



Orjinal Matkap Geometrisinde Delme Performansının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrulanması

Harun Gökçe^{a*}, Mehtap Yavuz^b, Hüseyin Gökçe^b, Ulvi Şeker^c

^a TÜBİTAK Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, ANKARA 06261, TÜRKİYE

^b Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, ÇANKIRI 18000, TÜRKİYE

^c Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği, ANKARA 06500, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 05.02.2017
Kabul: 10.04.2017

Anahtar Kelimeler:

Delik Delme, Sementit
Karbür Matkap,
Kesme Parametreleri,
Sonlu Elemanlar
Metodu, Deform-3D

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
harungokce@yahoo.ca

ÖZET

Bu çalışmada, orijinal katı sementit karbür matkap ile 8.8mm çaplı, helezonik solid cementite carbide, iki ağızlı özelliklerin kesme performansı, uygun sonlu elemanlar analiz yöntemi ile araştırılmıştır. Bu amaçla, malzemenin farklı kesme parametrelerine sahip AISI 1045 iş parçası delme işlemleri deneysel olarak gerçekleştirildi. Farklı kesme parametreleriyle elde edilen deneysel veriler sonlu elemanlar modeli ile teyit edildi. Kesme performansını etkileyen faktörler; Kesme kuvvetleri, kesme sıcaklıkları ve çip biçimi karşılaştırıldı. Kesme mekanizmasını oluşturmak için Deform-3D yazılımı kullanılmıştır. Kesici takım ve iş parçası malzemesi parametreleri için, ilgili yazılımın malzeme kütüphanesi de kullanılmıştır. Sonuç olarak, deney sonuçları ve sonlu elemanlar analizi yapıldığında, hazırlanan sonlu elemanlar modeli ortaya çıkmış ve gerçek modele uygun sonuçlar vermiştir.

DOI:

Verification with Finite Element Methods of Drilling Performance for Original Drill Geometry

ARTICLE INFO

Received: 05.02.2017
Accepted: 10.04.2017

Keywords:

Drilling, Solid
Cementite Carbide
Drill, Cutting
Parameters, Finite
Element Model,
Deform-3D

***Corresponding**

Authors

e-mail:
harungokce@yahoo.ca

ABSTRACT

In this study, the cutting performance of 8.8mm diameter, helical solid cementite carbide, two mouths features with a original solid cementite carbide drill was investigated using finite element analysis method. For this purpose, AISI 1045 workpiece drilling operations with different cutting parameters of the material was carried out experimentally. To obtain experimental data with different cutting parameters were confirmed by the finite element model. Factors affecting the cutting performance; cutting forces, cutting temperatures and chip formation were compared. Deform-3D software was used to construct the cutting mechanism. For cutting tool and workpiece material parameters, related software's material library was also used. As a result, when the results of the experiments and finite element analysis are evaluated, prepared finite element model has emerged give suitable results to the actual model.

1. Giriş (Introduction)

Metal kesme, endüstride sık kullanılan önemli imalat yöntemlerinden biridir. Bu sebeple önemli bir araştırma konusudur. Araştırmacılar talaşlı imalat süreçlerinden en iyi verimi almak için kesici uç geometrileri, kesme parametreleri, takım ve kaplama malzemeleri üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Bu çalışmaların sonuçları deneysel olarak görülebilmekle beraber maliyetleri oldukça yüksektir [1]. Günümüzde bilgisayarların işlem kapasitelerinin artması ve sonlu elemanlar yönteminin sistem benzetiminde kullanılmaya başlanması ile kesme mekaniği ile ilgili herhangi bir deneye gerek kalmadan çalışmaların sonuçları yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Ancak metal kesme benzetimleri, geometrik karmaşıklık, kullanılan malzeme modellerindeki deneysel verilerin yetersizliği, takım ile talaş temasının gerçekçi olarak modellenememesi ve uzun hesaplama zamanları yüzünden halen bir araştırma konusu olma özelliğini korumaktadır.

Literatürde metal kesmenin sonlu elemanlar benzetimlerinde kullanılan etkileşim modellerinin ve malzeme modellerinin etkisini araştıran birçok çalışma bulunmaktadır. Filice ve ark. [2] beş farklı sürtünme modelinin ve sürtünme katsayılarının sonlu elemanlar benzetimine olan etkilerini, sürtünme modeli ile takım-iş parçası arasındaki sıcaklık değişim katsayısının kesme sırasında oluşan sıcaklıklara olan etkilerini incelemişlerdir. Özel [3] sürtünme modellerinin sonlu elemanlar benzetimine olan etkilerini, kesme parametrelerini ve takım ile iş parçası arasında oluşan sıcaklıkları deneysel verilerle karşılaştırarak incelemiştir. Bil [4] üç farklı benzetim programı (MSC. Marc, Deform 2D ve Advantage) kullanarak, sürtünme modellerinin ve ayrışma kriterinin kesme parametreleri ve kesme kuvvetlerine etkilerini incelemiştir. Jasper ve Dautzenberg [5] metal kesme işlemlerinde ve benzetimlerinde kullanılan AISI 1045 ve AA 6082-T6 malzemeleri için yüksek hızlı Hopkinson testleri yapmış ve Johnson-Cook katsayılarını belirlemiştir. Iqbal ve ark. [6], yaptıkları metal kesme benzetimleri ile sürtünme ve Oxley, Johnson-Cook, Maekawa, El-Magd ve Zerilli-Armstrong malzeme modellerini karşılaştırmıştır. Sekar [7], Johnson-Cook malzeme modelini mavi sertlik etkisini göz önüne alacak şekilde geliştirmiş ve yaptığı benzetimlerde deneysel verilerle uyum sağlayan sonuçlar bulmuştur.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak, özgün geometriye sahip 8.8mm çapında, iki ağızlı, helisel yekpare sementit karbür matkap delme

performansının sonlu elemanlar analizi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla AISI 1045 iş parçası malzemesinden farklı kesme parametreleri ile delik delme operasyonu deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Farklı kesme parametreleri ile elde edilen deneysel veriler, kurulan sonlu elemanlar modeli ile doğrulanmıştır. Kesme performansını etkileyen faktörler; kesme kuvvetleri, sıcaklık ve oluşan talaş şekli ile karşılaştırma yapılmıştır.

2. Materyal Metod (Material Method)

2.1. Matkap ve iş parçası malzemesi

Matkap ile delme operasyonları gerçekleştirilen bu çalışmada, kullanılan iş parçası ve kesici takıma ait malzeme parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir. Deneysel çalışmalar ile sonlu elemanlar model yaklaşımlarının benzer olabilmesi için malzeme modellerinin sanal ortamda detaylı tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla Deform-3D yazılımı ile kurulan sonlu elemanlar modelinde, AISI 1045 iş parçası malzeme modeli, yazılımın kendi malzeme kütüphanesinden seçilmiştir. Kesici takım ise, rijit eleman tanımlaması ile kurulmuştur. Bu nedenle iş parçasından farklı olarak kesici takım için akış gerilim modellerine gerek yoktur.

Tablo 1. İş parçası malzemesi (AISI 1045) çeliği için malzeme parametreleri [8]

Simülasyon modeli için iş parçası malzemesi özellikleri	
Elastikite modülü (MPa)	206754
Poison oranı	0.3
Termal genişleme katsayısı (10-6 oC-1)	1.2e-05
Salm gücü	0.7

Tablo 2. Matkap malzemesi (Sementit Karbür) için malzeme parametreleri [8]

Simülasyon modeli için kesici takım malzemesi özellikleri	
Elastikite modülü (MPa)	496000
Poison oranı	0.24
Termal genişleme katsayısı (10-6 oC-1)	7.7e-06
Isıl iletkenlik	38
Isı kapasitesi	16
Talaş açısı	5°
Boşluk açısı	5°
Kesici takım burun yarıçapı	0.05

İş parçası olarak belirlenen AISI 1045 çeliğinin akış – gerilim modeli Deform-3D yazılımı malzeme kütüphanesi referans alınarak belirlenmiştir. AISI 1045 çeliğine ait akış – gerilim model denklemi aşağıda verildiği gibidir.

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\epsilon}, \dot{\bar{\epsilon}}, T) \quad (1)$$

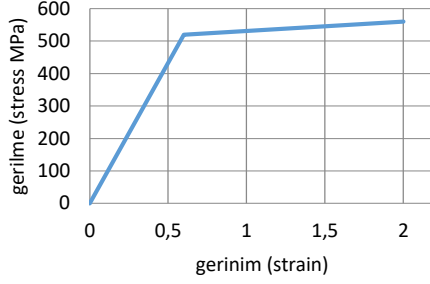
Bu eşitlikte;

$\bar{\sigma}$: Akış gerilmesi

$\bar{\epsilon}$: Etkin şekil değiştirme

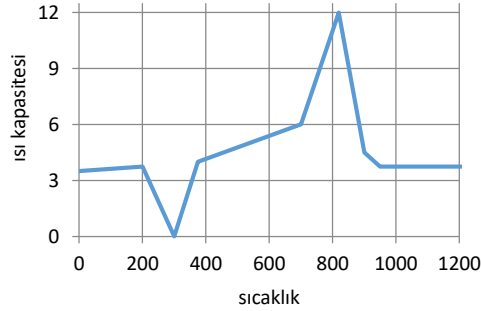
T : Etkin şekil değiştirme hızı

$\dot{\bar{\epsilon}}$: Sıcaklık



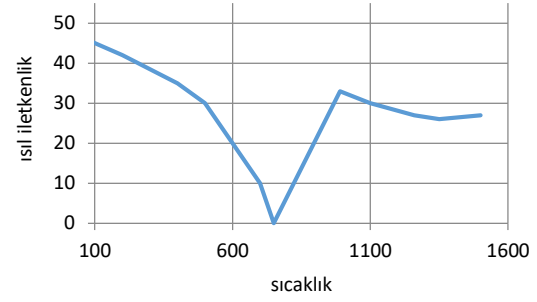
Şekil 1. AISI 1045 Akış Gerilmesi-Şekil Değiştirme grafiği [9]

Yukarıdaki grafikte iş parçası malzemesi için şekil değiştirme ve akış gerilmesi grafiğinin değişimi gösterilmiştir (Şekil 1).



Şekil 2. Malzemenin ısı kapasitesi [9]

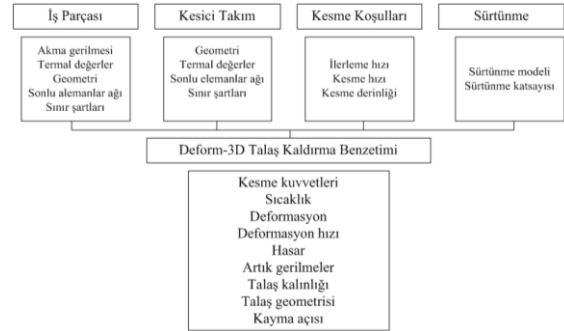
Talaş kaldırma operasyonları için malzemenin termal değişkenliği önem arz etmektedir. Kesici takım ve iş parçası etkileşim yüzeyinde sürtünme modelleri için de gerekli olan ısı kapasitesi ve ısı iletkenlik sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişmektedir (Şekil 2, Şekil 3).



Şekil 3. Malzemenin ısı iletkenliği [9]

2.2. Sonlu elemanlar analiz parametreleri

Metal kesmenin sonlu elemanlar benzetimini gerçekleştirmek için kullanılan programa takım ile iş parçasının mekanik ve termal değerleri, kesme parametreleri, sürtünme cinsi ve katsayısı, işlemin mekanik ve termal sınır şartları vb. değerlerin girilmesi gerekmektedir. Bu değerler ne kadar doğru olursa, ortaya çıkan sonuçlar da deneysel sonuçlara göre o kadar doğru olacaktır. Aşağıdaki şekilde sonlu elemanlar modelinin kurulması için gerekli olan giriş ve çıkış parametreleri gösterilmiştir (Şekil 4).

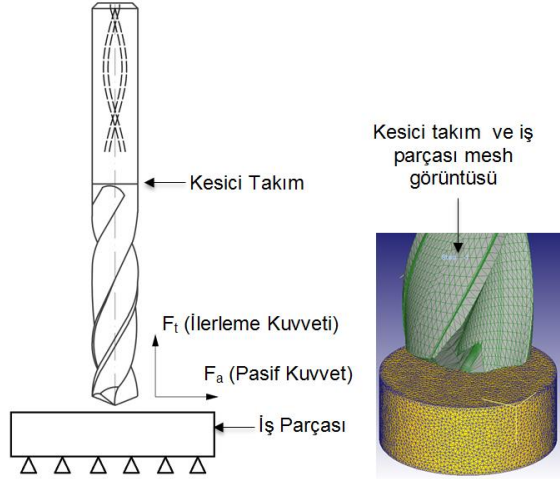


Şekil 4. Sonlu elemanlar modeli giriş-çıkış değişkenleri

Bu çalışmada Deform-3D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Oluşturulan sayısal modelde iş parçasının sonlu elemanlar ağı 3095 dörtkenarlı elemandan ve 3196 düğümden, takımın sonlu elemanlar ağı ise 1098 dörtkenarlı elemandan ve 1164 düğümden oluşmaktadır. İş parçası plastik olarak modellenip, işlem sırasında hiç elastik deformasyon göstermediği kabulü yapılmıştır. Takım rijit olarak modellenmiştir (Şekil 5).

Sonlu elemanlar ağı oluşturulurken iş parçası üzerinde, deformasyon işleminin gerçekleştiği alanda sonlu elemanlar ağı daha sık, deformasyon bölgesinden uzakta olan alan ise daha kaba olarak oluşturulmuştur. Sık ağ yapısını içeren pencere kesici

takım hareketini izlemektedir. Matkap x ve y doğrultularında sınırlandırılırken, iş parçası ise sadece y doğrultusunda sabitlenmiştir. İş parçası, takıma doğru V_c kesme hızı ile hareket etmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Takım ve iş parçası üzerinde belirlenen sınır koşulları

Tablo 3'de belirtilen kesme koşulları ile yapılan sonlu elemanlar çözümü, X5675 3.06GHz. 12GB ön belleğe sahip bilgisayar kullanılarak, 16 saat üzerinde bir hesaplama ile tamamlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda matkap üzerinde oluşan ısıl genleşmeler, üzerine gelen kesme kuvvetleri ve kesme sürecinde oluşan talaş yapısı incelenmiştir. Elde edilen sonlu elemanlar çözümü ile deneysel veriler ayrıca karşılaştırılmıştır.

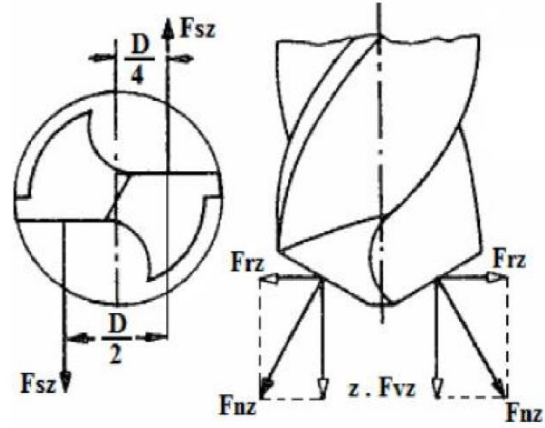
Tablo 3. Simülasyon için belirlenen kesme koşulları ve parametreleri

Simülasyon için kullanılan kesme parametreleri	
Kesme hızı (m/dk)	90 - 120 - 150
İlerleme (mm/devir)	0.1 - 0.2 - 0.3
Kesme uzunluğu (mm)	15
Simülasyon için kullanılan kesme süreci şartları	
Ortam sıcaklığı (oC)	20
Isı iletim katsayısı (W/m.K)	45
Takım - İş parçası arayüzeyi sürtünme katsayısı	0.6
Isı transfer katsayısı (W/m.K)	45

3. SEA Bulguları (FEA Results)

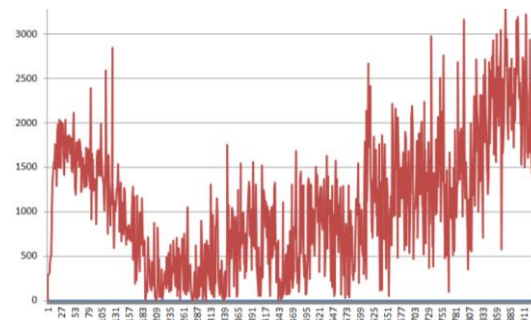
3.1. Matkap üzerinde meydana gelen kesme kuvvetleri

Delme sırasında matkabın bir ağzına karşılık gelen kesme kuvveti (F_{sz}), ilerleme kuvveti (F_{vz}) ve radyal kuvveti (F_{rz}) Şekil 6'da gösterilmiştir. Matkap ağzlarının konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece F_{sz} ve F_{vz} kuvvetleri etki göstermektedir [10].

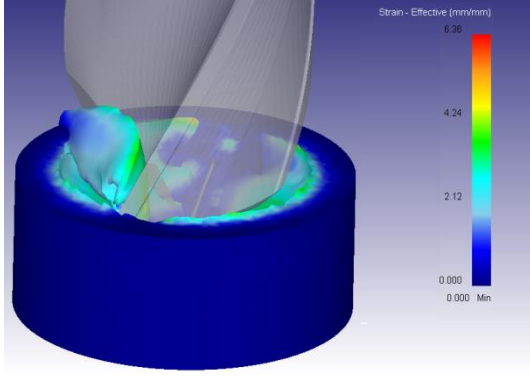


Şekil 6. Takım ucunu etkileyen kuvvetler [11]

Kesme esnasında kesici takım üzerinde meydana gelen kuvvetler kurulan sonlu elemanlar modeli üzerinden tespit edilmiştir. Kesme işleminin temelinde kesme kuvvetleri üç bileşene ayrılmaktadır. Genellikle esas kesme kuvveti bu üç bileşenin en büyük olanıdır. Matkap ile delik delme işlemlerinde en büyük kuvvet, işleme yüzeyine dik olan F_t kuvvetidir. Aşağıda F_t kuvvetinin zamana göre değişimi gösterilmiştir (Şekil 7).



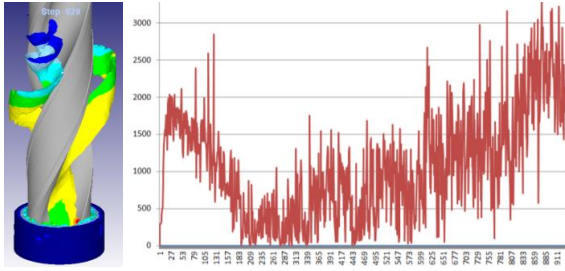
Şekil 7. Matkap üzerinde meydana gelen kuvvet değişimleri [t=0sn., t=3sn.]



Şekil 8. Talaş kaldırma bölgesinde meydana gelen gerilmeler [t=3sn.]

3.2. Matkap üzerinde meydana gelen sıcaklık değişimi

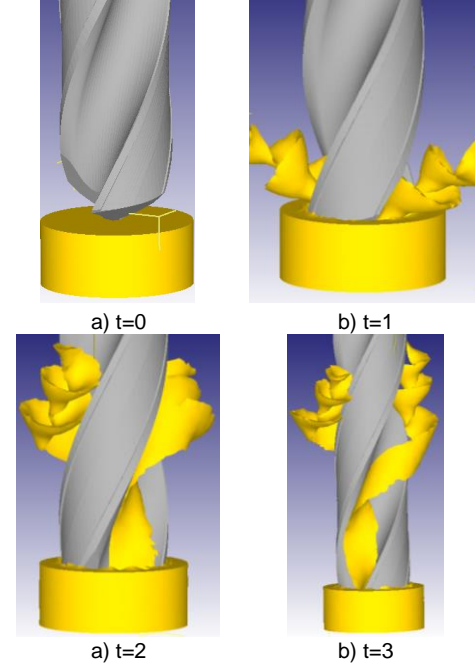
Talaş kaldırma esnasında takım-talaş ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklık analiz edilmiştir. Aşağıdaki şekilde matkap üzerinde meydana gelen zamana bağlı sıcaklık değişimi gösterilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Matkap üzerinde meydana gelen ısı değişimleri [t=0-3sn.]

3.3. Kesme Sürecinde Oluşan Talaş Geometrisi

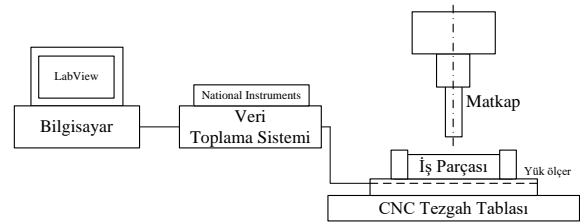
Delik delme işlemlerinde kesme kuvvetlerini etkileyen bir diğer faktör talaş tipidir. Talaşın kontrollü bir şekilde işleme bölgesinden uzaklaştırılması önemlidir. Bu nedenle çıkan talaşın önceden belirlenmesi önem arz etmektedir. Aşağıda t=0-3sn. arasında oluşan talaş formları gösterilmiştir (Şekil 10). Talaş tipinin sünek talaş olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Kesme Sürecinde Oluşan Talaş geometrisi [t=3sn.]

4. Deneysel Çalışma Bulguları (Experimental Studies Results)

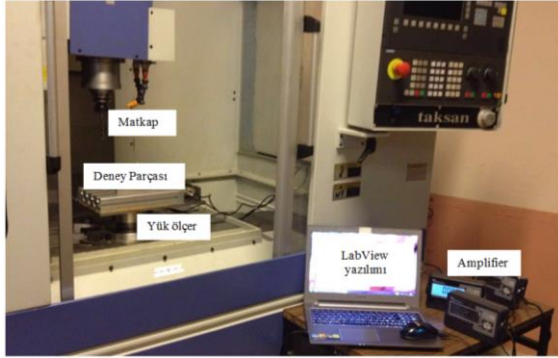
İşlenebilirlik testlerinde, delme işlemi için üç kuvvet bileşeninden radyal ve kesme kuvveti nispeten küçük değerlerde olduğundan üçüncü kuvvet bileşeni olan ilerleme kuvveti (F_t =thrust force) ve tork değerleri dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada üç kesme kuvveti bileşeni de ölçülmüş ancak yalnızca aksel kuvvet bileşeni değerlendirilmeye alınmıştır. Aşağıda deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Kesme kuvveti ölçümleri dik işleme merkezi tablasına bağlanan National Instruments marka yükölçer ile yapılmıştır. Matkap üzerindeki burkulma etkisini elimine etmek amacıyla, matkap ucunun takım tutucudan çıkma mesafesi minimum (30mm) tutulmuştur. Kurulan deney setinin fotoğrafı aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 12). Yapılan deneylerde matkap uç açısı (γ) 118° , matkap çapı 8.8mm, helis açısı 35° ve kesme hızları $V_c = 90, 120,$

150m/dak, ilerleme hızları 0,1, 0,2, 0,3mm/devir, kesme derinliği ise 23,5mm'dir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4' de verilmiştir.



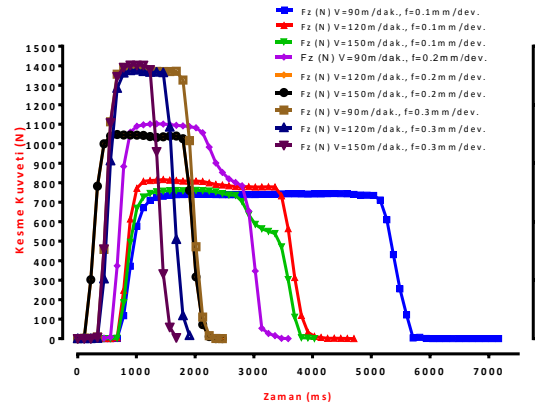
Şekil 12. Deney düzeneğinin fotoğraf görünümü

Tablo 4. Simülasyon için belirlenen kesme koşulları ve parametreleri

Deney No	Kesme Hızı (V _c)	İlerleme (f)	Devir Sayısı (N)	Kesme Kuvveti (F _z)
1	90	0,1	3257	750
2	120	0,1	4343	820
3	150	0,1	5428	770
4	90	0,2	3257	1120
5	120	0,2	4343	1060
6	150	0,2	5428	1070
7	90	0,3	3257	1400
8	120	0,3	4343	1410
9	150	0,3	5428	1430

4.1. Meydana gelen kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

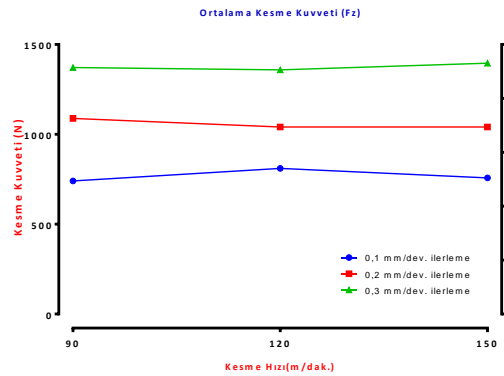
AISI 1045 malzemesi ile her bir kesme hızı ve ilerleme değeri için yapılan deneylerde, ilerleme hızına bağlı ortalama aksenal kuvvet (F_z) grafiği Şekil 12'de gösterilmektedir. Şekilde, tüm kesme hızlarında, ilerleme hızının artması ile aksenal kuvvetlerde artış olduğu görülmektedir. İlerleme hızının artması ile aksenal kuvvetlerin artması, talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu durumu; ilerleme hızının artışı sonucunda artan talaş kesiti ile ilişkilendirmek mümkündür [11]. Talaş kesitinin artması sonucu, talaşı kaldırmak için gerekli olan enerjinin de artması demektir. Enerjinin artması da aksenal kuvvetlerin artmasına sebep olmaktadır [12].



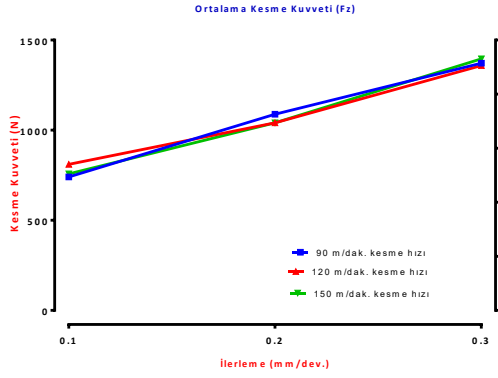
Şekil 13. Kesme kuvvetleri – Zaman grafiği

En düşük ilerleme kuvvetleri, 0,1mm/devir ilerleme hızında oluşurken en yüksek kuvvetler ise 0,3mm/devir ilerleme hızında elde edilmiştir. Ayrıca, düşük ilerleme hızında kesici takımlar arasındaki kuvvet farkları az olurken, ilerleme hızları arttıkça kuvvetler arasındaki farklar da artmıştır (Şekil 13).

Benzer durumu kesme hızları açısından da söylemek mümkündür. 90m/dak kesme hızında oluşan kuvvetler birbirlerine çok yakın iken kesme hızlarının artışı ile kuvvetlerdeki farklar da artmıştır. Düşük kesme hızlarında aksenal kuvvet değerlerinin birbirine yakın çıkması, delme sırasında iyi bir talaş akışı için yeterli ısının oluşmamasına ve kaplamanın özelliğinin belirginleşmemesine atfedilebilir. Şekil 14 ve Şekil 15'de sırası ile kesme kuvveti – kesme hızı, kesme kuvveti – ilerleme grafikleri verilmiştir.



Şekil 14. Kesme kuvveti – Kesme hızı grafiği



Şekil 15. Kesme kuvveti – İlerleme grafiği

4.2. Kesme sürecinde oluşan talaş geometrisinin değerlendirilmesi

Deneylerde; AISI 1045 malzemesinin 8.8 çapında sementit karbür matkap ile farklı kesme şartlarında delinmesi esnasında oluşan talaş geometrileri Şekil 16'da gösterilmiştir. Yüksek hızda yapılan delme işlemlerinde kısa talaş oluşumu gözlemlenmektedir. Yapılan deney sonucunda düşük kesme hızı ve ilerleme değerlerinde nispeten daha uzun ve sarımsı renkte talaşlar çıkarken, kesme hızı ve ilerleme arttıkça talaş boyutunun küçüldüğü ve renginin koyu mavi ve mora dönüştüğü gözlemlenmektedir. Talaş renginin koyu mavi renkte oluşması aşırı ısınmaya delil teşkil eder. Bunun yanı sıra yine kesme hızı ve ilerleme değerinin artmasıyla daha kıvrımlı, konik yapıda bir talaş yapısı meydana getirmiştir.



Şekil 16. Farklı kesme hızlarında oluşan talaş formları

5. Sonuçlar (Conclusion)

Yapılan bu çalışmada özgün geometriye sahip 8.8mm çapında, iki ağızlı, helisel yekpare sementit karbür matkap delme performansının sonlu elemanlar analizi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analizinin doğruluğunun belirlenmesi için, AISI 1045 iş parçası malzemesinden farklı kesme parametreleri ile delik delme operasyonu deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Farklı kesme parametreleri ile elde edilen deneysel veriler, kurulan sonlu elemanlar modeli ile doğrulanmıştır. Böylece delik delme performansını etkileyen faktörler; kesme kuvvetleri, sıcaklık ve oluşan talaş şekli ile karşılaştırma yapılmıştır. Çıkan sonuçların başlıca nedenleri şu şekilde özetlenebilir:

- ✓ Modelde takım rijit olduğundan dolayı hiç enerji absorbe etmemektedir.
- ✓ Malzeme modelleri oluşturulurken kullanılan veriler, metal kesmedeki kadar yüksek deformasyonlarda ve yüksek deformasyon hızlarında toplanamamaktadır.
- ✓ Metal kesme işlemlerinde sürtünme çok karmaşık bir yapıdadır ve şekli sürekli değişmektedir. Benzetimlerde kullanılan basitleştirilmiş modeller sonucu olumsuz etkilemektedir. Benzetimlerde meydana gelen ilerleme kuvvetleri ise deneysel sonuçlardan daha düşük bulunmuştur. Bunun nedenleri ise şu şekilde açıklanabilir; İlerleme kuvveti işlenmiş yüzeyin durumundan, takım aşınmasından ve iş parçasının elastik davranışından etkilenmektedir.
- ✓ Metal kesme benzetimlerinin işlem analizinde ana başvuru kaynağı olarak kullanılması ancak malzeme ve sürtünme modellerinin gerçekçi olması ile mümkün olacaktır.

Kaynaklar (References)

- [1] Grzesik W. Advanced machining processes of metallic materials. Elsevier 2008.
- [2] Filice L., Micari F., Rizutti S., Umbrello D. A critical analysis on the friction modelling in orthogonal machining. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2007, 47: 709-714.
- [3] Özel T. The influence of friction models on finite element simulations of machining. International Journal of Tools & Manufacture, 2006, 46: 518-530.

[4] Bil H. Simulation of orthogonal metal cutting by finite element analysis. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek lisans tezi, 2003, Ankara.

[5] Jaspers S.P.F.C, Dautzenberg J.H. Material behaviour in conditions similar to metal cutting: flow stress in the primary shear zone. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 122:322-330.

[6] Iqbal S.A., Mativenga P.T., Sheikh M.A. Characterization of machining of AISI 1045 steel over a wide range of cutting speeds. Part2 : evaluation of flow stress models and interface friction distribution schemes. Journal Engineering Manufacture Proc. Imech, 2007, 221:233-237. Doi:10.1243/09544054JEM797

[7] Sekar K.S.V., Kumar M.P. An Investigation into the Effect of Three-flow Stress Models on the Finite Element Simulation of Orthogonal Cutting of AISI 1045 Steel. The Institution of Engineers, 2009, 89:01-10.

[8] DEFORM 3D Machining Analysis V10.2 Material Library, 2006.

[9] GRANTA Materials Information Technology, 2016.

[10] Mendi F. Takım tezgahları teori ve hesapları, ISBN 975-96008, 1996, 5-40, Ankara.

[11] Çakıroğlu R. Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Modellenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011, Ankara.

[12] Yağmur S., Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Deneysel Olarak İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, , 2011, Ankara.