

## AISI 1050 MALZEMENİN DELİNMESİNDE İLERLEME KUVVETLERİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN REGRESYON ANALİZİYLE MODELLENMESİ

Güven MERAL<sup>1</sup>, Hakan DİLİPAK<sup>2</sup>, Murat SARIKAYA<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Ankara

<sup>3</sup>Sinop Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu, Sinop

### Özet

Bu çalışmada, deneyler sonucunda elde edilen ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerinin, matkap türü (kaplamalı-kaplamasız), matkap çapı, ilerleme değeri ve kesme hızı gibi deney parametrelerine bağlı olarak, lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve üstel regresyon metotları ile modellenmesi yapılmıştır. Deneylerde, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ve işlenebilirlik özellikleri iyi bilinen AISI 1050 çelik malzeme referans alınmıştır. Deneylerde, 6, 8, 10 mm çaplarında kaplamasız ve PVD metodu ile TiAlN kaplanmış kaplamalı HSS matkaplar kullanılmıştır. Deneyler, üç farklı kesme hızı (20, 30, 40 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0.05, 0.1, 0.15 mm/dev) değerinde kuru delme şartlarında CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. İlerleme hızı (f), kesme hızı (Vc), matkap çapı (d) ve matkap türünün (q) yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve ilerleme kuvvetleri (Fz) üzerindeki etkisini belirlemek için, ANOVA (Varyans Analizi) kullanılmıştır. Sonuç olarak, uygulanan regresyon modelinin tümüne bakıldığında, kesme parametrelerine karşılık gelen ilerleme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülüğünün modellenmesinde kullanılacak en uygun metodun, ikinci dereceden regresyon modeli olduğu görülmüştür. İkinci dereceden regresyon modelinden elde edilen sonuçlara göre, ilerleme kuvvetinin kaplamalı matkaplara göre kaplamasız matkaplarda daha fazla olduğu, ayrıca artan ilerleme hızı ve matkap çapı ile beraber daha da arttığı gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü modelinden elde edilen sonuçlara göre, delik üzerinde oluşan yüzey pürüzlülüğü, kaplamasız matkaplara göre kaplamalı matkaplarda daha az olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme hızı ve matkap çapı artışıyla doğru orantılı olarak artmış ve kesme kuvveti artışı ile ters orantılı bir şekilde azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Delme, ilerleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, regresyon modeli

## MODELING WITH REGRESSION METHODS OF THE THRUST FORCES AND THE SURFACE ROUGHNESS IN THE DRILLING OF AISI 1050 MATERIALS

### Abstract

In this study, the thrust forces and the surface roughness obtained with experimental results have been done the modeling with the linear regression, the second degree regression and the exponent regression methods depend on as the drill types (coated – uncoated), the drill diameters, the feed, the cutting speed rate. In the experiments, AISI 1050 materials used as a common in the industrial application and well known machinability properties have been used. In the experiments, uncoated, coated TiAlN with PVD method and HSS drills which are 6, 8, 10 mm diameter have been used. The Experiments have been done in the CNC Vertical Machining Center and in the dry drilling conditions by using the three cutting speed (20, 30, 40 m/min) and the three feed rates (0.05, 0.1, 0.15 mm/rev). ANOVA (analysis of variance) tables have been used for determination effecting on the surface roughness (Ra) and the thrust forces (Fz) of the feed rate (f), the cutting force (Vc), the drill diameter (d) and the drill type (q). As a result, in the investigation of all of the regressions models, the best methods have been determined as the second degree regression method. As a results obtained from the second degree regression method, the thrust force of uncoated drills is bigger than the coated drills. Moreover, the thrust force is increased even with increasing feed rate and drill diameter. As a results obtained from the surface roughness modeling, the surface roughness of the hole is less than the coated drills as the uncoated drills. The surface roughness is increased as directly proportional with increasing of the feed rate and drill diameter and decreased as inversely proportional with increasing of the thrust force.

**Key Words:** Drilling, thrust force, surface roughness, regression models.

\* E-posta: msarikaya@sinop.edu.tr

## 1.Giriş

Delik delme işlemleri, diğer talaşlı imalat işlemleri arasında önemli bir paya sahiptir. İmalatta yoğun olarak uygulanan delme operasyonlarında karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik olarak atılacak adımlar da büyük önem taşımaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinde, son işlem yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametreleri vardır. 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 ve frezelemeden önce ürünün yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için teknikler geliştirilmektedir. Tahmin tekniğinde önemli olan hususlar; hassasiyeti, güvenilirliği ve maliyetidir [1, 2, 3, 4]. Literatürde tahmin tekniğinin kullanılarak birçok çalışmanın yapıldığı gözlenmiştir. Tahmin tekniği olarak, çoklu regresyon modelleme, regresyon modeli, lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon, üstel regresyon ve yapay sinir ağları yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir [1, 4, 5, 6, 7, 8].

Frezeleme [1, 8] ve tornalama [4, 5, 6, 7] operasyonlarında yüzey pürüzlülüğünün tahmin edildiği çalışmalarda, bağımsız değişken parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, takım uç yarıçapı ve kesici uç kaplamalarının kullanıldığı tespit edilmiştir. SPSS istatistiksel paket programının kullanıldığı çalışmada, yüzey pürüzlülüğünün tahmininde, ilerleme hızının en etkili parametre olduğu belirlenmiştir [1]. Yang ve arkadaşları 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 [8]. Tahmin modelleri arasında mukayesenin yapıldığı çalışmalarda mevcuttur. 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 [7].

Gerçekleştirilen bu çalışmada ise, delik delme işlemlerinde yaşanan problemler ışığında; kesme hızı ve ilerleme değeri gibi çeşitli kesme parametreleri referans alınarak, işlenebilirlik özellikleri iyi bilinen AISI 1050 çelik malzeme seçilmiştir. AISI 1050 malzemesinin, kaplamalı ve kaplamasız HSS matkaplar ile delinmesi esnasında oluşan, ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. Deneylerden elde edilen verilere göre, üç farklı regresyon modeli uygulanmış ve en uygun model tespit edilmeye çalışılmıştır.

## 2.Materyal ve Metot

Kimyasal bileşimi Çizelge 1’de verilen AISI 1050 imalat çeliği üzerinde yapılan delme deneylerinde üç farklı kesme hızı (20, 30 ve 40 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,05; 0,1 ve 0,15 mm/dev) belirlenmiştir.

Çizelge 1. AISI 1050 Çelik Malzemenin Kimyasal Bileşimi

SAE / AISI	C	MN	SI	P	S
1050	0,45 – 0,54	0,60 – 0,90	0,10 – 0,30	0,04 en çok	0,05 en çok

Deneylerde; iki farklı tipte ve üç değişik çapta ( $\phi 6$ ,  $\phi 8$  ve  $\phi 10$ ), Makina Takım Endüstri A.Ş. tarafından imal edilmiş (DIN 338) kaplamalı ve kaplamasız HSS matkaplar kullanılmıştır. Kaplamalar PVD (Fiziksel Buharlaştırma Metodu) ile DIN 338 HSS RN 118° taşlanmış matkap üzerine TiAlN malzeme kullanılarak yapılmıştır. Takım geometrisi çelik malzemeler için tavsiye edildiği şekilde seçilmiş olup uç açısı 118°’dir [9]. Bu girdiler baz alınarak ve her deney için yeni bir matkap kullanmak suretiyle toplam 54 (elli dört) adet deney yapılmıştır. Matkap tipi, çapı ve kesme parametrelerinin “girdi” olarak değerlendirildiği deneysel çalışmalar neticesinde “çıkrtı” olarak; ölçülen kesme kuvvetleri içerisinde delme sırasında büyük öneme haiz olan ilerleme kuvveti (itme-thrust kuvvet) [10,11] ve delik kalitesinin belirlenmesi için işlenen deliğin yüzey kalitesi (ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra) değerlendirilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ve momentin deneysel olarak belirlenmesi için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Talaşlı Üretim Anabilim Dalı’ da var olan kuartz kristal esasıyla çalışan KISTLER 9257-B tipi dinamometre ve Kistler Type 5070 amplifier kullanılmıştır. Yüzey kalitesini belirlemek amacıyla, işlenmiş yüzeylerde ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerini ölçmek için yine portatif bir yüzey pürüzlülük cihazı olan

*Mahr Perthometer M1* cihazı kullanılmıştır. Üretici tavsiyeleri doğrultusunda, kesme parametreleri Çizelge 2’de verilmiştir. Regresyon modelleri ve varyans analizi için ise SPSS 15.0 paket programı kullanılmıştır.

**Çizelge 2.** Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Kesicinin Cinsi	Kaplamalı ve kaplamasız HSS, uç açısı 118°, çap toleransı h8, sağ kesme yönlü
Standart	DIN 338
Kesici Geometrisi	Ø6-8-10 mm, uç açısı 118°, helis açısı 30°
Kesme Hızları	20, 30, 40 m/dk
İlerleme Miktarları	0,05; 0,1; 0,15 mm/dev

### 3.Deneysel Sonuçlar

Metot bölümünde verilen kesme parametreleriyle deneyler yapılmış olup, ortalama ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Çalışmada, tahmin edilen değişkenlerin kombinasyonu ve değişkenlik kriteri arasındaki korelasyonu belirlemek için kullanılan AISI 1050 iş parçasının delinmesinde, ortalama ilerleme kuvveti ve 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 [12,13]. 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 [14]. Böyle bir regresyon modelinde bağımlı değişkendeki değişim, bağımsız değişkenler ile açıklanmaya 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, matkap türü ve matkap çapı gibi tahmin edici kesme parametresi değişkenleri ile, ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülük kriterini tahmin etmeyi sağlamaktadır. Çizelge 3’de yapılan 54 deneyin ortalama ilerleme kuvvetleri (N) ve yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 3.** Deney sonuçları

Deney No	Kesici Takım	İlerleme mm/dev	Kesme Hızı m/dk	Ort.İlerleme kuvveti, N	Ort.Yüzey Pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$
1	Kaplamasız, ø6, 118°	0,05	20	548	1,876
2			30	429	1,814
3			40	518	1,722
4		0,1	20	706	2,07
5			30	884	1,962
6			40	823	1,927
7		0,15	20	1116	2,177
8			30	1029	2,032
9			40	1391	1,944
10	Kaplamalı, ø6, 118°	0,05	20	329	1,745
11			30	343	1,704
12			40	457	1,686
13		0,1	20	612	1,862
14			30	552	1,824
15			40	773	1,738
16		0,15	20	837	2,02
17			30	975	1,893
18			40	889	1,822
19	Kaplamasız, ø8, 118°	0,05	20	671	2,126
20			30	847	1,938
21			40	786	1,912
22		0,1	20	1118	2,243
23			30	1084	2,145

24		0,15	40	1198	1,955	
25			20	1342	2,284	
26			30	1350	2,192	
27			40	1584	1,977	
28	Kaplama, ø8, 118°	0,05	20	724	1,852	
29			30	737	1,758	
30			40	509	1,704	
31		0,1	20	905	1,924	
32			30	749	1,872	
33			40	788	1,826	
34		0,15	20	1100	1,968	
35			30	1070	1,914	
36			40	1178	1,866	
37		Kaplama, ø10, 118°	0,05	20	810	2,245
38				30	943	2,188
39				40	1002	2,023
40	0,1		20	1398	2,324	
41			30	1382	2,321	
42			40	1566	2,104	
43	0,15		20	1770	2,358	
44			30	1890	2,257	
45			40	2118	2,186	
46	Kaplama, ø10, 118°		0,05	20	816	2,127
47				30	857	1,972
48				40	579	1,936
49		0,1	20	1084	2,218	
50			30	874	2,156	
51			40	1083	1,963	
52		0,15	20	1548	2,289	
53			30	1304	2,178	
54			40	1305	1,967	

Kaplama malzemesi ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme hızındaki artışla ilerleme kuvvetlerindeki değişim Çizelge 3'de görülmektedir. Kaplamasız ve TiAlN kaplı takımların her ikisinde de kesme ve ilerleme hızına göre ilerleme kuvveti değişim eğrileri paralellik arz etmektedir. Bütün kesme parametreleri kombinasyonlarında TiAlN kaplı takımlardan elde edilen ilerleme kuvveti değerleri kaplamasız takımlarla elde edilenlerden daha düşük olmuştur. TiAlN kaplamanın yüksek sertlik düşük sürtünme katsayısına sahip olması kesme esnasında talaş oluşumunu kolaylaştırması sürtünme katsayısını düşürmesi sonucu ilerleme kuvvetlerinin düştüğü düşünülmektedir. Kaplamalı takımlarla elde edilen en düşük ilerleme kuvveti 329 N olup 20 m/dak kesme hızı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Ayrıca her üç çap için de, elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin artan kesme hızı ile azaldığı, artan ilerleme değerlerine bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Bu durum, geleneksel talaş kaldırma işlemlerinde beklenen tarzda gelişmiştir. Kaplamalı takımlarla elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri 1,686 µm olup ø6 mm' lik matkap ile 40 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızı kullanılarak elde edilmiştir.

#### 4.Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü Modelleri

Çizelge 3'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<sup>2</sup> belirtme katsayısı değerine göre tespit edilmiştir. Regresyon modellerinde bağımlı değişken ilerleme kuvveti ( $F_z$ ) ve yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) iken, bağımsız değişkenler, kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme hızı ( $f$ ) matkap türü ( $q$ ), ve matkap çapı ( $d$ )'dir. Lineer Regresyon modelinde elde edilecek denklem formları denklem (1) deki gibidir [4]. Ortalama ilerleme kuvveti ( $f_z$ ) ve yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) için denklem 1'de verilmiştir.

$$f_z, R_a = k_0 + k_1 V_c + k_2 f + k_3 q + k_4 d \quad (1)$$

SPSS paket programı vasıtasıyla elde edilen lineer regresyon modeli denklemleri denklem (2) ve (3) de verilmiştir.

$$fz = -372.806 + 3.092V_c + 6606.11f - 271.333q + 126.639d \quad (2)$$

$$Ra = 1.819 - 0.01V_c + 1.664f - 0.167q + 0.069d \quad (3)$$

İkinci dereceden çoklu regresyon modelinde ise ortalama ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için denklem formu denklem (4 ve 5) deki gibi elde edilmektedir [4,14]. Ortalama ilerleme kuvveti ( $fz$ ) için denklem 4 ve yüzey pürüzlülüğü ( $Ra$ ) için denklem 5 yazılabilir.

$$fz = k_0 + k_1V_c + k_2f + k_3q + k_4d + k_5V_c^2 + k_6f^2 + k_7q^2 + k_8d^2 + k_9V_c f + k_{10}V_c q + k_{11}V_c d + k_{12}f q + k_{13}f d + k_{14}q d \quad (4)$$

$$R_a = k_0 + k_1V_c + k_2f + k_3q + k_4d + k_5V_c^2 + k_6f^2 + k_7q^2 + k_8d^2 + k_9V_c f + k_{10}V_c q + k_{11}V_c d + k_{12}f q + k_{13}f d + k_{14}q d \quad (5)$$

SPSS paket programı vasıtasıyla elde edilen ikinci dereceden regresyon modeli denklemleri, denklem (6) ve denklem (7) de verilmiştir.

$$fz = -999.5 - 2.842V_c + 2653f + 677.167q + 167.931d + 0.385V_c^2 + 6033.333f^2 + 0.417d^2 + 66.583V_c f - 10.561V_c q - 0.992V_c d - 2423.333f q + 547.917f d - 48.667q d \quad (6)$$

$$Ra = 1.956 + 0.02V_c + 7.438f - 0.236q - 0.068d - 0.00007V_c^2 - 13.511f^2 + 0.012d^2 - 0.029V_c f + 0.003V_c q - 0.001V_c d - 0.144f q - 0.249f d + 0.001q d \quad (7)$$

Üstel çoklu regresyon modeli uygulandığında ise ortalama ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için genel denklem formu denklem (8 ve 9) da elde edilmektedir [3].

$$fz = k_0 + \ln V_c^{k_1} + \ln f^{k_2} + \ln q^{k_3} + \ln d^{k_4} \text{ ve ya } \ln fz = \ln k_0 + k_1 \ln V_c + k_2 \ln f + k_3 \ln q + k_4 \ln d \quad (8)$$

$$Ra = k_0 + \ln V_c^{k_1} + \ln f^{k_2} + \ln q^{k_3} + \ln d^{k_4} \text{ ve ya } \ln Ra = \ln k_0 + k_1 \ln V_c + k_2 \ln f + k_3 \ln q + k_4 \ln d \quad (9)$$

SPSS paket programı vasıtasıyla elde edilen üstel regresyon modeli denklemleri Denklem (10 ve 11) de verilmiştir.

$$fz = 221.220 + 82.138V_c + 585.535f - 391.451q + 986.119d \quad (10)$$

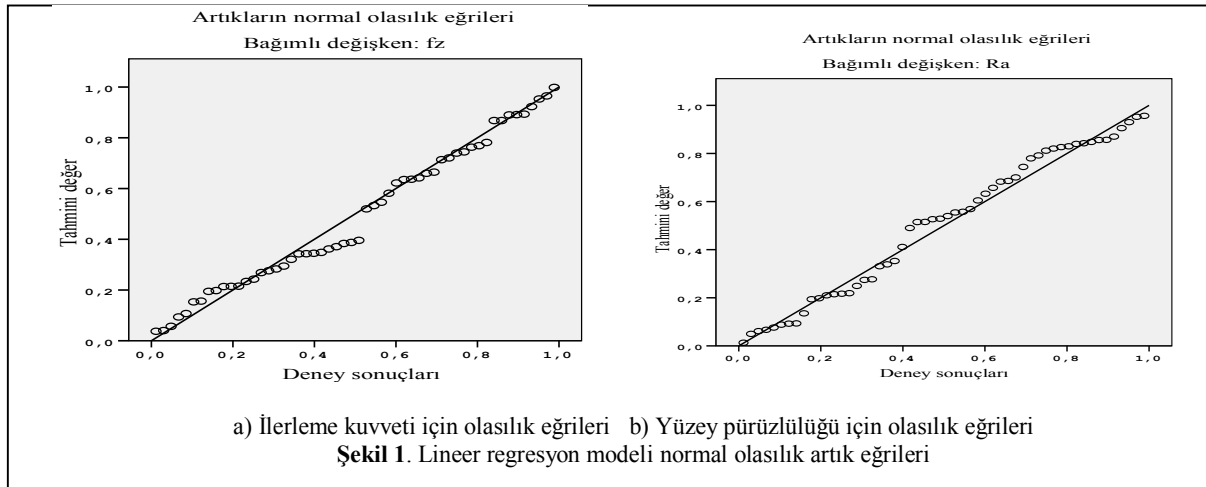
$$Ra = 2.274 - 0.273V_c + 0.153f - 0.241q + 0.532d \quad (11)$$

Ortalama ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülükleri için elde edilen regresyon modelinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranları olan  $R^2$  ve düzeltilmiş  $R^2_a$  değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

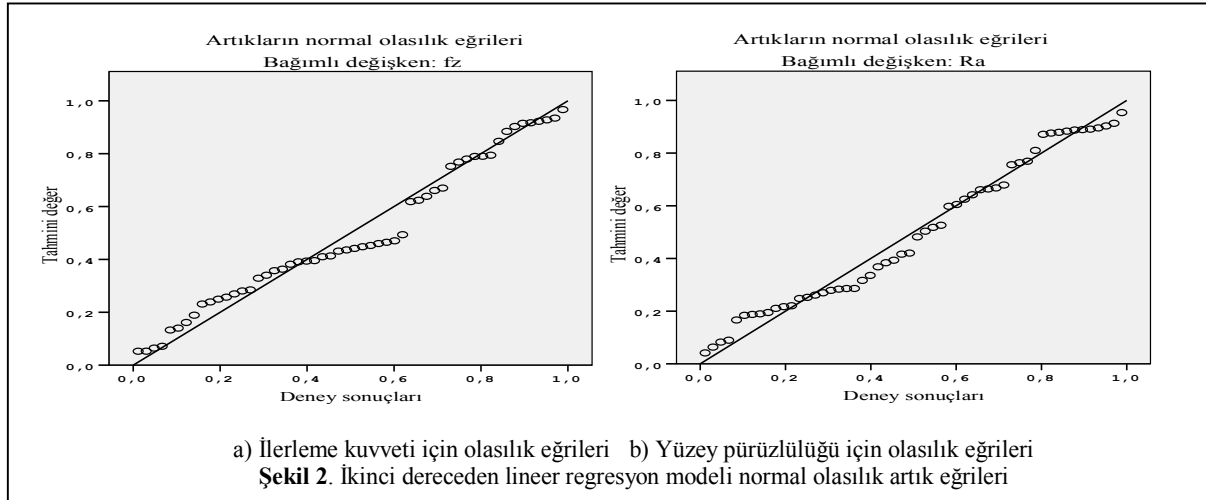
**Çizelge 4.** Regresyon Modellerinde elde edilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenlere açıklama oranları

Regresyon Modelleri	Ortalama İlerleme Kuvveti		Yüzey Pürüzlülüğü	
	$R^2$ (%)	Düzeltilmiş $R^2_a$ (%)	$R^2$ (%)	Düzeltilmiş $R^2_a$ (%)
Lineer Regresyon Modeli	90	89	91	90
İkinci Dereceden Regresyon Modeli	95,4	93,9	95,1	93,5
Üstel Regresyon Modeli	88,2	87,2	89,9	89,1

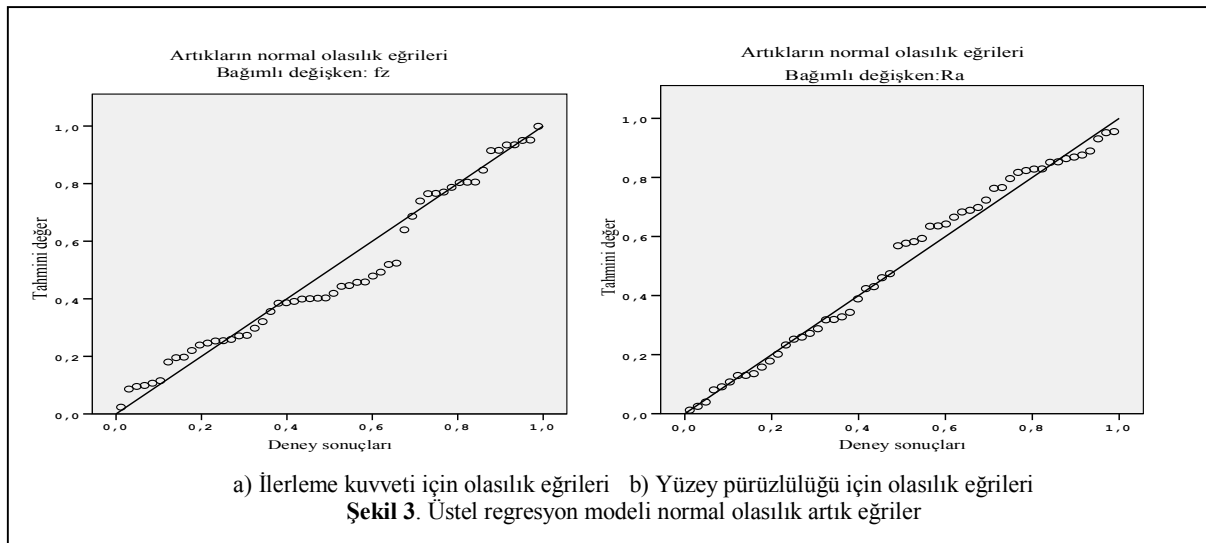
Regresyon modelinde ölçülen değerler ile elde edilen değerler arasındaki farklılıklar, hata ya da artık olarak ifade edilmektedir. Lineer regresyon hatalarının normal olasılık eğrileri Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1.a'da ilerleme kuvveti için olasılık eğrileri ve Şekil 1.b'de ise yüzey pürüzlülüğü için olasılık eğrileri görülmektedir.



İkinci dereceden linear regresyon hatalarının ilerleme kuvveti için olasılık eğrileri Şekil 2.a'da ve yüzey pürüzlülüğü için olasılık eğrileri Şekil 2.b'de verilmiştir.



Üstel regresyon hatalarının normal olasılık eğrileri Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3.a'da ilerleme kuvveti için olasılık eğrileri ve Şekil 3.b'de ise yüzey pürüzlülüğü için olasılık eğrileri görülmektedir



Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde, her üç grafikte de, hataların çizgi etrafında yoğunlaştığı ve verilerin normal dağılımdan geldiği söylenebilir. SPSS programında ilerleme kuvveti ne ait olarak regresyon modelleri için oluşturulan Anova Tablosu Çizelge 5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Regresyon modelleri için ilerleme kuvveti Anova Tablosu

ANOVA <sup>a</sup>						
Regresyon Modelleri	Model	K.T	S.D	K.O	F	Sig.
Lineer Regresyon Modeli	Regresyon	7265354	4	1816338.597	108.624	.000 <sup>b</sup>
	Hata	819347.6	49	16721.380		
	Toplam	8084702	53			
İkinci Dereceden Regresyon Modeli	Regresyon	7711699	13	53207.635	63.614	.000 <sup>c</sup>
	Hata	373002.7	40	9325.069		
	Toplam	8084702	53			
Üstel Regresyon Modeli	Regresyon	7128584	4	1782146.060	91.333	.000 <sup>d</sup>
	Hata	956117.8	49	195112.607		
	Toplam	8084702	53			

Çizelge 5 incelendiğinde, her üç modelde de, her iki bağımlı değişkenin significant (önemli) katsayısı 0.05 den küçük olduğu için, regresyon modelleri anlamlılık kazanmıştır. Bu durumda, ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için alınan verilere lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve üstel regresyon modelleri uygulanabilir. İlerleme kuvveti için her üç regresyon modelinden elde edilen katsayılar çizelge 6’de verilmiştir.

Çizelge 6. İlerleme kuvveti için regresyon modellerinden elde edilen katsayılar

Regresyon Modelleri	Model	Katsayılar		Standart Katsayılar	t	Sig.
		B	Hata	Beta		
Lineer Regresyon Modeli	Sabit	-372.806	128.711		-2.896	0.006
	q	-271.333	35.194	-0.351	-0.7710	0.000
	d	126.639	10.776	0.534	11.752	0.000
	f	6606.111	431.037	0.697	15.326	0.000
	Vc	3.092	2.155	0.065	1.435	0.158
İkinci Dereceden Regresyon Modeli	Sabit	-999.500	645.718		-1.548	0.13
	d	167.91	119.765	0.709	1.402	0.169
	f	2653.611	3145.621	0.280	0.844	0.404
	Vc	-2.842	19.580	-0.60	-0.145	0.885
	Vc <sup>2</sup>	0.384	0.279	0.489	1.378	0.176
	f <sup>2</sup>	6033.333	11150.527	0.129	0.541	0.591
	d <sup>2</sup>	0.417	6.969	0.28	0.0	0.953
	Vc*f	66.583	39.423	0.260	1.689	0.99
	Vc*q	-10.561	3.219	0.540	-3.281	0.002
	Vc*d	-0.992	0.986	0.212	-1.006	0.320
	f*q	-2423.333	643.776	0.511	-3.764	0.001
	f*d	47.917	197.115	0.526	2.780	0.008
	q*d	-48.667	16.094	0.599	-3.024	0.004
	q	677.167	175.323	0.875	3862	0.000
Üstel Regresyon Modeli	Sabit	221.220	310.393		0.713	0.479
	Inq	-391.451	54.849	-0.351	-7.137	0.000
	Ind	986.119	90.910	0.533	10.847	0.000
	InVc	82.138	66.855	0.60	1.229	0.225
	Inf	585.534	41.907	0.686	13.972	0.000

a. Bağımlı Değişken: fz



Çizelge 6 incelendiğinde, anlamlılık katsayısı 0.05'den düşük olan parametrelerin, regresyon modellerinde kullanılmaları uygun olmakla birlikte, anlamlılık katsayısı 0.05'den büyük olan parametrelerin regresyon modellerinde kullanılmalarının uygun olmadıkları görülmüştür. Buna göre Çizelge 7'de, ilerleme kuvveti için, kullanılması uygun olan ve olmayan parametreler gösterilmiştir.

**Çizelge 7.** İlerleme kuvveti için, regresyon modellerine göre anlamlılık katsayısı uygun olan ve olmayan parametreler

Regresyon Modelleri	Anlamlılık Katsayısı<0.05 (Regresyon modellerinde kullanılmaları uygun)	Anlamlılık Katsayısı>0.05 (Regresyon modellerinde kullanılmaları uygun değil)
Lineer Regresyon	f, d, q	Vc
İkinci Dereceden Regresyon	q, f*d, f*q, Vc*q, q*d,	Vc <sup>2</sup> , d <sup>2</sup> , Vc*f, f <sup>2</sup> , Vc*d, f, Vc, d
Üstel Regresyon	lnq, lnd, lnf	lnVc

Yüzey pürüzlülüğü için her üç regresyon modelinden elde edilen Anova Tablosu Çizelge 8'de verilmiştir.

**Çizelge 8.** Yüzey pürüzlülüğü için regresyon modellerinden elde edilen Anova Tablosu

ANOVA <sup>a</sup>						
Regresyon Modelleri	Model	K.T	S.D	K.O	F	Sig.
Lineer Regresyon Modeli	Regresyon	1.651	4	0.413	122.147	.000 <sup>b</sup>
	Hata	0.166	49	0.003		
	Toplam	1.816	53			
İkinci Dereceden Regresyon Modeli	Regresyon	1.728	13	0.133	60.0833	.000 <sup>c</sup>
	Hata	0.088	40	0.002		
	Toplam	1.816	53			
Üstel Regresyon Modeli	Regresyon	1.633	4	0.408	109.249	.000 <sup>d</sup>
	Hata	0.183	49	0.004		
	Toplam	1.816	53			

Yüzey pürüzlülüğü için her üç regresyon modelinden elde edilen katsayılar Çizelge 9'da verilmiştir.

**Çizelge 9.** Yüzey pürüzlülüğü için regresyon modellerinden elde edilen katsayılar

Regresyon Modelleri	Model	Katsayılar		Standart Katsayılar	t	Sig.
		B	Hata	Beta		
Lineer Regresyon Modeli	Sabit	1.819	0.058		31.436	0.000
	q	-0.167	0.016	-0.456	-10.577	0.000
	d	0.069	0.005	0.618	14.320	0.000
	f	1.664	0.194	0.371	8.591	0.000
	Vc	-0.10	0.001	0.427	-9.892	0.000
İkinci Dereceden Regresyon Modeli	Sabit	1.956	0.314		6.219	0.000
	d	-0.068	0.058	-0.610	-1.174	0.247
	f	7.438	1.532	1.656	4.855	0.000
	Vc	0.002	0.010	0.085	0.201	0.842
	Vc <sup>2</sup>	-7.6E-005	0.000	-0.204	-0.561	0.578
	f <sup>2</sup>	-13.511	5.431	-0.608	-2.488	0.017
	d <sup>2</sup>	0.12	0.003	1.704	4.515	0.001
	Vc*f	-0.29	0.019	-0.237	-1.502	0.141
	Vc*q	0.003	0.002	0.273	1.616	0.114
	Vc*d	-0.001	0.000	-0.443	-2.044	0.048
	f*q	-0.144	0.314	-0.064	-0.461	0.648
	f*d	-0.249	0.096	-0.503	-2.591	0.013
	q*d	0.001	0.008	0.022	0.106	0.916
	q	-0.236	0.085	-0.642	-2.759	0.009
Üstel Regresyon	Sabit	2.274	0.136		16.740	0.000



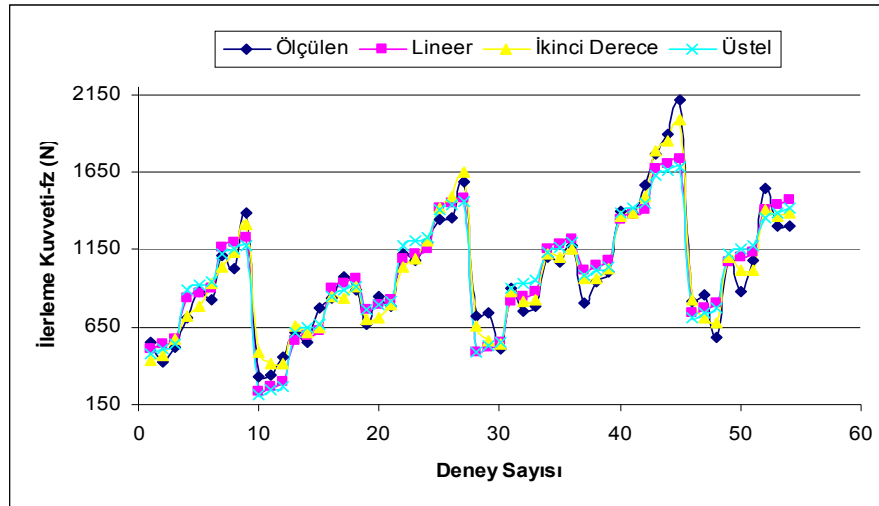
Modeli	Inq	-0.241	0.024	-0.456	-10.057	0.000
	Ind	0.532	0.040	0.607	13.382	0.000
	InVc	-0.273	0.029	-0.423	-9.319	0.000
	Inf	0.153	0.018	0.379	8.362	0.000
a. Bağımlı değişken: Ra						

Çizelge 9 incelendiğinde, anlamlılık katsayısı 0.05'den düşük olan parametrelerin, regresyon modellerinde kullanılmaları uygun olmakla birlikte, anlamlılık katsayısı 0.05'den büyük olan parametrelerin regresyon modellerinde kullanılmalarının uygun olmadıkları görülmüştür. Buna göre Çizelge 10'da, yüzey pürüzlülüğü için, kullanılması uygun olan ve olmayan parametreler gösterilmiştir.

**Çizelge 10.** Yüzey pürüzlülüğü için, regresyon modellerine göre anlamlılık katsayısı uygun olan ve olmayan parametreler

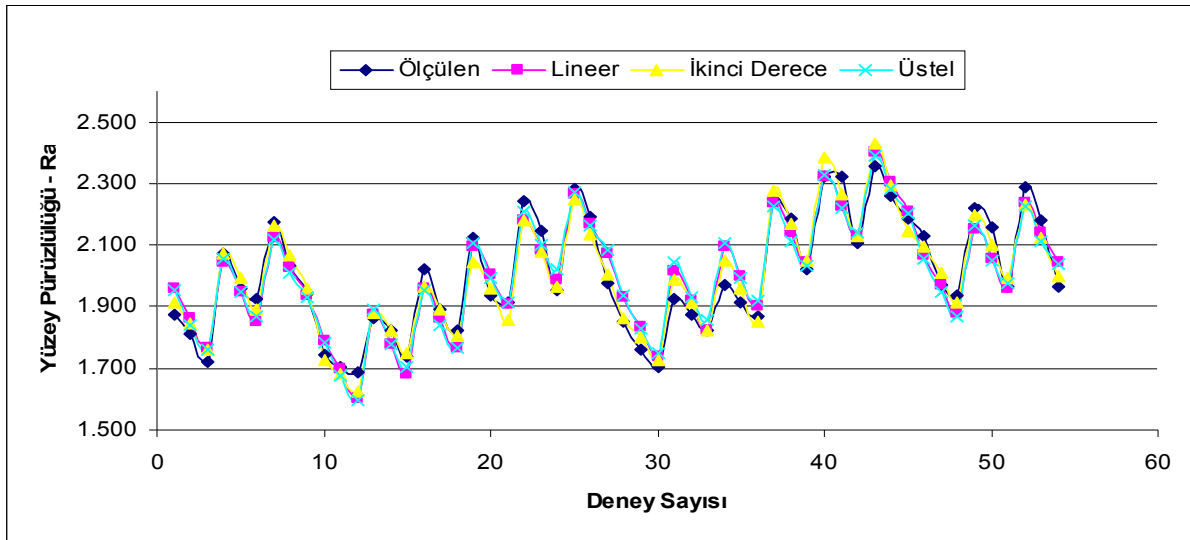
Regresyon Modelleri	Anlamlılık Katsayısı<0.05 (Regresyon modellerinde kullanılmaları uygun)	Anlamlılık Katsayısı>0.05 (Regresyon modellerinde kullanılmaları uygun değil)
Lineer Regresyon	Vc, f, d, q	-
İkinci Dereceden Regresyon	q, f*d, Vc*d, d <sup>2</sup> , f <sup>2</sup> , f	d, Vc, Vc <sup>2</sup> , Vc*f, Vc*q, f*q, q*d
Üstel Regresyon	lnq, lnd, lnf, lnVc	-

Uygulanan regresyon modelinin tümüne bakıldığında, en küçük kareler yöntemi kullanarak, ortalama ilerleme kuvveti için elde edilen en yüksek R<sup>2</sup>=95,4% tür. Yüzey pürüzlülüğü için elde edilen en yüksek R<sup>2</sup>=95,1% olarak ikinci dereceden regresyon modelinde elde edilmiştir. Bu durumda, belirlenen kesme parametrelerine karşılık gelen ilerleme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülüğünün modellenmesinde kullanılacak en uygun metot ikinci dereceden regresyon modeli olmuştur.



**Şekil 4.** İlerleme kuvveti (fz) için farklı regresyon metotları ile tahmin edilen sonuçlarının karşılaştırılması

İlerleme kuvvetinin regresyonla modellenmesinde üç farklı regresyon modelinden elde edilen tahmin sonuçları şekil 4'de verilmiştir. Bu tahmin sonuçları içerisinde ikinci dereceden regresyon analizinden elde edilen tahmin sonuçlarının deney sonuçlarına daha yakın olduğu grafikte açıkça görülmektedir.



Şekil 5. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için farklı regresyon metotları ile tahmin edilen sonuçlarının karşılaştırılması

Yüzey pürüzlülüğünün regresyonla modellenmesinde üç farklı regresyon modelinden elde edilen tahmin sonuçları şekil 5’de verilmiştir. Bu tahmin sonuçları içerisinde ikinci dereceden regresyon analizinden elde edilen tahmin sonuçlarının deney sonuçlarına daha yakın olduğu grafik de görülmektedir.

## 5.Sonuçlar

Bu çalışmada, deneyler sonucunda elde edilen ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerinin matkap türü (kaplamalı-kaplamasız), matkap çapı, ilerleme değeri ve kesme hızı gibi deney parametrelerine bağlı olarak lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon ve üstel regresyon metotları ile modellenmesi yapılmıştır. Hem ilerleme kuvveti için hem de yüzey pürüzlülüğü için en uygun modelin ikinci dereceden regresyon modeli olduğu görülmüştür. Uygulanan regresyon modelinin tümüne bakıldığında, en küçük kareler yöntemi kullanarak ortalama ilerleme kuvveti için elde edilen en yüksek  $R^2=95,4\%$ , yüzey pürüzlülüğü için elde edilen en yüksek  $R^2=95,1\%$  olarak ikinci dereceden regresyon modelinde elde edilmiştir. Ayrıca deney sonuçlarından elde edilen ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine en yakın sonuçların, ikinci dereceden lineer regresyon modelinde ortaya çıktığı görülmüştür. İkinci dereceden regresyon modelinden elde edilen sonuçlara göre; ilerleme kuvvetinin, kaplamalı matkaplara göre kaplamasız matkaplarda daha fazla olduğu, ayrıca artan ilerleme hızı ve matkap çapı ile beraber daha da arttığı gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü modelinden elde edilen sonuçlara göre; delik üzerinde oluşan yüzey pürüzlülüğünün kaplamasız matkaplara göre kaplamalı matkaplarda daha az olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ve matkap çapı artışıyla doğru orantılı olarak arttığı, kesme kuvveti artışı ile ters orantılı bir şekilde azaldığı gözlenmiştir.

## 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] Kadırgama, K., Naar, M., M., Zukı, 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).
- [3] Lahıdı, B., “Determining Deflection For Metal Turning Operations”, Journal Of Industrial Technology, 13, 2, 21-33, (1997).
- [4] Çakır, 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).
- [5] Çakır, C., M., Demirayak, İ., “Kesme Parametrelerinin ve Kaplama Tabakasının İş Parçası Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, Iv Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Bildiri Kitabı, 263-270, Konya, (2007).
- [6] Thamma, R., “Comparision Between Multiple Regression Models Tostudy Effect Of

- Turning Parameters On The Surface Roughness”, Proceedings Of The 2008 Iajc-Ijme International Conference, 133-145, Usa, (2008).
- [7] Tosun, N., Özler, L., “A Study Of Tool Life İn Hot Machining Using Artificial Neural Networks And Regression Analysis Method”, Journal Of Material Processing Technology, 124, 99-104, (2002).
- [8] Yang, Y. K., Chuang, M. T., Lin, S. S., “Optimization Of Dry Machining Parameters For High-Purity Graphite İn End Milling Process Via Design Of Experiments Methods”, Journal Of Materials Processing Technology, 209, 4395- 4400, (2009).
- [9] Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 23-90 (1998).
- [10] Şeker, U., “Talaş Kaldırma Prensipleri Ders Notları”, *Ankara*, (2006).
- [11] Sandvik Coromant, “Modern Metal Cutting”, Sweden, 2-61, (1994)
- [12] Montgomery, D., C., “Design And Analysis Of Experiments”, John Wiley&Sons, Usa, (2001).
- [13] Şahinler, S., “En Küçük Kareler Yöntemi İle Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri”i, MKU Ziraat Fakültesi Dergisi, 5, 57-73 (2000).
- [14] Şıklar, E., “Regresyon Analizine Giriş”, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, (2000).