

AISI 4140 ÇELİĞİNİN SERT TORNALAMA İŞLEMİNDE KESİCİ TAKIM AŞINMASININ REGRESYON YÖNTEMİ İLE İSTATİSTİKSEL OLARAK MODELENMESİ

İlhan ASİLTÜRK¹, Harun AKKUŞ²

¹iasilturk@selcuk.edu.tr Selçuk Üniversitesi, Tek. Fak. Mak. Müh. Böl., 42075 Konya

²harun.akkus@amasya.edu.tr Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Amasya

ÖZET

Bu çalışmada AISI 4140 ıslah çeliği 56-57 HRC sertlikte kuru kesme şartlarında sert tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Kesme parametreleri olarak kesme hızı (V), ilerleme (f) ve talaş derinliği (a) alınmıştır. Bu kesme parametrelerine karşılık serbest yüzey aşınması (flank wear, VB) Mitutoyo firmasına ait takımçı mikroskobu (Toolmaker's Mikroskope) yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen VB değerleri I. derece, II. derece ve logaritmik regresyon denklemleri yardımıyla istatistiksel olarak modellenmiştir. Regresyon denklemlerinin elde edilmesinde MINITAB 14 programından yararlanılmıştır. SPSS programından yararlanılarak modelde faktörlerin etkinliği ANOVA (varyans analizi) ile tespit edilmiştir. Uygulanan çoklu regresyon modelleri arasında en iyi tahmin sonucu %77,9 belirtme katsayısı ile II. dereceden regresyon modeli tarafından elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Sert tornalama, Serbest yüzey aşınması (VB), Regresyon denklemi, ANOVA

ABSTRACT

In this study, flank wear depending on independent variables such as cutting speed (V), feed rate (f) and depth of cut (a) was modeled with linear, second order and exponential regression methods at turning operation of hardened AISI 4140 steels by using carbide tools. For defining the effects of cutting speed (V), feed rate (f) and depth of cut (a) in the flank wear, ANOVA table and coefficients table were used. Regression models of the hardened AISI 4140 steels with flank wear were estimated at turning. 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. The coefficient of determination R^2 of flank wear of second order regression model was 77,9 %.

Keywords: Hard turning, Flank wear, Regression model, ANOVA

1. GİRİŞ

Tezgah, takım ve iş parçasının sensörlerle izlenmesi, matematiksel modellemeler, yapay zeka yöntemi tahmin ve kontrol algoritmalarıyla kullanıcıya takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım talaş ara yüzey sıcaklığı vb. hakkında daha güvenli bilgiler sağlanmaktadır. Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak talaşlı imalat proseslerinin izlenmesi ve kontrolünde daha güvenilir ve kararlı sistemler geliştirilmektedir.

Matematiksel modelleme metodlarından regresyon analizi ile bağımlı değişkenin bağımsız değişken ile olan ilişkilerini belirlemek ve bağımlı değişkenin ara değerlerdeki bağımsız değişken değerleri için tahmin yapabilmek amacıyla oluşturulan istatistiksel bir analizdir. Bir tek bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı regresyon analizi de çoklu regresyon analizi olarak tanımlanmaktadır.

Huang ve Chen [1], yapmış oldukları çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü değerinin çoklu regresyon modelini oluşturmuşlardır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) bağımlı değişkenine, bağımsız değişkenler ilerleme (f), kesme hızı (V), talaş derinliği (d) ve titreşim (a) değerlerinin etkilerini araştırmışlardır. Elde etmiş oldukları denklemlerde önem sırasına göre parametreleri ilerleme, titreşim, kesme hızı ve talaş derinliği olarak belirlemişlerdir.

Hadi ve Ahmed [2], finish tornalama işleminde yüzey pürüzlülük değeri ölçüm değerleri için tahmin modeli oluşturmuşlardır. İlerleme hızı, talaş derinliği ve kesme hızı parametrelerini kullanmışlardır. Non-linear regresyon analizini çalışmalarına uygulamışlardır. Metal kesme deneyleri ve istatistiksel modelde memnuniyet verici sonuçlar elde etmişlerdir. Sonuç olarak küçük ilerleme hızında yüzey pürüzlülük değeri küçük değişimler göstermiştir. Tüm durumlar için düşük hızlarda yapılan deneyler yerine, daha yüksek hızlarda yapılan deneylerin daha iyi yüzeyler verdiğini yani kesme hızı arttıkça pürüzlülük değerinin ona bağlı bir azalış gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Demirayak ve Çakır [3], çalışmalarında kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici takım kaplama tabakasının yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. AISI P20 soğuk iş takım çeliğini aynı talaş kırıcı geometrisine, farklı kaplama tabakasına sahip kesici uçlarla işlemişler ve bu işlemler sonunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü kesme parametreleri arasında çoklu regresyon modellerini oluşturmuşlardır. Kesme parametrelerinin yanı sıra kaplama tabakalarının yüzey pürüzlülüğünde etkilerini değerlendirmişlerdir.

Chavoshi ve Tajdari [4], yapmış oldukları çalışmalarında AISI 4140 çeliğini CBN (Cubic Boron Nitride) kesici uçla sabit ilerleme ve talaş derinliği değerlerinde sertlik (H) ve kesme hızı değişkenleriyle sert tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. İşlem sonucu ölçümünü gerçekleştirdikleri R_a değerinin değişimini gözlemlemişlerdir. Toplamda on sekiz deney yapmışlar. Regresyon ve Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemleriyle yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmişlerdir. Sonuç olarak kesme hızı tahmini istenilen doğrulukta fakat sertlik tahmininin doğruluğu kabul edilebilir bulmuşlardır. Sertliğin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Asiltürk ve Demirci [5], yapmış oldukları çalışmalarında AISI 1040 çeliğinin frezeleme işleminde bağımlı değişken yüzey pürüzlülüğünün bağımsız değişken kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı I. dereceden, II. dereceden ve üstel regresyon modeli ile modellemişlerdir. Hangi parametrenin etkin olduğunu belirlemek için ANOVA testi kullanmışlardır. Deney sonuçlarında en etkin parametrenin ilerleme olduğu sonucuna varmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün II. dereceden regresyonla en yakın tahminini gerçekleştirmişlerdir.

Mandal ve diğ. [6], yapmış oldukları çalışmalarında AISI 4340 çeliğinin ZTA (Zirconia Toughened Alumina) seramik takımla tornalama işleminde VB değerlerini ölçmüşlerdir. Taguchi yöntemiyle L9 ortogonal dizi ile üç parametre (talaş derinliği, ilerleme, kesme hızı) ve üç seviye (düşük, orta, yüksek) deneyleri oluşturmuştur. En optimum kesme parametrelerini belirlemişlerdir (2 1 1 seviyesi 280 m/dk., 0.5 mm, 0.12 mm/dev.). Talaş derinliğinin takım aşınmasına max. katkı sağladığını görmüşlerdir. Takım aşınmasının regresyon ile modellenmesini oluşturmuşlardır. %95 güvenilirlikle tahmini gerçekleştirmişlerdir.

Korkut ve diğ. [7], yapmış oldukları çalışmalarında regresyon analizi ve YSA yöntemini kullanarak takım talaş ara yüzey sıcaklığını tahmin etmişlerdir. Sonuç olarak regresyon model sonuçlarının YSA sonuçlarına göre deney sonuçlarına daha yakın olduğunu göstermişlerdir.

Tekaüt ve diğ. [8], yapmış oldukları çalışmalarında AISI 1050 çeliğini tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Çalışmalarında talaş kırıcı formun ve kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle (L32)

optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde dört farklı kesme hızı, iki farklı ilerleme ve dört farklı uç yapısı seçmişlerdir. Dinamometre ile kuvvet ölçümü gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında esas kuvvet (Fc) doğrusal çoklu regresyon modeli ile modellemişlerdir. R² değerini %91,7 bulmuşlardır.

Zain ve diğ. [9], yapmış oldukları çalışmalarında frezeleme işleminde Ra değerlerini elde etmişlerdir. Elde etmiş oldukları değerlerin regresyon ve YSA yöntemleriyle tahmin modellerini oluşturmuşlardır. Sonuç olarak regresyon ve YSA sonuçları gerçek deney verilerini yaklaşık %1,05 ve %1,57 doğrulukta elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, ısıtma işlemi uygulanarak 56-57 HRC'ye sertleştirilen AISI 4140 ıslah çeliği üç farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinde CNC torna tezgahında boyuna tornalanarak, serbest yüzey aşınması değerleri incelenecektir. Deneysel veriler VB değerinin tespiti için üç farklı regresyon modeli uygulanarak en uygun model ve takım aşınması üzerinde en etkin parametrenin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada iş parçası malzemesi olarak AISI 4140 çelik malzeme kullanıldı. AISI 4140 çeliğini yüksek dayanım gerektiren makina parçalarının, dişli çarkların, bağlantı çubuklarının, civataların, pimlerin, aksların üretiminde kullanılmaktadır. Tablo 1'de AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Sn
0.40	0.28	0.88	0.016	0.002	0.91	0.17	0.19	0.017	0.13	0.008

Ø110x600 mm ebatlarında olan AISI 4140 çelik malzemesi ısıtma işlemi yapılmadan önce yüzeyindeki çapaklar alındı ve punta deliği açıldı. Isıtma işlemi olarak malzeme 1 saat 880 °C sulandırılıp ardından 280 °C'de 2 saat monevizlenerek gerginlik giderme ve sertlik düşürme sağlanmıştır, bu sayede malzemenin sertlik değeri 62 HRC'den 56-57 HRC'ye düşürülmüştür. Isıtma işleminden sonrada deney malzemesi CNC tornada işlenerek ısıtma işlemi sonrası oluşan boyut farklılıkları ve salınımlar önlenmeye çalışıldı ve iş parçası deneye hazır hale getirildi. Deneylerde Selçuk Üniversitesi İmalat Sistemleri ve Otomasyon Merkezi (İSOMER)'de bulunan Mori Seiki firmasına ait NL 2500 CNC torna tezgahı kullanılmıştır (Şekil 1). Deneylerde soğutma sıvısı ya da hava kullanılmamış, kuru kesme şartlarında talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyde takım tutucu olarak MWLNR 2525M-0.8W, kesici uç olarak Al₂O₃ ve TiC kaplamalı ISCAR marka WNMA 080408 IC5005 kullanılmıştır(Şekil 2).



Şekil 1. Deneylerde kullanılan torna tezgahı



Şekil 2. Deneysel olarak kullanılan takım tutucu ve kesici uçlar

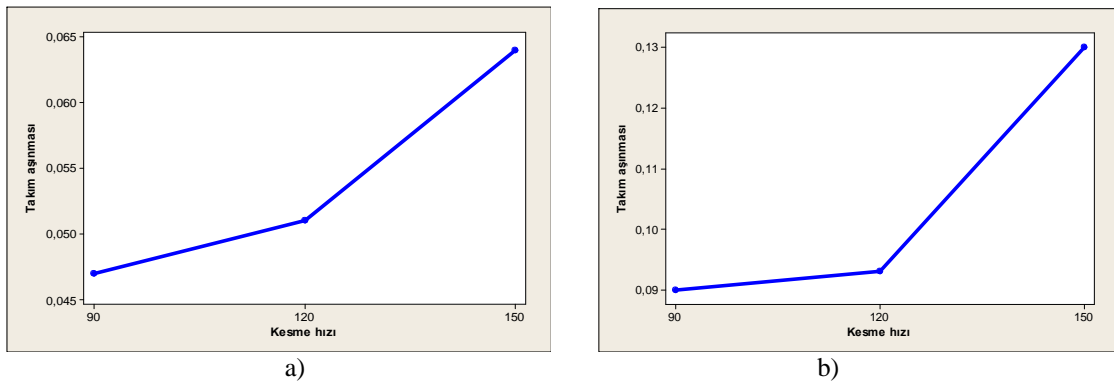
Kesme değişkeni olarak firma kataloğuna uygun olarak üç farklı kesme hızı (V), üç farklı ilerleme hızı (f) ve üç farklı kesme derinliği (a) belirlenmiştir. Tam faktöriyel deney tasarımı ile toplam 27 adet deney yapılmıştır. Bu kesme parametrelerine karşılık serbest yüzey aşınması (flank wear, VB) Mitutoyo firmasına ait takımçı mikroskobu (Toolmaker's Microscope) yardımıyla off-line olarak ölçülmüştür(Şekil 3). Ek 1'de deney sırası ve sonuçları verilmiştir.



Şekil 3. Aşınma ölçümünde kullanılan mikroskop

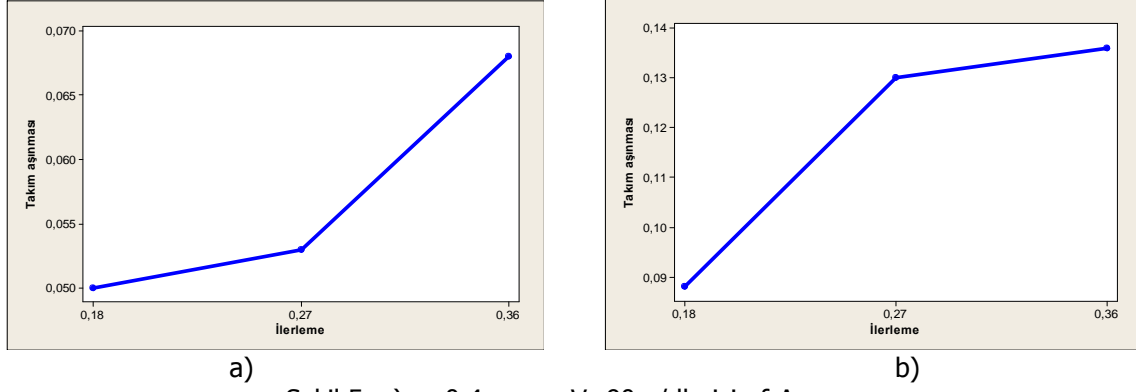
3. ELDE EDİLEN DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 4.a'da $f=0,18\text{mm/dev.}$ ve $a=0,2\text{mm}$; Şekil 4.b'de $f=0,27\text{mm/dev.}$ ve $a=0,6\text{mm}$. için V-Aşınma grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hızla takım aşınma değeri doğru orantılıdır. Yani hız arttıkça takım aşınması artar, hız azaldıkça takım aşınması azalır.



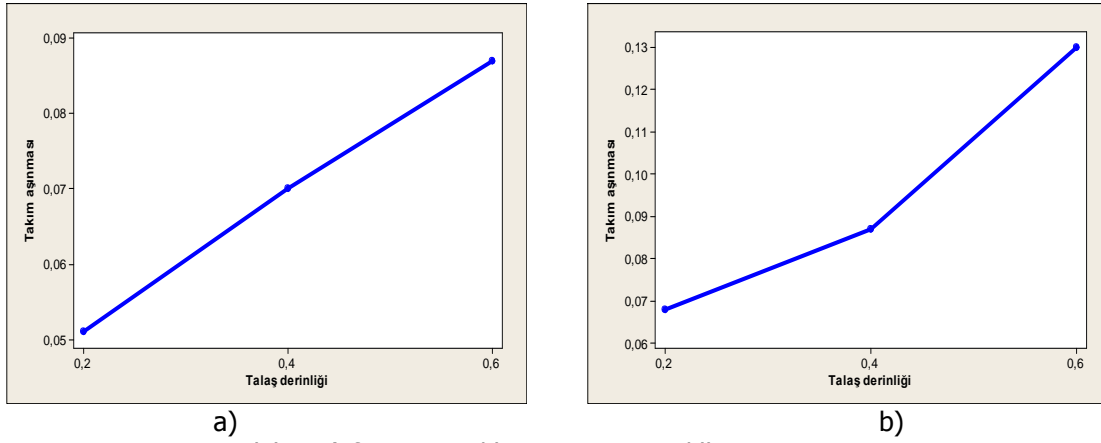
Şekil 4. a) $f=0,18\text{mm/dev.}$ ve $a=0,2\text{mm}$. için V-Aşınma
b) $f=0,27\text{mm/dev.}$ ve $a=0,6\text{mm}$. için V-Aşınma

Şekil 5.a'da $a=0,4\text{mm}$ ve $V=90\text{m/dk.}$; Şekil 5.b'de $a=0,6\text{mm}$ ve $V=150\text{m/dk.}$ için f-Aşınma grafiği verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ilerleme takım aşınması doğru orantılıdır. Yani ilerleme arttıkça takım aşınması artar, ilerleme azaldıkça takım aşınması azalır.



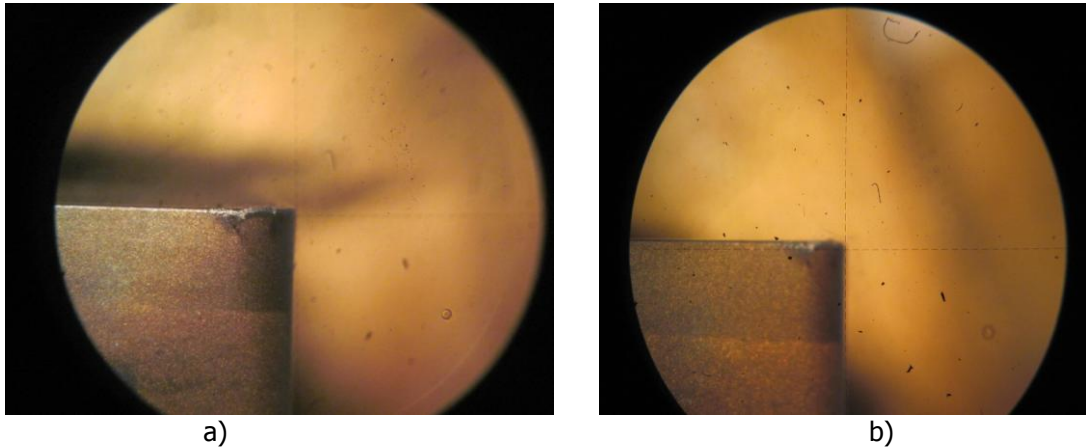
Şekil 5. a) $a=0,4\text{mm}$ ve $V=90\text{m/dk.}$ için f-Aşınma
b) $a=0,6\text{mm}$ ve $V=150\text{m/dk.}$ için f-Aşınma

Şekil 6.a'da $f=0,36\text{mm/dev.}$ ve $V=120\text{m/dk.}$; Şekil 6.b'de $f=0,27\text{mm/dev.}$ ve $V=150\text{m/dk.}$ için a-Aşınma grafikleri verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi talaş derinliği ile takım aşınması değeri doğru orantılıdır. Yani talaş derinliği arttıkça takım aşınması artar, talaş derinliği azaldıkça takım aşınması azalır.



Şekil 6. a) $f=0,36\text{mm/dev.}$ ve $V=120\text{m/dk.}$ için a-Aşınma
b) $f=0,27\text{mm/dev.}$ ve $V=150\text{m/dk.}$ için a-Aşınma

Şekil 7.a'da $V=150\text{ m/dk.}$, $f=0,36\text{ mm/dev.}$ ve $a=0,6\text{mm}$ için; Şekil 7.b'de $V=90\text{ m/dk.}$, $f=0,18\text{ mm/dev.}$ ve $a=0,6\text{mm}$ için mikroskoptaki takım aşınması durumu gösterilmiştir.



Şekil 7. a) $V=150\text{ m/dk.}$, $f=0,36\text{ mm/dev.}$ ve $a=0,6\text{mm}$ için takım aşınması
b) $V=90\text{ m/dk.}$, $f=0,18\text{ mm/dev.}$ ve $a=0,6\text{mm}$ için takım aşınması

Ucun ve Aslantaş [10], yapmış oldukları sert tornalama çalışmasında AISI 52100 çeliğini 63 HRC sertlikte karbür kesici takım ile işlemlerinde hız, ilerleme ve talaş derinliği arttıkça takım aşınmasının arttığı sonucuna varmışlardır.

4. REGRESYON DENKLEMLERİ, SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Regresyon analizi için kurulan model, bağımlı (açıklanan) değişken ve bağımsız (açıklayan) değişkenleri içeren bir modeldir. Böyle bir modelde; bağımlı değişkendeki değişim, bağımsız değişkenler ile açıklanmaya çalışılır. Regresyon denklemleri için MİNİTAB 14, ANOVA testi için SPSS 16.0 programı kullanılmıştır.

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. Bulgulardaki "Coef" ifadesi değerlerin katsayılarını belirtir. Regresyon katsayısı bağımsız değişkende bir birimlik değişimin bağımlı değişkende ne kadar etkiye sahip olacağını ifade eder. "Coef SE" ise katsayıdaki 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" kareler ortalamasını, "df" serbestlik derecesini, "Sig." ise güvenilirliği ifade etmektedir[11].

4.1 I. Dereceden Regresyon Denklemi

Bağımlı değişken T , bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse lineer regresyon eşitliği (1)'deki denklemle ifade edilir. Burada k_0 sabit; k_1, k_2, k_3 ise x, y, z bağımsız değişkenlerinin katsayılarıdır.

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

VB değerleri için elde edilen I. derece regresyon denklemi denklem (2)'de verilmiştir. VB için I. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. VB için I. derece regresyon denklem katsayıları

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,01494	0,01739	-0,86	0,399
V	0,0003556	0,0001064	3,34	0,003
f	0,03272	0,03547	0,92	0,366
a	0,10083	0,01596	6,32	0,000

$$VB = -0,0149 + 0,000356 V + 0,0327 f + 0,101 a \quad (2)$$

VB için I. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %69,3'dir. 1'e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin % 69,3'ü bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. VB bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken talaş derinliğidir.

4.2 II. Dereceden Regresyon Denklemi

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

$$T = k_0 + k_1x + k_2y + k_3z + k_4x^2 + k_5y^2 + k_6z^2 + k_7xy + k_8xz + k_9zy \quad (3)$$

VB değerleri için elde edilen II. derece regresyon denklemi denklem (4)'de verilmiştir. VB için II. dereceden regresyon denklem katsayıları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. VB için II. derece regresyon denklem katsayıları

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,0442	0,1155	-0,38	0,707
V	0,000722	0,001532	0,47	0,643
f	0,4827	0,4130	1,17	0,259
a	-0,1546	0,1466	-1,05	0,082
V ²	-0,00000296	0,00000607	-0,49	0,632
f ²	-1,1317	0,6742	-1,68	0,112
a ²	0,2042	0,1365	1,50	0,153
Vf	0,000741	0,001430	0,52	0,611
Va	0,0003611	0,0006436	0,56	0,582
af	0,1806	0,2145	0,84	0,412

$$VB = -0,044 + 0,00072 V + 0,483 f - 0,155 a - 0,000003 V^2 - 1,13 f^2 + 0,204 a^2 + 0,00074 Vf + 0,000361 Va + 0,181 af \quad (4)$$

VB için II. dereceden regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %77,9'dir. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin %77,9'u bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. VB bağımlı değişkenine II. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken talaş derinliğidir, ancak bu değerde $P < 0,5$ değildir.

Tablo 5. VB için II. derece regresyon modelinde SPSS'de ANOVA sonuçları

Model		Sum of Squares	df	Mean square	F	Sig.
1	Regression	0,000	9	0,000	5,859	0,001
	Residual	0,000	17	0,000		
	Total	0,000	26			

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

4.3 Logaritmik Regresyon Denklemi

Bağımlı değişken T , bağımsız değişken x, y, z kabul edilirse logaritmik regresyon eşitliği (5)'deki denklemle ifade edilir.

$$T = k_0 + k_1 \ln x + k_2 \ln y + k_3 \ln z \quad (5)$$

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

Tablo 6. VB için logaritmik regresyon denklem katsayıları

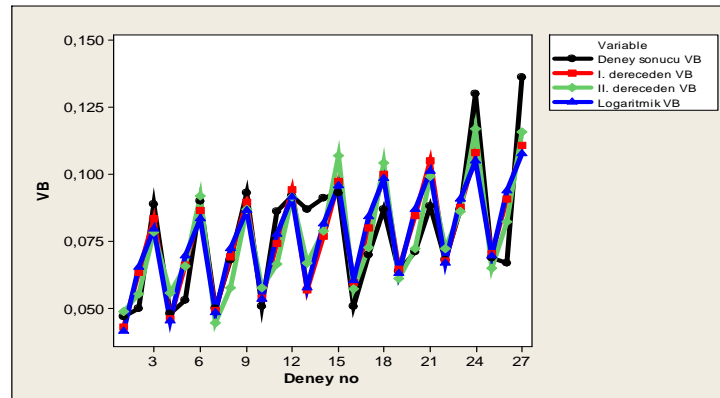
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,07479	0,06502	-1,15	0,262
Inv	0,09666	0,03059	3,16	0,004
Inf	0,02279	0,02249	1,01	0,321
Ina	0,07972	0,01410	5,65	0,000

$$VB = -0,0748 + 0,0967 \text{ InV} + 0,0228 \text{ Inf} + 0,0797 \text{ Ina} \quad (6)$$

VB için logaritmik regresyon denkleminde belirtme katsayısı (R^2) %65,1'dir. 1' e yakın olduğu içinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkiden söz edilebilir. Bağımlı değişkendeki değişimin %65,1'i bağımsız değişkenler tarafından açıklanabilir. VB bağımlı değişkenine logaritmik regresyonda en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken Ina değişkenidir.

4.4 Çoklu Regresyon Modellerinin Karşılaştırılması

VB için I. dereceden, II. dereceden ve logaritmik regresyon denklemlerinden elde edilen sonuçların R^2 değerleri karşılaştırılınca en iyi sonucun II. dereceden regresyon denklemi ile ifade edildiği görülmüştür. VB için regresyon denklemi ile elde edilen I. derece, II. derece ve logaritmik modellerle elde edilen sonuçların deney sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. VB için regresyon sonuçları ve deney sonuçlarının karşılaştırılması

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, ısıl işlem uygulanarak 51 HRC'ye sertleştirilen AISI 4140 ıslah çeliği üç farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinde CNC torna tezgahında boyuna tormalanarak, serbest yüzey aşınması değerleri incelenmiştir. Deneysel veriler VB değerinin tespiti için üç farklı regresyon modeli uygulanarak en uygun model ve takım aşınması üzerinde en etkin parametrenin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçların yorumlanmasında elde edilen sonuçlar literatürle paralellik arz etmektedir.

Elde edilen deneyler sonucunda kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği arttıkça takım aşınmasında arttığı sonucuna varılmıştır. En etkin parameter talaş derinliği olarak görülmüş ve regresyon analizinde bu sonucu doğrulamıştır.

Kurmuş olduğumuz modelde bağımlı değişken VB'ye; V, f, a bağımsız değişkenlerinden hangisinin veya etkileşimlerin daha çok etki ettiği bulunmuştur. VB bağımlı değişkenine I. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken talaş derinliğidir. VB bağımlı değişkenine II. dereceden denklemde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken talaş derinliğidir, ancak bu değerde $P < 0,5$ değildir. II. dereceden regresyon denklemi için SPSS programında ANOVA tablosuna bakıldığında bu denklemin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. VB bağımlı değişkenine logaritmik regresyonda en çok etkiye sahip olan bağımsız değişken Ina değişkenidir.

VB için I. dereceden, II. dereceden ve logaritmik regresyon denklemlerinden elde edilen sonuçların R^2 değerleri karşılaştırılınca en iyi sonucun II. dereceden regresyon denklemi ile ifade edildiği ortaya çıkmıştır.

Aşınma değerlerinin ölçülmesinde sonraki çalışmalarda daha uzun parça boyutlarının işlenmesi ve daha fazla deney sayısı önerilir.

TEŞEKKÜR

Deneyisel çalışmalar Selçuk Üniversitesi İmalat Sistemleri ve Otomasyon Merkezi (İSOMER) yönetimi ve personeline teşekkür ederiz. Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] HUANG, L., Chen J. C., A multiple regression model to predict in-process surface roughness in turning operation via accelerometer, **Journal of Industrial Technology**, 17, 2, 1-8, (2001).
- [2] HADİ Y., AHMED S. G., Assessment of surface roughness model for turning process, **International Federation for Information Processing (IFIP)**, 207, 152-158, (2006).
- [3] DEMİRAYAK, İ., ÇAKIR M. C., Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, **IV. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı**, M. M. O., Konya. (2007).
- [4] CHAVOSHI, S. Z., TAJDARI M., Surface roughness modelling in hard turning operation of AISI 4140 using CBN cutting tool, **International Journal of Material Forming**, DOI 10.1007/s12289-009-0679-2. (2010).
- [5] ASİLTÜRK, İ., DEMİRCİ, M. T., Karbür kesici kullanarak sertleştirilmiş AISI 1040 çeliklerin frezelenmesindeki yüzey pürüzlülüğünün regresyonla modellenmesi, **2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi Kongresi Bildiriler Kitabı**, 20-30, Balıkesir (2010).
- [6] MANDAL, N., DOLOI, B., MONDAL, B., DAS, R., Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool: Taguchi method and Regression analysis, **Measurement**, 44, 2149–2155, (2011).
- [7] KORKUT, İ., ACIR, A., BOY, M., Application of regression and artificial neural network analysis in modelling of tool–chip interface temperature in machining, **Expert Systems with Applications**, 38, 11651–11656, (2011).
- [8] TEKAÜT, İ., GÜNAY, M., ŞEKER, U., Tornalama İşlemlerinde Talaş Kırıcı Formunun ve Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, **6.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Kitabı**, Elazığ, (2011).

- [9] ZAIN, A. M., HARON H., QASEM S. N., SHARIF S., Regression and ANN models for estimating minimum value of machining performance, **Applied Mathematical Modelling** 36, 1477–1492, (2012).
- [10] UCUN, İ., ASLANTAŞ, K., Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürlü kesici takımın performansının araştırılması, 5. **Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Kitabı**, Karabük, (2009).
- [11] AKKUŞ, H., Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (2010).

EK 1. Deney sırası ve sonuçları

NO	V (m/dk.)	f (mm/dev.)	a (mm)	VB (mm)
1	90	0,18	0,2	0,047
2	90	0,18	0,4	0,05
3	90	0,18	0,6	0,089
4	90	0,27	0,2	0,048
5	90	0,27	0,4	0,053
6	90	0,27	0,6	0,09
7	90	0,36	0,2	0,05
8	90	0,36	0,4	0,068
9	90	0,36	0,6	0,093
10	120	0,18	0,2	0,051
11	120	0,18	0,4	0,086
12	120	0,18	0,6	0,092
13	120	0,27	0,2	0,087
14	120	0,27	0,4	0,091
15	120	0,27	0,6	0,093
16	120	0,36	0,2	0,051
17	120	0,36	0,4	0,07
18	120	0,36	0,6	0,087
19	150	0,18	0,2	0,064
20	150	0,18	0,4	0,071
21	150	0,18	0,6	0,088
22	150	0,27	0,2	0,068
23	150	0,27	0,4	0,087
24	150	0,27	0,6	0,13
25	150	0,36	0,2	0,069
26	150	0,36	0,4	0,067
27	150	0,36	0,6	0,136