

Farklı Kesme Parametrelerinde Kaplamalı ve Kaplamasız Kesici Takımlar ile AISI 1050 Çeliğin Tornalanmasında Oluşan Esas Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi ve İstatistiksel Olarak Analizi

Hüseyin GÜRBÜZ

Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine ve İmalat Müh. Böl., Batman/TÜRKİYE
huseyin.gurbuz@batman.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, tornalama işlemlerinde farklı kesme parametrelerinde, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların talaş kaldırma esnasında oluşan esas kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak, kesici takım türü olarak kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar ve kesme parametreleri olarak ise beş farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300, 350 m/dak), üç farklı ilerleme (0.15, 0.25, 0.35 mm/dev) ve iki farklı kesme derinliği (1,6 ve 2,5 mm) değerleri kullanılmıştır. Ölçülen esas kesme kuvvetleri değerleri lineer, ikinci dereceden ve üstel regresyon denklemleri yardımıyla istatistiksel olarak modellenmiştir. Bağımlı değişken üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisini belirlemek için, ANOVA (Varyans Analizi) testi yapılmıştır. Her üç regresyon modelinde esas kesme kuvvetlerini etkileyen en önemli parametreler ilerleme, kesme derinliği ve kesici takım türü olmuştur. Deneysel sonuçlarından elde edilen esas kesme kuvvetlerinin değerlerine en yakın sonuçları veren en uygun modelin, korelasyon katsayısı karesi en yüksek $R^2=97,4$ değeriyle üstel regresyon modeli olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çoklu regresyon, ANOVA, Kesici takımlar, Esas kesme kuvvetleri, AISI 1050

Statistical Analysis and Investigation of Main Cutting Forces Resulting from Turning of AISI 1050 Steel with Coated and Uncoated Cutting Tools in Different Cutting Parameters

Abstract

In this study, in different cutting parameters in turning operations, the effects of coated and uncoated cutting tools on main cutting forces generated during chip removal have been investigated experimentally and statistically. In the experiments, as cutting tool type, coated and uncoated cutting tools and as cutting parameters, five different cutting speeds (150, 200, 250, 300, 350 m/min), three different feed rates (0.15, 0.25, 0.35 mm/rev) and two different depth of cut (1,6 and 2,5 mm) values were used. Measured main cutting force values were statistically modelled with the help linear, second order and exponential regression equations. To determine the influence of independent variables on the dependent variables, ANOVA (Analysis of Variance) test was conducted. The most important parameters affecting main cutting forces in all three

regression models were feed rate, depth of cut, and cutting tool type. The most appropriate model giving the closest results of the values of main cutting forces obtained from experimental results was found to be the exponential regression model with the highest squared correlation coefficient value as $R^2 = 97,4$.

Key Words: Multiple regression, ANOVA, Cutting tools, Main cutting forces, AISI 1050

1. Giriş

Kesme kuvvetleri; takım aşınması, güç tüketimi ve ısı oluşumu üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu için talaş kaldırma işlemlerinde en önemli konulardan birisidir. İyi bir işlenebilirlik elde etmek ve ürün kalitesini artırmak için kesme kuvvetlerinin minimum değerlere sahip olması istenmektedir. Ancak, bu da optimum kesme parametrelerinin kombinasyonuna, uygun bir kesici takıma ve işlenecek malzemenin tipine bağlıdır. İşleme süreci çok sayıda değişkenler içerdiğinden, kesme kuvvetlerinin optimizasyonu zaman alıcı ve pahalıdır [1]. Bu yüzden, birçok araştırmacı tarafından işleme sırasında elde edilen veriler, ANOVA (varyans analizi), Taguchi yöntemleri, faktöriyel tasarım ve yanıt yüzey yöntemi (RSM) gibi farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmektedir [1-13].

Fetecau ve arkadaşları, Taguchi yöntemiyle geliştirilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin ve kesici uç yarıçapının etkisini varyans analizi ile ortaya koymuşlardır. Deney sonuçları için geliştirilen modellerin yeterliliğini korelasyon katsayıları kullanılarak doğrulamışlardır. İstatistiksel sonuçlardan ilerlemenin ve kesme derinliğinin kesme kuvvetlerini önemli ölçüde etkilediğini, ilerleme, kesici uç yarıçapının ise yüzey pürüzlülüğünü etkilediğini görmüşlerdir [1]. Aouici ve arkadaşları, CBN'li kesici takımlarla sert tornalama sonucu oluşan kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü analiz etmişlerdir. 3 seviyeli dört faktörlü (kesme hızı, ilerleme, sertlik ve kesme derinliği) deneysel tasarımla bir istatistiksel varyans analizi yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti bileşenleri için matematiksel modellerini yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanılarak geliştirmişlerdir. Elde etmiş oldukları sonuçlarda kesme kuvveti bileşenlerinin iş parçası sertliği ve kesme derinliği tarafından

etkilendiğini diğer taraftan ise yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme oranı ve iş parçası sertliğinin istatistiksel öneme sahip olduğunu göstermişlerdir [6]. Lalwani ve arkadaşları ise kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini ortaya koymak için varyans analizi yapmışlardır. MDN250 çeliğini kaplamalı seramik kesici takımlarla işleme sonucu elde etmiş oldukları deneysel verilere etki eden parametreleri belirlemek için yanıt yüzey yöntemini kullanmışlardır. İlerlemenin ve kesme derinliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili parametreler olduğunu bulmuşlardır. Elde etmiş oldukları istatistiksel ve matematiksel modeller arasında kesme kuvvetleri için en uygun modelin lineer model, yüzey pürüzlülüğü için ise ikinci dereceden regresyon olduğunu ortaya koymuşlardır [7]. Agustina ve arkadaşları, UNS A97075 Alüminyum alaşımlarının tornalamasında elde edilen kesme kuvvetlerinin sonuçlarını analiz etmek için varyans analizi kullanmışlardır. Analiz sonuçlarından kesme kuvvetleri üzerinde en etkili iki faktörün ilerleme ve kesme derinliği olduğunu ortaya çıkarmışlardır [8]. Rao ve arkadaşları, tornalama operasyonlarından kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için Taguchi metodu ve varyans analizi kullanmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, kesme kuvvetleri üzerinde en etkili parametrelerin ilerleme ve kesme derinliğinin olduğunu, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ise ilerlemenin olduğunu ortaya koymuşlardır [9]. Bartarya ve arkadaşı, AISI 52100 çeliğin sert tornalanmasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerini etkisini belirlemek için varyans analizi kullanmışlardır. Elde etmiş oldukları regresyon modellerinden kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerin kesme derinliği ve ilerleme olduğunu bulmuşlardır [10]. Sivaraman ve arkadaşları, çalışmalarında kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisini belirlemek için varyans analizi yapmışlardır. Kesme kuvvetleri üzerinde en etkili parametrelerin kesme derinliği ve ilerleme olduğunu yüzey pürüzlülüğü üzerinde ise ilerleme olduğunu bulmuşlardır [11]. Mata ve arkadaşları, TiN kaplı kesici takımlarla kuru işleme şartlarında tornalama işlemlerinde elde etmiş oldukları kesme kuvvetlerini tahmin etmek için yanıt yüzey yöntemi kullanmışlardır. İstatistiksel analize dayalı olan ikinci dereceden regresyon modeli ile elde ettikleri sonuçların ile deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğunu ortaya koymuşlardır [12].

Bu çalışmada, AISI 1050 çelik malzemesinin farklı kesme parametrelerinde kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla tornalanması sonucunda oluşan esas kesme kuvvetleri (F_c) deneysel olarak araştırılmıştır. Daha sonra, kesme parametrelerinin, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların esas kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi çoklu regresyon metoduyla ortaya konulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. İş parçası malzemesi

Deneysel iş parçası malzemesi olarak günümüz imalat sanayisinde geniş bir kullanım alanı olan AISI 1050 karbon çeliği kullanılmıştır. Bu malzemenin spektral analizi yaptırılarak, malzemenin kimyasal kompozisyonu belirlenmiş ve sonucu Tablo 1’de verilmiştir. Ham deney malzemesi $\varnothing 43 \times 249$ mm boyutlarındadır.

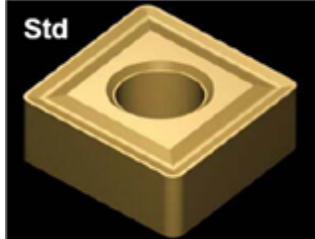
Tablo 1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr
0,430	0,212	0,730	0,0197	0,0390	0,0776
% Mo	% Ni	% Al	% Co	% Cu	% Fe
0,00752	0,0972	0,0110	0,00603	0,297	98,06

2.2. Kesici takımlar ve takım tutucu

ISO 3685’te [13] belirtilen deney şartlarına uygun olarak 75° yanaşma açısına sahip SNMG120408R formunda sementit karbür kesici takımlar ile buna uygun PSBNR252512 formunda takım tutucu kullanılmıştır [14]. Deneysel kullanılan kaplamalı, kaplamasız kesici takımların özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneysel kullanılan kaplamalı, kaplamasız kesici takımlar ve özellikleri [14].

Talaş kırıcı Geometrisi	Kalite	Sertlik (HRA)	Burulma direnci (Gpa)	Kaplama katmanı	
				Bileşim	Kalınlık
	Kaplamalı (UC6010)	90,5	2,0	Üç katlı TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN	Kalın
	Kaplamasız (UTI20T)	90,5	2,0	—	—

Kesici takımlar için Mitsubishi takım firmasının kaplamalı ve kaplamsız takımlar için STD talaş kırıcı geometrisi ile iş parçası malzemesine uygun ISO P30 ve P15 grade'lerine karşılık gelen kaplamalı uçlar için UC6010 ve kaplamsız uçlar için UTI20T kaliteleri seçilmiştir. Deneylede kaplamsız uçlar talaş kırıcı formunu tanımlayan harflerin yanında “U” harfi ile gösterilmiştir.

2.3. Takım tezgâhı ve kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Deneylede iş parçaları FANUC kontrol ünitesine sahip, TC-35 JOHNFORD marka, sanayi tipi “CNC” torna tezgâhında hazırlanan program kullanılarak işlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kesme kuvvetleri; KISTLER 9257B tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüş, kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak, ortalama esas kesme kuvvetleri F_c belirlenmiştir.

2.4. Kesme parametreleri ve deneylerin yapılışı

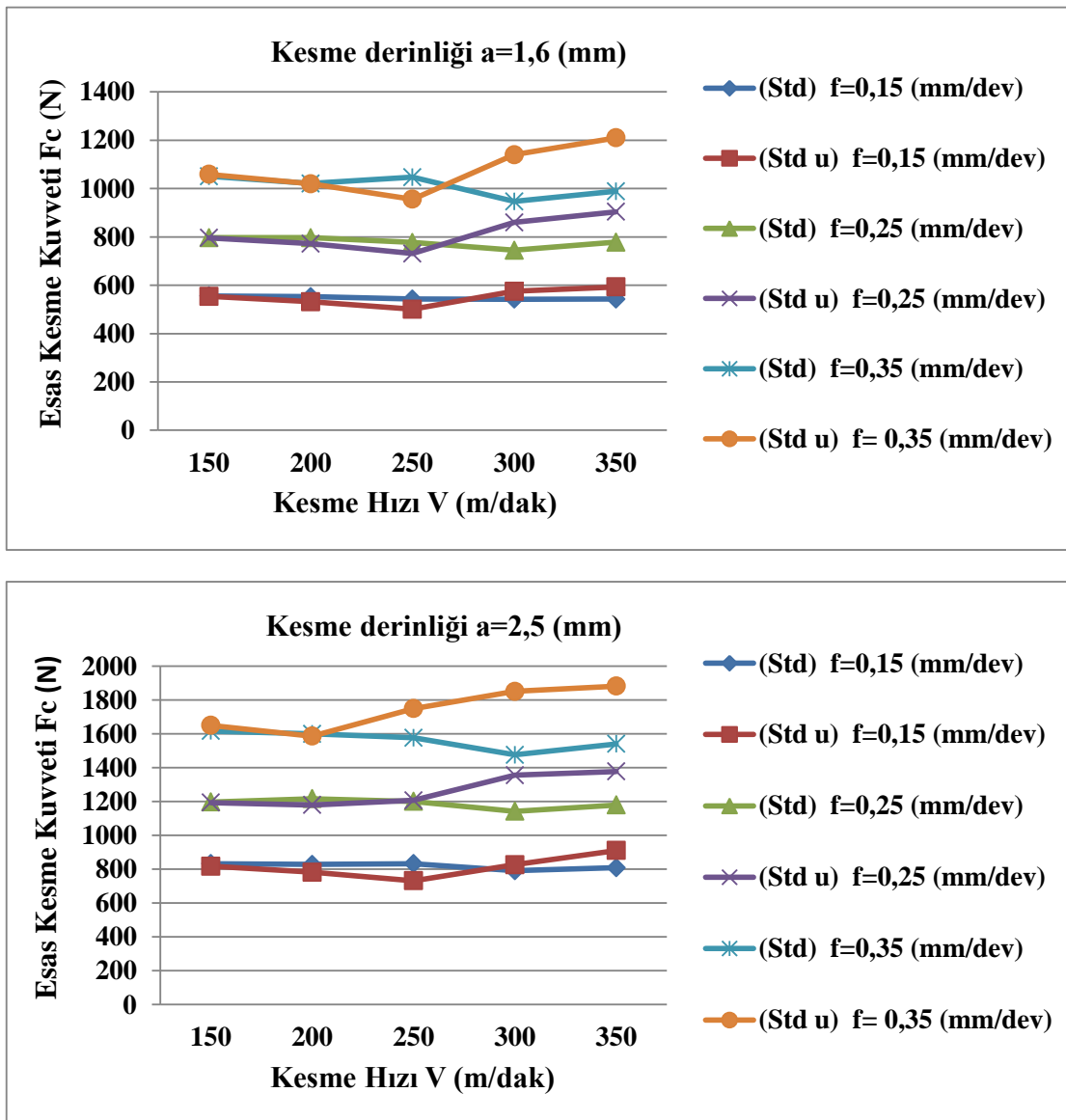
Deneylede kullanılan kesme parametreleri 5 farklı kesme hızı ($V= 150, 200, 250, 300, 350$ m/dak), üç farklı ilerleme ($f= 0.15, 0.25, 0.35$ mm/dev) ve iki farklı kesme derinliği ($a=1,6$ ve $2,5$ mm) kapsayacak şekilde belirlenmiştir. Deneylede, numuneler üzerinden 30 mm uzunluğunda talaş kaldırılarak ölçüm yapılmıştır. Deneylelerin tümünde aynı şartları oluşturmak için, her bir deneylede hiç kullanılmamış yeni kesici takımlar kullanılmıştır. Her bir deneyle sonrası tezgâh durdurularak kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme parametreleri değiştirilmiş ve her bir kesici takım türü için 30 adet deneyle yapılarak toplam 60 adet deneyle gerçekleştirilmiştir.

3. Deneyle Sonuçları

3.1. Esas kesme kuvvetlerinin (F_c) değerlendirilmesi

Kaplamalı (Std) ve kaplamsız (Std u) kesici takımlarla, iki farklı kesme derinliği (1,6 – 2,5 mm), üç farklı ilerleme (0,15 – 0,25 – 0,35 mm/dev) ve beş farklı kesme hızında (150, 200, 250, 300, 350 m/dak) yapılan talaş kaldırma deneyleleri sonucunda elde edilen

esas kesme kuvvetleri değerleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Genel olarak Şekil 1’deki grafikler incelendiğinde kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarda kesme derinliği ve ilerleme değerindeki artışa paralel olarak esas kesme kuvvetleri F_c ’nin arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte asıl kesme kuvvetleri F_c ’nin azaldığı görülmüştür. Bu durum literatürle paralellik arz etmektedir [15-18]. Artan kesme hızı ile kesme kuvvetlerindeki düşüş sıcaklık artışı nedeniyle kesici takım talaş yüzeyindeki temas alanının azalması ve kısmen de akma bölgesinde (ikinci deformasyon bölgesi) kayma dayanımının azalması ile açıklanmıştır [16,18].



Şekil 1. Kesme parametreleri ve kesici takım türüne (Kaplmalı ve Kaplamasız) bağlı olarak Esas kesme kuvveti F_c (N) değişimi

Kienzle'nin " $F_c=A \times k_s$ " eşitliğine göre ilerleme ve kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak, talaş kesit alanı (A) artacağından kesme kuvvetleri de artacaktır [19]. Şekil 1'deki grafiklere bakıldığında kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar birbirleriyle karşılaştırıldığında özellikle düşük kesme hızlarında önemli bir fark gözlenmezken kesme hızı 300 ve 350 m/dak'ya çıktığında kaplamasız kesici takımlar kaplamalı kesici takımlara göre daha yüksek F_c kuvvetlerinin oluşturduğu gözlenmiştir. Söz konusu bu durum, yüksek hızlarda kaplamasız takımların kaplamalı takımlara göre daha hızlı aşınma sürecine girmesi ile açıklanabilir. Bütün kesme şartlarında genellikle kesme hızı artarken esas kesme kuvvetinin azaldığı tespit edilmiş ancak kesme hızı 350 m/dak'lara vardığında kısmen bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu durum, söz konusu bu hızda kullanılan kesici takımlar için üretici firmanın önerdiği hız sınırlarının dışına çıkılmasına bağlı olarak açıklanabilir.

4. Esas Kesme Kuvvetleri Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Deneysel çalışmalardan ölçülen esas kesme kuvvetlerinin değerleri lineer, ikinci dereceden ve üstel regresyon denklemleri yardımıyla istatistiksel olarak modellenmiştir. Esas kesme kuvvetlerinin tahmini için oluşturulan çoklu regresyon modelleri; lineer, ikinci dereceden ve üstel olmak üzere üç farklı model geliştirilmiştir. Bu regresyon modellerinde, bağımlı değişken olarak esas kesme kuvveti (F_c), bağımsız değişkenler olarak ise kesici takım türü (k), kesme hızı (V), ilerleme (f), kesme derinliği (a) belirlenmiştir. Oluşturulan regresyon modellerinde istatistiksel anlamlılık testleri için varyans analizi yapılmıştır. Bağımlı değişken olan esas kesme kuvvetlerini tahmin etmek için oluşturulan modellerin başarısı R^2 değerine göre tespit edilmiştir. Ayrıca bağımlı değişken üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisi de belirlenmiştir.

4.1. Lineer regresyon modeli

Esas kesme kuvvetlerini tahmin etmek için oluşturulan lineer regresyon modelinin ANOVA analizi Tablo 3'te verilmiştir. Lineer regresyon modelinin anlamlılık değerleri için Tablo 3'teki ANOVA anlamlılık (Significant) değerlerine bakıldığında $p < 0,05$ değerinden daha küçük olduğundan dolayı oluşturulan bu modelin anlamlı olduğu

görülmektedir. İstatistiksel olarak anlamlılık kazanan lineer regresyon modeli için oluşturulan denklem aşağıdaki Eşitlik 1’de yazılmıştır.

$$F_c = b_0 + b_1k + b_2V + b_3f + b_4a \quad (1)$$

Tablo 3. Lineer regresyon için ANOVA tablosu

ANOVA						
Regresyon Modelleri	Model	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig. (P)
Lineer	Regrasyon	7350764,575	4	1837691,144	187,034	0,000
	Hata	540398,275	55	9825,423		
	Toplam	7891162,850	59			

ANOVA tablosunda (Tablo 3) görüldüğü gibi esas kesme kuvvetleri için lineer regresyon modelinin anlamlılık değeri (Sig.) $p < 0,05$ ’den daha küçük olmasından dolayı istatistiksel olarak anlamlıdır. Lineer regresyon modelinde Eşitlik 1’deki katsayı değerleri Tablo 4’te verilmiştir. Bu katsayı değerleri SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) istatistiksel programı kullanılarak bulunmuştur.

Tablo 4 Lineer modelle için bağımsız değişken katsayıları

Bağımlı Değişken	Model	Kat Sayılar		Standart Katsayılar	t	Sig. (P)
		B	Hata	Beta		
F _c	Sabit	(b0) -845,197	85,488		-9,887	0,000
	k	(b1) -59,367	25,594	-0,82	-2,320	0,024
	V	(b2) 0,259	0,181	0,050	1,430	0,158
	f	(b3) 3329,00	156,728	0,750	21,241	0,000
	a	(b4) 483,889	28,437	0,600	17,016	0,000

Tablo 4’teki katsayılar kısmı altındaki “B” sütunun altında kalan katsayılar değerleri “b₀, b₁,b₄” Eşitlik 1’de yerine yazılarak Eşitlik 2’deki lineer regresyon eşitliği elde edilmiştir.

$$F_c = -845,488 - 59,367k + 0,259V + 3329,00f + 483,889a \quad (2)$$

Tablo 4’te bağımsız değişken olan esas kesme kuvveti formülü için bağımlı değişkenlerin sabit katsayı değerlerinin önemlilik (sig.) değeri $p < 0,05$ ’den küçük olanlar regresyon modelinde kullanılması uygun olmakla birlikte $p > 0,05$ ’den büyük olanlar

modelde kullanılmamaları daha uygundur. Buna göre Tablo 5’te lineer regresyon modelinde kullanılması uygun ve uygun olmayanlar bağımlı değişkenler verilmiştir. Ayrıca Tablo 4’te mutlak değerce en büyük olan “t” değeri modelde bağımlı değişkenler üzerinde en çok etkiye sahip olan bağımsız değişkenin değerini vermektedir. Bundan dolayı burada ilerleme oranının (f) esas kesme kuvvetleri üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir. Lineer model için ilerleme oranının bağımlı değişken üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu literatür ile benzerlik göstermektedir [7].

Tablo 5. Anlamlılık katsayısı uygun ve uygun olmayan bağımsız değişkenler

Bağımlı Değişken	Anlamlılık Katsayısı<0,05 (Modelde kullanımları uygun)	Anlamlılık Katsayısı>0,05 (Modelde kullanımları uygun değil)
Fc	Sabit, k, f, a	V

4.2. İkinci dereceden regresyon modeli

İkinci dereceden regresyon modelinin anlamlılık testi için yapılan ANOVA testi değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6’daki ANOVA anlamlılık (sig.) değeri p<0,05 değerinden daha küçük olmasından dolayı ikinci dereceden regresyon modeli anlamlıdır. Anlamlılık kazanan ikinci dereceden regresyon modeli denklemi Eşitlik 3’te verilmiştir.

$$Fc = b_0 + b_1k + b_2V + b_3f + b_4a + b_5k^2 + b_6V^2 + b_7f^2 + b_8a^2 + b_9kV + b_{10}kf + b_{11}ka + b_{12}Vf + b_{13}Va + b_{14}fa \quad (3)$$

Tablo 6. İkinci Dereceden Regresyon ANOVA tablosu

ANOVA						
Regresyon Modelleri	Model	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig. (P)
Lineer	Regrasyon	7506534,641	11	682412,240	85,162	0,000
	Hata	384628,209	48	8013,088		
	Toplam	7891162,850	59			

Esas kesme kuvvetlerinin tahmininde kullanılan ikinci dereceden regresyon modeli için elde edilen katsayılar Tablo 7’de verilmiştir. Tablo 7’deki katsayı değerleri Eşitlik

3'teki denklemde yerine yazılarak Eşitlik 4'teki ikinci dereceden regresyon denklemi oluşturulmuştur.

$$F_c = -211,183 - 2,064V + 3097,875f + 472,317k^2 + 0,004V^2 + 525,00f^2 + 113,2751a^2 - 1,049kV - 624,00kf - 55,33ka + 1,123Vf + 0,189Va \quad (4)$$

Tablo 7. Regresyon modeli için bağımsız değişken katsayıları

Bağımlı Değişken	Model	Kat Sayılar		Standart Katsayılar	t	Sig. (P)
		B	Hata	Beta		
Fc	Sabit	(bo) -211,183	277,066		-0,762	0,450
	V	(b1) -2,064	1,663	-0,402	-1,241	0,221
	f	(b2) 3097,87	1339,003	0,697	2,314	0,025
	k ²	(b3) 472,317	152,664	0,651	3,094	0,003
	V ²	(b4) 0,004	0,003	0,428	1,578	0,121
	f ²	(b5) 525,000	2451,493	0,059	0,214	0,831
	a ²	(b6) 113,275	23,851	0,576	4,749	0,000
	k*V	(b7) -1,049	0,327	-0,389	-3,209	0,002
	k*f	(b8) -624,000	283,074	-0,237	-2,204	0,032
	k*a	(b9) -55,333	51,362	-0,164	-1,077	0,287
	V*f	(b10) 1,123	2,002	0,085	0,561	0,578
V*a	(b11) 0,189	0,363	0,097	0,519	0,606	

Tablo 7'de bağımsız değişkenlerin sabit katsayı değerlerinin anlamlılık (sig.) değeri p<0,05'den küçük olanlar ikinci dereceden regresyon modelinde kullanılması uygun olmakla birlikte p>0,05'den büyük olanlar ise modelde kullanılmaları daha uygundur. Buna göre Tablo 8'de ikinci dereceden regresyon modelinde kullanılması uygun ve uygun olmayanlar bağımsız değişkenler verilmiştir.

Tablo 8. Anlamlılık katsayısı uygun ve uygun olmayan bağımsız değişkenler

Bağımlı Değişken	Anlamlılık Katsayısı < 0,05 (Modelde kullanımları uygun)	Anlamlılık Katsayısı > 0,05 (Modelde kullanımları uygun değil)
Fc	f, k ² , a ² , k*V, k*f	Sabit, V, V ² , f ² , k*a, V*f, V*a

Buna ilaveten SPSS programı ile oluşturulan ikinci derece model program tarafında k ve a katsayı değerleri hesaplamalara katılmamıştır. İkinci dereceden regresyon model için

kesme derinliğinin bağımlı değişken üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu literatür ile paralellik göstermektedir [10].

4.3. Üstel regresyon modeli

Üstel regresyon modelinin anlamlı olup olmadığını tespit etmek için ANOVA Tablo 9'daki anlamlılık (Sig.) değerine bakıldığında, anlamlılık değeri $p < 0,05$ değerinden daha küçük olduğu için üstel regresyon modeli anlamlı bulunmuştur. Üstel regresyon modeli için Eşitlik 5'teki denklem elde edilmiştir.

$$Fc = b_0 + \ln k^{b_1} + \ln V^{b_2} + \ln f^{b_3} + \ln a^{b_4} \quad \text{veya} \quad \ln Fc = b_0 + b_1 \ln k + b_2 \ln V + b_3 \ln f + b_4 \ln a \quad (5)$$

Tablo 9. Üstel regresyon için ANOVA tablosu

ANOVA						
Regresyon Modelleri	Model	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig. (P)
Lineer	Regrasyon	7,354	4	1,839	511,811	0,000
	Hata	0,198	55	0,004		
	Toplam	7,552	59			

Anlamlı bulunan üstel regresyon modelinin katsayı değerleri Tablo 10'da verilmiştir. Tablo 10'daki katsayılar Eşitlik 5'te yerine yazılırsa Eşitlik 6 elde edilir.

$$\ln Fc = 7,077 - 0,005 \ln k + 0,043 \ln V + 0,791 \ln f + 0,962 \ln a \quad (6)$$

Eşitlik 6'daki üstel regresyon denklemi ile esas kesme kuvvetleri değerlerinin tahmini elde edilmiştir.

Tablo 10. Üstel modelle için bağımsız değişken katsayıları

Bağımlı Değişken	Model	Kat Sayılar		Standart Katsayılar	t	Sig. (P)
		B	Hata	Beta		
Fc	Sabit	(b ₀) 7,077	0,148		47,947	0,000
	k	(b ₁) -0,005	0,002	-0,062	-2,857	0,006
	V	(b ₂) 0,043	0,026	0,036	1,663	0,102
	f	(b ₃) 0,791	0,022	0,776	35,596	0,000
	a	(b ₄) 0,962	0,035	0,605	27,735	0,000

Tablo 10’da SPSS programı ile esas kesme kuvvetleri tahmin etmek için üstel regresyon modelinde kullanılan sabit değerlerin anlamlılık (sig.) değeri $p < 0,05$ ’den küçük olanlar regresyon modelinde kullanılması uygun olmakla birlikte $p > 0,05$ ’den büyük olanlar modelde kullanılmamaları daha uygundur. Buna göre Tablo 11’de üstel regresyon modelinde kullanılması uygun ve uygun olmayanlar bağımsız değişkenler verilmiştir.

Tablo 11. Anlamlılık katsayısı uygun ve uygun olmayan bağımsız değişkenler

Bağımlı Değişken	Anlamlılık Katsayısı < 0,05 (Modelde kullanımları uygun)	Anlamlılık Katsayısı > 0,05 (Modelde kullanımları uygun değil)
Fc	Sabit, k, f, a	V

4.4. Regresyon modellerinin karşılaştırılması

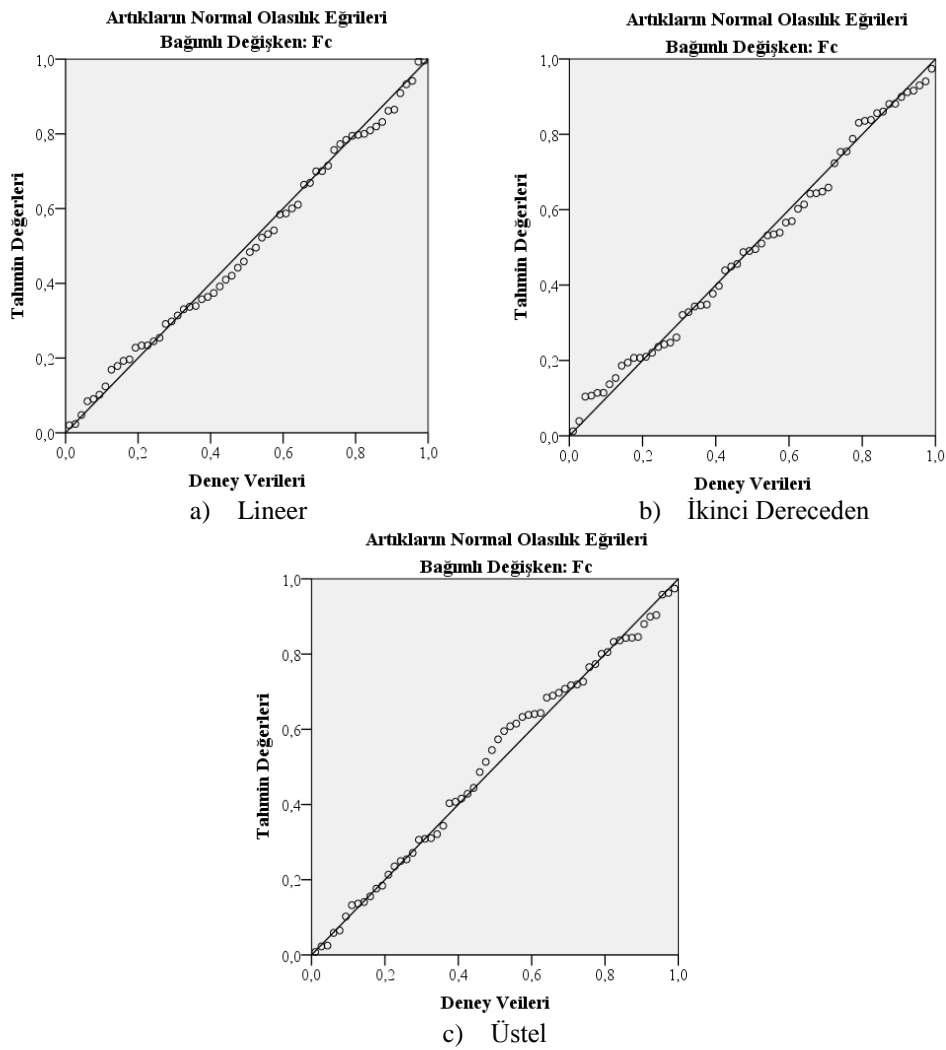
Lineer, ikinci dereceden ve üstel regresyon modellerinde bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından ne kadar açıklanabildiğini gösteren belirtme katsayı R^2 değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri açıklama oranı

REGRESYON MODELİ	Esas Kesme Kuvveti (Fc)	
	R^2 (%)	Düzeltilmiş R^2_d (%)
Lineer	93,2	92,7
İkinci Dereceden	95,1	94,0
Üstel	97,4	97,2

Her üç regresyon modelinde, Tablo 12’deki esas kesme kuvvetleri için belirtme katsayısı R^2 değeri sırasıyla 93,2 lineer, 95,1 ikinci dereceden ve 97,4 üstel şeklinde görülmektedir. Belirtme katsayısı R^2 değeri 1 değerine yaklaştıkça regresyon modellerinde kullanılan tahmin sonuçları deney sonuçlarına en yakın sonuçları vermektedir. Tablo 12’deki belirtme katsayısı olan R^2 1’e en yakın olan 97,4 değeri üstel regresyon modelinde görülmektedir. Bundan dolayı bu üç modelden en iyi modelin üstel model olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

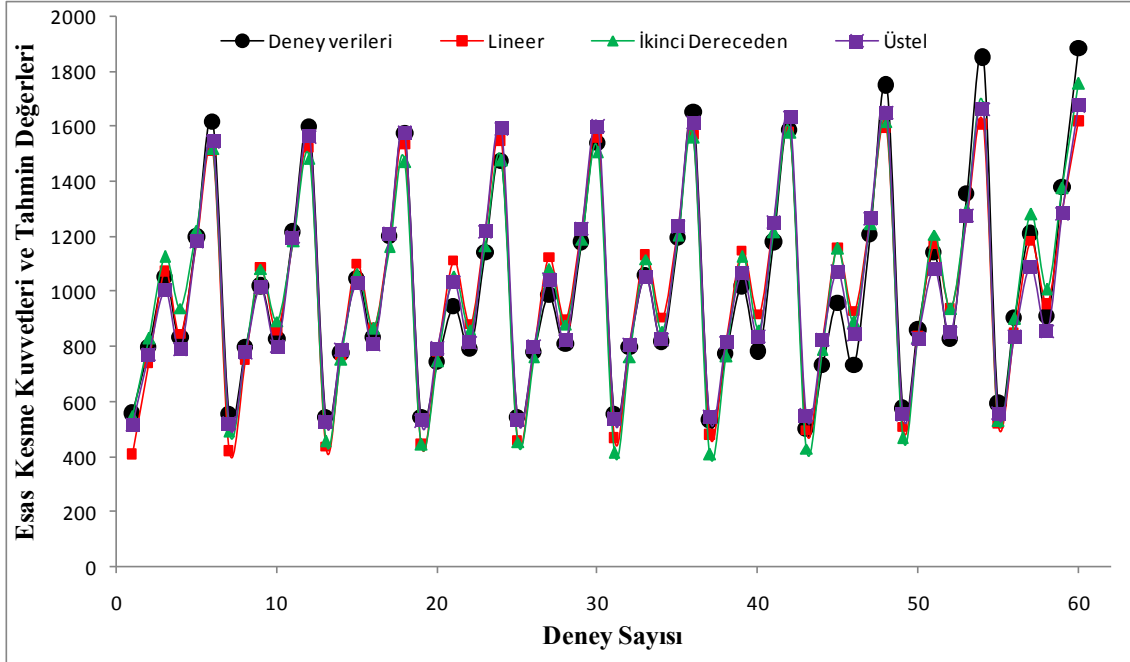
Regresyon modelinde ölçülen değerler ile elde edilen değerler arasındaki farklılıklar, hata ya da artık olarak ifade edilmektedir. Şekil 2’de lineer, ikinci dereceden ve üstel regresyon modellerinden elde edilen hataların normal olasılık eğrileri verilmiştir. Şekil 2’deki grafikler incelendiğinde, esas kesme kuvvetleri değerleri için üstel regresyon modellerindeki artıklar, lineer ve ikinci dereceden modellere göre lineer çizgi etrafında daha iyi bir dağılım sergilediği görülmüştür. Bu yüzden üstel regresyon modelinin esas kesme kuvvetlerini tahmin etmede daha başarılı olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 2. Artıkların normal olasılık eğrileri a) Lineer, b) İkinci dereceden, c) Üstel

Ayrıca lineer, ikinci dereceden ve üstel regresyon modellerinin tahmini sonuçları ile deneysel verilerin karşılaştırılması Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 3’teki esas kesme

kuvvetlerinin tahmini için deney verilerine en yakın tahmin değerlerin üstel regresyon modelinde daha sonra ikinci dereceden ve lineer modellerde sıralandığı görülmektedir.



Şekil 3. Deney verileri ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması

5. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada farklı kesme parametrelerinde kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla AISI 1050 iş parçası tormalanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen esas kesme kuvvetleri (F_c) değerlerine lineer, ikinci dereceden ve üstel olmak üzere üç farklı regresyon modeli uygulanmıştır.

- Genellikle kesme hızı artarken esas kesme kuvvetlerinde (F_c) de bir azalma olurken kesme hızı $V = 300 - 350$ m/dak'lara çıktığında kısmen bir artış olduğu gözlenmiştir. Bütün kesme şartlarında ilerleme ve kesme derinliği artıkça esas kesme kuvvetinin (F_c) de arttığı görülmüştür.
- Düşük kesme hızlarında kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar birbirleriyle karşılaştırıldığında önemli bir fark gözlenmezken, özellikle kesme hızı 300 ve 350 m/dak'ya çıktığında kaplamasız kesici takımlar kaplamalı kesici takımlara göre daha yüksek esas kesme kuvvetlerinin (F_c) oluşturduğu gözlenmiştir.

- Lineer, ikinci dereceden ve üstel modellerden elde edilen tahmin sonuçlarında hata miktarının az ve deneysel sonuçlara çok yakın olduğu görülmüştür.
- Esas kesme kuvvetlerini tahmin etmek için en iyi sonuç değerlerini veren regresyon modelinin üstel olduğu tespit edilmiştir.
- En küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen R^2 değerleri sırasıyla lineer, ikinci dereceden ve üstel modeller için $R^2 = \%93,2$, $R^2 = \%95,1$ ve $R^2 = \%97,4$ elde edilmiştir.
- Her üç regresyon modelinde esas kesme kuvvetlerini etkileyen ilerleme, kesme derinliği ve kesici takım türünün etkilediği görülmüştür.

6. Kaynakça

1. Fetecau C., Stan F., 2012. Study of cutting force and surface roughness in the turning of polytetrafluoroethylene composites with a polycrystalline diamond tool, *Measurement*, 45: 1367-1379.
2. Asiltürk İ., Akkuş H., 2012. AISI 4140 çeliğinin sert tornalama işleminde kesici takım aşınmasının regresyon yöntemi ile istatistiksel olarak modellenmesi, 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 258-268.
3. Özlü, B., Demir, H., Nas, E., 2014. CNC tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etki eden parametrelerin matematiksel olarak modellenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(2): 75-86.
4. Sarıkaya M., Dilipak H., Meral G., 2011. AISI 1050 malzemenin delinmesinde ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün regresyon analiziyle modellenmesi, *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 4(1): 31-41.
5. Dilipak H., Yılmaz V., 2012. AISI 1050 Çeliğinin Karbür Takımlarla Frezelenmesinde Oluşan Titreşimlerin İncelenmesi ve İstatistiksel Analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2): 285-294.
6. Aouici H., Yaltese M.A., Chaoui K., Mabrouki T., Rigal J.F., 2012. Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization, *Measurement*, 45: 344-353.
7. Lalwani D.I., Mehta N.K., Jain P.K., 2008. Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 206:167-179.
8. Agustina B., Bernal C., Camacho A.M., Rubio E.M., 2013. Experimental Analysis of the Cutting Forces Obtained in Dry Turning Processes of UNS A97075 Aluminium Alloys, *Procedia Engineering*, 63:694-699.

9. Rao C.J., NageswaraRaob D., Srihari P., 2013. Influence of cutting parameters on cutting force and surface finish in turning operation, *Procedia Engineering*, 64: 1405-1415.
10. Bartarya G., Choudhury S.K. , 2012. Effect of cutting parameters on cutting force and surface roughness during finish hard turning AISI52100 grade steel, *Procedia CIRP*, 1: 651-656.
11. Sivaraman V., Sankaran S., Vijayaraghavan L., 2012. Machinability of Multiphase Micro alloyed Steel, *Procedia CIRP*, 2: 55-59.
12. Mata F., Beamud E., Hanafi I., Khamlichi A., Jabbouri A., Bezzazi M., 2010. Multiple regression prediction model for cutting Forces in Turning Carbon-Reinforced PEEK CF30, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2010:1-7
13. TS 10329 (ISO 3685), “Torna Kalemleri-Ömür deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, (1992).
14. Firma Katalogları, “Turning Tools, Rotating Tools, Tooling Solutions Genel Katalogu”, Mitsubishi (2005).
15. Chen W., 2000. Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools, *International Journal of Machine Tools &Manufacture*, 40:455-466,
16. Trent E.M., 1989. Metal Cutting, Butterworths Press, London, 1-171.
17. Zhao J., Ai X., Li Z., 2006. Finite element analysis of cutting forces in high speed machining, *Materials Science Forum*, 532(533): 753-756.
18. Boothroyd G., 1981. Fundamentals of metal machining and machine tools, International Student ed. 5th Printing, McGraw-Hill, ISBN 0-07-085057- 7, New York.
19. Şeker U., 1997. Takım Tasarımı Ders Notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 5-11, 33-44, 47-72.