olduğu için üstel regresyon modeli anlamlılık kazanmıştır.

Uygulanan regresyon modelinin tümüne bakıldığında küçük kareler yöntemi kullanarak elde edilen en yüksek  $R^2 = 95.3\%$  değeri, ikinci dereceden regresyon modelinde elde edilmiştir. Bu durumda belirlenen kesme parametrelerine karşılık gelen yüzey pürüzlülüğüne uygulanacak en uygun model ikinci dereceden regresyon modelidir.



Şekil 5. Uygulanan regresyon modelleri ile tahmin edilen  $R_a$  grafiği.

Şekil 5 incelendiğinde deneysel sonuçlara en yakın modeli veren regresyon modelinin ikinci derece regresyon modeli olduğu anlaşılmaktadır.

#### 4. SONUÇ

Yapılan çalışmada üç farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinde AISI 1040 çelik iş parçası frezelenmiştir. Bu kesme parametreleri ve  $R_a$  değerlerine lineer, ikinci dereceden ve üstel olmak üzere üç farklı regresyon modeli uygulanmıştır.

Bu regresyon modellerinden uygun olanın ikinci dereceden regresyon modeli olduğu tespit edilmiştir. Tüm regresyon modellerinde üç kesme parametresi önem kazanırken, en uygun regresyon modeli olarak seçilen ikinci dereceden regresyon modelinde, en önemli katkıyı ilerleme hızı ve kesme hızı - ilerleme interaksyon (etkileşim) sağlamıştır. İlerleme hızının literatür çalışmalarına paralel olarak yüzey pürüzlülüğünü belirlemede en etkili parametre olduğu gözlemlenmiştir. İkinci dereceden regresyon modelinde hataların kareleri ortalaması (MSE) 0.173 ve  $R^2$  değeri 95.3% bulunmuştur.

#### 5. KAYNAKLAR

[1] MIKE, S., L., JOSEPH, C., CALEB M., Surface roughness Prediction Technique for CNC end-milling, **Journal of Industry Technology**, 15, 1, 1-1-6, (1998).

[2] ÇAKIR, C., M., DEMİRAYAK İ., Kesme parametrelerinin ve kaplama tabakasının iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, **IV Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Bildiri Kitabı**, 263-270, Konya, (2007).

[3] REDDY, S., B., PADMANABHAN, G., REDDY, V., K., Surface roughness prediction techniques for CNC turning, **Asian Journal of Scientific Research**, 1,3, 256-264, (2008).

[4] NALBANT, M., GOKKAYA, H., TOKTAŞ, I., Comparison of regression and artificial neural network models for surface roughness prediction with the cutting parameters in CNC turning, **Modelling and Simulation in Engineering**, 1155, (2007).

[5] KADIRGAMA, K., NAAR, M., M., ZUKI, M., M., RAHMAN, M., M., REJAB, M., R., M., DAUD, R., HESSEIN, A., Optimization of surface roughness an end-milling on mound aluminium alloys (AA6061-T6) using response surface method and radian basis function network, **Jordan of Mechanical and Industrial Engineering**, 2, 4, 209-214, (2008).

[6] LAHIDI, B., Determining deflection for metal turning operations, **Journal of Industrial Technology**, 13, 2, 21-33, (1997).

[7] ÇAKIR, C., M., Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parametres and coating material, **Journal of Materials Processing Technology**, 209, 102-109, (2009).

- [8] THAMMA, R., Comparison between multiple regression models to study effect of turning parameters on the surface roughness, **Proceedings of the 2008 IAJC-IJME International Conference**, 133-145, USA, (2008).
- [9] TOSUN, N., ÖZLER, L., A study of tool life in hot machining using artificial neural networks and regression analysis method, **Journal of Material Processing Technology**, 124, 99-104, (2002).
- [10] YANG, Y. K., CHUANG, M. T., LIN, S. S., Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end milling process via design of experiments methods, **Journal of Materials Processing Technology**, 209, 4395- 4400, (2009).
- [11] MONTGOMERY, D., C., Design and analysis of experiments, **John Wiley & Sons**, USA, (2001).
- [12] ŞAHİNLER, S., En küçük kareler yöntemi ile doğrusal regresyon modeli oluşturmanın temel prensipleri, **MKU Ziraat Fakültesi Dergisi**, 5, 57-73 (2000).
- [13] ŞIKLAR, E., **Regresyon Analizine Giriş**, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, (2000).
- [14] RANGANATHAN, S., SENTHILVELAN, T., SRIRAM, G., Mathematical modeling of process parameters on hard turning of AISI 316 SS by WC insert, **Journal of Scientific & Industrial Research**, 68, 592-596, (2009).