

Kesme Kuvvetlerinin Tahmini İçin Matematiksel Bir Model Geliştirme

Abdullah KURT, Samet SÜRÜCÜLER, Ali KİRİK

ÖZET

Bu çalışma, talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin kesme deneyleri yardımıyla belirlenmesini ve kesme parametrelerindeki değişime göre kesme kuvvetlerinin tahmini için matematiksel model geliştirilmesini ihtiva etmektedir. Bu amaçla; kuru kesme şartları altında üç farklı talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlar kullanılarak, kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. AISI 1050 deney numuneleri üzerinde üç farklı kesme hızı ile iki farklı ilerleme ve kesme derinliği kullanılarak kesme deneyleri yapılmıştır. Kesme kuvvetleri Kistler 9257B dinamometre yardımıyla eşzamanlı olarak ölçülmüştür. Kesme deneyleri sonucunda ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin her biri için uygulanabilir bir matematiksel model geliştirilmiştir. Kesme kuvveti bileşenlerinin matematiksel olarak modellenmesi; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve talaş kırıcının talaş açısına dayalı olarak, istatistiksel bir analiz tekniği olan regresyon analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti bileşenleri için kesme parametrelerine göre geliştirilen model sonuçlarının deneysel sonuçlarla çok yakın bir dağılım sergilediği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kesme kuvveti, kesme parametreleri, matematiksel modelleme

Developing a Mathematical Model for the Cutting Forces Prediction

ABSTRACT

In this present study includes the experimentally determination of the cutting forces which occur during metal cutting, and developing a mathematical model for the cutting forces prediction depending on the cutting parameters variation. For this purpose, various cutting experiments were carried out under dry conditions using cutting tools have three different chip breaker forms. Machining tests were performed on AISI 1050 steel using three cutting speeds, two feed rates, and two depths of cut. The cutting forces occurred during metal cutting were measured simultaneously by Kistler 9257B dynamometer. A practicable mathematical model for every one of the cutting force components was developed using the cutting force data measured by cutting tests. Mathematically modelling procedure for the cutting force components based on the cutting parameters such as cutting speed, feed rate, depth of cut, and the rake angle of the chip breaker carried out using regression analysis which is a statistical analysis technique. A good agreement between the results of the developed model for the cutting force components and the results of experimentally obtained the cutting force data was seen.

Key words: Cutting forces, cutting parameters, mathematical modelling

1. GİRİŞ

Talaş oluşumu; yüksek gerinme hızları ve sıcaklık etkilerine sahip olan plastik deformasyonun bir sonucudur. Son 30 yılda kesme mekaniği hakkında pek çok çalışma yapılmakla birlikte; özellikle bir kesme modeli geliştirmek amacıyla analitik ve nümerik yaklaşımlarda bulunulduğu gözlenmektedir. Kesme işlemini tanımlamak amacıyla çeşitli modeller geliştirilmiş olup, bunların bazılarında kesme işlemi başarılı bir şekilde tanımlanabilirken bazılarında da doğru çözümler tam olarak kanıtlanamamıştır.

Oxley (1), Wang ve Mathew (2), Arsecularatne ve ark. (3) ile Moufki ve ark. (4), eğik kesmedeki kesme

kuvvetlerini tahmin etmek için, sıcaklık etkileri ile gerinme hızı duyarlılığı ve gerinme sertleşmesi gibi malzeme özelliklerini de ihtiva edecek şekilde basitleştirilmiş kabullerle birlikte kesmenin termo-mekanik modelini kullanmışlardır. Parakkal ve ark. (5), tornalamada kullanılan talaş kırıcılı uçlar için kesme kuvvetlerini tahmin eden bir modelleme yaklaşımı geliştirmişler; kesici takımın burun yarıçapı ve talaş akış etkilerini talaş kırıcı parametrelerinin tanımlanmasıyla birleştirmişlerdir. Strenkowski ve ark. (6) ise takım kuvvetleri ve talaşın akış açısını tahmin eden ve Usui'nin (7, 8) talaş akış yönü için kullandığı minimum enerji yaklaşımına dayanan üç boyutlu analitik bir model geliştirmişlerdir. Thomas ve Beauchamp (9), kesici takıma etki eden kesme kuvvetlerinin kesici takımdaki titreşimleri etkilediğini kabul etmiş; farklı kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve burun yarıçapı için yumuşak karbon çelik numunelerin kuru şartlarda tornalanmasıyla elde edilen kesme kuvveti, kesici takım titreşimi ve kesici takım model parametresi verilerinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Hayajneh ve ark. (10), ortogonal kesmedeki di-

Makale 03.03.2010 tarihinde gelmiş,28.04.2010 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

A,KURT, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü

e-posta : akurt@gazi.edu.tr

S. SÜRÜCÜLER, A. KİRİK, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı

e-posta :sametsurucular@hotmail.com, ali_kirik33@hotmail.com
Digital Object Identifier 10.2339/2010.13.1, 15-20.

namik kesme kuvvetlerini değerlendirmek için paralel sınırları olan bir kayma bölgesi modelini kullanmışlardır. Çalışmada kesme sistemi; kesme kuvvetlerindeki sinüsoidal biçimli değişimler, bunların toplam farkları biçiminde gösterilmiş ve serbestlik derecesi bir olan dinamik bir sistem kullanılarak modellenmiştir. Fang ve Jawahir'in (11-13) çalışmaları, geliştirmiş oldukları geleneksel kayma hattı modeliyle yaptıkları analitik tahminleri ve bu tahminlerin deneysel doğrulanmasını ihtiva etmektedir. Geleneksel kayma hattı modeli (12), plastik bölgedeki gerilme durumunun belirlenmesi için türetilen maksimum değer prensibi (12), kayma hattı problemlerinin nümerik olarak çözülmesi için Dewhurst and Collins matris tekniği (14) ve doğrusal olmayan optimizasyonlar için Powell algoritmine (15) dayalı olarak; kesme kuvveti oranı, talaş kalınlığı ve talaşın geri akış açısı gibi üç önemli işleme parametresini tahmin etmişlerdir. Zhang ve ark. (16), fiber takviyeli plastiklerin ortogonal kesilmesinde oluşan kuvvetleri tahmin etmek için mekanik bir model geliştirmiş; talaş açısı ve kesici takım burun yarıçapı gibi kesici takımın geometrik özelliklerini de dikkate almışlardır. Kurt'un (17) çalışması ise; kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesini, kesme kuvvetlerinin kesici takım üzerindeki etkilerinin ANSYS paket programı kullanılarak analizini ve elde edilen bulgular ışığında esas kesme kuvveti ve gerilmelerin matematiksel olarak modellenmesini ihtiva etmektedir. Korucu (18), talaşlı imalatta önemli bir yere sahip olan delme işlemlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi, ölçülen bu kesme kuvvetleri etkisiyle kesici takımında meydana gelen gerilmelerin sonlu elemanlar metodu kullanarak analiz edilmesi ve analizi yapılan bu gerilmeleri tanımlamak için bir matematiksel model geliştirilmesi üzerine araştırma yapmıştır. Aksu (19), dik ve eğik kesme yöntemlerinde, farklı malzemeler ve kesme koşullarında deneylerle elde ettiği sonuçları analitik modellemede kullanmıştır. Gündüz (20) ise, tormalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerinin bulanık mantık ve yapay sinir ağları metoduyla tahmini üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Literatürde, talaşlı imalat işlemlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin modellenmesi üzerine çalışmaların mevcut olduğu ancak daha verimli kesme modellerine ulaşılacağı, daha anlaşılabilir kavramlarla, karmaşık analitik yapı içermeyen modeller elde edilebileceği düşünülmektedir. Geliştirilen model yardımıyla talaş oluşumu ve akışı, işlenebilirlik, talaş kırıcı tasarım parametreleri, kesici takım dayanımı, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim gibi olayların daha ayrıntılı bir biçimde incelenebileceği düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kesme deneyleri

Deneylerde, Çizelge 1'de kimyasal bileşimi verilen AISI 1050 iş parçası numuneleri üzerinde ISO 3685'e göre PSBNR 2525M12 formundaki takım tutucu (Sandvik) ile SNMG 120408 formundaki sementit karbür kaplamalı (Sandvik 4225 grade) PM, PR ve QM ta-

laş kırıcı geometrilerine sahip kesici takımlar kullanılarak kesme deneyleri yapılmıştır. Deneylere başlanmadan önce dış yüzey sertliği gibi haddeleme etkilerini minimize etmek amacıyla deney numunelerinin dış yüzeylerinden talaş kaldırılmıştır. Deneylerde kuru kesme şartları altında kesme parametresi olarak üç farklı kesme hızı ile iki farklı ilerleme ve kesme derinliği kullanılmıştır (Çizelge 2). Deneylerde JOHNFORD T35 sanayi tipi CNC torna tezgâhında deney numunelerine 30 mm boyuna tormalama işlemi uygulanmış ve kesme parametrelerindeki değişime göre esas kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve pasif kuvvet (sırasıyla F_C , F_f ve F_p) bileşenleri Kistler 9257B tipi dinamometre yardımıyla eşzamanlı olarak ölçülmüştür. Kesme deneyleri sonrasında, kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak; F_C , F_f ve F_p kuvvet bileşenleri için ortalama değerler belirlenmiştir.

Çizelge 1. AISI 1050 deney numunelerinin kimyasal bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
0,485	0,218	0,752	0,0256	0,056	0,109
%Mo	%Ni	%Al	%Co	%Cu	%Pb
0,0147	0,111	0,00213	0,00126	0,231	0,00211
%V	%Sn	%Nb	%W	%Fe	
0,0134	0,0166	0,00254	0,00528	Kalan	

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan kesme değişkenleri

İş parçası malzemesi	: AISI 1050
Takım tutucu	: PSBNR 2525M12
Kesici takım	: SNMG 120408
Talaş kırıcı geometrisi (talaş kırıcı açısı)	: PM (7°), PR (8°), QM (9°)
Kesme parametreleri	
Kesme hızı (V , m/min)	: 300-350-400
İlerleme (f , mm/rev)	: 0,2-0,4
Kesme derinliği (a , mm)	: 1-2

2.2. Modelleme prosedürü

F_C , F_f ve F_p kuvvet bileşenleri için geliştirilecek modellerin geçerliliği ve güvenilirliği bakımından; kesme kuvvetlerini doğrudan etkileyen kesme parametrelerinin oldukça büyük bir önemi vardır (17,18). Bu nedenle geliştirilen kuvvet modelinde, kesme kuvvetlerini doğrudan etkileyen kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve talaş kırıcının talaş açısı gibi kesme parametreleri dikkate alınmıştır. Dolayısıyla bu çalışma ile temel kesme parametreleri kullanılarak, deney maliyetleri açısından ekonomik, karmaşık analitik yapı içermeyen, anlaşılabilir, güvenilirliği yüksek, gerçek veriler elde edilebilen, gerçek kesme şartlarına kolay uygulanabilen kesme kuvveti modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmaya esas olarak; Kurt'un (17) takım ömrü için geliştirilen *Gilbert* modelini (*genişletilmiş Taylor modeli*) esas alan ve kesme deneyleri sırasında girdi olarak kullanılan V , f , a 'ya dayalı kuvvet modeli kesme kuvvetleri için genel bir bilgi vermesine rağmen; Gürbüz (21), talaş kırıcı geometrisinin de kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Bu sebeple talaş kırıcı geometrisi etkilerini de dikkate alan; V , f , a dışında talaş kırıcının talaş açısını (γ) da ihtiva eden matematiksel bir model üzerinde durulmuştur. Kesme kuv-

veti bileşenleri için Kurt'un (17) kullandığı kuvvet modeli ve geliştirilen kuvvet modeli sırasıyla Eş. 1a ve Eş. 1b'de gösterilmiştir:

$$F_i = c \cdot V^{q_1} \cdot f^{q_2} \cdot a^{q_3} \quad [1a]$$

$$F_i = c \cdot V^{q_1} \cdot f^{q_2} \cdot a^{q_3} \cdot \gamma^{q_4} \quad [1b]$$

Burada F_i , ilgili kesme kuvveti bileşenini (F_C , F_f ve F_p); c , eşitlik (veya model) sabitini; q_1 , q_2 , q_3 , q_4 ise sırasıyla kesme hızı (V , m/min), ilerleme (f , mm/rev), kesme derinliği (a , mm) ve talaş kırıcının talaş açısı (γ , derece) için üs değerlerini göstermektedir. Eş. 1'de gösterilen bütün c ve q değerleri, her bir kesme kuvveti bileşeni (F_C , F_f ve F_p) için ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Eş. 1b ifadesi;

$$\log F_i = \log c + q_1 \cdot \log V + q_2 \cdot \log f + q_3 \cdot \log a + q_4 \cdot \log \gamma \quad [2]$$

biçiminde logaritmik form yardımıyla doğrusal forma dönüştürülmüş olup kısaca

$$Y = C_0 \cdot X_0 + C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3 + C_4 \cdot X_4 + \varepsilon_i \quad [3]$$

olarak gösterilebilir. Eş. 3'teki; Y , ayrı ayrı $\log F_i$ değerlerini; C_i ($i = 1,2,3,4$) bulunacak eşitlik katsayılarını (sırasıyla q_1 , q_2 , q_3 ve q_4 üs değerleridir); X_0 , hayali bir değişkeni (1 alınmıştır); X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 sırasıyla $\log V$, $\log f$, $\log a$ ve $\log \gamma$ değerlerini ve ε_i ($i = 1,2,3$) ise gerçekleşecek modelleme hatasını göstermektedir. Eş. 3'ün matris formundaki gösterimi ise

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_n \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_n \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix} \text{ ve } X = \begin{bmatrix} 1 & X_{21} & \dots & X_{K1} \\ 1 & X_{22} & \dots & X_{K2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{2n} & \dots & X_{Kn} \end{bmatrix} \text{ olmak üzere}$$

$$Y = X \cdot C + e \quad [4]$$

biçimindedir. Burada n ve K sırasıyla deney ve parametre sayısını ifade etmektedir. Y , $n \times 1$ boyutundaki bağımlı değişkenler vektörünü; X , $n \times K$ boyutunda bağımsız değişkenler matrisini; C , $K \times 1$ boyutunda model sabitleri vektörünü ve e , $n \times 1$ boyutunda hata terimleri vektörünü göstermektedir.

Çizelge 3. Kurt'un (17) modeli için model sabitleri, hata ortalamaları ve R^2 değerleri

F_i	c	q_1	q_2	q_3	Hata (\pm %)	R^2
F_C	1870,37124	-0,01424	0,82494	0,92336	2,658	0,9922
F_f	561,93219	-0,04435	0,44725	1,09105	6,646	0,9342
F_p	746,30929	-0,04042	0,64384	0,54516	9,241	0,8945

Çizelge 4. Geliştirilen modelin model sabitleri, hata ortalamaları ve R^2 değerleri

F_i	c	q_1	q_2	q_3	q_4	Hata (\pm %)	R^2
F_C	1541,10783	-0,01424	0,82494	0,92336	0,09338	2,619	0,9927
F_f	366,98412	-0,04435	0,44725	1,09105	0,20548	6,353	0,9380
F_p	658,19753	-0,04042	0,64384	0,54516	0,06059	9,296	0,8936

Kurt'un (17) modeli (Eş. 1a) ve geliştirilen kesme kuvveti modeli (Eş. 1b); aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki

ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler veya kestirimler yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize eden istatistiksel bir analiz tekniği olan regresyon analizi kullanılarak çözülmüştür. Model, özellikle regresyon analizi tiplerinden çok değişkenli doğrusal regresyon analizi kapsamında yer aldığından; modelde kullanılan sabitlerin belirlenmesinde (Eş. 4'ün çözümü için) en küçük kareler metodu uygulanmış ve eşitlik,

$$C = [X' \cdot X]^{-1} \cdot X' \cdot Y \quad [5]$$

halinde matris formuna getirilerek çözülmüştür. Eş. 5'teki; C , bulunacak katsayı vektörünü; X , bağımsız değişken matrisini ve Y , incelenen değerler vektörünü göstermektedir.

3. MODEL SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Eş. 1'de belirtilen eşitlik (veya model) sabiti (c) ile kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve talaş kırıcının talaş açısına bağlı sırasıyla q_1 , q_2 , q_3 ve q_4 üs değerleri; gerçekleştirilen kesme deneylerine göre Eş. 5'in çözülmesiyle bulunmuştur. Buna göre; Kurt'un (17) modeli ve geliştirilen kuvvet modelinin her biri için Eş. 5 ayrı ayrı çözümlenerek; F_C , F_f ve F_p kesme kuvvetleri için ayrı ayrı c eşitlik (veya model) sabiti ile q_i ($i = 1,2,3,4$) üs değerleri hesaplanmıştır.

Kesme kuvvetleri için Kurt'un (17) modeline ve geliştirilen modele göre elde edilen model sabitleri, deneylerle ölçülen kesme kuvvetleriyle geliştirilen modelde hesaplanan kesme kuvvetleri arasındaki ortalama hata değerleri ve geliştirilen regresyon modellerindeki gözlem değerlerinin hazırlanan modele uygunluğunun kontrolü için kullanılan belirlilik katsayısı (R^2) değerleri sırasıyla Çizelge 3 ve Çizelge 4'te gösterilmiştir.

F_C , F_f ve F_p kesme kuvvetlerinin her biri için geliştirilen kuvvet modelindeki parametrelere (q_1 , q_2 , q_3 ve q_4 üs değerleri ile c sabitleri) dayalı olarak yapılan hesaplamalar sonucunda; genel olarak tüm talaş kırıcı formları için gerçekleşen hataların, \pm % 10'luk hata sınırları (ölçülen kesme kuvvetinin \pm % 10'u) içerisinde kaldığı dikkati çekmektedir. Kesme kuvvetini tahmin

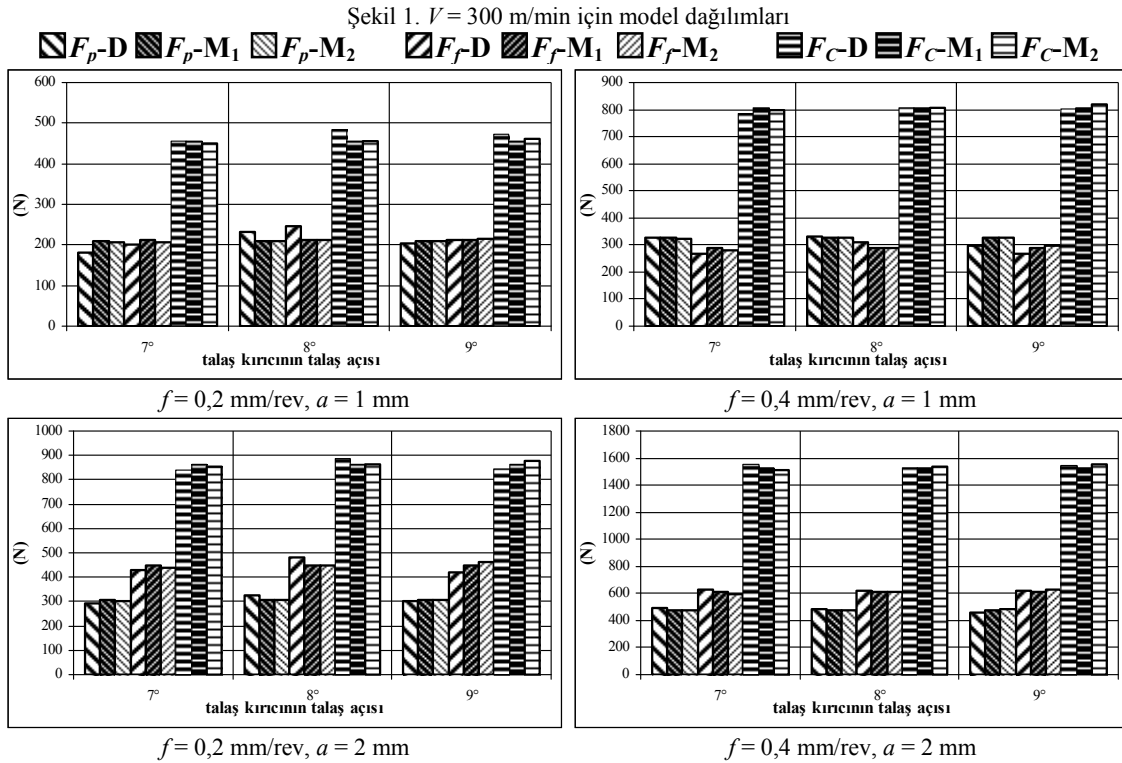
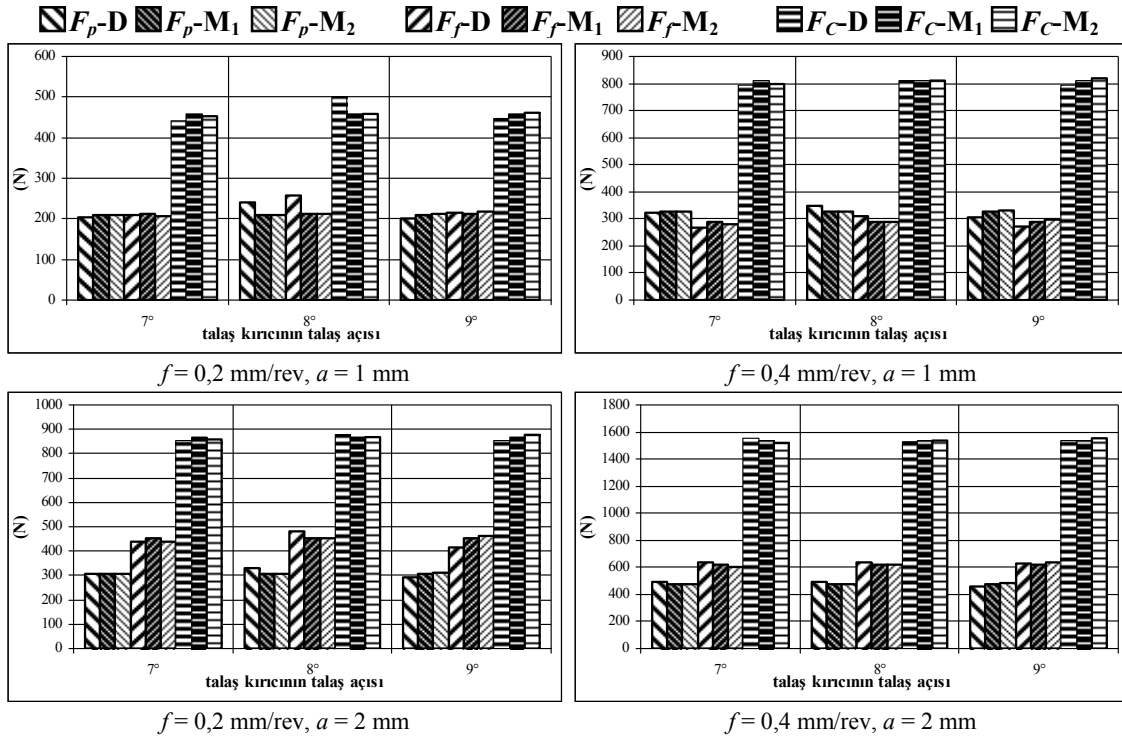
etmek üzere geliştirilen model için özellikle esas kesme kuvveti (F_C) model sonuçlarında \pm % 3'ten daha az hataların gerçekleştiği söylenebilir. İlerleme (F_f) ve pasif

kuvvet (F_p) için model sonuçlarında gerçekleşen hataların sırasıyla yaklaşık \pm % 6,4 ve \pm % 9,3 aralığında olduğu görülmektedir. Buna karşılık, R^2 değerlerinin ise F_C , F_f ve F_p için sırasıyla yaklaşık 0,99; 0,94 ve 0,90 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

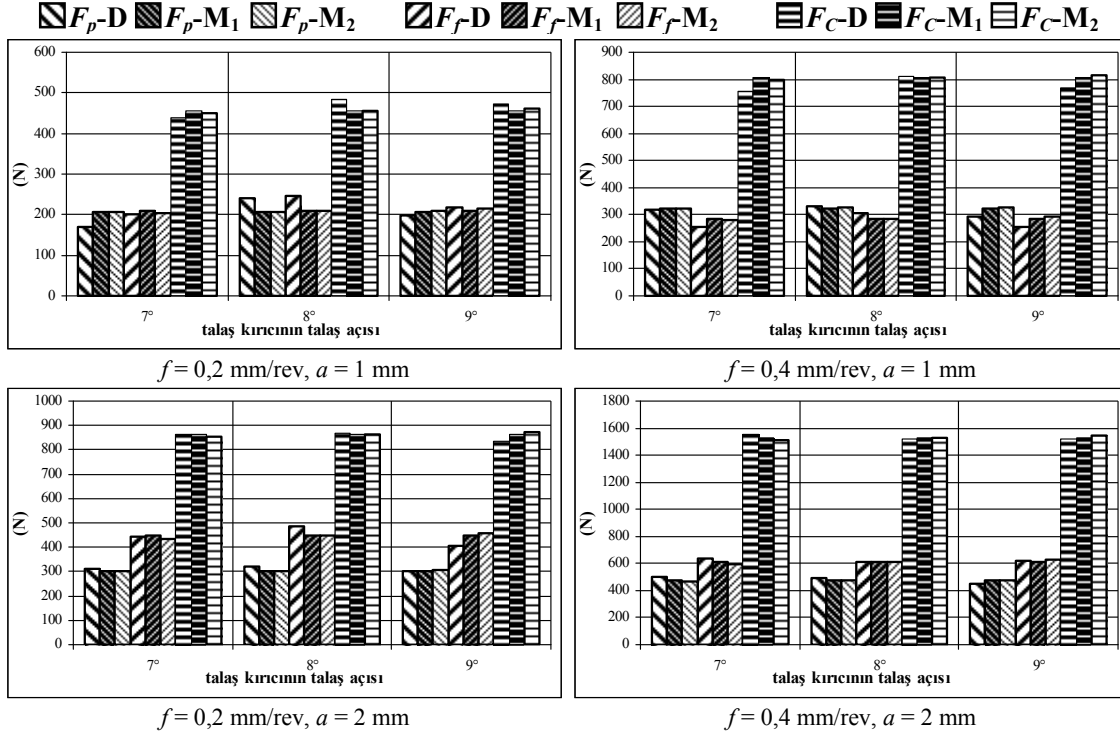
Kurt'un (17) modeli ile geliştirilen kuvvet modeli karşılaştırıldığında (Çizelge 3-4); özellikle F_C ve

F_f kesme kuvvetlerinin tahmininde, geliştirilen kuvvet modelinin kısmen daha gerçekçi sonuçlar vereceği söylenebilir.

Talaş kırıcının talaş açısı değerleri sırasıyla 7° , 8° , 9° olan PM, PR ve QM talaş kırıcı formları için kesme deneyleriyle ölçülen ve geliştirilen modellerle hesaplanan kuvvet dağılımları arasında yapılan



karşılaştırmalar sırasıyla Şekil 1–Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 1–Şekil 3’te F_i ilgili kesme kuvveti bileşeni (F_C , F_f ve F_p) olmak üzere; deneylerle ölçülen kuvvet bileşenleri F_i -D olarak, Kurt’un (17) modeline göre hesaplanan kuvvet bileşenleri F_i -M₁ ve geliştirilen modelle belirlenen kuvvet bileşenleri ise F_i -M₂ biçiminde notasyonlarla gösterilmiştir.



Şekil 3. $V = 400$ m/min için model dağılımları

Şekil 1–Şekil 3 incelendiğinde; genel olarak kesme hızındaki artışa paralel olarak ölçülen kesme kuvvetlerinde bir düşme eğilimi görülürken, ilerleme ve kesme derinliğindeki artışla birlikte tam tersi bir durum gözlenmektedir. Tüm kesme hızı değerleri için PR talaş kırıcı formunda (8°) ölçülen kesme kuvvetlerinin en yüksek değere ulaştığı söylenebilir.

Özellikle pasif kuvvet için PM (7°) ve PR (8°) talaş kırıcı formlarında tüm kesme hızı değerleri için en hafif kesme şartları altında (0,2 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği) deneylerle ölçülen kuvvet (F_p -D) ile Kurt’un (17) modeli (F_p -M₁) ve geliştirilen modelle belirlenen kuvvet değeri (F_p -M₂) arasında yaklaşık \pm % 10-15’e kadar hataların gerçekleştiği, buna karşılık diğer kesme şartları altında ise hataların \pm % 3-4 seviyelerinde olduğu görülmüştür.

İlerleme kuvveti için PR (8°) talaş kırıcı formunda benzer biçimde tüm kesme hızı değerleri için yine en hafif kesme şartları altında ve QM (9°) talaş kırıcı formunda ise 300 m/min kesme hızı, 0,2 mm/rev ilerleme, 2 mm kesme derinliğinde ve aynı şekilde $V=400$ m/min, $f=0,4$ mm/rev ve $a=1$ mm şartlarında; deneylerle ölçülen kuvvet (F_f -D) ile Kurt’un (17) modeli (F_f -M₁) ve geliştirilen modelle belirlenen kuvvet

değeri (F_f -M₂) arasında yaklaşık \pm % 10-15 seviyelerinde hatalar gerçekleşmiştir.

Esas kesme kuvveti (F_C) sonuçlarının ise \pm % 2-3’e kadar hatalarla birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Belirtilen kesme şartları dışında, tüm talaş kırıcı formları için bütün kesme şartları altında F_C , F_f ve F_p kesme kuvvetlerinin her biri için deneylerle

ölçülen ve modelle belirlenen kuvvet değerleri arasında yaklaşık \pm % 3-4 seviyelerinde hataların gerçekleştiği gözlenmiştir.

4. SONUÇ

Literatürde temel kesme parametrelerine (V, f, a) dayalı kuvvet modeli olmasına karşın; kesme kuvvetleri üzerindeki talaş kırıcı geometrisinin etkilerini de ihtiva edecek bir biçimde matematiksel bir model üzerinde durulmuştur. F_C , F_f ve F_p kesme kuvvetlerinin her biri için geliştirilen kuvvet modeline dayalı olarak yapılan hesaplamalar sonucunda;

- Kesme parametrelerine göre geliştirilen model sonuçlarının deneysel sonuçlarla çok yakın bir dağılım sergilediği görülmüştür.
- Kurt’un (17) modeli ile geliştirilen kuvvet modeli karşılaştırıldığında; özellikle F_C ve F_f kesme kuvvetlerinin tahmininde geliştirilen kuvvet modelinin kısmen daha gerçekçi sonuçlar vereceği söylenebilir.
- Geliştirilen kuvvet modeli doğrultusunda esas kesme kuvveti (F_C) ve ilerleme kuvveti (F_f) üzerindeki kesme parametrelerinin etki dereceleri sırasıyla kesme derinliği, ilerleme ve talaş kırıcının talaş açısı biçiminde sıralanabilir.

- Pasif kuvvet (F_p) üzerindeki kesme parametrelerinin etki dereceleri ise sırasıyla ilerleme, kesme derinliği ve talaş kırıcının talaş açısı biçiminde sıralanabilir.
- Geliştirilen kuvvet modelinin özellikle işlenebilirlik, talaş kırıcı tasarım parametreleri ve yüzey pürüzlülüğü gibi konuların daha ayrıntılı bir biçimde incelenebilmesinde yararlı olacağı düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde finansman desteği sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje Kodu: 07/2009-08) teşekkürü bir borç bilir.

6. KAYNAKLAR

1. Oxley, P.L.B., Mechanics of machining: An analytical approach to assessing machinability (1st Ed.), John Wiley & Sons, New York, 23-73, 1989.
2. Wang J., Mathew, P., Development of a general tool model for turning operations based on a variable flow stress theory, Int. Journal of Machine Tools and Manuf., 35, 71-90, 1995.
3. Arsecularatne, J.A., Fowle, R.F., Mathew, P., Nose radius oblique tool: Cutting force and built-up edge prediction, Int. Journal of Machine Tools and Manuf., 36, 585-595, 1996.
4. Moufki, A., Dudzinski, D., Molinari, A., Rausch, M., Thermoviscoplastic modelling of oblique cutting: Forces and chip flow predictions, Int. Journal of Mechanical Sciences, 42, 1205-1232, 2000.
5. Parakkal, G., Zhu, R., Kapoor, S.G., DeVor, R.E., Modeling of turning process cutting forces for grooved tools, Int. Journal of Machine Tools and Manuf., 42, 179-191, 2002.
6. Strenkowski, J.S., Shih, A.J., Lin, J.C., An analytical finite element model for predicting three-dimensional tool forces and chip flow, Int. Journal of Machine Tools and Manuf., 42, 723-731, 2002.
7. Usui, E., Hirota, M. And Masuko, A., Analytical prediction of three dimensional cutting process: Part 1- Basic cutting model and energy approach, ASME, Journal of Eng. for Industry, 100, 222-228, 1978.
8. Usui, E., Hirota, M., Analytical prediction of three dimensional cutting process: Part 2 Chip formation and cutting force with conventional single-point tool, ASME, Journal of Eng. for Industry, 100, 229-235, 1978.
9. Thomas, M., Beauchamp, Y., Statistical investigation of modal parameters of cutting tools in dry turning, Int. Journal of Machine Tools and Manuf., 43, 1093-1106, 2003.
10. Hayajneh, M.T., Astakhov, V.P., Osman, M.O.M., An analytical evaluation of the cutting forces in orthogonal cutting using a dynamic model of the shear zone with parallel boundaries, Journal of Materials Processing Technology, 82, 61-77, 1998.
11. Fang, N., Jawahir, I.S., Analytical predictions and experimental validation of cutting force ratio, chip thickness, and chip back-flow angle in restricted contact machining using the universal slip-line model, Int. Journal of Machine Tools and Manuf., 42, 681-694, 2002.
12. Fang, N., Jawahir, I.S., Oxley, P.L.B., A universal slip-line model with non-unique solutions for machining with curled chip formation and a restricted contact tool, Int. Journal of Mech. Sciences, 43, 557-580, 2001.
13. Fang, N., Jawahir, I.S., A new methodology for determining the stress state in the plastic region in restricted contact machining, Inter. Journal of Mech. Sciences, 43, 1747-1770, 2001.
14. Dewhurst, P., Collins, I.F., A matrix technique constructing slip-line field solutions to a class of plane strain plasticity problems, Inter. Journal for Numerical Methods in Eng., 7, 357-378, 1973.
15. Powell, M.J.D., Chp.7: Numerical Methods for Nonlinear Algebraic Equations, A Fortran subroutine for solving systems of nonlinear algebraic equations, Ed.: P. Rabinowitz, Gordon and Breach, London, 115-161, 1970.
16. Zhang, L.C., Zhang, H.J., Wang, X.M., A force prediction model for cutting unidirectional fibre-reinforced plastics, Machining Science and Technology, 5, 3, 293-305, 2001.
17. Kurt, A., Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve mekanik gerilmelerin deneysel olarak incelenmesi ve matematiksel modellerin oluşturulması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
18. Korucu, S., Delik işlemlerinde kesiciler üzerine etki eden gerilmelerin matematiksel olarak modellenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
19. Aksu, B., Experimental and analytical investigation on mechanics of metal cutting including edge forces, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi, 2008.
20. Gündüz, A., Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerinin bulanık mantık ve yapay sinir ağlarıyla tahmini", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
21. Gürbüz, H., tornalamada talaş kırıcı geometrisinin takım gerilmelerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006