



# **AISI P20 Çeliğinin İşlenmesinde Kesme Kuvvetinin Deneysel ve Nümerik Analizi**

Nafiz YAŞAR <sup>1</sup>, Mustafa SEKMEN <sup>2</sup>, Mehmet Erdi KORKMAZ <sup>3</sup>, Mustafa GÜNAY <sup>3,♣</sup>

<sup>1</sup> *Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Karabük*

<sup>2</sup> *Karabük Üniversitesi, Sağlık Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Karabük*

<sup>3</sup> *Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük*

*Received: 16/10/2015 Accepted: 19/02/2016*

---

## **ÖZET (ABSTRACT)**

Bu çalışma, AISI P20 çeliğinin sementit karbür kesici takımla tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak ölçülmesi ve nümerik analizi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Deneysel çalışmada, farklı seviyelerde kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği) kullanılarak silindirik tornalama işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde, Kistler 9257B tipi dinamometre ve ekipmanları kullanılmıştır. Kesme kuvveti için nümerik analizler, sonlu elemanlar yöntemine dayalı çözümlere yapan DEFORM 3D simülasyon programıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, deneysel olarak ölçülen kesme kuvveti ile simülasyon sonucunda elde edilen kuvvet değerleri arasında ortalama %8'lik bir fark olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Tornalama, Kesme kuvveti, DEFORM 3D, Sonlu elemanlar yöntemi, AISI P20*

---

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalat yöntemlerinden olan tornalama, frezeleme ve taşlama vb. yöntemler karmaşık geometriye sahip parçaların yüksek kalitede imal edilebilmesi açısından döküm, haddeleme ve dövme yöntemlerine göre daha verimlidir. Ancak, talaşlı imalat işleminde iş parçasının istenilen boyut, tolerans ve yüzey kalitesinde üretilebilmesi için en uygun kesme şartlarının sağlanması gerekir. Bu süreçte; kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, kesici takım ömrü, talaş tipi, kesme sırasında harcanan enerji, kesme sıcaklığı gibi bağımlı değişkenler ile iş parçası malzemesi, takım malzemesi, kesme parametreleri (kesme derinliği, ilerleme miktarı, kesme hızı), takım geometrisi, takım tezgâhı ve kesme sıvısı gibi bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler iyi değerlendirilmelidir [1]. Talaşlı imalat üzerine yapılan araştırmalar pahalı ve zaman alıcı olduğundan, kesme işleminin nümerik olarak modellenmesi alternatif bir çözüm yöntemi olarak uygulanmaktadır. Kesme işleminin modellenmesinde kullanılan nümerik yöntemler arasında en çok tercih edilen sonlu elemanlar yöntemidir. Ancak, talaş kaldırma sürecinin analizi oldukça karmaşık olduğundan hem plastik deformasyon hem de termodinamik analizleri kapsamaktadır. Özellikle dik kesme işleminde; kesme kuvvetleri, sıcaklık ve gerilme değerlerinin önceden tahmin edilmesine yardımcı olan bilgisayar programları sayesinde talaş kaldırma mekaniğinde çok büyük iyileştirmeler sağlanmıştır. Böylece, talaşlı imalat işlemlerinde kesme şartları optimize edilebilmekte olup, takımlama maliyetlerinin azaltılmasıyla üretimin düşük maliyetlerde yapılmasına önemli katkılar sağlanabilmektedir. Bu anlamda, sonlu elemanlar yöntemi endüstriyel uygulamalarda vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir.

Literatür incelendiğinde, talaşlı imalat kapsamında farklı malzemelerin işlenebilirlik parametrelerini değerlendirmek için değişik simülasyon programları ile birçok araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Ceretti ve arkadaşları, 2017 alüminyum alaşımı üzerinde yapılan tornalama deneyi sonuçları ile DEFORM 3D'de yapılan kesme simülasyonlarını karşılaştırmışlardır. FEM modelinin, malzeme seçimi, yeni takımların tasarlanması ve kesme işleminin optimize edilmesi konusunda simülasyon sonuçlarının kullanılabilirliğini vurgulamışlardır [2]. Farklı FE programları kullanılarak yapılan dik kesme simülasyonları ile deneysel sonuçların karşılaştırıldığı bir araştırmada, malzemenin kesme sürecindeki gerçek davranışının, ancak geliştirilecek talaş ayrılma modeline bağlı olarak sıcaklık, kesme kuvvetleri ve temas uzunluğu gibi parametreler incelenerek anlaşılabilirliği vurgulanmıştır [3]. AISI 1045 çeliğinin kesme kenarı yuvarlatılmış kesici takımlarla işlenmesinin FEM ile modellenmesinde Arbitrary Lagrangian Eulerian yöntemi uygulanmıştır [4]. Lagrangian formülasyonu kullanılarak düşük karbonlu çelik üzerinde dik kesme simülasyonunun yapıldığı diğer bir araştırmada, takım talaş arayüzünü sürünme modelinin, FEM simülasyonları üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [5].

Uhlmann ve arkadaşları, seramik kesici takımla Inconel 718'in tornalanması sürecini ABAQUS ve DEFORM'da yapılan kesme simülasyonları ile incelemişlerdir. ABAQUS analizlerinde, yüksek kesme hızında kesme kuvvetlerinin hemen hemen sabit kaldığı, DEFORM'da bir azalma eğiliminde olduğu belirtilmiştir [6]. Özel, değişken kesici kenar formuna sahip PCBN kesici takımlar ile AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde, kesme kuvveti açısından deneysel ve FEM simülasyonu sonuçlarının benzediğini, düşük ısı üretimi ve gerilme yoğunlaşmasına bağlı olarak takım ömrü ve yüzey bütünlüğünde bir iyileşmenin olduğunu belirtmiştir [7]. Budak ve Ozlu, kesme işlemlerinde termomekanik çift bölge modelinin kullanılabilirliği için Johnson-Cook malzeme modeli ile kayma ve yapışma modellerini birlikte uygulayarak, geliştirilen FEM modelinin endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğini belirtmişlerdir [8]. AISI 1045 çeliği üzerinde yapılan bir araştırmada, ALE nümerik formülasyonu ile difüzyon aşınma modeli birleştirilerek kesme simülasyonları yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, yan yüzey aşınması, krater aşınması derinliği ve pozisyonunun tahmin edilebileceği vurgulanmıştır [9]. Uzun ve Aslantaş, AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde iki farklı kaplamanın kesme kuvvetleri, takım gerilmeleri ve sıcaklık üzerindeki etkilerini 2D-termoviskoplastik kesme simülasyonu ile incelemişlerdir. Düşük ısı iletkenliğe bağlı olarak, en düşük sıcaklık ve en yüksek kayma açısı  $Al_2O_3$  kaplamalı takımla elde edilmiştir [10]. Diğer bir araştırmada, AISI 1050 çeliğinin farklı geometrilere (talaş kırıcı formu ve kesici uç yarıçapı) sahip karbür kesici takımlarla işlenmesinde, deneysel sonuçlar ile DEFORM 3D'de yapılan nümerik analizler karşılaştırılmıştır. Deneysel ve simülasyon çalışmaları sonucunda, PR talaş kırıcı geometri takımla elde edilen kesme kuvvetlerinin daha düşük olduğu bulunmuştur [11]. Gök, AISI 1045 çeliğinin tornalanmasında deneysel olarak ölçülen kesme kuvvetleri ve sıcaklık değerlerini nümerik analiz sonuçları ile kıyaslamıştır. Deneysel ve tornalama simülasyon sonuçları arasındaki benzerliğe bağlı olarak, 3D FEM modeli ile mekanik enerji ve ısı transferini hesaplayan yazılımın tornalama işlemlerinde kullanılabilirliğini belirtmiştir [12].

Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde, çeşitli talaş kaldırma işlemleri üzerine yapılan deneysel araştırmaların, sonlu elemanlara dayalı kesme simülasyonları ile işlenebilirlik çıktıları (kesme kuvveti, takım aşınması, talaş geometrisi vb.) açısından karşılaştıkları görülmektedir. Bu çalışmada, AISI P20 kalıp çeliğinin kaplamasız karbür kesici takımla tornalanmasında oluşan kesme kuvvetleri deneysel ve nümerik olarak analiz edilmiştir. Nümerik modelleme çalışmaları DEFORM 3D simülasyon programında yapılmıştır. Kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileri deneysel ve nümerik analiz sonuçları üzerinden değerlendirilmiştir.

## 2. DENEY VE ANALİZ İŞLEMLERİ (EXPERIMENT AND ANALYSIS PROCESSES)

### 2.1. Deneysel Çalışmalar (Experimental Studies)

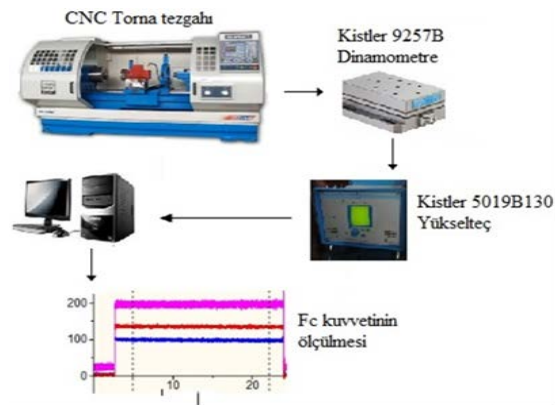
Deneysel çalışmalarda iş parçası malzemesi olarak, literatür araştırması sonucunda üzerinde herhangi bir tornalama simülasyonunun yapılmadığı anlaşılan AISI P20 kalıp çeliği kullanılmıştır. İş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi; %0.40 C, %0,30 Si, %1.49 Mn, %1.89 Cr, %0.1 S, %0.19 Mo ve %0,024 P şeklindedir. İş parçası boyutları Ø60x400 mm olup, deneylerde kullanılan malzemenin sertliği 30 HRC'dir. Deneylerde, kesici takım olarak Sandvik firmasının üretimi olan kaplamasız SNMG 120408-QM karbür kesici takımlar kullanılmıştır. QM ( $\gamma$ ; talaş kırıcı açısı  $13^\circ$ ) talaş kırıcı geometrisine sahip bu kesici takımlar, PSBNR 2525M12 formundaki takım tutucu ile CNC torna tezgahına yanaşma açısı ( $\chi_r$ )  $75^\circ$  olarak rijit bir şekilde bağlanmıştır.

Kesme parametreleri, kesici takım firma önerileri ve literatür incelemeleri sonucunda belirlenmiş olup, üç farklı kesme hızı (V) ve ilerleme miktarı (f) ile iki farklı kesme derinliği (a) seçilmiştir. Deneyler, Tablo 1'de verilen parametrelere göre Fanuc kontrol ünitesine sahip TC 35 Johnford CNC torna tezgahında yapılmış olup, silindirik tornalama boyu 25 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Kesme parametreleri	Seviye
V (m/dak)	125, 175, 225
f (mm/dev)	0.1, 0.25, 0.4
a (mm)	1, 1.75, 2.5

Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde, Kistler 9257B tipi dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre tarafından hissedilen kesme kuvveti verileri Kistler Type 5019B130 Multichannel Charge Amplifier (yükselteç) yardımıyla Type 2855A3 A/D Board CIO-DAS 1602/12 veri alma kartı ve Kistler Type 2825A1-2 Dynoware yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına alınmıştır. Deney düzeneği ve deneysel sonuçların analiz aşamaları şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği

### 2.2. Nümerik Analiz (Numerical Analysis)

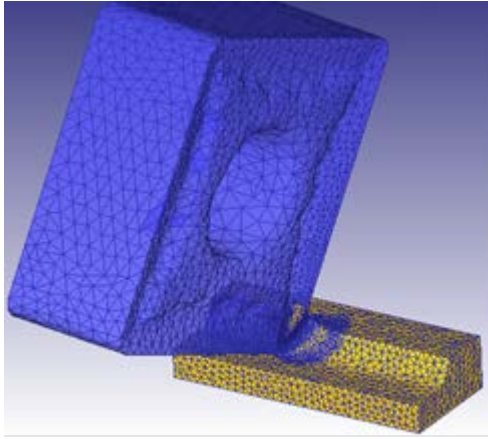
Silindirik tornalama için kesme simülasyonları sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak yapılmış olup, nümerik analizlerde DEFORM 3D programı kullanılmıştır. Nümerik analizler öncesinde, kesici takıma ait katı modellerin oluşturulması ile kesici takım ve iş parçası için malzeme özelliklerinin belirlenmesi için bazı ön hazırlıklar yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımın üç boyutlu modeli; üretici firma kesici takım kataloğundan alınan bilgiler ve hassas ölçüm cihazlarıyla ölçülerek elde edilen veriler doğrultusunda SolidWorks programında oluşturulmuştur. Simülasyonlarda, kesici takım ve iş parçasının üç boyutlu ağ yapısı (mesh) için Lagrangian Incremental mesh modeli kullanılmıştır.

Kesme simülasyonları, DEFORM 3D programının *Machining (Cutting)* modülü üzerinde, SI birim sistemi kullanılarak ve işleme tipi olarak tornalama (*turning*) seçilerek yapılmıştır. Her bir simülasyon için Tablo 1'de verilen kesme parametreleri dikkate alınmıştır. AISI P20 çeliği için kesici takım-iş parçası ara yüzeyi kayma sürtünme faktörü 0.5 [13], ısı transfer sabiti  $45 \text{ N/smm}^\circ\text{C}$  ve ilk sıcaklık  $20^\circ\text{C}$  olarak seçilmiştir. İş parçası ve kesici takım malzemesine ait malzeme modeli Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. İş parçası ve kesici takım malzeme özellikleri [14-15]

Malzeme	AISI P20	WC
Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )	7850	11900
Elastikite modülü (GPa)	260	650
Poisson oranı	0,3	0,25
Isıl genleşme ( $10^{-6}/^\circ\text{C}$ )	1.3 ( $425^\circ\text{C}$ ) 1.4 ( $650^\circ\text{C}$ )	$5 \times 10^{-6}$
Özgül ısı ( $\text{J/kg}^\circ\text{K}$ )	470	334
Isıl iletkenlik ( $\text{W/m}^\circ\text{K}$ )	51.5	100

DEFORM 3D programında modellenen kesici takım-iş parçası ağ yapısı; kesici takım için minimum eleman boyutu 0.1 mm alınarak takımın uç kısmında daha yoğun olacak şekilde 31582 eleman ve iş parçası ise 70832 elemandan meydana gelmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Kesici takım ve iş parçası ağ yapısı

AISI P20 çeliğinin tormalama simülasyonu sürecinde talaş oluşumu için gerekli olan birinci deformasyon bölgesinin modellenmesinde, Johnson-Cook iş parçası malzemesi akma gerilmesi modeli uygulanmıştır:

$$\sigma = (A + B \cdot \bar{\epsilon}^n) \cdot [1 + C \cdot \ln(\dot{\bar{\epsilon}}/\dot{\bar{\epsilon}}_0)] \cdot [1 - \{(T - T_r)/(T_m - T_r)\}^m] \quad (1)$$

Eşitlik 1’de  $A$ , malzemenin oda sıcaklığındaki ( $T_r$ ) akma gerilmesi sabiti;  $B$ , gerinme sertleşmesi sabiti;  $n$ , gerinme sertleşmesi üssü;  $C$ , gerinme hızı sertleşme üssü;  $\dot{\bar{\epsilon}}_0$ , referans gerinme hızı;  $T$ , deney parçasının sıcaklığı;  $T_m$  malzemenin ergime sıcaklığı ve  $m$ , sıcaklığa bağlı sabiti göstermektedir. AISI P20 çeliği için Johnson-Cook malzeme modelinde kullanılan  $A$  (MPa),  $B$  (MPa),  $n$ ,  $C$ ,  $m$  ve  $T_m$  (K) parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. AISI P20 için Johnson-Cook parametreleri [16]

Malzeme	A	B	n	C	m	Tm
AISI P20	145	565.5	0.154	0.03	1.8	1753

AISI P20 çeliğinin tormalama simülasyonu sürecinde, ikinci deformasyon bölgesi için varsayılan model, Coulomb sürtünme kanunu olarak seçilmiştir. Eşitlik 2’de verilen model kayma bölgesini tanımlamak için kullanılır ve kayma bölgesinin parabolik olarak değiştiği varsayılır. Coulomb sürtünme modeline göre kayma gerilmesi, sürtünme katsayısı ve normal gerilmeye bağlı olarak değişmekte olup, kayma gerilmesi;

$$\tau = \mu \sigma_n \quad (2)$$

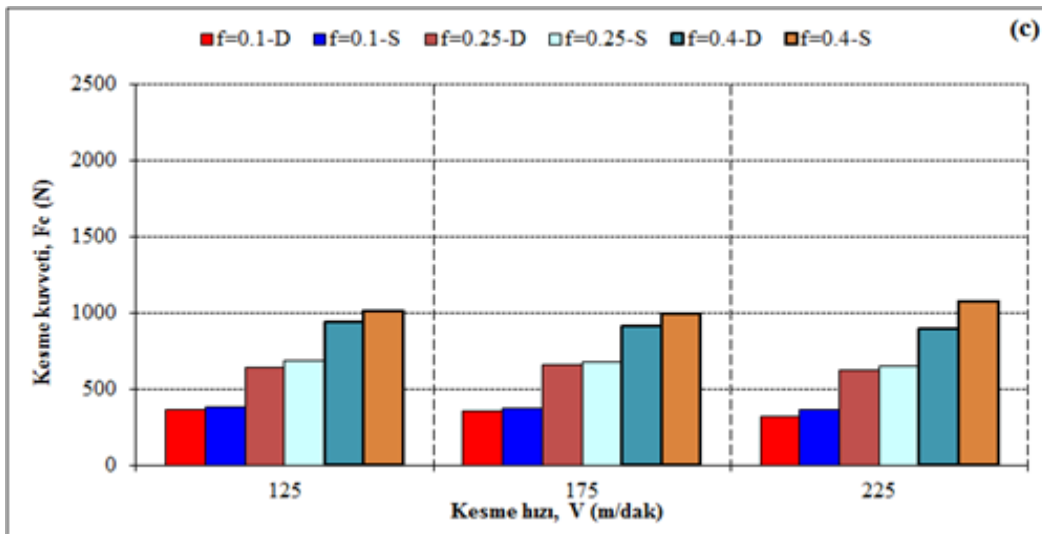
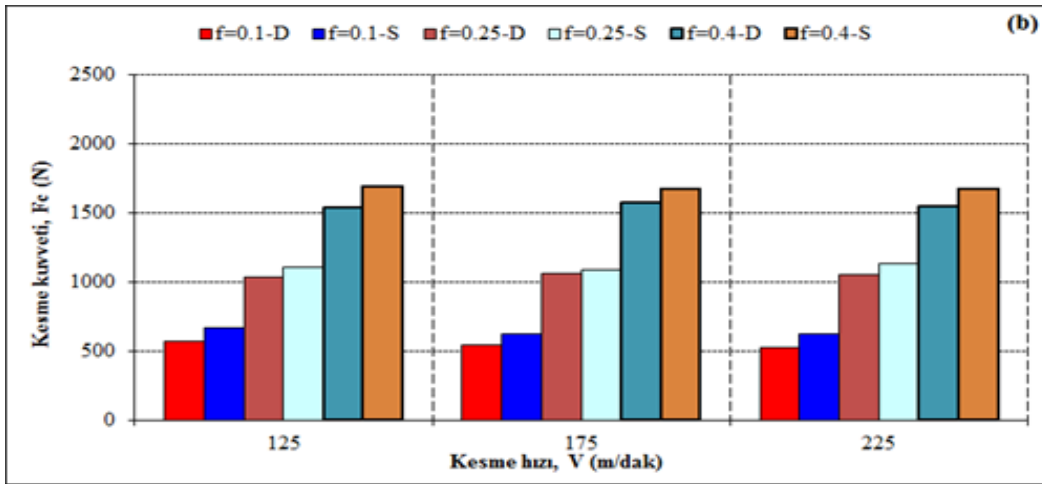
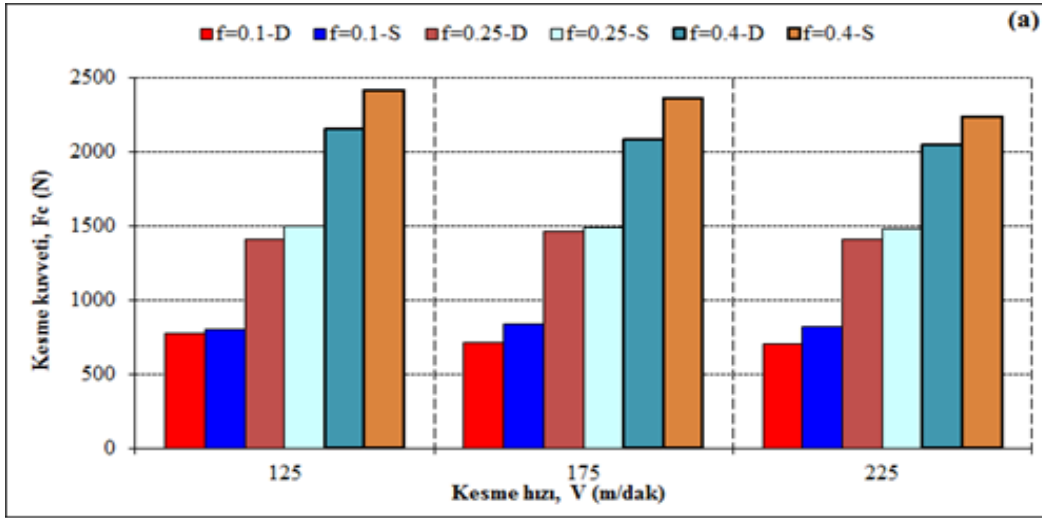
şekindedir. Burada,  $\tau$  kayma gerilmesi;  $\mu$ , sürtünme katsayısı;  $\sigma_n$ , normal gerilmedir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Deneyel ve nümerik analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde, tormalama yönteminde enerji tüketimi açısından birincil derecede öneme sahip olan esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) dikkate alınmıştır. Deneyel ve nümerik analiz sonuçlarının değerlendirilmesi için elde edilen  $F_c$  değerlerinin kesme parametrelerine göre değişimi grafiklerde verilmiştir (Şekil 3). Deneyler sonucunda ölçülen kesme kuvvetleri ile nümerik analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, her iki yöntemle bulunan kuvvet değerlerinin benzer bir eğilim sergilediği görülmektedir. Deneyel olarak ölçülen kesme kuvveti sonuçlarının nümerik analiz sonuçlarına göre ortalama %8 daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3’deki grafiklerden, 0.1 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının artmasıyla hem deneyel hem de simülasyona dayalı kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Diğer ilerleme değerlerinde, kesme hızının artmasıyla belirgin bir değişimin olmadığı görülmektedir. Diğer yandan, ilerleme miktarının artmasıyla hem deneyel hem de simülasyon sonuçlarında kesme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuç literatürle paralellik arz etmekte olup, ilerlemenin artmasıyla birlikte artan talaş kesitine atfedilebilir. Deneyel ve nümerik analiz sonuçları ilerleme miktarına göre karşılaştırıldığında; 0.1 mm/dev’de deneyler sonucunda elde edilen esas kesme kuvvetlerinin, simülasyon sonuçlarına göre %13, 0.25 mm/dev’de %4 ve 0.4 mm/dev’de ise %10 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan, ilerleme miktarının 0.1 mm/dev’den 0.25 mm/dev’e artmasıyla, deneyel kesme kuvveti değerlerinde %92 kesme simülasyonu değerlerinde %78, ilerleme değerinin 0.25 mm/dev’den 0.4 mm/dev’e artmasıyla ise sırasıyla %47 ve %50’lik bir artış olmuştur.

Kesme derinliğine göre kesme kuvvetlerindeki değişimler incelendiğinde, ilerleme miktarının etkisine benzer bir eğilim görülmektedir. Kesme derinliğinin 1 mm’den 1.75 mm’ye artmasıyla deneyel verilerde %65’lik, simülasyon verilerinde %75’lik bir artış olurken, kesme derinliğinin 1.75 mm’den 2.5 mm’ye artmasıyla ise deneyel ve analiz sonuçlarında %35’lik bir artış gerçekleşmiştir. Kesme derinliğine göre genel bir kıyaslama yapıldığında; nümerik analiz sonucunda elde edilen kesme kuvvetlerinin 1 mm ve 1.75 mm kesme derinliğinde %8, 2.5 mm kesme derinliğinde ise %9 daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.



Şekil 3. Deneysel ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması;

a= 2.5 mm, b) a=1.75 mm, c) a=1 mm

Deneysel ve nümerik analiz sonuçlarına göre en yüksek kesme kuvveti; 2.5 mm kesme derinliği, 0.4 mm/dev ilerleme ve 125 m/dak kesme hızında sırasıyla 2155 N ve 2412 N olarak bulunmuştur. En düşük kesme kuvveti ise 1 mm kesme derinliği, 0.1 mm/dev ilerleme ve 225 m/dak kesme hızında deneysel olarak 317 N, kesme simülasyonu sonucunda 362 N olarak elde edilmiştir.

AISI P20 çeliğinin DEFORM 3D programında yapılan kesme simülasyonları sonucunda elde edilen  $F_c$  değerleri ile deneysel olarak ölçülen  $F_c$  değerlerinin benzerliği, kullanılan FEM modelinin uygunluğunu göstermektedir. Diğer yandan, kesme parametrelerine göre yapılan değerlendirme sonucunda deneysel ve nümerik analiz sonuçları arasında ortalama %8'lik bir fark tespit edilmiştir. Bu sonucun, iş parçası malzemesi AISI P20 çeliğine ait Johnson-Cook malzeme modeli ve takım-ış parçası arayüzeyi sürtünme modelinin literatürdeki verilere göre oluşturulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum literatürde bahsedilmiş olup [3,5], standart olarak üretilen malzemelerin metalürjik yapısı ve kimyasal bileşiminin farklı olabileceği dikkate alınır, kesme simülasyonlarında özellikle malzeme modellerini oluşturan mekanik ve fiziksel özelliklerin ilgili deney malzemesine göre tespit edilmesi gerektiğini göstermektedir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

AISI P20 çeliğinin karbür kesici takımlarla tormalanmasında oluşan esas kesme kuvveti ( $F_c$ )'nin deneysel ve nümerik analiz sonuçları incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bazı öneriler aşağıda özetlenmiştir:

- ✓ İlerleme miktarı ve kesme derinliğinin artmasıyla, hem deneysel hem de nümerik analiz sonuçlarında esas kesme kuvvetinin arttığı gözlenirken, kesme hızının artması ile  $F_c$  değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç literatürle paralellik göstermekte olup, nümerik modelleme çalışmalarının geçerliliğini göstermektedir.
- ✓ Deneysel sonuçlar ile nümerik analiz sonuçları karşılaştırıldığında, deneysel olarak ölçülen kesme kuvvetlerinin ortalama %8 daha düşük çıktığı belirlenmiştir. Sonuçlar arasındaki bu fark, simülasyonlarda kullanılan AISI P20 çeliğinin Johnson-Cook malzeme modeli ve takım-ış parçası sürtünme modeline atfedilmiştir.
- ✓ Kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici takımlar ile gerçekleştirilecek deneysel sonuçlara dayalı kesme parametrelerinin optimizasyonu ve bu parametrelere göre yapılacak kesme simülasyonu çıktıları (Kesme kuvveti, talaş oluşumu, kesme sıcaklığı gibi) açısından nümerik modelleme analiz edilebilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] DeGarmo E.P., Black, J.T., Kohser R.A., **Materials and Processes in Manufacturing**, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 533-600, 2013.
- [2] Ceretti E., Lazzaroni C., Menegardo L., Altan T., "Turning simulations using a three-dimensional FEM code", **Journal of Materials Processing Technology**, 98 (1), 99-103, 2000.
- [3] Bil H., Kılıç S.E., Tekkaya A.E., "A comparison of orthogonal cutting data from experiments with three different finite element models", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 44 (9), 933-944, 2004.
- [4] Özel T. and Zeren E., "Finite element method simulation of machining of AISI 1045 steel with a round edge cutting tool", **Proceedings of 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations**, Germany, 533-542, 2005.
- [5] Özel T., "The influence of friction models on finite element simulations of machining", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 46, 518, 2006.
- [6] Uhlmann E., Schulenburg M.G., Zettler, R., "Finite element modeling and cutting simulation of Inconel 718", **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, 56 (1), 61-64, 2007
- [7] Özel T., "Computational modelling of 3D turning: Influence of edge micro-geometry on forces, stresses, friction and tool wear in PCBN tooling", **Journal of Materials Processing Technology**, 209 (11), 5167-5177, 2009.
- [8] Budak E. and Ozlu E., "Development of a thermomechanical cutting process model for machining process simulations", **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, 57 (1), 97-100, 2008.
- [9] Attanasio A., Ceretti E., Rizzuti S., Umbrello D., Micari F., "3D finite element analysis of tool wear in machining", **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, 57, 61, 2008.
- [10] Ucu İ. and Aslantaş K., "Numerical simulation of orthogonal machining process using multilayer and single-layer coated tools", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 54, 899, 2011.
- [11] Sekmen M., Kurt A., Seker, U., "Talaş kırıcı formu ve talaş kırıcı açısının kesme kuvvetleri ve gerilmeler üzerine etkisi", **4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu**, Kuşadası, 441-456, 07-09 Kasım 2013.
- [12] Gök K., "Development of three-dimensional finite element model to calculate the turning processing parameters in turning operations", **Measurement**, 75, 57-68, 2015.
- [13] Yardımcıoğlu B., Kılıçarslan C., "Sürtünme modellerinin ve katsayılarının talaşlı imalatın sonlu elemanlar benzetimine etkisi", **Mühendis ve Makine**, 52, 612, 60-65 2011.

- [14] Özel T., Altan T., “Determination of workpiece flow stress and friction at the chip–tool contact for high-speed cutting”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 40, 133–152, 2000.
- [15] Lorentzon J., Jarvstrat N., Josefson B.L., “Modelling chip formation of alloy 718”, **Journal of Materials Processing Technology**, 209, 4645-4653, 2009.
- [16] Shatla M., Kerk C., Altan T., “Process modeling in machining. Part I: determination of flow stress data”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 41, 1511–1534, 2001.