

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Experimental and Theoretical Investigation of the Effect of Gash Rake Angle on Drilling AISI 4140 Tempered Steel

Yafes Cavus^{a*}, Sukran Katmer^b, Ismail Tekaut^c, Secil Kurt Arifoglu^d, Harun Gokce^e, Ulvi Seker^f

Submitted: 05.09.2022 Revised: 29.10.2022 Accepted: 31.12.2022 doi:10.30855/gmbd.0705046

ABSTRACT

In this study, drilling of AISI 4140 tempering steel with different gash rake angle the effects of the gash rake angle on the thrust force and drilling moment were investigated by experimental and FEM supported virtual simulation studies, and surface roughness was investigated experimentally. In the experiments, monolithic solid carbide drill are used that has +10°, 0°, -10° gash rake angle and diameter with 6,8mm. Experimental design was developed based on three different drill gash rake angle, cutting speed and feed rate with using Minitab 18 statistical software and Taguchi L9 experiment design method. Experiments have been carried out on AISI 4140 tempering steel is widely used in the manufacturing industry and can be purchased commercially. Variance Analysis (ANOVA) was applied to evaluate the test results and the effects of the independent variables (Ya: slit saw angle, Vc: cutting speed, fn: feed amount) on the pushing force during hole drilling were evaluated according to significance value of 0.05. When the test results are examined, it is seen that the drill gash rake angle does not have a significant effect on the thrust force, drilling moment and surface roughness in drilling of AISI 4140 tempered steel, but it has a 63.78% effect on the thrust force. In the Finite Element supported virtual simulation studies, it is seen that it gives guiding results for the thrust force and drilling moment in drilling of AISI 4140 tempered steel with different drill gash rake angles.

AISI 4140 İslah Çeliğinin Delinmesinde Yarık Talaş Açısının Etkisinin Deneysel ve Teorik Araştırılması

ÖZ

Bu çalışmada farklı yarık talaş açısına (gash rake angle) sahip matkaplar ile AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde yarık talaş açısının itme kuvveti ve delme momenti üzerine etkileri deneysel ve FEM destekli sanal simülasyon çalışmaları ile yüzey pürüzlülüğü ise deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde +10°, 0°, -10° yarık talaş açısına sahip 6,8 mm çapında yekpare karbür kaplamalı matkaplar kullanılmıştır. Deney tasarımı Minitab 18 istatistik yazılımı Taguchi L9 deney tasarımı kullanılarak üç farklı matkap yarık talaş açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı esas alınarak oluşturulmuştur. Deneyler imalat sanayisinde yaygın olarak kullanılan ve ticari olarak temin edilebilen AISI 4140 ıslah çeliği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarını değerlendirmek amacıyla Varyans Analizi (ANOVA) uygulanmış olup bağımsız değişkenlerin (Ya: yarık talaş açısı, Vc: kesme hızı, fn: ilerleme miktarı) delik delme sırasında meydana gelen itme kuvveti üzerine etkileri 0,05 anlamlılık değerine göre değerlendirilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde matkap yarık talaş açısının itme kuvveti, delme momenti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülse de itme kuvveti üzerinde %63,78'lik bir etkiye sahiptir. Yapılan Sonlu Elemanlar destekli sanal simülasyon çalışmalarında ise farklı matkap yarık talaş açılarıyla AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde itme kuvveti ve delme momenti için yol gösterici sonuçlar verdiği görülmektedir.

Keywords: Drilling, Drill, Gash Rake Angle, Thrust Force, Drilling Torque.

^{a*} Hacettepe University,
Başkent OSB Vocational School of
Technical Sciences,
Dept. of machinery and metal
technologies
06909 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0002-6102-8838
e mail: yafescavus@hacettepe.edu.tr

^b Gazi University,
Graduate School of Natural and Applied
Sciences,
Dept. of manufacturing engineering
06560 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0002-3641-2328

^c Gazi University,
Vocational School of Technical
Sciences,
Dept. of machinery and metal
technologies
06560 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0001-8655-0422

^d Karcan Cutting Tools Company
Dept. of R&D
26610-Eskişehir-Türkiye
Orcid: 0000-0003-0831-8236

^e Gazi University,
Faculty of Technology,
Dept. of industrial design engineering
06560 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0002-2702-0111

^f Gazi University,
Faculty of Technology,
Dept. of manufacturing engineering
06560 - Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0001-6455-6858

*Corresponding author:
yafescavus@hacettepe.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Delme,
Matkap, Yarık Talaş Açısı, İtme
Kuvveti, Delme Momenti

1. Giriş (Introduction)

Delik delme işlemleri, talaş kaldırma işlemleri içerisinde büyük bir öneme sahiptir ve metal işleme süreçlerinin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Talaşlı imalat yöntemiyle üretimde kesici takım geometrisi, talaşın ideal kesme kuvvetlerinde kaldırılmasında, kırılmasında ve kesme bölgesinden uzaklaştırılmasında kritik öneme sahiptir. Kesici takım geometrisi, kesme şartlarını, kesme kuvvetlerini, takım ömrünü ve işleme kalitesini belirleyen karmaşık bir geometridir ve işlemin verimi belirler [1-3].

İlerleme miktarı, delik delmede talaş oluşumu ve güç tüketiminde ve elde edilen deliğin geometrik toleranslarda en önemli belirleyici parametredir. Yüksek ilerleme miktarı, çıkan talaşın helis kanallarında daha kolay tahliye edilmesi ve delik delme süresini azaltması gibi olumlu etkiler sağlarken, düşük delik kalitesi gibi olumsuz bir etkiye neden olmaktadır. Diğer taraftan düşük ilerleme miktarı, talaş kontrolünün zorlaşması ve talaş yüzeyinde aşınmalar ile kesici kenarda oluşan talaş yığılmalarıyla takım ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, dairesellik, silindiriklik ve diklik gibi elde edilen delik kalitesinin tayininde belirleyici çıktı parametreleri olumsuz yönde etkilemektedir [4-7]. Uygun olmayan kesme parametreleri bu olumsuzluklara sebep olan tek etken değildir. İdeal matkap geometrisi ve ideal kesme parametrelerinin kombinasyonu en iyi kesme şartlarını sağladığından, matkap geometrisinin de iş parçası malzemesi özelliklerine uygun olması gerekmektedir [8].

Matkap geometrisi, delme sürecinde, matkabın iş parçası malzemesi yüzeyinde konumlandırılması ve batması, kesme kuvvetlerinin azaltılması, talaşın kırılması, talaşın tahliyesi, matkabın delik eksenini takibi, titreşim ve takım ömrü gibi parametrelerde belirleyici faktördür [9]. Matkabın uç bölgesi, iş parçasıyla ilk temas eden ve işlem süresince talaş kaldıran kısım olduğu için matkap geometrisi ve uç açıları kritik öneme sahiptir. Diğer taraftan, yeterli uzunlukta olmayan bir enine kesici kenarlı matkabın, işleme esnasında parça yüzeyinde konumlandırılması oldukça güçleşmektedir. Bu problemi gidermek için matkap ucuna, matkap yarığı (split/gash) olarak adlandırılan ek yüzeyler oluşturulmaktadır. Bu yüzeylerin amacı, enine kesici kenarın ksalmasını sağlayarak, ikincil kesici kenarın pozitif talaş açılı olarak oluşmasını sağlamaktır [10].

Bir başka problem ise; uygun olmayan yarık talaş açısı, matkap uç bölgesinde talaş sıkışmasına ve kesme kuvvetlerinde artışa neden olmakta ve buna bağlı olarak, matkapta hızlı aşınmaya, aşırı kesme kuvvetlerine, delik kalitesinde kötüleşme gibi problemlere yol açmaktadır. Yarık talaş açısı, enine kesici kenarın kaldırdığı talaşın yarık yüzeyine sürtünme süresini belirlemede ve bu talaşı helis kanalına yönlendirmede kritik görev yapmaktadır. Delik delme işleminin kapalı alanda gerçekleşmesinden dolayı kesme sıcaklığının büyük bir bölümünün delik içerisinde dağılması ve talaşlı imalatta kesme sıcaklığının yaklaşık %70-80'ninin talaşla atılıyor olması, yarık talaş açısının talaş sıkışmasını önlemek ve matkap uç bölgesinden talaşın tahliyesinde oldukça önemli görev yaptığına işaret etmektedir [11,12].

Talaşlı imalat işlemlerinin maliyetinin büyük bir kısmını kesici takım oluşturmaktadır. Bu sebeple işlenecek malzemeye ve kullanılacak operasyona uygun kesici takım geometrisi ile malzemesi seçimi önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Kesmenin sanal ortamlarda yapıldığı Sonlu Elemanlar Analizleri (FEA) ve deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak kurulan matematiksel modeller, istenilen kalitede ürün üretilebilmesi, uygun kesici takım geometrisi seçilmesi ve kesici takım ile hammadde israfının ortadan kaldırılması için son yıllarda talaşlı imalat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır [13,14].

Delik delme sürecinde işleme performansına etki eden faktörlerden kesici takım türü ve uç geometrisi, iş parçası malzemesi, delik çapı, tezgâh rijitliği, soğutma sıvısı, kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri ile ilgili çeşitli araştırmaların yapıldığı tespit edilmiş olup takım ömrü ve matkap uç geometrisi üzerine yapılan çalışmaların çokluğu dikkat çekmektedir [10-24]. Bunlar, ağırlıklı olarak, matkap uç geometrisinin kesme kuvveti üzerindeki etkisini ortaya koyan ve optimum kesme şartlarını belirlemek için matkap uç geometrisindeki değişiklikleri inceleyen çalışmaları kapsamaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda, özellikle uç geometrisine bağlı olarak, kesme kuvveti ve moment ile ilgili çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir [10-16]. Takım ömrünü belirleyen, aşınma ve aşınmaya sebep olan kesme kuvvetleri ve momentleriyle ilgili yapılan çalışmalarda, uç geometrisi haricinde kesme hızı, ilerleme miktarı, delik çapı, tezgâh rijitliği ve soğutma sıvısı gibi faktörlerin etkileri de çeşitli deneysel ve teorik çalışmalarla incelenmiştir [17-24]. Kaplama uygulaması ve matkap uç geometrisindeki modifikasyonların matkabın aşınması üzerinde en belirgin etkiye sahip parametreler oldukları bu çalışmalarla tespit edilmiştir [15,18, 26].

Geometrik unsurların delme işlemindeki rolü detaylı incelenmiş olup, matkap geometrisi çalışılırken, yarık talaş açısının ihmal edilen bir parametre veya geometrik unsur olduğu dikkat çekmektedir. Yapılan bu çalışma ile, talaşlı imalatta önemli bir yeri olan matkapla delik delme işlemlerinde, matkap geometrisini oluşturan matkap yarığı ve yarık talaş açısının (gash rake angle), AISI4140 ıslah çeliği için optimize edilmesi amaçlanmıştır.

2. Deneysel Metot (Experimental Method)

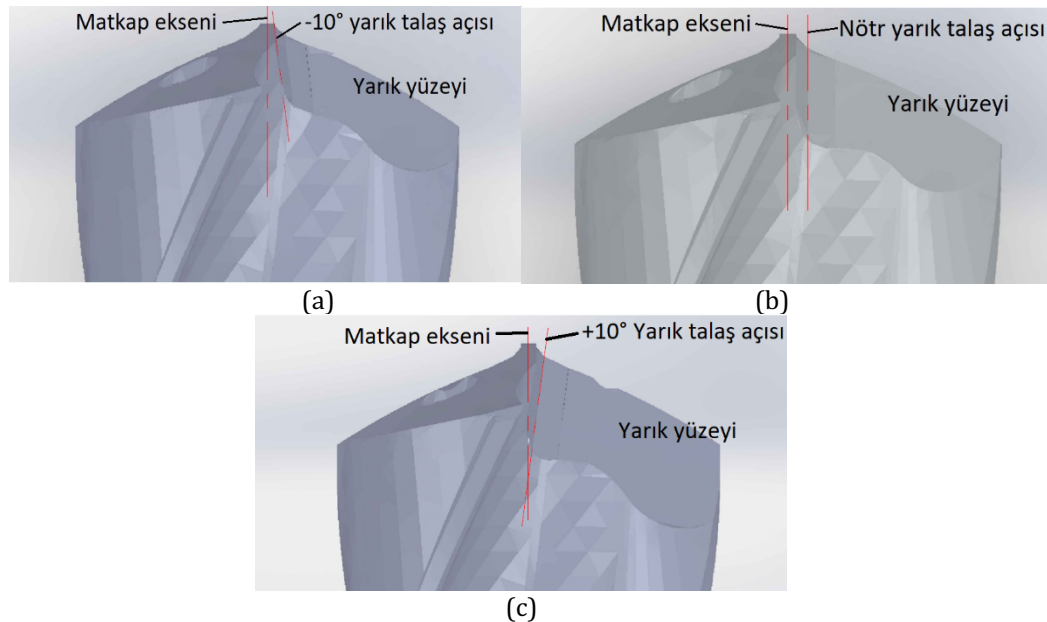
2.1. İş Parçası ve Kesici Takımlar (Workpiece and Cutting Tools)

Bu çalışmada 140x140x20 mm boyutlarında AISI 4140 ıslah çeliğinden hazırlanmış deney numuneleri kullanılmıştır. Numuneler altlarına dört adet burç konularak dinamometre üzerine civata ile bağlanmıştır. AISI 4140 ıslah çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Deney numunesi üzerinde seri delik delme işlemi uygulanmıştır. Her bir deney parametresi kombinasyonu yüz defa tekrarlanmış olup, delme sırasında meydana gelen ısıdan bir sonraki deliğin etkilenmemesi için yapılan delik yerleşim planında birer delik atlanarak delikler delinmiştir.

Tablo 1. AISI 4140 ıslah çeliğinin kimyasal kompozisyonu, % (Chemical composition of AISI 4140 tempered steel, %)

C	Si	Mn	P	S	Fe
0,45	0,1	0,60	0,04	0,04	Kalan

Deneysel çalışmalarda, iyi aşınma direncinden dolayı yüksek kesme hızlarında dahi iyi performans sergileyen iki ağızlı helisel, split uçlu, 6,8 mm çaplı, 138° uç açılı, içten soğutma kanallı ve TiAlN kaplamalı yekpare sinterlenmiş karbür matkaplar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan matkapların geometrik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 1'de 3 farklı yarık talaş açısının uç geometrisi üzerinde gösterimi verilmiştir.



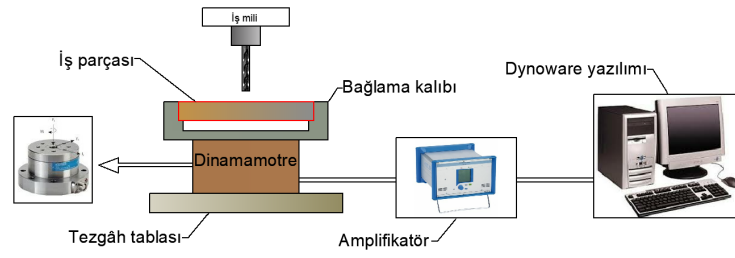
Şekil 1. (a) -10°; (b) 0°; (c) +10° Yarık Talaş Açısı (Gash Rake Angle).

Tablo 2. Tasarlanan takımların geometrik özellikleri (Geometric features of designed drill bit).

Takım Geometrisi	Matkap çapı	Sap çapı	Uç açısı	Yarık batma açısı	Yarık talaş açısı	Radyal ağız açısı	Öz kalınlığı
Geometri 1					+10°		
Geometri 2	6,8 mm	8 mm	138°	50°	0°	55°	0,264 mm
Geometri 3					-10°		

2.2. Takım Tezgâhi ve Kuvvet Ölçümü (Machine Tool and Force Measurement)

Deneysel çalışmalar JOHNFORDD VMC-550, ISO formatlı programlanabilir FANUC kontrol ünitesi CNC dik işleme tezgâhında yapılmıştır. Tezgâhın en yüksek devri 6000 dev/dk olup ölçü hassasiyeti 0,001mm'dir. Belirlenen kesme hızlarında tezgâhın maksimum devrine yakın çalışılacağından ve içten soğutma sistemi gerektiği için, içten soğutma sistemine sahip GissTech marka yüksek hız kafası kullanılmıştır. Yüksek hız kafası sürekli çalışmada 24000 dev/dk, kısa çalışma sürelerinde ise 30000 dev/dk hızlara çıkabilirken, tezgâh çıkış devrini 4,8 kat arttırmaktadır.



Şekil 2. Deney düzeneği şematik gösterimi (Schematic representation of the experimental setup)

Delme operasyonu sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve delme momenti dakikada 10000 ölçüm yapabilen Kistler 9272a çok amaçlı dinamometre ile ölçülmüştür. Dinamometreden alınan ölçümler, yine sekiz kanallı Kistler Amplifikatör ile yükseltilerek bilgisayara aktarılmış ve Kistler Dynoware yazılımı ile veriler değerlendirilerek itme kuvveti (Fz) ve delme momenti (Mz) değerleri alınmıştır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.

2.3. Kesme Parametreleri (Cutting Parameters)

Çalışmada özgün olarak üç farklı yarık talaş açısı (+10°, 0°, -10°) ile üç farklı kesme hızı (80, 100, 120 m/dk) ve ilerleme miktarı (0,15; 0,25; 0,3 mm/dev) kullanılarak üç farklı seviyeli üç kontrol faktörü (3x3x3) kullanılmıştır. Deney tasarımı kullanılan bağımsız değişkenler ve kontrol faktörleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 3’teki faktörler göz önünde bulundurularak Minitab istatistik yazılımı kullanılarak Taguchi L9 ortogonal (Tablo 4) dizini seçilerek deney tasarımı yapılmıştır.

Tablo 3. Deney parametreleri ve seviyeleri (Experiment parameters and levels).

Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
Kesme hızı	m/dk	80	100	120
Yarık talaş açısı	° (derece)	+10	0	-10
İlerleme	mm/dev	0,15	0,25	0,3

Tablo 4. Taguchi L9 ortogonal deney tasarımı (Taguchi L9 orthogonal experiment design)

	Vc(m/dk)	Ya(°)	fn(mm/dev)
L1	80	+10	0,15
L2	80	0	0,25
L3	80	-10	0,3
L4	100	0	0,15
L5	100	-10	0,25
L6	100	+10	0,3
L7	120	-10	0,15
L8	120	+10	0,25
L9	120	0	0,3

2.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü (Surface Roughness Measurement)

Ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Mitutoyo SurfTest SJ-410 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Kesim uzunluğu (λ_c) 0,8 mm, örnekleme tekrar sayısı (n) 5 ve yanal uzunluk (Lt) 5,6mm parametreleri kullanılmıştır. Her deney için delinen deliklerden giriş bölgesinden dört, çıkış bölgesinden dört ölçüm alınarak bu değerlerin ortalaması deliklerin giriş bölgesi ve çıkış bölgesi yüzey kaliteleri bu değerler dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

2.5. Sanal Simülasyon Çalışması (Virtual Simulation Study)

Nümerik analizler, itme kuvveti ve delme momenti sonuçlarının önceden kestirilebilmesi için talaş kaldırma modellerine odaklanmış bir FEM destekli sanal simülasyon yazılımı olan Third Wave AdvantEdge® programı ile yapılmıştır. Yazılım güncellenmiş Lagrangian eşitliklerinden faydalanmakta olup adaptif yeniden ağ örme tekniklerini kullanmaktadır. FEM destekli sanal simülasyon çalışmalarında iş parçası malzemesi olarak yazılım kütüphanesinde bulunan AISI 4140 ıslah çeliği tercih edilmiştir. İş parçası genişlik ve uzunluk ölçülerinin matkap çapından en az 2 kat fazla olması gerektiğinden 15x15x20 mm olarak yazılıma tanıtılmıştır. Kullanılan matkapların tasarımları STL formatında kaydedilerek Third Wave AdvantEdge yazılımına işlenmiştir. Takımın malzemesi

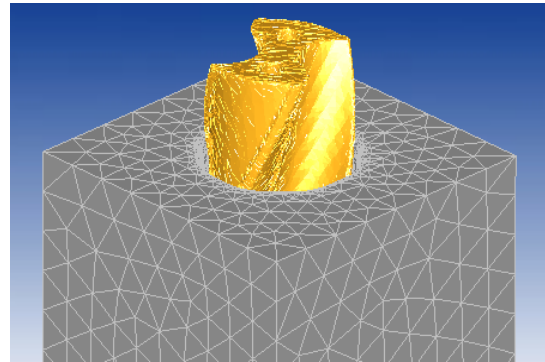
program malzeme kütüphanesinde bulunduğu buradaki malzeme takım malzemesi olarak kullanılmış olup, AlTiN kaplama malzemesi de yine program kütüphanesinde bulunmaktadır. Ayrıca kaplama kalınlığının 3µm olarak tanıtımı yapılmıştır. Minimum element boyu miktarı doğru sonuçlar alınabilmesi için yazılımın tavsiyesiyle ilerleme miktarının yarısı olarak kabul edilmiştir. Kesme parametreleri yapılan Taguchi L9 deney tasarımına göre her bir analize tanıtılmıştır. FEM destekli sanal simülasyon çalışmalarında, sürtünme kat sayısının kuvvet ve moment sonuçlarının doğru hesaplanmasında önemli bir rolü vardır. Yazılımda Coulomb sürtünme modeli kullanılmaktadır. Bu model:

$$F_f = \mu F_n \quad (1)$$

Eşitliği ile ifade edilmektedir. Kesici takım üreticisinin paylaşmış olduğu 0,35 sürtünme katsayısı FEM destekli sanal simülasyon çalışmalarında kullanılmıştır. Sonlu elemanlar destekli sanal simülasyon çalışmalarında kullanılan ağ yapısı parametreleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Ağ yapısı parametreleri (Network structure parameters)

Kesici takım parametreleri	Değer
Minimum eleman boyutu	0,05 mm
Maksimum eleman boyutu	1 mm
Kesici takım dönme açısı	360°
İş parçası parametreleri	Değer
İş parçası boyutu	15x15x20mm
Minimum eleman boyutu	0,075 mm
Maksimum eleman boyutu	2 mm
Delik başlangıç derinliği	15 mm
Başlangıç sıcaklığı	20 °C



Analizlerin sonucunda, her üç ekseninde meydana gelen kesme kuvvetleri F_x , F_y , F_z (N), dönme momenti M_z (Nm) ve verileri elde edilmiştir. Veriler *.txt dosyası olarak alınmış olup Matlap yazılımında delinebilirliğin belirlenmesinde önemli rol oynayan itme kuvveti (F_z) ve delme momenti (M_z) değerlerinin ortalamaları çıkarılmıştır.

3. Bulgular Ve Tartışma (Results and Discussion)

Bu çalışmada farklı yarık talaş açısına sahip matkaplar ile AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde kesme parametrelerinin ve matkap yarık talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti ve delme momenti üzerine etkisi deneysel, istatistiksel ve sanal simülasyon analizleriyle incelenmiştir.

3.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Thrust Force)

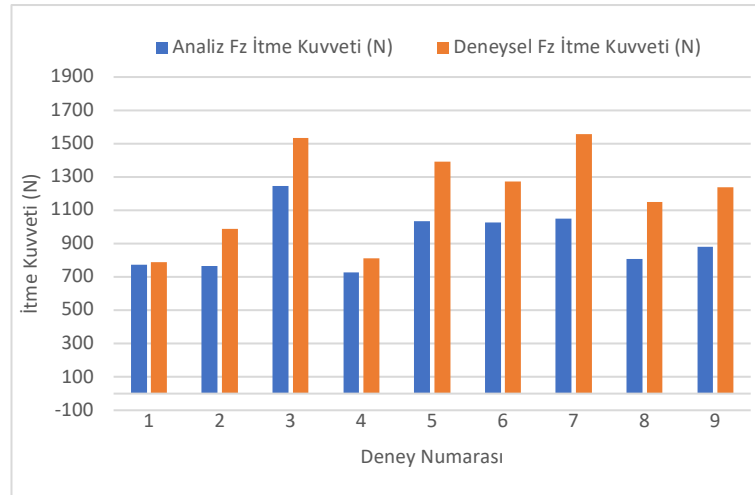
AISI 4140 ıslah çeliğinin deneysel olarak delinmesinden ve FEM destekli sanal simülasyon çalışmalarından elde edilen itme kuvveti sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6. incelendiğinde FEM destekli sanal simülasyon çalışmalarından elde edilen itme kuvveti değerlerinde L1 numaralı deneyin, deneysel çalışmadan elde edilen veriyle %98,36 oranında doğru sonuç verdiği görülmektedir. En düşük doğruluk oranının %67,72 ile L7 numaralı analizden elde edildiği görülmektedir. Yapılan analizin itme kuvveti sonuçları hakkında önemli bir sonuç verdiği görülmektedir.

Deneysel çalışmadan elde edilen itme kuvvetlerine bakıldığında -10° yarık talaş açısına sahip matkaplarla yapılan çalışmalarda daha yüksek çıktığı görülmektedir. Çalışmanın öngörüsünde negatif yarık talaş açısının çıkan talaşın eğrilik yarıçapını küçülteceği dolayısıyla itme kuvvetinin artacağı yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar bu öngörüü doğrulamaktadır. Ayrıca ilerleme kuvvetinin artmasıyla da itme kuvvetinin arttığı literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmektedir [9,12,22].

Tablo 6. İtme kuvveti için deneysel ve FEM destekli sanal simülasyon çalışması sonuçları (Experimental and FEM supported virtual simulation study results for thrust force)

Deney No	Analiz Fz İtme Kuvveti (N)	Deneysel Fz İtme Kuvveti (N)	% Yaklaşım oranı
1	774,63	787,55	98,36
2	767,76	990,62	77,50
3	1246,75	1532,64	81,35
4	726,79	813,16	89,38
5	1033,00	1390,91	74,27
6	1026,53	1272,61	80,66
7	1051,42	1557,20	67,52
8	807,72	1151,60	70,14
9	882,40	1237,07	71,33

Deneysel çalışmadan ve FEM destekli sanal simülasyon çalışmalarında elde edilen itme kuvveti verilerinin karşılaştırılması Şekil 3.'te verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde deneysel çalışma sonuçları ve FEM destekli sanal simülasyon sonuçlarının benzer bir dağılım gösterdiği görülmektedir. -10° yarık talaş açısı ile yapılan deneylerden elde edilen itme kuvveti sonuçlarının diğer yarık talaş açılarında göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir.



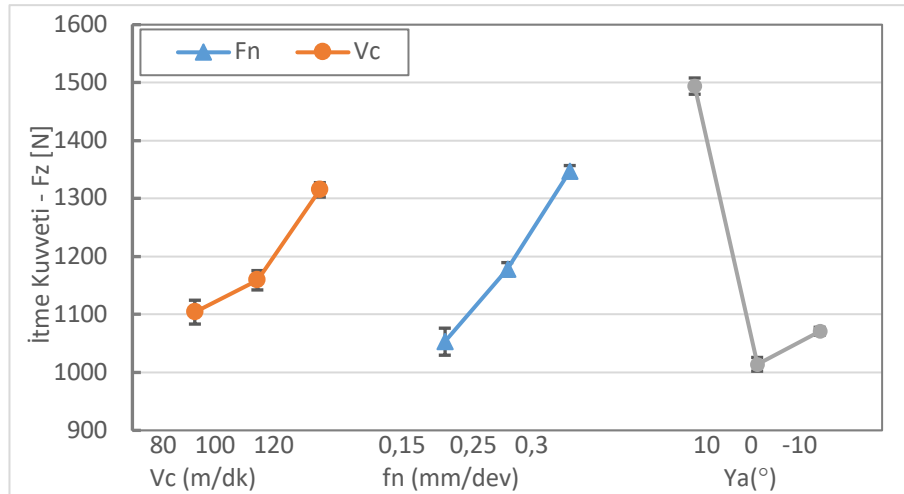
Şekil 3. Deneysel ve FEM destekli sanal simülasyon itme kuvvetleri kıyaslaması (Experimental and FEM-supported virtual simulation thrust comparison)

Taguchi L9 ortogonal dizinine göre yapılan deneysel çalışmadan elde edilen veriler istatistiksel olarak ANOVA ile incelenmiştir (Tablo 7). Yapılan ANOVA analizinden elde edilen sonuçlar %5 (0,05) güven aralığına göre değerlendirilmiştir. Elde edilen P değerlerinin tümünün %5'lik güven aralığından büyük olduğu görülmüştür. Fakat etki oranlarına bakıldığında hatanın etkisinin diğer parametrelerden daha küçük olduğu görülmüştür. Burada yarık talaş açısının etkisinin %63,78, ilerleme miktarının etkisinin %20,32, kesme hızının etkisinin %11,18 ve hatanın etkisinin %4,72 olduğu görülmektedir.

Tablo 7. İtme kuvveti sonuçlarının ortalamaları için Varyans Analiz sonuçları (Analysis of Variance results for the averages of the thrust force results)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	Etki
Vc	2	72329	36164	2,37	0,297	11,18
fn	2	131360	65680	4,3	0,189	20,32
Ya	2	412536	206268	13,5	0,069	63,78
Hata	2	30553	15276			4,72
Toplam	8	646777				100

İtme kuvveti için ANOVA sonuçlarından elde edilen etki grafiği (Şekil 4.) "En küçük değer daha iyidir." yaklaşımıyla incelendiğinde itme kuvveti için optimum sonuçların 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° yarık talaş açısı olduğu görülmektedir. ANOVA sonuçlarında her ne kadar parametrelerin etkisinin olmadığı görülse de etki grafiği incelendiğinde optimum sonuçların diğer parametrelere göre bir etkisinin olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Deneyel çalışma için itme kuvveti etki grafiği (Effect plot of thrust force for experimental study)

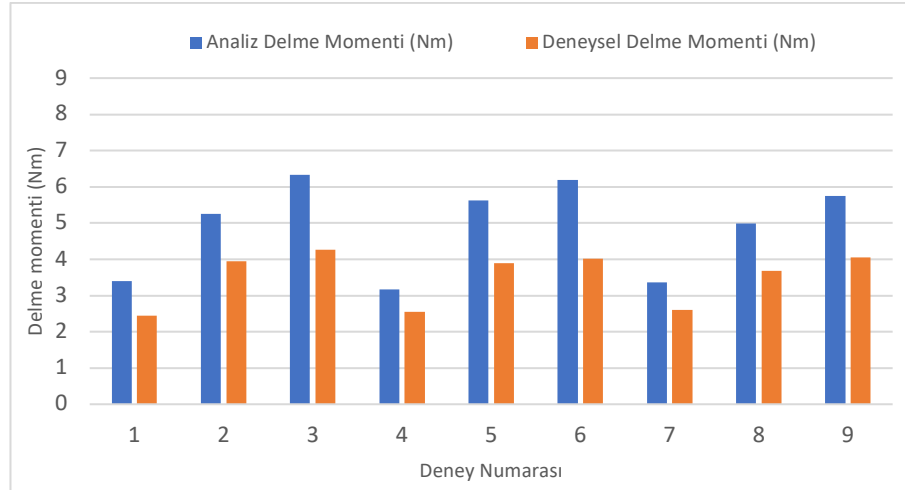
AISI 4140 ıslah çeliğinin deneysel olarak delinmesinden ve FEM destekli sanal simülasyon çalışmalarından elde edilen delme momenti sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Burada FEM destekli sanal simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlar deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında %90 ile L8 numaralı deneyin en yüksek doğruluk oranını verdiği görülmektedir. En düşük sonucun %68,47 ile L3 numaralı deneyden elde edilmiştir. Yapılan FEM destekli sanal simülasyon çalışması delme momenti tahmini için en düşük %68,47 sonuç vereceği görülmektedir. İlerleme kuvvetinin artmasıyla delme momentinin arttığı literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmiştir [1,9,25].

Tablo 8. Delme momenti için deneysel ve FEM destekli sanal simülasyon çalışma sonuçları (Experimental and FEM supported virtual simulation study results for drilling torque)

Deney No	Analiz Mz Delme Momenti (Nm)	Deneyel Mz Delme Momenti (Nm)	(%) Yaklaşım oranı
1	3,40	2,57	132,25
2	5,25	4,42	118,74
3	6,32	4,33	146,04
4	3,17	2,25	140,89
5	5,63	4,21	133,61
6	6,19	4,29	144,19
7	3,34	4,35	76,78
8	4,99	4,52	110,51
9	5,75	4,25	135,35

3.2. Delme Momentinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Drilling Moment)

Delme momenti için oluşturulan kıyaslama grafiği (Şekil 5.) incelendiğinde itme kuvveti sonuçlarında olduğu gibi benzer bir artış ve azalış gösterdiği görülmektedir. FEM destekli sanal simülasyon sonuçlarının deneysel çalışmadan daha yüksek çıkmaktadır. Delme momenti için 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ile yapılan deneylerden daha yüksek bir sonuç elde edilmiştir.



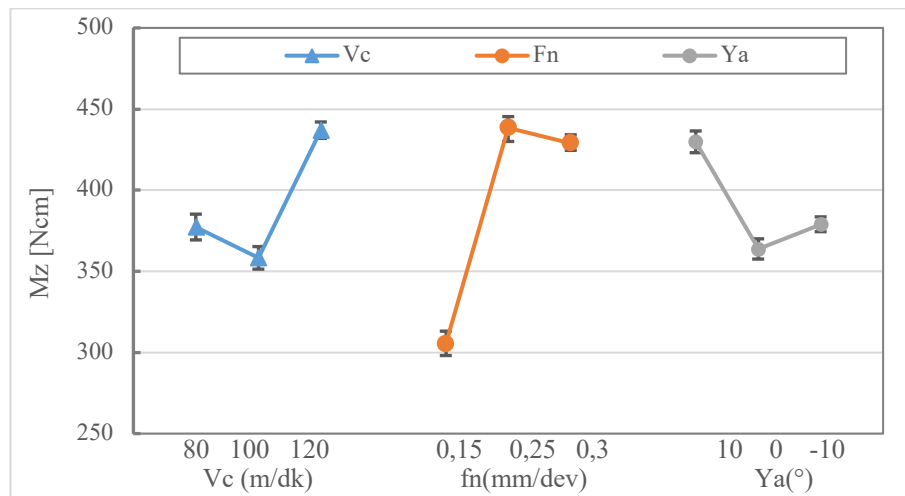
Şekil 5. Deneysel ve FEM destekli sanal simülasyon delme moment sonuçlarının kıyaslanması (Comparison of experimental and FEM supported virtual simulation drilling torque results)

Deneysel çalışmadan elde edilen delme moment sonuçlarına göre Varyans analiz sonuçları Tablo 9.'da verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde elde edilen P değerlerinin %5 (0,05) güven aralığından büyük olduğu görülmektedir. Fakat etki yüzdelere bakıldığında ilerleme miktarının %55,94, kesme hızının %17,07, yarık talaş açısının %12,09 ve hatanın %14,90 etkisinin olduğu görülmüştür.

Tablo 9. Delme moment sonuçlarının ortalamaları için Varyans Analiz sonuçları (Analysis of Variance results for averages of drilling torque results)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	Etki
Vc	2	10122	5061	1,15	0,466	17,07
fn	2	33169	16585	3,75	0,21	55,94
Ya	2	7161	3581	0,81	0,552	12,09
Hata	2	8837	4418			14,90
Toplam	8	59289				100

Delme moment için Varyans analizi sonuçlarından elde edilen etki grafiği Şekil 6.'da verilmiştir. Etki grafiği "En küçük en iyidir." yaklaşımıyla incelendiğinde AISI 4140 ıslah çeliğinin de en etkili kesme parametrelerinin 100 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° yarık talaş açısının olduğu görülmektedir. Kesme hızı açısından bakıldığında 100m/dk ile 80 m/dk arasındaki fark az iken bu iki parametrenin 120 m/dk'ye göre önemli bir etkisi vardır. İlerleme açısından 0,15 mm/dev ilerleme miktarı diğer iki parametreye göre daha etkilidir. Yarık talaş açısından ise 0° en etkili iken -10° ile arasında önemli bir fark yokken 10° ile aralarında önemli bir fark olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Deneysel çalışma için delme moment etki grafiği (Effect plot of drilling torque for experimental study)

Deneysel çalışmadan elde edilen giriş bölgesi ve çıkış bölgesi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 10.'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Giriş bölgesi

ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir. Fakat çıkış bölgesi değerlerinde yarık talaş açısının da etkisi görülmektedir. -10° yarık talaş açısı ile yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin diğer iki yarık talaş açısı ile yapılan deneylerden fazla olduğu görülmektedir.

3.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi (Evaluation of Average Surface Roughness)

Giriş bölgesi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri için yapılan Varyans analizinin sonuçları Tablo 11’de verilmiştir. Elde edilen P değerleri %5 (0,05) güven aralığından yüksek oldukları görülmektedir. Etki oranları hesaplandığında kesme hızının %9,36, ilerleme miktarının %62,75, yarık talaş açısının %8,04 ve hatanın %19,85’lik orana sahiptir. Hatanın yüksek çıkması deneysel çalışmanın Taguchi L9 ortogonal dizinine göre yapılmasıdır. Varyans analizi sırasında ara değerlerin olmaması kesme parametrelerinin birbirleriyle olan etkilerinin incelenmesine olanak vermemektedir. Bu yüzden hata oranı yüksek çıkmaktadır.

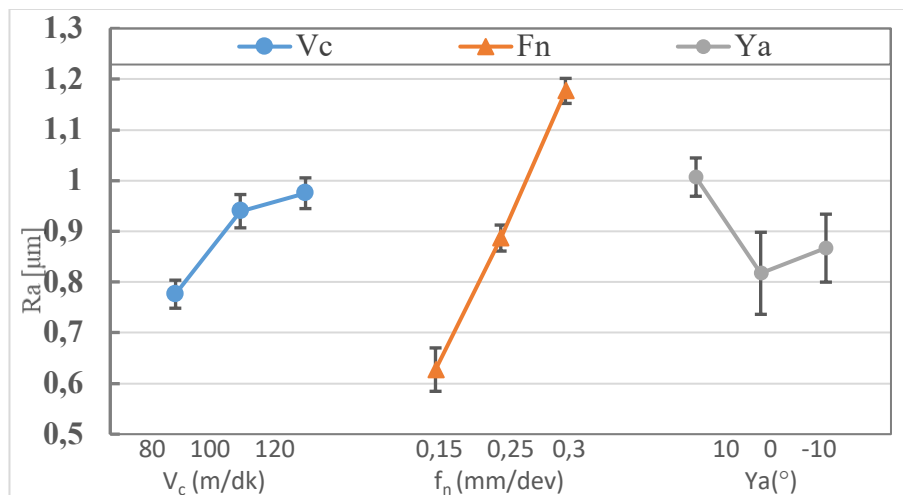
Tablo 10. Ortalama yüzey pürüzlülük sonuçları (Average surface roughness results)

Deney No	Vc(m/dk)	Fn (mm/dev)	Ya($^\circ$)	Giriş (μ m)	Çıkış (μ m)
1	80	0,15	+10	0,346	0,374
2	80	0,25	0	0,857	0,929
3	80	0,3	-10	1,126	1,232
4	100	0,15	0	0,550	0,473
5	100	0,25	-10	0,909	1,047
6	100	0,3	+10	1,360	1,583
7	120	0,15	-10	0,986	1,572
8	120	0,25	+10	0,894	1,375
9	120	0,3	0	1,045	1,258

Tablo 11. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (giriş bölgesi) sonuçlarının Varyans Analizi (Variance analysis results of mean surface roughness (entry zone))

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	Etki
Vc	2	0,06768	0,03384	0,47	0,68	9,36
fn	2	0,45364	0,22682	3,16	0,24	62,75
Ya	2	0,05805	0,02903	0,4	0,712	8,04
Hata	2	0,14352	0,07176			19,85
Toplam	8	0,72289				100

Giriş bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü için elde edilen etki grafiği (Şekil 7) incelendiğinde 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° matkap yarık talaş açısının “en küçük en iyi” yaklaşımına göre en etkili parametreler olduğu görülmektedir. Kesme hızı için bakıldığında 80 m/dk’nın diğer iki kesme hızına göre daha etkili olmakla beraber 100 m/dk ve 120 m/dk kesme hızları arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir. İlerleme miktarı açısından ise her üç ilerleme miktarının arasında önemli bir fark olduğu görülmektedir. Yarık talaş açısı bakımından ise 0° ve -10° derece arasında önemli bir farkın olması fakat bu iki değer $+10^\circ$ ’den daha etkili olduğu söylenebilir.



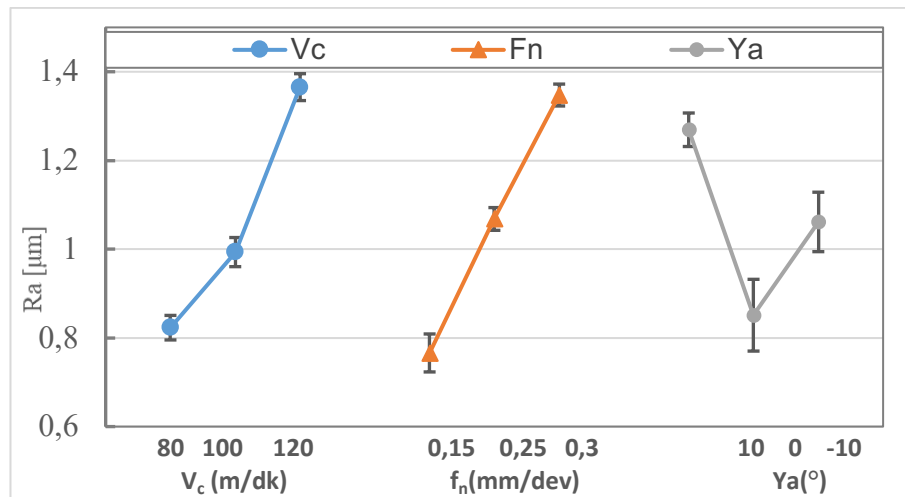
Şekil 7. Giriş bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü etki grafiği (Entry zone average surface roughness effect plot)

Çıkış bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü Varyans analiz sonuçları Tablo 12’de verilmiştir. Elde edilen P değerlerinin %5 güven aralığından yüksek çıktığı görülmektedir. Etki oranları incelendiğinde ilerleme miktarının %33,5, kesme hızının %30,46, yarık talaş açısının %17,31 ve hatanın %18,73 etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 12. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (çıkış bölgesi) sonuçlarının Varyans Analizi (Variance analysis results of mean surface roughness (exit zone))

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	Etki
Vc	2	0,4614	0,2307	1,63	0,381	30,46
Fn	2	0,5075	0,2538	1,79	0,359	33,50
Ya	2	0,2623	0,1312	0,92	0,52	17,31
Hata	2	0,2838	0,1419			18,73
Toplam	8	1,515				100

Şekil 8’de çıkış bölgesi için verilen etki grafiği “En küçük en iyidir.” Yaklaşımıyla incelendiğinde 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° yarık talaş açısının çıkış bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrelerin olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Çıkış bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü etki grafiği (Exit zone average surface roughness effect plot)

4.Sonuçlar (Conclusions)

Taguchi L9 ortogonal dizinine göre oluşturulan deney tasarımı doğrultusunda yapılan deneysel çalışmada matkap yarık talaş açısının itme kuvveti, delme momenti, giriş ve çıkış bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen verilerin Varyans analizi ile değerlendirilmesinde itme kuvveti için en etkili parametrenin yarık talaş açısı, delme momenti, giriş ve çıkış bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ilerleme miktarının olduğu görülmektedir. Varyans analizinden elde edilen etki grafikleri “en küçük en iyidir” yaklaşımıyla değerlendirildiğinde en uygun kesme parametreleri:

- İtme kuvveti için 80 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° yarık talaş açısı,
- Delme momenti için 100 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° yarık talaş açısı,
- Giriş bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü için 80 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° yarık talaş açısı,
- Giriş bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü için 80 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° yarık talaş açısı en düşük değerleri veren parametreler çıkmaktadır.

Yapılan FEM destekli sanal simülasyon çalışmaları da farklı yarık talaş açılarıyla yapılan delme çalışmalarında:

- İtme kuvveti için teorik çalışmaya göre en yakın %98,36 ile 1 numaralı deneyin sanal simülasyon çalışması, %67,52 ile 7 numaralı deneyin sanal simülasyon çalışması en uzak oranda sonuç vermiştir.
- Delme momenti için ise teorik çalışmaya göre %110,51 ile 8 numaralı deneyin sanal simülasyon

çalışması, %146,04 ile ise 3 numaralı deneyin sanal simülasyon çalışmasının en uzak oranda sonuç vermiştir.

Yapılan sanal simülasyon çalışmalarının % yaklaşım oranlarına bakıldığında farklı yarık talaş açısına sahip matkaplar ile yapılacak sanal simülasyon çalışmalarının deneysel çalışma öncesi yol gösteri sonuçlar vermektedir.

Teşekkür (Acknowledgment)

Bu çalışma "TÜBİTAK 1002- Hızlı Destek Programı" kapsamında "221M191" numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarları TÜBİTAK'a teşekkür eder. Ayrıca bu çalışmada kullanılan takımların tasarım ve temininde destek sağlayan Karcan Kesici Takım San. ve Tic. A.Ş'ye teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] Ş. Bayraktar, Y. Siyambaş, and Y. Turgut, "Delik delme prosesi: Bir Araştırma," *Sakarya University Journal of Science*, vol. 21, no.2, pp. 120-130, April 2017. doi:10.16984/saufenbilder.296833
- [2] H. Gökçe, "Investigation of Drilling Performance of CuZn15 Brass Material," *European Journal of Science and Technology*, vol. 22, no. 1, pp. 32-42, Jan 2021. doi:10.31590/ejosat.849503
- [3] M. E. Merchant, "Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and a type 2 chip," *Journal of applied physics*, 16.5, pp. 267-275, Sept 1945. doi:10.1063/1.1707586
- [4] Z. Demir, and R. Yakut, "An investigation of the effect of parameters and chip slenderness ratio on drilling process quality of AISI 1050 steel," *Advances in Materials Science and Engineering*, May 2018. doi:10.1155/2018/9753464.
- [5] P. Feng, J. Wang, J., Zhang, and J. Zheng, "Drilling induced tearing defects in rotary ultrasonic machining of C/SiC composites," *Ceramics International*, vol. 43, no. 1, pp. 791-799, January 2017. doi:10.1016/j.ceramint.2016.10.010
- [6] J. Wang, P. Feng, J. Zheng, and J. Zhang, "Improving hole exit quality in rotary ultrasonic machining of ceramic matrix composites using a compound step-taper drill," *Ceramics International*, vol. 42, no. 12, pp. 13387-13394, September 2016. doi:10.1016/j.ceramint.2016.05.095
- [7] H. Gökçe, M. Yavuz, H. Gökçe, and U. Şeker, "Orjinal Matkap Geometrisinde Delme Performansının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrulanması," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 3, no. 1, pp. 27-34, April 2017.
- [8] M. C. Çakır, *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Vipaş AŞ, Bursa. 1999.
- [9] D. M. Rincon, A. G. Ulusoy, and B. Kaftanoğlu, "Effects of drill vibrations on cutting forces and torque," *CIRP annals*, vol. 43, no. 1, pp. 59-62, 1994. doi:10.1016/S0007-8506(07)62164-7
- [10] W. C., Chen, K. H., Fuh, C. F., Wu, and B. R. Chang, "Design optimization of a split-point drill by force analysis," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 58, no. 2-3, pp.314-322, March 1996. doi:10.1016/0924-0136(95)02156-6
- [11] Y. Çavuş, Ş. Katmer, İ. Tekaüt, S. Kurt, and U. Şeker, "Delme işlemlerinde matkap yarık talaş açısının itme kuvveti ve delme momenti üzerindeki etkisi," *9th International Congress On Machining, Kasım 2018, Antalya*, pp.341-347.
- [12] G. Meral, M. Sarıkaya, M., Mia, H. Dilipak, U. Şeker, and M. K. Gupta, "Multi-objective optimization of surface roughness, thrust force, and torque produced by novel drill geometries using Taguchi-based GRA," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 101, no. 5, pp. 1595-1610, November 2018. doi:10.1007/s00170-018-3061-z
- [13] M. Arafat, "CNC delme işleminde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü açısından optimizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2009.
- [14] M. E. Korkmaz, R. Çakıroğlu, N. Yaşar, R. Özmen, and M. Günay, "Al2014 Alüminyum Alaşımının Delinmesinde İtme Kuvvetinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi," *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol. 6, no. 1, pp.193-199, January 2019. doi:10.31202/ecjse.449701
- [15] G. Meral, M. Sarıkaya, M. Mia, H. Dilipak, and U. Şeker, "Optimization of hole quality produced by novel drill geometries using the Taguchi S/N approach," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 101, no. 1, pp. 339-355, November 2018. doi:10.1007/s00170-018-2956-z
- [16] N. Tosun, C. Özek, G. Tosun, G. "Delme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi," *11.Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, pp. 867-874, 2004.

- [17] G. V. Tofana, M. S. Popa, and S. Sattel, "Solid carbide tool wear monitoring and evaluation in drilling processes," *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, vol. 5, no. 1, pp. 113-120, June 2013.
- [18] M. Yavuz, H. Gökçe, İ. Çiftçi, H. Gökçe, Ç. Yavaş, and Şeker, U. "Investigation of the effects of drill geometry on drilling performance and hole quality." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 106, no. 9, pp. 4623-4633, January 2020. doi:10.1007/s00170-019-04843-3
- [19] A. N. Siddiquee, Z. A. Khan, P. Goel, M. Kumar, G. Agarwal, and N. Z. Khan, "Optimization of deep drilling process parameters of AISI 321 steel using Taguchi method," *Procedia Materials Science*, vol. 6, pp. 1217-1225, 2014. doi:10.1016/j.mspro.2014.07.195
- [20] İ. Tekaut, H. Demir, and U. Şeker, "Experimental analysis and theoretical modelling of cutting parameters in the drilling of AISI H13 steel with coated and uncoated drills," *Transactions of FAMENA*, vol. 42, no. 2, pp. 83-96, 2018. doi:10.21278/TOF.42207
- [21] M. L. Polli, and M. J. Cardoso, "Effects of process parameters and drill point geometry in deep drilling of SAE 4144M under MQL," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 40, no.3, pp. 1-9, February 2018. doi:10.1007/s40430-018-1062-3
- [22] F. Jafarian, and H. Samarikhalaj, "Experimental investigation and optimizing geometrical characteristics and surface quality in drilling of AISI H13 steel," *Journal of Applied and Computational Mechanics*, vol. 6, no. 2, pp.332-343, 2020. doi:10.22055/JACM.2019.29070.1552
- [23] V. P. Astakhov, "Effects of the cutting feed, depth of cut, and workpiece (bore) diameter on the tool wear rate," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 34, no. 7, pp. 631-640, May 2007. doi:10.1007/s00170-006-0635-y
- [24] B. K., Lambert, "Prediction of force, torque and burr length in drilling titanium-composite materials," *Society of Manufacturing Engineer*, 1979.
- [25] M. Yavuz, H. Gökçe, Ç. Yavaş, İ. Korkut, and U. Şeker, "Matkap geometrisinin delik kalitesi ve kesme performansına etkisi," *Sakarya University Journal of Science*, vol. 21, no. 5, pp. 1051-1066, 2017. doi:10.16984/saufenbilder.292019

This is an open access article under the CC-BY license

