

REGRESYONLA TİTREŞİM, AKUSTİK EMİSYON VE KESME PARAMETRELERİNE BAĞLI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN MODELLENMESİ

İlhan Asiltürk*

Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Konya
iasilturk@yahoo.com

Harun Akkuş

Amasya Üniversitesi,
Teknik Bilimler MYO, Amasya
harun.akkus@amasya.edu.tr

M. Turan Demirci

Selçuk Üniversitesi,
Teknik Eğitim Fakültesi,
Makina Eğitimi Bölümü, Konya
turandemirci@selcuk.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada AISI 4140 ıslah çeliği, 51 HRC sertlikte kuru kesme şartlarında sert tornalama işleme tabi tutulmuştur. Kesme parametreleri olarak kesme hızı (V), ilerleme (f) ve talaş derinliği (a) değerleri seçilerek tornalama sonucu ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri offline olarak, takım tutucu üzerindeki titreşim (a_z) ve akustik emisyon (AE) ise online olarak ölçülmüştür. I., II. ve logaritmik çoklu regresyonla matematiksel yüzey pürüzlülüğü modelleri oluşturulmuştur. Çoklu regresyon modellerinde bağımsız değişken olarak V , f , a , a_z ve AE değerlerinin; bağımlı değişken Ra üzerindeki etkileri incelenmiş ve en etkin parametrenin az olduğu gözlemlenmiştir. Modellerin güvenilirliği varyans analizi (ANOVA) ile tespit edilmiştir. MATLAB 2007 B, MINITAB 14 ve SPSS 16.0 programlarından yararlanılmıştır. Deneysel ve matematiksel modellenen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması sonucu II. dereceden regresyonun modelinin belirtme katsayısı %99.1 bulunarak literatüre göre daha memnun edici doğrulukta sonuç elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey pürüzlülüğü, çoklu regresyon, titreşim, akustik emisyon (AE), varyans analizi (ANOVA)

Modelling of Surface Roughness Based on Vibration, Acoustic Emission and Cutting Parameters With Regression

ABSTRACT

In this study, AISI 4140 steel, 51 HRC hardness in dry cutting conditions are subject to hard turning. Cutting parameters (cutting speed (V), feed rate (f) and depth of cut (a) are selected in the turning experiments. Average surface roughness (Ra) values were measured offline, the vibration (a_z) and acoustic emission (AE) on the tool holder were measured as the online. I., II. and logarithmic surface roughness models have been developed with multiple regression. Multiple regression models as independent variables V , f , a , a_z and AE values; dependent variables were investigated and the most effective parameters on Ra is observed. Reliability models, analysis of variance (ANOVA) were determined. MATLAB 2007B, Minitab 14 and SPSS 16.0 program was used. A comparison of the mathematical modeling and experimental data are presented and conclusions are made. The results show that the second order regression model can reliability and accurately be used to model surface roughness as a function of cutting parameters, AE and tool vibrations.

Keywords: Surface roughness, multiple regression, vibration, AE, ANOVA

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 28.10.2012

Kabul tarihi : 09.11.2012

22-23 Ekim 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Konya'da düzenlenen VI. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi'nde sunulan bildiri, yazarlarınca güncellenerek ve genişletilerek bu makale hazırlanmıştır.

Asiltürk, İ., Akkuş, H., Demirci, M. T. 2012. "Regresyonla Titreşim, Akustik Emisyon ve Kesme Parametrelerine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 632, s. 55-62

1. GİRİŞ

Yüzey pürüzlülüğü makina parçasının estetik görünüm, yorulma, korozyon direnci, tribolojik vs. mekanik özellikler ve fonksiyonunu yerine getirebilmesi için dikkate alınması gereken temel imalat gerekliliklerinden biridir. Bu nedenle akademik ve endüstri çevrelerinin yoğun ilgisi son yıllarda da devam etmektedir. Sert tornalama işlemi, yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip kesici takımlar kullanılarak 50-70 HRC arasında sertliğe sahip iş malzemelerinin düşük talaş derinliğinde tornalama işlemidir [1]. Günümüzde takım, tezgâh ve parametre seçimi malzeme sertliğine göre yapılmaktadır. Yüksek sertlikteki malzemelerin işlenmesi; zamandan tasarruf, yüzey kalitesindeki artış, finiş işleme zamanının azalması, sıcaklıktan dolayı parçada oluşan çarpıklıkların ortadan kaldırılması, maliyetlerde azalma vb. avantajları dolayısıyla tercih edilmektedir [2]. Regresyon analizi, aralarında sebep sonuç ilişkisi olan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi incelemek ve o konuyla ilgili tahmin/model yapabilmek amacıyla kullanılan istatistiksel bir metottur. Diğer bir ifadeyle bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasında kurulan istatistiksel modelle, bağımsız değişkenlerin belirli değerleri için bağımlı değişkenlerin alacağı değeri tahmin etme yöntemidir [3].

Carpenter ve Maropoulos, çalışmalarında feritik alaşımların kaba frezeleme şartlarında parça geometrisi farklılığının ve iş parçası sertliğinin kesme parametrelerine etkisini çoklu regresyon ve istatistiksel analizle incelemişlerdir. Bu metodların optimum kesme parametrelerini belirlemede uygun metodlar olduklarını ifade etmişlerdir [4]. Huang ve Chen yapmış oldukları çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü değerinin çoklu regresyon modelini oluşturmuşlardır. Ra bağımlı değişkenine, bağımsız değişkenler ilerleme (F), kesme hızı (S), talaş derinliği (D) ve titreşim (V) değerlerinin etkilerini araştırmışlardır. Bu denklemde en önemli parametrenin ilerleme olduğunu, onu titreşim, kesme hızı ve talaş derinliğinin takip ettiğini belirlemişlerdir [5]. Feng ve Wang çalışmalarında AISI 8620 çeliğinin karpit takımla tornalanması işleminde logaritmik veri dönüşümü ile non-lineer regresyon analizi kullanarak deneysel model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada; iş parçası sertliği, ilerleme, takım uç açısı, talaş derinliği, kesme hızı ve kesme zamanının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü tahminini küçük hatalarla gerçekleştirmişlerdir [6].

Suresh ve arkadaşları cevap yüzey tekniğini (RSM) kullanarak, orta karbonlu çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü tahmin modelini geliştirmişlerdir. Parçalarının işlenmesinde TiN kaplı 0.4, 0.8, 1.2mm uç yarıçapına sahip CNMG uçlar ve 4025 kaliteye sahip tungsten karbür kesici takımlar kullanmışlardır. Çalışmada kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve uç yarıçapı dikkate alınmıştır. Deneysel sonuçlar regresyon analiziyle yüzey pürüzlülüğü tahmininde başarılı olarak kullanılmıştır [7].

Dabade ve arkadaşları frezelemede farklı kesme parametreleri kullanarak çoklu regresyon metodu ile yüzey pürüzlülüğü, kesme parametreleri ilişkilerini incelemişlerdir. En etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu yapılan makalede ifade edilmiştir [8]. Özel ve Karpat tornalamada yüzey pürüzlülüğünü yapay sinir ağları ve regresyon yöntemiyle tahmin etmişlerdir. Deney sonuçlarının modellerle karşılaştırılması sonucu modellerin doğruluğunu ortaya koymuşlardır [9]. Hadi ve Ahmed, finiş tornalamada yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli geliştirilmesine odaklanmışlardır. Bu modelde çalışma parametreleri olarak; ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı kullanılmıştır. Kesme deney sonuçlarını kullanarak memnuniyet verici istatistiksel modeller elde ettiklerini belirtmişlerdir. Sonuç olarak küçük ilerleme hızlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde küçük değişimler görülmüştür. Tüm durumlar için düşük hızlarda yapılan deneyler yerine, daha yüksek hızlarda yapılan deneylerin daha iyi yüzeyler verdiğini gözlemlemişlerdir [10].

Demirayak ve Çakır çalışmalarında kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği) ve kesici takım kaplama tabakasının iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Soğuk iş takım çeliklerinden AISI P20 çeliğini aynı talaş kırıcı geometrisine, farklı kaplama tabakasına sahip kesici uçlarla işlemişler ve bu işlemler sonunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü ile kesme parametreleri arasında çoklu regresyon modellerini oluşturmuşlardır. Kesme parametrelerinin yanı sıra kaplama tabakalarının yüzey pürüzlülüğünde etkilerini de ayrıca değerlendirmişlerdir [11]. Yang ve arkadaşları deneysel tasarım metoduyla CNC finiş frezelemede iyi yüzey kalitesini elde etmek için kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızlarının optimizasyonunu yapmışlardır. Aynı zamanda en iyi yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için regresyon analizini kullanmışlardır. Çalışmada ilerlemeyi en etkin parametre olarak tespit etmişlerdir [12]. Chavoshi ve Tajdari, CBN kesici uçla AISI 4140 çeliğinin sert tornalanması deneylerini yapmışlardır. İlerleme ve talaş derinliğini sabit tutarak, sertlik (H) ve kesme hızı değişkenlerinin Ra üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir. Regresyon ve YSA ile optimum yüzey pürüzlülüğü modelleri kurmuşlardır. Sertliğin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır [13]. Kayacan ve arkadaşları tarafından [14] CNC tornalamada, ekonomik işleme için en uygun takım aşınmasını oluşturacak kesme şartlarını belirleyebilecek genel amaçlı bulanık mantık modeli kurulmuştur. Bu modelde hedef fonksiyon olan minimum takım aşınmasını etkileyen parametreler olarak iş parçası malzemesi sertliği, kesici takım malzemesi sertliği, kesme hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği ve çalışma sıcaklığı alınmıştır.

Mandal ve arkadaşları [15] serbest yüzey aşınmasının malzemelerin işlenebilirliklerinde önemli bir parametre olduğunu ifade etmişlerdir. Deneysel olarak EN24 sert çeliklerin tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin

serbest yüzey aşınmasına etkisini incelemişlerdir. ANOVA ve Cevap Yüzey Metodu kullanarak tahmin modeli oluşturmuşlardır.

Chen ve arkadaşları titreşim sinyallerine bağlı lojistik regresyon modeli ile kesici takımların güvenilirlik tahmin modellerini oluşturmuşlar, on-line titreşim sinyal ölçümü, dalgacık dönüşümü (Wavelet Paket Transformu) ve korelasyon analiz işlem basamaklarını uygulamışlardır. Son olarak lojistik regresyon modeliyle başarılı güvenilirlik tahmin modelleri elde etmişlerdir [16]. Asiltürk ve Çunkaş, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve çoklu regresyon metodlarıyla Ra pürüzlülük tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen modellerin korelasyon katsayısı (R^2) regresyon için %98.9, YSA eğitim için %99.8 ve test için %99.4 bulunmuştur [17]. Demircioğlu [18] yüzey pürüzlülüğünün doğruluğunun net ölçülebilmesi için 3D optik ölçüm sistemlerinden yararlanmışlardır. Geleneksel talaşlı imalat yöntemleriyle üretilmiş tornalama, frezeleme, taşlama gibi 15 adet düz yüzeyli iş parçalarını aynı ölçüm şartları kullanarak ölçmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) ve maksimum yüzey pürüzlülük (R_z)'in değerlerini, ilerleme (f), yüzeylerin periyodikliği (P), malzeme tipi (M) ve yüzeylerin konsantrasyonuna (C) bağlı olarak veren birinci dereceden matematiksel model oluşturmuş ve parametrelerin etkilerini analiz etmiştir.

Bu çalışmada, ısıl işlem uygulanarak 51-57 HRC'ye sertleştirilen AISI 4140 çelik iş parçası üç farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinde CNC torna tezgahında boyuna tornalanarak, ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a değerleri, takım tutucu üzerindeki titreşim ve akustik emisyon sinyalleri elde edilecektir. Deneysel verilere Ra değerinin tespiti için üç farklı regresyon modeli uygulanarak en uygun model ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametrenin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Literatürde regresyonla yüzey pürüzlülüğünün modellenmesine ait birçok çalışma yapılmıştır. Ancak titreşim ve akustik emisyon sinyallerinin kesme parametreleriyle beraber kullanıldığı bir regresyon modeline rastlanmamıştır. Geliştirilecek model bu yönüyle ilk olma özelliğine sahiptir.

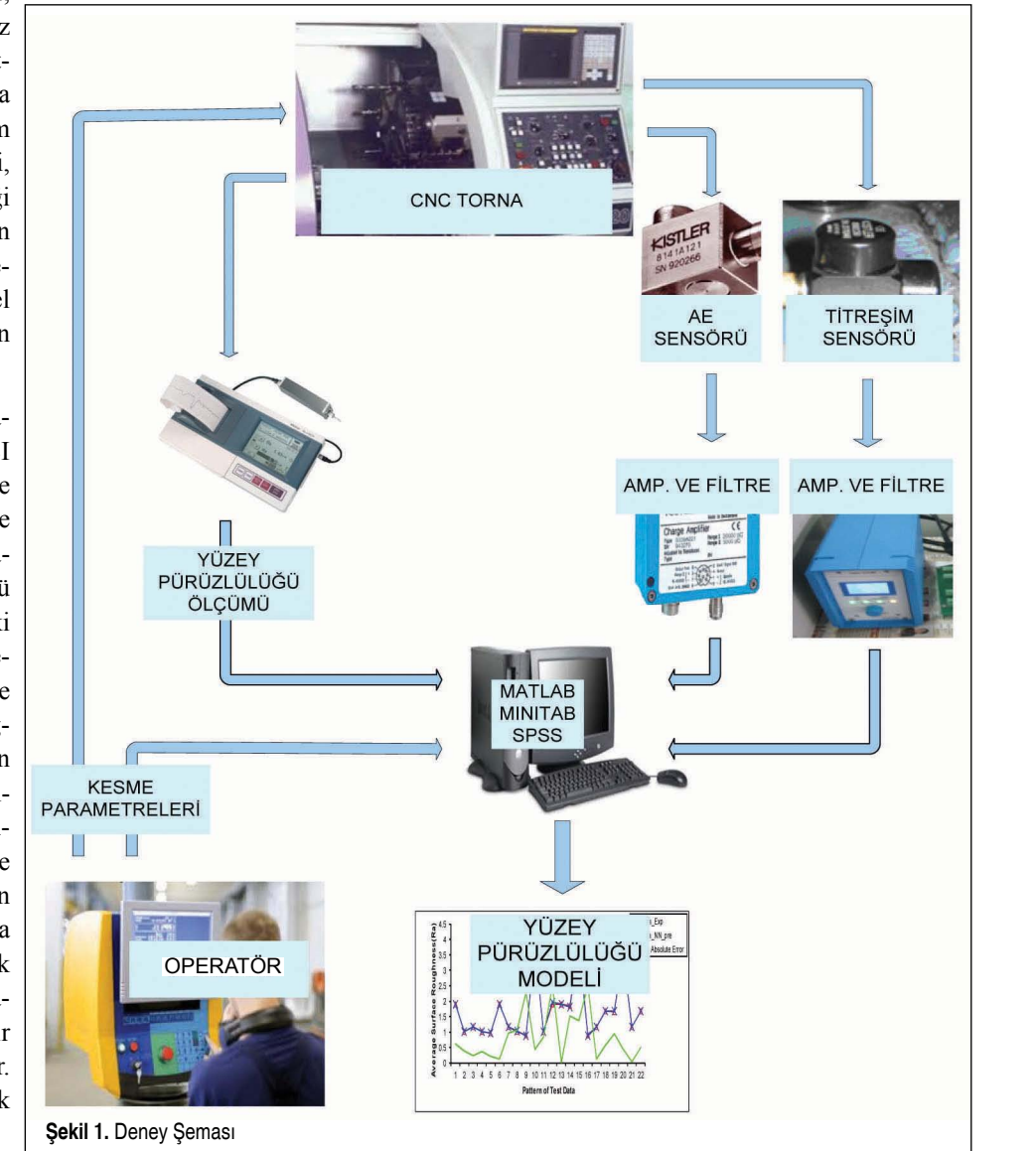
2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada iş parçası malzemesi olarak AISI 4140 çelik iş parçaları kullanıldı. Bu malzemenin seçim nedeni yüksek dayanım gerektiren makina parçalarının, dişli çarkların, bağlantı çubuklarının, civataların, pimlerin, aksların üretiminde yaygın olarak kullanılmasıdır.

Ø110x600mm ebatlarında iş parçasının ısıl işleme sokulmadan önce yüzeyindeki tufaller ve çapaklar alındı, punta delikleri açıldı. Isıl işlem olarak; malzeme bir saat 880 °C sulan-

Tablo 1. Kesme Parametreleri

Sembol	Kesme Parametreleri	Seviyeler		
V	Kesme hızı (m/dk)	90	120	150
f	İlerleme hızı (mm/dev)	0.18	0.27	0.36
a	Talaş derinliği (mm)	0.2	0.4	0.6



Şekil 1. Deney Şeması

dırılıp ardından 280 °C’de iki saat menevişlenerek gerginlik giderme ve sertlik düşürme işlemine tabi tutulmuştur, bu sayede malzemenin sertlik değeri 62 HRC’den 51-57 HRC’ye düşürülmüştür. Deneyler Selçuk Üniversitesi bünyesindeki ISOMER araştırma merkezinde Mori Seiki marka NL 2500 CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Deneylerde soğutma sıvısı ya da gazı kullanılmamış, kuru kesme şartlarında talaş kaldırılmıştır [19].

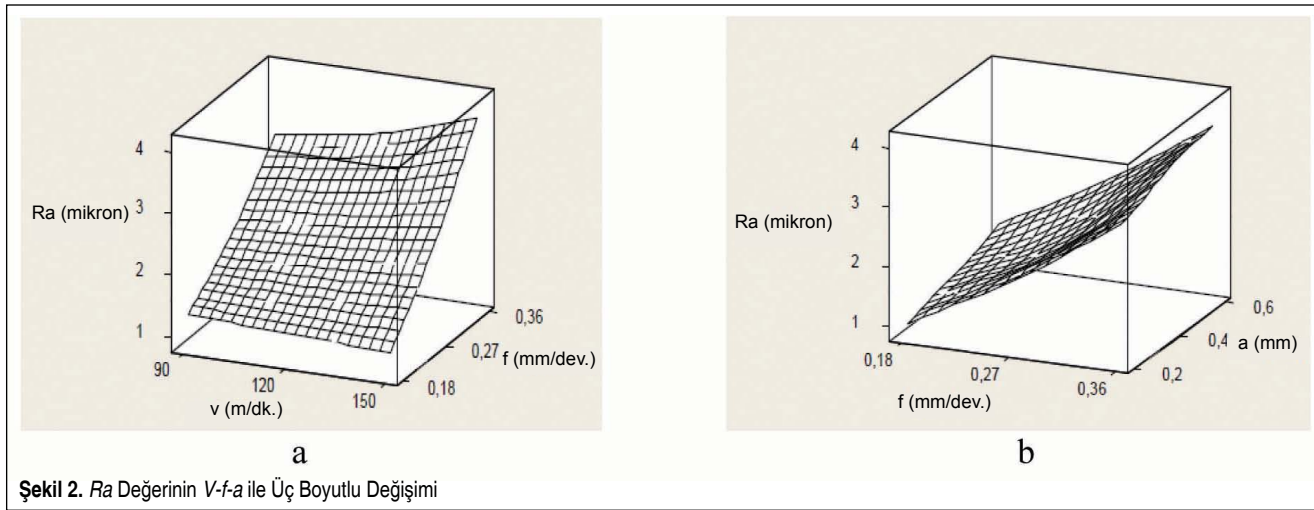
Deneyde takım tutucu olarak MWLNR 2525M-0.8W, kesici uç olarak ISCAR marka Al₂O₃ ve TiC kaplamalı WNMA 080408 IC5005 formu kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak üretici firma kataloğuna uygun olarak üç farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği belirlenmiştir. Tablo 1’de verilen kesme parametreleriyle deneyler yapıldıktan sonra yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Tam Faktöriyel Tasarım (TFT) yöntemiyle toplam 27 adet deney yapılmıştır. Bu kesme parametrelerine karşılık Ra değerleri Mitutoyo SJ 301P marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı yardımıyla off-line olarak ölçülmüştür.

Titreşim ölçümü için Kistler marka 5134 tip ivmeölçer sensör, akustik emisyon ölçümü için de Kistler marka 8443B tipi akustik emisyon sensörü kullanılmıştır. Kullanılan amplifikatörler vasıtasıyla otomatik kazanç kontrolü kompanzasyonu yapılmıştır. Online olarak Z yönündeki titreşim (a_z) ve akustik emisyon sinyalleri (AE) Matlab yazılımında geliştirilen “ilhan_daq_V01” program arayüzü yardımıyla ölçülmüştür [20]. Veri alma donanımı olarak NI 6221 DAQ kullanılarak saniyede 80 veri bilgisayara kaydedilmiştir. Deneyler üç tekrarlı olarak yapılmış ve aritmetik ortalaması alınmıştır. Deney şeması Şekil 1’de, ölçüm sonuçları da Ek 1’de verilmiştir.

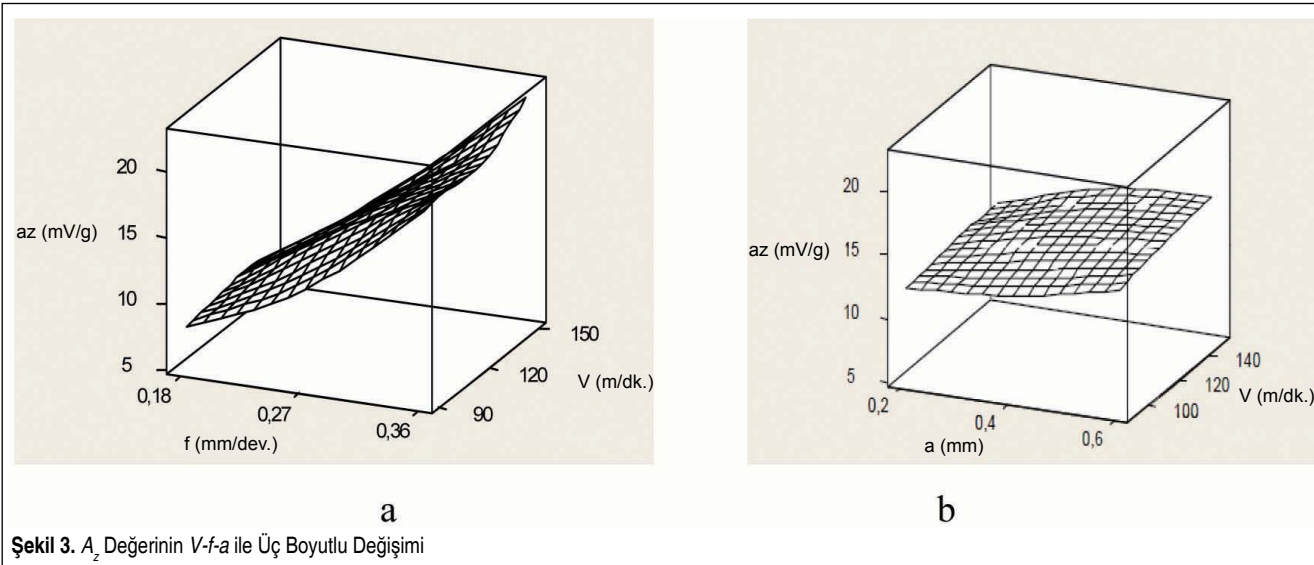
3. DENEYSEL SONUÇLAR

Şekil 2 a’da görüldüğü gibi ilerleme değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin de buna bağlı olarak bir artış gösterdiği görülmektedir. Kesme hızı değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı da görülmektedir.

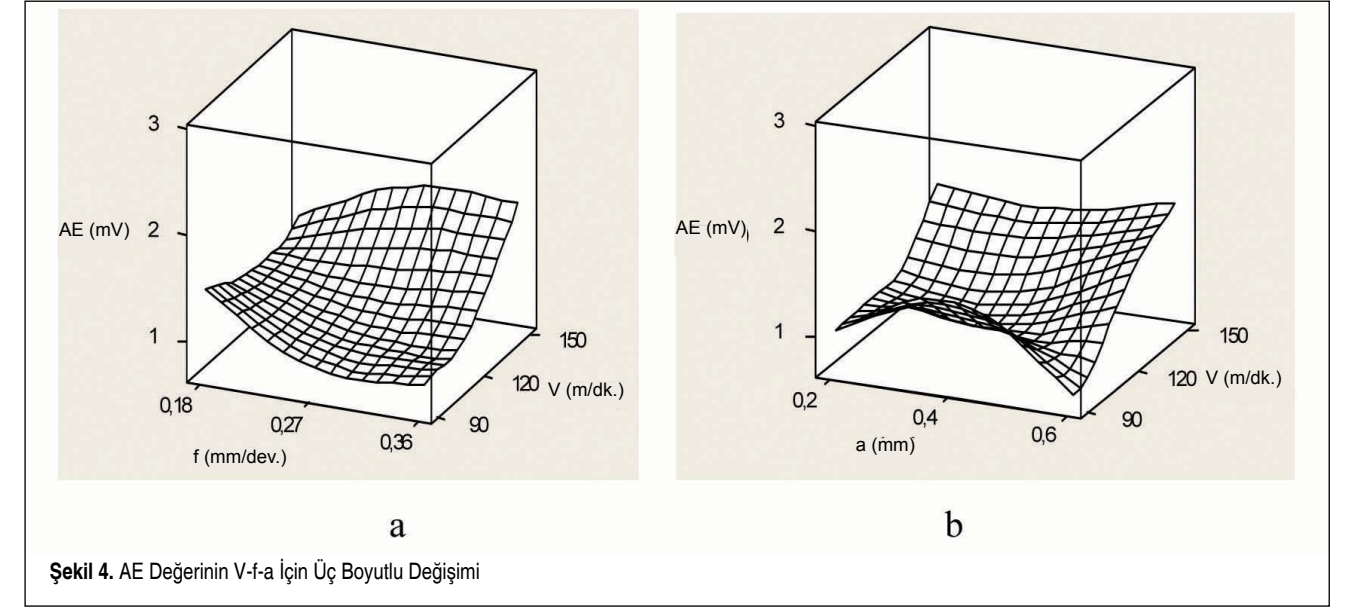
Şekil 2 b’de görüldüğü gibi ilerleme değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü



Şekil 2. Ra Değerinin V-f-a ile Üç Boyutlu Değişimi



Şekil 3. Az Değerinin V-f-a ile Üç Boyutlu Değişimi



Şekil 4. AE Değerinin V-f-a İçin Üç Boyutlu Değişimi

rüzüzlülüğü değerinin de buna bağlı olarak bir artış gösterdiği görülmektedir. Talaş derinliği değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin de arttığı görülmektedir.

Şekil 3a’da görüldüğü gibi ilerleme değeri arttıkça titreşim değerinin de buna bağlı olarak bir artış gösterdiği, ayrıca kesme hızı değerindeki artışla titreşim değerinin de arttığı görülmektedir. Şekil 3b’de görüldüğü gibi kesme derinliği değeri arttıkça titreşim değerinin de buna bağlı olarak bir artış gösterdiği ayrıca kesme hızı değerindeki artışla titreşim değerinin de arttığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar literatürle paralellik göstermiştir. Şekil 4a’da akustik emisyon değerinin ilerleme değeri arttıkça azaldığı, kesme hızı değeri arttıkça arttığı görülmektedir. Şekil 4b’de akustik emisyon değerinin kesme hızıyla arttığı, talaş derinliği değeri içinde 0,4 mm’de maksimum değere ulaştığı görülmektedir.

Genellikle yüzey pürüzlülüğü ilerleme ve kesme derinliğiyle artar kesme hızıyla azalır. Pürüzlülük kesme hızının belli değerlerinde BUE boyutundaki azalmadan dolayı düşer. Artan ilerleme talaş kesitini artırdığı için sürtünmeye sebep olmaktadır [11,21,22,23].

Yukarıdaki grafiklerin analizinden yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu sonucu çıkarılmıştır.

4. REGRESYONLA MODELLEME

Çoklu regresyon sürekli bir bağımlı değişken ile iki ya da daha fazla bağımsız değişken arasındaki korelasyonu belirlemeye yarayan bir istatistik tekniktir. Deneylerden elde edilen Ra değerleri için I. derece, II. derece ve logaritmik olarak regresyon denklemleri çıkartıldı ve modellere etki eden faktörlerin etkileri tablo halinde verildi. Regresyon modelinde denklemlerin oluşturulması için MINITAB 14 istatistik programı kullanıldı. ANOVA testi için SPSS 16.0 istatistik programı

kullanıldı. Regresyon modellerine ait denklem formları aşağıdaki gibidir [9,11,17].

I. dereceden (Lineer) regresyon modeli

Bağımlı değişken T , bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse lineer regresyon eşitliği (1)’deki denklemle ifade edilir.

$$T = k_0 + k_1x + k_2y + k_3z \quad (1)$$

Burada k_0 sabit; k_1, k_2, k_3 , ise x, y, z bağımsız değişkenlerinin katsayılarıdır.

II. dereceden regresyon modeli

Bağımlı değişken T , bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse II. dereceden regresyon eşitliği (2)’deki denklemle ifade edilir.

$$T = k_0 + k_1x + k_2y + k_3z + k_4x^2 + k_5y^2 + k_6z^2 + k_7xy + k_8xz + k_9yz \quad (2)$$

Logaritmik regresyon denklemi

Bağımlı değişken T , bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse logaritmik regresyon eşitliği (3)’deki denklemle ifade edilir.

$$T = k_0 + k_1 \text{Log}(x) + k_2 \text{Log}(y) + k_3 \text{Log}(z) \quad (3)$$

MINITAB 14 programıyla oluşturulan regresyon analizi için modelinde belirtme katsayısı (R^2) olarak bilinen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı ise modeldeki açıklama miktarının açıklanamayan miktara olan oranıdır. Regresyon sonuçlarında belirtme katsayısı (R^2) 1’e yakın bulunursa bağımlı değişkendeki değişimin büyük bir kısmı bağımsız değişken tarafından açıklanabilmektedir. Bulgularda-

ki “Coef” ifadesi değerlerin katsayılarını belirtir. Regresyon katsayısı bağımsız değişkende bir birimlik değişimin bağımlı değişkende ne kadar etkiye sahip olacağını ifade eder. “Coef SE” ise katsayılarıdaki standart hatayı bildirir. Sabit ve regresyon katsayısı için “T” test istatistiklerinin sonucunu ifade eder. “p” ise regresyon analizinin anlamlı olup olmadığını test etmektedir. $p < 0,05$ olursa regresyon denkleminde bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkisinin olduğu sonucuna varılır. Varyans analizinde SPSS programı sonuç tablosundaki “Sum of squares” kareler toplamını, “Mean square” ise regression (regresyon) ve residualların (artık) kareler ortalamasının toplamını, “df” serbestlik derecesini, “Sig.” ise güvenilirliği ifade etmektedir [18].

4.1 Ra Değerinin Regresyonla Modellenmesi

4.1.1 Ra için I. dereceden regresyon modeli

Deneyel Ra değerleri için elde edilen I. dereceden regresyon denklemi denklem (4)’te verilmiştir. Ra için I. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Ra için I. Dereceden Regresyon Denklem Katsayıları

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-1,0568	0,4681	-2,26	0,035
V	0,002083	0,002091	1	0,331
f	4,848	2,607	1,86	0,077
a	0,5542	0,3678	1,51	0,147
a_z	0,109	0,03784	2,88	0,009
AE	0,03424	0,09552	0,36	0,724

$$Ra = -1,056 + 0,00208V + 4,85f + 0,554a + 0,109a_z + 0,0342AE \quad (4)$$

Ra için I. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı $R^2 = \%95,9$ ’dur. 1’e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin $\%95,9$ ’u bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. Ra bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken a_z değeridir.

SPSS programında I. dereceden Ra regresyon denklemi için ANOVA tablosuna bakıldığında bu denklemin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 3’te ANOVA tablosu verilmiştir.

Tablo 3. Ra için I. Derece Regresyon Modelinde SPSS’de ANOVA Sonuçları

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	23,551	5	4,710	97,364	0,000 ^a
1 Residual	1,016	21	0,048		
Total	24,566	26			

4.1.2 Ra için II. dereceden regresyon modeli

Ra değerleri için elde edilen II. derece regresyon denklemi denklem (5)’de verilmiştir. Ra için II. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Ra için II. Dereceden Regresyon Denklem Katsayıları

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,08	12,47	0,41	0,698
V	-0,09825	0,08374	-1,17	0,285
f	-19,7	135	-0,15	0,889
a	3,1	13,6	0,23	0,827
a_z	0,345	1,85	0,19	0,858
AE	1,573	4,699	0,33	0,749
V^2	0,000346	0,000377	0,92	0,394
f^2	-17,8	420,7	-0,04	0,968
a^2	-0,778	6,175	-0,13	0,904
a_z^2	0,00912	0,07084	0,13	0,902
AE^2	-0,5058	0,3711	-1,36	0,222
$V*f$	0,2865	0,4674	0,61	0,562
$V*a$	-0,02832	0,0719	-0,39	0,707
$V*a_z$	-0,00286	0,007212	-0,4	0,706
$V*AE$	-0,00962	0,01337	-0,72	0,499
$f*a$	2,4	101,4	0,02	0,982
$f*a_z$	-0,22	11,01	-0,02	0,985
$f*AE$	3,03	42,47	0,07	0,946
$a*a_z$	-0,11	1,449	-0,08	0,942
$a*AE$	2,193	6,683	0,33	0,754
a_z*AE	-0,0515	0,6152	-0,08	0,936

$$Ra = 5,08 - 0,0982V - 20f + 3,1a + 0,34a_z + 1,57AE + 0,000346V^2 - 18f^2 - 0,78a^2 + 0,0091a_z^2 - 0,506AE^2 + 0,286V*f - 0,0283V*a - 0,00286V*a_z - 0,0096V*AE + 2f*a - 0,2f*a_z + 3,0f*AE - 0,11a*a_z + 2,19a*AE - 0,052a_z*AE \quad (5)$$

Ra için II. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı $R^2 = \%99,1$ ’dir. 1’e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki de-

ğişimin $\%99,1$ ’i bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. Ra bağımlı değişkenine II. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken f^2 değeridir.

SPSS programında II. dereceden Ra regresyon denklemi için ANOVA tablosuna bakıldığında bu denklemin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 5’de ANOVA tablosu verilmiştir.

Tablo 5. Ra için II. Derece Regresyon Modelinde SPSS’de ANOVA Sonuçları

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	24,336	18	1,352	46,915	0,000
1 Residual	0,231	8	0,029		
Total	24,566	26			

4.1.3 Ra için logaritmik regresyon modeli

Ra değerleri için elde edilen logaritmik regresyon denklemi denklem (6)’da verilmiştir. Ra için logaritmik regresyon denklem katsayıları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Ra için Logaritmik Regresyon Denklem Katsayıları

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,727	3,078	-0,24	0,816
Log (V)	0,7501	0,7406	1,01	0,323
Log (f)	3,084	2,034	1,52	0,144
Log (a)	0,4281	0,4158	1,03	0,315
Log (a_z)	3,103	1,52	2,04	0,054
Log (AE)	0,0786	0,4179	0,19	0,853

$$Ra = -0,73 + 0,750 \log(V) + 3,08 \log(f) + 0,428 \log(a) + 3,10 \log(a_z) + 0,079 \log(AE) \quad (6)$$

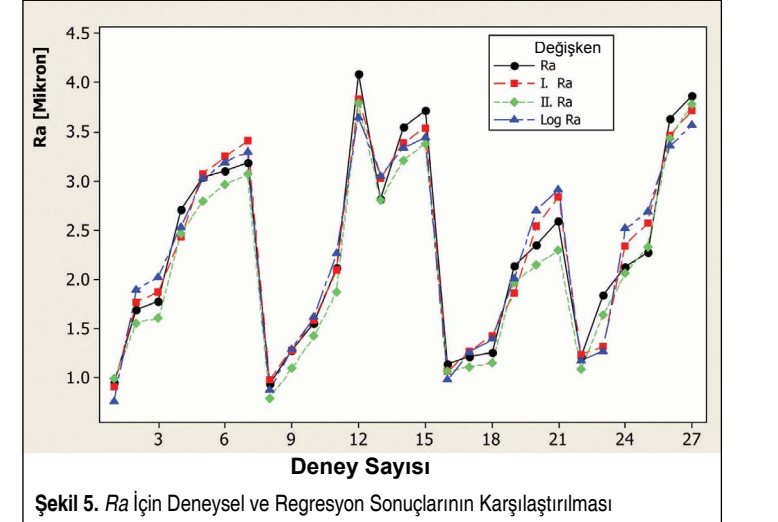
Ra için logaritmik regresyon denkleminde belirtme katsayısı $R^2 = \%93,1$ ’dir. 1’e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin $\%93,1$ ’i bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. Ra bağımlı değişkenine logaritmik denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken $\log(a_z)$ değeridir.

SPSS programında logaritmik Ra regresyon denklemi için ANOVA tablosuna bakıldığında bu denklemin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 7’de ANOVA tablosu verilmiştir.

Tablo 7. Ra için Logaritmik Regresyon Modelinde SPSS’de ANOVA Sonuçları

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	22,863	5	4,573	56,389	,000
1 Residual	1,703	21	,081		
Total	24,566	26			

Ra için I. dereceden, II. dereceden ve logaritmik regresyon denklemlerinden elde edilen sonuçların R^2 değerleri karşılaştırılınca en iyi sonucun II. dereceden regresyon denklemi ile elde edildiği görülmektedir. Ra için I. derece, II. derece ve logaritmik modellerle elde edilen tahmin sonuçları Ek 2’de, deneysel veriler ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5’te verilmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada sert tornalama işleminde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerinin çoklu regresyon yöntemleri ile matematiksel tahmin modelleri oluşturulmuş ve yüzey pürüzlülüğünde en etkin parametreler tespit edilmiştir. Ra ortalama yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan modellerin sonuçları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- I. dereceden regresyon modelinin belirtme katsayısı $\%95,9$ ve en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken a_z ,
- II. dereceden regresyon modelinin belirtme katsayısı $\%99,1$ ve en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken f^2 ,
- Logaritmik regresyon modelinin belirtme katsayısı $\%93,1$ ve en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken $\log(a_z)$ değişkeni olmuştur.
- SPSS programıyla elde edilen regresyon denklemlerinin ANOVA sonuçlarıyla güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.
- Elde edilen regresyon modellerinden Ra için en iyi sonucu II. dereceden regresyon tahmin modelinin verdiği görülmüştür. Ra için en etkin parametrenin az olduğu da gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada CNC tornalama prosesinin çoklu sensörlerle izlenmesi ve sistemin matematiksel modellenmesi kabul edilebilir bir doğrulukta elde edilmiştir. Bu sonuçlar, gelecekte araştırmacılar tarafından tornalama ya da diğer talaş kaldırma işlemlerinin optimizasyonu ve adaptif kontrolü için kullanılabilir.

KAYNAKÇA

1. **Singh, D., Rao, P. V.** 2007. "A Surface Roughness Prediction Model For Hard Turning Process," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 32, p. 1115-1124
2. **Aslan, E., Camuşcu, N., Bingören, B.** 2007. "Design Optimization of Cutting Parameters When Turning Hardened AISI 4140 (63 HRC) with Al₂O₃+TiCN Mixed Ceramic Tool," *Materials and Design*, vol. 28, p. 1618-1622.
3. **Balce, A., Demir, O. S.** 2007. "İstatistik Ders Notları," Pamukkale Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü, Denizli.
4. **Carpenter, D., Maropoulos, P. G.** 2000. "A Flexible Tool Selection Decision Support System For Milling Operations," *Journal of Material Processing Technology*, vol. 107, p.143-152.
5. **Huang, L., Chen, J. C.** 2001. "A Multiple Regression Model To Predict In-Process Surface Roughness in Turning Operation Via Accelerometer," *Journal of Industrial Technology*, vol. 17, p. 1-8.
6. **Feng, C. X., Wang, X.** 2002. "Development of Empirical Models for Surface Roughness Prediction in Finiş Turning," *International Journal of Manufacturing Technology*, vol. 20, p. 348-356.
7. **Suresh, P. V., Rao, S.P.V., Deshmukh, S. G.** 2002. "A Genetic Algorithmic Approach for Optimization of Surface Roughness Prediction Model," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 42, p. 675-680.
8. **Dabade, V. A., Joshi, S. S., Ramakrishnan, N.** 2003. "Analysis of Surface Roughness And Chip Cross-Sectional Area While Machining With Self-Propelled Round Inserts Milling Cutter," *J. Mat. Process Tech.*, vol. 123, p. 305-312.
9. **Özel, T., Karpaz, Y.** 2005. "Predictive Modeling of Surface Roughness and Tool Wear in Hard Turning Using Regression And Neural Networks," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 45, p. 467-479.
10. **Hadi, Y., Ahmed, S. G.** 2006. "Assessment of Surface Roughness Model For Turning Process," *International Federation for Information Processing (IFIP)*, vol. 207, p. 152-158.
11. **Demirayak, İ., Çakır, M. C.** 2007. "Kesme Parametreleri ve Kaplama Tabakasının İş Parçası Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi," IV. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Konya.
12. **Yang, Y. K., Chuang, M. T., Lin, S. S.** 2009. "Optimization of Dry Machining Parameters For High-Purity Graphite in end Milling Process Via Design Experiment Methods," *J. Mat. processing tech.* 2009, vol. 209, p. 4395-4400.
13. **Chavoshi, S. Z., Tajdari, M.** 2010. "Surface Roughness Modelling in Hard Turning Operation of AISI 4140 Using CBN Cutting Tool," *International Journal of Material Forming*, vol. 3, p. 233-239.
14. **Kayacan, M.C., Çelik, A.Ş. Salman, Ö.** 2003. "Tornalama İşlemlerinde Kesici Takım Aşınmasının Bulanık Mantık ile Modellenmesi," *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, sayı:526, s. 87-95.
15. **Mandal, N., Dabi, B., Mandal, B.** 2010. "Development of Flank Wear Prediction Model of Zirconia Toughened Alumina (Zta) Cutting Feed Using Response Surface Methodology," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 29, p. 273-280.
16. **Chen, B., Chen, X., Li, B., He, Z., Cao, H., Cai, G.** 2011. "Reliability Estimation for Cutting Tools Based on Logistic Regression Model Using Vibration Signals," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 25 (7), p. 2526-2537
17. **Asiltürk, İ., Cunkaş, M.** 2011. "Modelling and Prediction of Surface Roughness in Turning Operations Using Artificial Neural Network and Multiple Regression Method," *Expert Sys. Appl.*, vol. 38(5), p. 5826-5832.
18. **Demircioğlu, P.** 2011. "Talaşlı İmalat Yöntemleriyle İmal Edilen İş Parçalarında Yüzey Pürüzlülüğünün Yüksek Hassasiyette İğne Uçlu ve 3D Optik Ölçüm Sistemleriyle Değerlendirilmesi," *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt:52, sayı: 613, s. 81-91.
19. **Akkuş, H.** 2010. "Tornalama İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğünün İstatistiksel ve Yapay Zeka Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi," *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, F.B.E, Konya.*
20. **Asiltürk, İ.** 2007. "Adaptive Control Application Based on Artificial Intelligence in The Bandsawing Process," *Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, F.B.E, Konya.*
21. **Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U.** 2008. "AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüklerinin Araştırılması," *BAÜ FBE Dergisi*, cilt:10, sayı:2, s. 3-12.
22. **Kuttolamadom, M., Hamzehlouia, S., Mears, L.** 2010. "Effect of Machining Feed on Surface Roughness in Cutting 6061 Aluminum," *SAE Int. J. Mater. Manuf.* vol. 3, p. 108-119.
23. **Fnides, B., Aouici, H., Yallese, M.A.** 2008. "Cutting forces and surface Roughness in Hard Turning of Hot Work Steel X38CrMoV5-1 Using Mixed Ceramic," *Mechanika*, vol. 2(70), p. 73-78.