



Küreselleştirilmiş orta karbonlu bir çeliğin işlenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin regresyon analizi ile modellenmesi

In processing of a spheroidized medium carbon steel, modelling with regression analysis of cutting forces and surface roughness affected by cutting parameters

Hüdayim BAŞAK^{1*}, Şehmus BADAY²

¹Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

hbasak@gazi.edu.tr

²Şırnak Meslek Yüksekokulu, Şırnak Üniversitesi, Şırnak, Türkiye.

shmsbdy@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 02.10.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 21.10.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.92260

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada farklı küreselleştirme ısı işlemleri uygulanan orta karbonlu bir çeliğin tornalama işleminde oluşan esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri çoklu doğrusal regresyon metodu ile modellenmiştir. Bağımlı değişken olan esas kesme kuvveti yüzey pürüzlülük değeri, bağımsız değişkenler tarafından sırasıyla %94.6 ve %94.2 oranında açıklanmışlardır. Bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek için ANOVA ile anlamlılık testi yapılmıştır. Ayrıca işleme parametreleri olan ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı değişimlerinin yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvveti üzerindeki genel etkileri elde edilen ana etki grafikleri üzerinden tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Küreselleştirme ısı işlemi, Orta karbonlu çelik, Kesme kuvvetleri, Yüzey pürüzlülüğü, Çoklu doğrusal regresyon

Abstract

In this study, different spheroidization heat treatment applied on a mild carbon steel during the machining was created main cutting forces and surface roughness value, were modeled by using multiple linear regression analysis. Main cutting force and surface roughness value which are dependent variable are described respectively rate of 94.6% and 94.2% by independent variables. The ANOVA significance test were used to determine dependent and independent variables correlations. Also, processing parameters variations such as effects on the feed rate, depth of cut and cutting force changes effect on surface roughness and main cutting force general effects were plotted to discuss.

Keywords: Spheroidizing heat treatment, Mild carbon steel, Cutting forces, Surface roughness, Multiple linear regression

1 Giriş

Çeliklerin mekanik özellikleri önemli ölçüde çeliğin mikroyapısındaki farklılıklardan dolayı değişir. Mikroyapı farklılıkları, çeliklere çeşitli ısı işlemleri uygulanarak değiştirilebilir. Çeliklere uygulanan bu ısı işlemleri, çeliği işleyen takım ömrünü artırılabilir ve işleme maliyetleri azaltılabilir. Mekanik özellikleri düşürücü nitelikte uygulanan bu ısı işlemlerinde amaç, yapıyı yumuşatıp takım ömrünü artırmak, kesme kuvvetlerini azaltmaktır [1]. Su verilmiş ve temperlenmiş martenzitik çelikler mekanik özelliklerinin geniş aralıkta değişimi, tasarımcılara pek çok orta karbonlu çelik arasında seçim yapabilme kolaylığı sağlar. Temperlenmiş çelikler imalat sektöründe, çeşitli otomobil parçaları olan dişliler, akslar ve direksiyon kolları üretimden yaygın olarak kullanılmaktadır [2]-[4]. Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ilerleme, kesme hızı vb. işlenen malzemenin cinsine göre değişiklik gösterir. Kesme kuvvetlerini bilmek ve buna bağlı olarak kesici takımın ömrünün tahmin edilebilmesi takım tezgâh imalatçıları açısından oldukça büyük önem taşır. Kesici takıma ait uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi kesici takımın ömrünün uzamasına, istenilen yüzey kalitesinde iş parçasının üretilmesine imkan vermektedir [5]. Kesme parametrelerine, ısı işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerin

değerlendirilmesi için birçok istatistiksel tahmin tekniği kullanılmaktadır.

Son yıllarda literatürde tahmin teknikleri kullanılarak birçok sayıda çalışmanın yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu tahmin teknikleri arasında YSA ve çoklu regresyon modelleri tercih edilmektedir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesinde doğrusal regresyon, çoklu doğrusal regresyon, ikinci dereceden ve üstel regresyon modellerinin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur [6]-[13]. Bağımlı değişken kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü, bağımsız değişkenler olarak ise kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, takım uç yarıçapı ve kesici uç kaplamalarının kullanıldığı bazı çalışmalarda tespit edilmiştir [6]-[11]. Bağımlı değişkenlere etki eden bağımsız değişkenler arasında en etkili bağımsız değişkenin ilerleme hızı olduğu da görülmektedir [14].

Bu çalışmayla farklı küreselleştirme ısı işlemleri ile mikroyapısı değiştirilen orta karbonlu çeliğe kuru kesme şartlarında CNC torna tezgâhında kesme parametreleri bağlı olarak bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için çoklu lineer regresyon modeli oluşturulmuştur. Ayrıca deneylerde kullanılan deney parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri de incelenmiştir.

2 Materyal ve metot

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 1050 çeliği kullanılmıştır. İş parçasının kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir. Ham deney malzemesi Ø30x200 mm boyutlarında 24 adet numune hazırlanmıştır.

Tablo 1: Deney numunesinin kimyasal bileşimi.

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
0.52	0.28	0.81	0.009	0.022	0.08
%Mo	%Ni	%Al	%Cu	%Sn	
0.02	0.10	0.020	0.17	0.011	

24 adet numune 4 erli olarak 6 grup halinde 850 °C'de 15 dakika östenit mikroyapı getirilmenin ardından fırından alınarak suda soğutulmuş ve daha sonra 600 ve 700 °C'de 15 dakika, 1 ve 3 saat temperleme işlemi uygulanarak oda sıcaklığındaki havada soğutulmaya bırakılmıştır. Uygulanan ısıl işlem parametreleri ve numunelere verilen kısaltmaların özeti (T: Temperleme) Tablo 2'de verilmiştir. 600T0,25 kısaltmasının ifade şekli; 850 °C'de 15 dakika östenitlemenin ardından fırından alınan numune hiç bekletilmeden su verme ile soğutulduğunu ve daha sonra 600 °C'de 15 dakika ısıl işleme tabii tutulduğunu göstermektedir.

Tablo 2: Numunelere uygulanan ısıl işlemler.

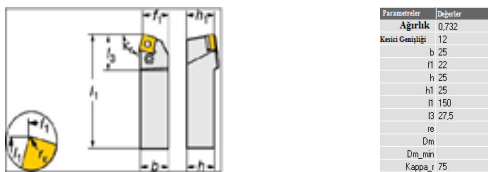
Numune kodları	Isıl işlem parametreleri
Bütün numuneler için ilk işlem	850 °C'de 15 dk. östenitleme, su verme
	İkinci işlemler
600T0,25	600 °C'de 15 dk. temperleme
600T1	600 °C'de 1 sa. temperleme
600T3	600 °C'de 3 sa. temperleme
700T0,25	700 °C'de 15 dk. temperleme
700T1	700 °C'de 1 sa. temperleme
700T3	700 °C'de 3 sa. temperleme

İşleme deneylerinde ISO 3685'te belirtilen deney şartlarına uygun olarak SNMG formunda sementit karbür kesici takım ile buna uygun 75° yanaşma açısına sahip PSBNR 2525M12 formunda takım tutucu kullanılmıştır. İş parçası malzemesine uygun CVD kaplı GC4215 kalitelisinde çift taraflı kesici takımı seçilmiştir. Kesici takım için üretici takım firmasının SNMG 120408 PM formulu talaş kırıcı geometrisi belirlenmiştir. Kesici takım ve kaplama özellikleri Şekil 1'de, verilmiştir.



Şekil 1: Kesici takım ve kaplama özelliği [15]-[16].

Deneylerde kullanılan PSBNR 2525M12 formunda takım tutucu ve takım boyutları da Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Takım tutucu ve boyutları.

Deneyler kuru kesme şartlarında FANUC kontrol ünitesi JOHNFORD marka TC-35 CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti ölçümü için üç eksenel yönde ölçüm kapasitesine sahip KISTLER 9275B tipi dinamometre kullanılmıştır. İşleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri takım üretici firması verileri ve ISO 3685'teki öneriler göz önüne alınarak, beş farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve iki farklı talaş derinliği değerleri olacak şekilde belirlenmiştir (Tablo 3). Deneylerin tümünde aynı şartları oluşturabilmek için, her bir deneyde kullanılmamış yeni bir kesici takım kullanılmıştır. Her bir deney sonrası tezgah durdurularak kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme parametreleri değiştirilerek 180 deney gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3: Kesme parametreleri.

Kesme Hızı (V_c) (m/dk.)	İlerleme (f) (mm/dev.)	Talaş Derinliği (a) (mm)
150-175-200-225-250	0.16-0.25-0.4	1.6-2.5

İşlenen parçaların yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi için MITUTOYO SURFTEST SJ-201 taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerin değerlendirilmesi için regresyon modeli ve varyans analizleri MINITAB paket programıyla yapılmıştır.

3 Çoklu lineer regresyon modelleri

Çoklu regresyon, bağımlı değişkenlerin bir ya da daha fazla bağımsız değişken tarafından açıklanmasına olanak sağlayan istatistiksel bir teknik olup deneylerin analizi, sıralanması veya kategorizasyonu gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bu nedenle, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerini tahmin edilmesinde de kullanılabilir bir teknik olarak düşünülebilir [17]. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etki eden parametrelerin modellenmesi ile ilgili gerçekleştirilen çeşitli çalışmalar mevcuttur [18]-[20].

Bu çalışmanın sonuçları MINITAB paket programı vasıtasıyla çoklu doğrusal regresyon modeliyle değerlendirilmiştir. Regresyon modellerinde bağımlı değişkenler esas kesme kuvveti (F_c) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) iken, bağımsız değişkenler kesme hızı (V_c), ilerleme hızı (f), talaş derinliği (a), ısıl işlem sıcaklığı ($^{\circ}C$) ve ısıl işlem süresi (t) olarak belirlenmiştir. Çoklu doğrusal modelin geçerliliğini test etmek amacıyla verilerin %70 eğitim verisi, %30 test verileri olarak seçilmiştir. Esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan modelde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı olan R^2 ve düzeltilmiş R^2d değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri açıklama oranı.

Esas Kesme Kuvveti (F_c)		Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)	
R^2 (%)	Düzeltilmiş R^2d (%)	R^2 (%)	Düzeltilmiş R^2d (%)
94.7	94.6	94.3	94.2

Bağımlı değişken olan esas kesme kuvveti, bağımsız değişkenler tarafından %94.6 oranından açıklanmıştır. Yüzey pürüzlülük değeri ise bağımsız değişkenler tarafından %94.2 oranında açıklanmıştır.

Esas kesme kuvvetleri için Anova tablosundaki (Tablo 5) P değerleri incelendiğinde; ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı değerlerinin $P < 0.05$ değerinden küçük olmasından dolayı istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 5: Esas kesme kuvvetleri için ANOVA (Analysis of Variance).

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Sıcaklık	1	29897	3929	3929	0.34	0.562
Zaman	2	38566	14128	7064	0.61	0.545
İlerleme f (mm/rev)	2	22770403	23237569	11618785	1000.73	0.000
Talaş Derin a (mm)	1	12423273	12403060	12403060	1068.28	0.000
K. Hızı V_c (mm/min)	4	105195	105195	26299	2.27	0.044
Hata	167	1938925	1938925	11610		
Toplam	177	37306259				

Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosundaki (Tablo 6) P değerleri incelendiğinde; sıcaklık, ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı değerlerinin $P < 0.05$ değerinden küçük olmasından dolayı istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 6: Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA (Analysis of Variance).

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Sıcaklık	1	0.031	0.480	0.480	0.34	0.002
Zaman	2	0.107	0.065	0.033	0.61	0.510
İlerleme f (mm/rev)	2	952.747	953.574	476.787	1000.73	0.000
Talaş Derin a (mm)	1	1.1835	1.859	1.859	1068.28	0.000
K. Hızı V_c (mm/min)	4	4.012	4.012	1.003	2.27	0.000
Hata	167	8.086	8.086	0.048		
Toplam	177	966.819				

Tablo 7'de bağımsız değişkenlerin sabit katsayı değerleri verilmiştir. Tablodaki önem (sig.) değeri 0.05'den küçük olan değişkenlerin regresyon modelinde kullanılması uygun olmakla birlikte, 0.05'den büyük olanların modelde kullanılmaları daha uygun olmaktadır. Buna göre Tablo 7'de çoklu doğrusal regresyon modelinde kullanılması uygun ve uygun olmayan bağımsız değişkenler verilmiştir.

Tablo 7: Çoklu doğrusal modelde elde edilen bağımsız değişkenlerin katsayıları.

Bağımlı Değişken	Model	Kat Sayıları		Standart Katsayılar	t	Sig.
		b	Hata	Beta		
F_c	Sabit	-841.4	151.962		-6.86	0.000
	C	-0.0919	0.195	-0.002	-0.57	0.568
	t	0.1088	0.138	0.021	0.95	0.345
	f	3669.34	0.277	-0.031	45.08	0.000
	a	587.18	97.820	0.764	32.93	0.000
	V_c	-0.6195	21.629	0.554	-2.75	0.007
Ra	Sabit	-3.3476	1.496		-5.18	0.000
	f	22.9206	0.002	0.056	53.41	0.000
	a	0.21867	0.001	-0.019	2.33	0.021
	V_c	-0.003625	0.003	0.034	-3.05	0.003
	C	0.0009621	0.963	0.912	1.14	0.257
	t	-0.000323	0.213	0.122	-0.05	0.958

Tablo 7'deki mutlak değerce en büyük olan t değeri, modelde bağımlı değişkenler üzerinde en fazla etkiye sahip olan bağımsız değişkenleri vermektedir. Bundan dolayı esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük modellerinde en büyük t değerinin ilerleme kuvveti olduğu için her iki modelde de ilerleme kuvvetinin en büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak elde edilen esas kesme kuvveti (F_c) matematiksel modeli;

$$F_c = -841 - 0.092 \times C + 0.109 \times t + 3669 \times f + 587 \times a - 0.619 \times V_c \quad (1)$$

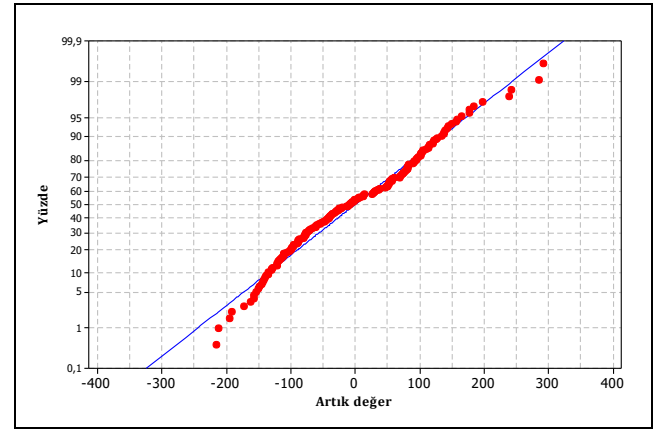
şeklinde. Yüzey pürüzlülük (Ra) matematiksel modeli de;

$$Ra = -3.35 + 22.9 \times f + 0.219 \times a - 0.00362 \times V_c + 0.000962 \times C - 0.000032 \times t \quad (2)$$

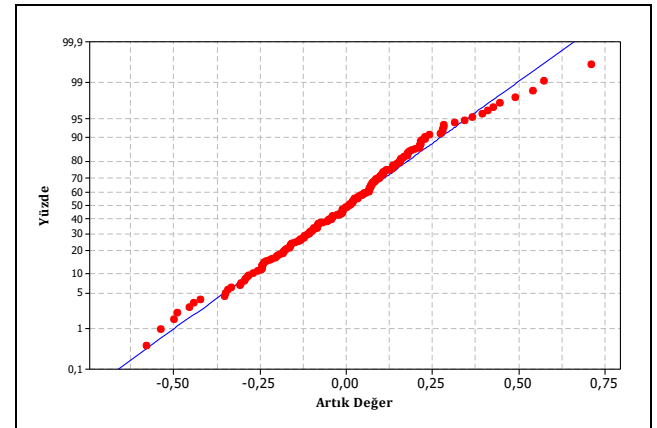
olarak elde edilmiştir.

Regresyon modelinde ölçülen değerler ile elde edilen değerler arasındaki farklılıklar, hata ya da artık olarak ifade edilmektedir. Lineer regresyon hatalarının normal olasılık eğrileri Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3(a)'da Esas kesme kuvveti ve (b)'de ise Yüzey pürüzlülüğü için olasılık eğrileri görülmektedir.

Şekil 3(a) ve (b) incelendiğinde, hataların doğru boyunca yoğunlaştığı ve verilerin normal dağılımda olduğu söylenebilir. Bu durum esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük modellerinde elde edilen değerler ile deneyler sonucunda ölçülen değerler arasında çok büyük bir fark oluşturmadığını ve modellerin tutarlı olduğunun bir göstergesidir.



(a)



(b)

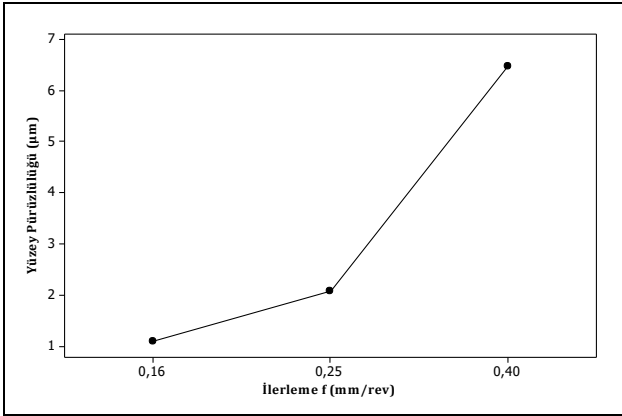
Şekil 3: (a): Esas kesme kuvveti (F_c) normal olasılık artık eğrisi, (b): Yüzey pürüzlülüğü (Ra) normal olasılık artık eğrisi.

4 Deney parametrelerinin esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri

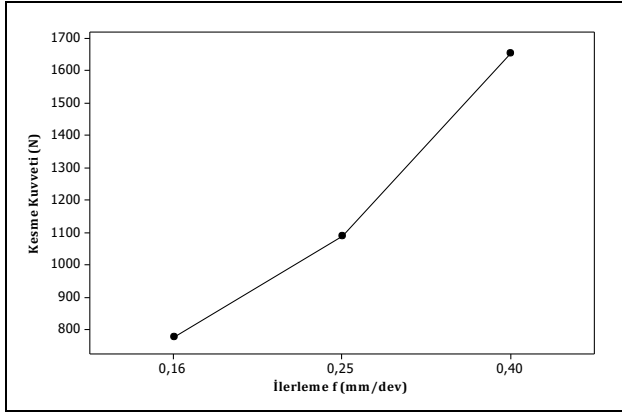
Çalışmanın bu bölümünde deney parametreleri olan ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesme hızı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvveti üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvveti değerlerinin oluşumunda kullanılan parametrelerin etkisi MINITAB 16 programında ana etki grafikleri elde edilerek irdelenmiştir.

4.1 İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvvetine ana etkisi

Elde edilen bulgular ilerleme miktarının artmasının yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediğini göstermektedir. İlerlemenin artması ile ($f = 0.16 \text{ mm/dev}$ 'den $f = 0.4 \text{ mm/dev}$ 'e çıkmasıyla) yüzey pürüzlülüğünün tüm numuneler için kötüleştiği gözlemlenmiştir. Bu bulgu literatürle de paralellik göstermektedir [11]. Literatürde de ilerleme miktarının artmasının yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkileyeceğine vurgu yapılmaktadır. Şekil 4(a)'da yüzey pürüzlülüğü için elde edilen ana etki grafiği incelendiğinde düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Özellikle 0.25-0.40 aralığında yüzey pürüzlülüğündeki kötüleşmenin daha hızlı bir eğim seyrettiğinden bahsedilebilir. İlerleme miktarı artışının Esas kesme kuvveti (F_c) üzerindeki etkisinin de negatif olduğu elde edilen ana etki grafiklerine göre söylenebilir (Şekil 4(b)). İlerleme miktarı arttıkça esas kesme kuvvetinin değeri de artmaktadır.



(a)



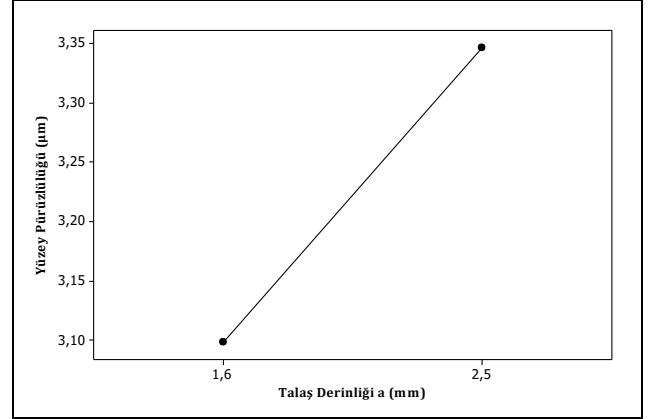
(b)

Şekil 4: İlerleme miktarının, (a): Yüzey pürüzlülüğü ve (b): Esas kesme kuvveti üzerindeki ana etkisi.

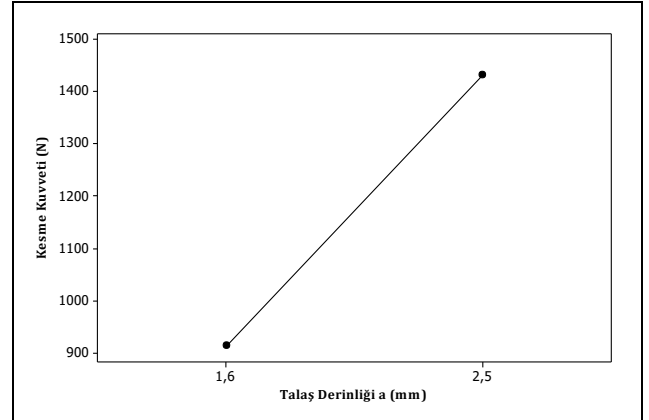
4.2 Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvvetine ana etkisi

Talaş derinliğinin artmasının yüzey pürüzlülüğünü kötüleştiği ve esas kesme kuvvetini de arttırdığı, elde edilen ana etki grafiklerinde görülmektedir (Şekil 5a, b). Yapılan deneylerde 1.6 ile 2.5 mm talaş derinlikleri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular literatürle de paralellik göstermektedir. Literatürde de talaş derinliğinin artmasının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir.

Fakat bu etkinin yüzey pürüzlülüğünde diğer parametrelerin etkisi yanında küçük bir etki kaldığı da söylenebilir.



(a)



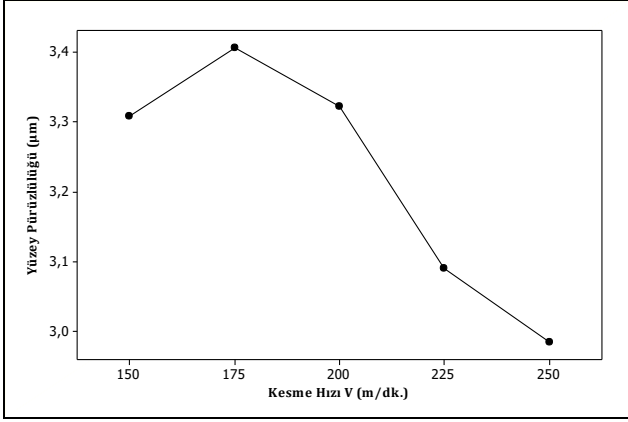
(b)

Şekil 5: Talaş derinliğinin, (a): Yüzey pürüzlülüğü ve (b): Esas kesme kuvveti üzerindeki ana etkisi.

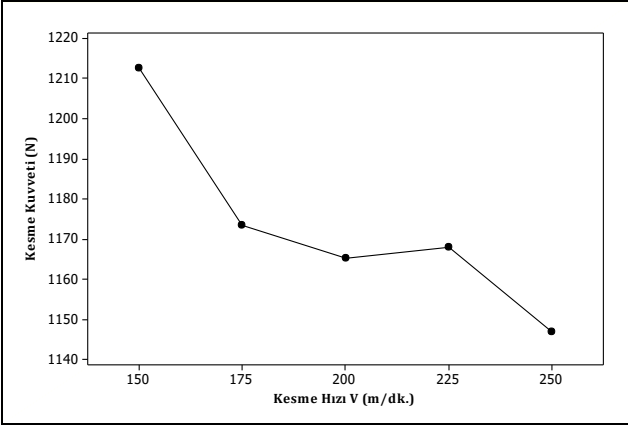
4.3 Kesme hızının yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri

Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinde bir düşüş görülmektedir (Şekil 6a). Yüzey pürüzlülük değerinin iyileştirilmesi için kesme hızının artırılması, literatürde kullanılan en yaygın yöntemdir [21]. Kesme hızının artması ile iyileşen yüzey pürüzlülüğü, yüksek hızlarda artan sıcaklığa bağlı olarak, deformasyon işleminin kolaylaşması, iş parçası malzemesinin, kesici kenar ve burun yarıçapı çevresinde rahat bir şekilde deforme edilmesi ve bu yüksek sıcaklıklarda oluşan akma bölgesine bağlı olarak açıklanabilir. Aynı zamanda kolay deforme edilen malzemede işleme esnasında yırtılma olmadan şekillendirilebilmekte ve dolayısı ile iş parçası yüzey kalitesinde bir iyileşme gözlenmektedir. Diğer bir ifadeyle kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azalması, yüksek kesme hızlarında oluşumu azalan BUE ile de açıklanabilir. Ancak, 175 m/dk'a kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sünek malzemelerde düşük ve orta kesme hızlarında BUE oluşumundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Kesme hızındaki artışla birlikte genel olarak kesme kuvvetlerinin azaldığı söylenebilir (Şekil 6b). Artan kesme hızı ile kesme kuvvetlerindeki düşüş sıcaklık artışı nedeniyle kesici takım talaş yüzeyindeki temas alanının azalması ve kısmen de talaşta akma bölgesinde (ikinci deformasyon bölgesi) kayma

gerilmesinin azalması ile açıklanabilir. Diğer bir neden ise kesici takım/talaş ara yüzeyindeki sıcaklık artışından dolayı kesici takım/talaş ara yüzeyinde sürtünme katsayısı azalma olarak söylenebilir.



(a)



(b)

Şekil 6: Kesme hızının, (a): Yüzey pürüzlülüğü ve (b): Esas kesme kuvveti üzerindeki ana etkisi.

Yapılan çalışmada deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvveti üzerindeki etkin parametre olduğu söylenebilir. Talaş derinliği esas kesme kuvveti için etkin bir parametre olarak görünürken yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde diğer parametrelere göre çok daha az etkin olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada mevcut parametreler göz önünde bulundurulduğunda kesme hızı değişiminin yüzey pürüzlülüğü ve Esas kesme kuvveti üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olmadığını ortaya çıkarmıştır. Deneylerde en iyi yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı 250 m/dk, ilerleme 0.16 mm/dev değerlerinde ve talaş derinliği 1.6 mm'de 700 °C sıcaklıkta 3 saat temperlenen iş parçasında, en kötü yüzey pürüzlülüğü ise kesme hızı 175 m/dk, talaş derinliği 2.5 mm ve ilerleme değeri 0.4 mm/dev'de 700 °C sıcaklıkta 0.25 saat temperlenen iş parçasında elde edilmiştir. Sonuç olarak aşırı temperlenen numunelerin mikroyapıları klasik küreselleştirme ısıl işlemi uygulanmış numunesinden daha düzenli bir mikroyapı dağılımına sahip olmasından dolayı daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edildiği düşünülmektedir.

Elde edilen esas kesme kuvveti değerleri incelendiğinde en düşük esas kesme kuvveti, kesme hızı 250 m/dk, ilerleme 0.16 mm/dev değerlerinde ve talaş derinliği 1.6 mm'de 600 °C

sıcaklıkta 1 saat temperlenen iş parçasında, en yüksek esas kesme kuvveti ise kesme hızı 150 m/dk, talaş derinliği 2.5 mm ve ilerleme değeri 0.4 mm/dev'de 700 °C sıcaklıkta 3 saat temperlenen iş parçasında elde edilmiştir.

5 Sonuçlar

Yapılan çalışmada bağımlı değişken olan esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerinin, bağımsız değişkenlere (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği, ısıl işlem sıcaklığı ve süresi) bağlı olarak lineer regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizi sonuçları göre;

ANOVA testleri sonucunda esas kesme kuvvetleri için; ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı parametreleri anlamlı iken, yüzey pürüzlülüğü için ise sıcaklık, ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı parametrelerinin anlamlı olduğu anlaşılmıştır,

Esas kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla %94.6 ve %94.2 oranında açıklanmışlardır.

Elde edilen ana etki grafiklerine göre;

İlerleme miktarı artışının esas kesme kuvveti üzerindeki etkisinin de negatif olduğu elde edilen ana etki grafiklerine göre söylenebilir,

Talaş derinliğinin artmasının yüzey pürüzlülüğünü kötüleştirdiği ve esas kesme kuvvetini de arttırdığı görülmektedir,

Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinde bir düşüş görülmektedir. Kesme hızındaki artışla birlikte genel olarak kesme kuvvetlerinin azaldığı söylenebilir.

Küreselleştirme ısıl işlemine göre elde edilen sonuçlar;

En iyi yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı 250 m/dk, ilerleme 0.16 mm/dev değerlerinde ve talaş derinliği 1.6 mm'de 700T3, en kötü yüzey pürüzlülüğü ise kesme hızı 175 m/dk, talaş derinliği 2.5 mm ve ilerleme değeri 0.4 mm/dev'de 700T0.25 saat temperlenen iş parçasında elde edilmiştir,

En düşük esas kesme kuvveti, kesme hızı 250 m/dk, ilerleme 0.16 mm/dev değerlerinde ve talaş derinliği 1.6 mm'de 600T1, en yüksek esas kesme kuvveti ise kesme hızı 150 m/dk, talaş derinliği 2.5 mm ve ilerleme değeri 0.4 mm/dev'de 700T3 saat temperlenen iş parçasında elde edilmiştir.

6 Kaynaklar

- [1] Özçatalbaş, Y. "Isıl işlemlerin Cr-Mo esaslı bir çeliğin işlenebilirliğine etkisi". 10. Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, Türkiye, 24-28 Mayıs 2000.
- [2] Tao, J, Wang X, Tan J. "Reliability of gear tooth bending fatigue strength for through hardened and tempered steel 40Cr". *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 19(5), 482-484, 1997.
- [3] Gao W, Dong L, Hu F, Tan B. "Analysis of quenching cranking and improvement of heat treatment process for steel 40Cr axle vehicle". *Journal of Hunan Institute of Technology*, 18(4), 33-36, 2008.
- [4] Zheng Y, Wu Y, Liu Y, Huang X, Zhang X, Xu G, Wang W, Wu S. "Study on technology of forging-remnant-heat hardening of 40Cr automobile turning junction". *Hot Working Technology*, 33(3), 47-48, 2004.
- [5] Sürücüler S. Tornalamada Kesme Parametrelerindeki Değişime Göre Kesme Kuvvetlerinin Tahmini için Matematiksel Bir Model Geliştirme. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2010.

- [6] Sarıkaya M, Dilipak H, Meral G. "AISI 1050 malzemenin delinmesinde ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün regresyon analiziyle modellenmesi". *Tubav Bilim Dergisi*, 4(1), 31-41, 2011.
- [7] Asiltürk İ, Demirci MT. "Karbür kesici kullanarak sertleştirilmiş AISI 1040 çeliklerin frezelenmesindeki yüzey pürüzlülüğünün regresyonla modellenmesi". *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 11-12 Kasım 2010.
- [8] Asiltürk İ, Akkuş H. "AISI 4140 çeliğinin sert tornalama işleminde kesici takım aşınmasının regresyon yöntemi ile istatistiksel olarak modellenmesi". *3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 29-30 Kasım 2012.
- [9] Asiltürk İ, Akkuş H, Demirci MT. "Regresyonla titreşim, akustik emisyon ve kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi". *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53(632), 55-62, 2012.
- [10] Meral G, Dilipak H, Sarıkaya M. "AISI 1050 Malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin delik kalitesi üzerindeki etkisinin çoklu regresyon metoduyla modellenmesi". *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 37-46, 2011.
- [11] Mavi A, Korkut İ. "Vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin regresyon analizi ile modellenmesi". *Politeknik Dergisi*, 13(4), 281-286, 2010.
- [12] Demircioğlu P. "Talaşlı imalat yöntemleriyle imal edilen iş parçalarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek hassasiyette iğne uçlu ve 3D optik ölçüm sistemleriyle değerlendirilmesi". *Mühendislik ve Makine*, 52(613), 81-91, 2011.
- [13] Özkul İ, Buldun BB, Akkurt A. "Dievar sıcak iş takım çeliğinin delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesine etkisinin regresyon analiziyle modellenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 1-9, 2013.
- [14] Mike SL, Joseph CC, Caleb ML. "Surface roughness prediction technique for CNC end-milling". *Journal of Industry Technology*, 15(1), 1-6, 1998.
- [15] Sandvik Coromant. "Sipariş Katoloğu. C-2900: 7 AB Sandvik Coromant". İsveç, 2010.
- [16] Sandvik Coromant. "Teknik Kılavuz. C-2900: 8 AB Sandvik Coromant". İsveç, 2010.
- [17] Reddy BS, Padmanabhan G, Reddy KV. "Surface roughness prediction techniques for CNC turning" *Asian Journal of Scientific Research*, 1(3), 256-264, 2008.
- [18] Özlü B, Demir H, Nas E. "CNC tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etki eden parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi". *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(2), 75-86, 2014.
- [19] Yılmaz V, Dilipak H, Sarıkaya M, Yılmaz CY, Özdemir M. "Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi". *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(4), 220-226, 2014.
- [20] Taşdemir Ş. "Yüzey pürüzlülüğünün yapay sinir ağı ve regresyon modelleri ile belirlenmesi ve karşılaştırılması". *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 10(3), 215-226, 2011.
- [21] Hagiwara M, Chen S, Jawahir IS. "Contour finish turning operations with coated grooved tools: Optimization of machining performance". *Journal of Materials Processing Technology*, 209(1), 332-342, 2009.