

**PASLANMAZ ÇELİĞİN DELİNEBİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL VE NÜMERİK OLARAK
İNCELENMESİ**

**2018
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Tolga MERAL

**PASLANMAZ ÇELİĞİN DELİNEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL VE
NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ**

Tolga MERAL

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

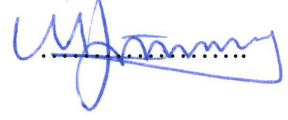
KARABÜK

Haziran 2018

Tolga MERAL tarafından hazırlanan “PASLANMAZ ÇELİĞİN DELİNEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL VE NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/06/2018

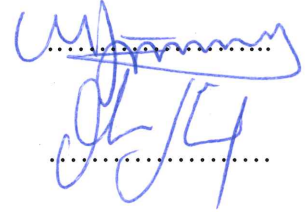
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan: Doç. Dr. Turgay KIVAK (DÜ)

Üye: Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Okan ÜNAL (KBÜ)

İmzası

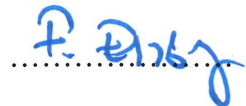


...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Tolga MERAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PASLANMAZ ÇELİĞİN DELİNEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL VE NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Tolga MERAL

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Haziran 2018, 69 Sayfa

Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemenin delinebilirliği araştırılmıştır. Delme işlemleri, kaplamalı ve kaplamasız karbür takım kullanılarak deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleriyle (SEY) yapılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminde kaplamasız takım kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, ilerleme miktarı ve kesme hızının; itme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İlk olarak deneysel yöntemle kaplamalı ve kaplamasız takım kullanılarak itme kuvveti ve moment değerleri ölçülmüş ve elde edilen değerler analiz edilmiştir. AdvantEdge analiz programı vasıtasıyla kaplamasız takım için delme simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Kaplamasız takım için elde edilen deneysel ve analiz sonuçları itme kuvveti ve moment açısından karşılaştırılmıştır. Deneysel ve analiz sonuçlarına göre delme işleminde itme kuvveti ve momenti etkileyen en önemli parametrenin ilerleme miktarı olduğu saptanmıştır. Deneysel sonuçlara göre yüzey pürüzlülüğü açısından, kaplamalı takımın daha iyi bir performans gösterdiği

görülmüştür. Kaplamasız karbür takım için deney ve analiz sonuçlarının birbirleriyle tutarlı olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Delme işlemi, AISI 430, itme kuvveti, sonlu elemanlar yöntemi.

Bilim Kodu : 914.3.028



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF DRILLABILITY OF STAINLESS STEEL

Tolga MERAL

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

June 2018, 69 Pages

In this study, drilling of AISI 430 ferritic stainless steel was performed. Drilling operations were carried out by experimental and finite element method (FEM) using coated and uncoated carbide tool. In finite element method, uncoated carbide tool is taken into consideration. As a result of the conducted experiments, effects of feed rate and cutting velocity were investigated on thrust force, torque and surface roughness. Firstly, thrust force and torque values have been measured by using experimental method as depend on coated-uncoated tools and obtained values have been analyzed. Drilling operations for the uncoated tool have been done by means of the AdvantEdge analysis program. The experimental and analysis results for the uncoated tool were compared in terms of the thrust force and torque. It was determined that the most important parameter affecting the thrust force, torque, surface roughness and burr formation is feed rate in drilling operations. It was understood that experiment and analysis results are consistent with respect to

uncoated tool. Coated tool has been showed that better surface finish according to uncoated tool.

Key Words : Drilling operation, AISI 430, thrust force, finite element method.

Science Code : 914.3.028



TEŞEKKÜR

Tecrübe ve bilgisiyle bu tez çalışmasının ortaya çıkarılmasında tüm gücüyle yardımcı olan, her fırsatta yenilikçi bakış açısıyla bilgime bilgi katan ve saygı değer hocam sayın Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmama maddi olarak destek olan Karabük Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne (KBÜBAP-17-YL-248) ve çalışmalarında tecrübelerinden faydalandığım Yenice Meslek Yüksekokulu Dr. Öğretim Üyesi Nafiz YAŞAR ve Arş. Gör. Mehmet Erdi KORKMAZ'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu tezin ortaya çıkarılma sürecinde benimle birlikte olan ve desteklerini her an yanımda hissettiğim çok değerli aileme teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. PASLANMAZ ÇELİKLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	3
2.2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR	6
BÖLÜM 3	12
PASLANMAZ ÇELİKLER.....	12
3.1. PASLANMAZ ÇELİK ÇEŞİTLERİ.....	12
3.1.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler	12
3.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	14
3.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	15
3.1.4. Çift Fazlı (dubleks) Paslanmaz Çelikler	16
3.1.5. Çökelme İle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler	18
BÖLÜM 4	19

	<u>Sayfa</u>
TALAŞLI İMALAT VE DELME İŞLEMİ	19
4.1. TALAŞLI İMALAT	19
4.2. DELME İŞLEMİ	21
4.2.1. Delme İşlemi Mekaniği	23
4.2.2. Matkap Malzemeleri	26
4.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü	27
 BÖLÜM 5	 30
MATERYAL VE YÖNTEM	30
5.1. DENEY MALZEMESİ	30
5.2. KESİCİ TAKIMLAR	32
5.3. TAKIM TEZGAHI VE KUVVET ÖLÇÜM DÜZENEĞİ	32
5.4. DENEY TASARIMI	34
5.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMÜ	35
5.6. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	36
5.6.1. Sonlu Elemanlar Yönteminde Akış Şeması	36
5.6.2. Çalışmada Kullanılan Analiz Programı ve Tanımlamaları	37
5.6.2.1. Delme İşlemi İçin Model Tanımlanması	38
5.6.2.2. Kesme Parametreleri ve Ağ Eleman Boyutlarının Tanımlanması	39
5.6.2.3. Çözümleme ve Verilerin Elde Edilmesi	40
 BÖLÜM 6	 42
DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA	42
6.1. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	42
6.1.1. İtme Kuvveti	43
6.1.2. Moment	47
6.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü	51
6.2. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	54
6.3. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	57
 BÖLÜM 7	 60
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60

	<u>Sayfa</u>
7.1. SONUÇLAR	60
7.2. ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	69



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Östenitik çelik mikro yapısı.	13
Şekil 3.2. Ferritik çelik mikro yapısı.	14
Şekil 3.3. Martenzitik çelik mikro yapısı.	15
Şekil 3.4. Çift fazlı (dubleks) çeliğinin mikro yapısı.	17
Şekil 4.1. Talaş kaldırmanın temel gösterimi; a) Talaşın kesit görünümü pozitif talaş açılı kesici takım, b) Negatif talaş açılı kesici takım.	19
Şekil 4.2. Delme işlemi	21
Şekil 4.3. Delmeden sonra yapılan bazı işlemler	22
Şekil 4.4. Kesici takım ve geometrisi	23
Şekil 4.5. Kesme hızı ve ilerleme hızının gösterimi	24
Şekil 4.6. Talaş farklılıkları	25
Şekil 4.7. Delme işleminde kesme kuvvetleri	25
Şekil 4.8. a) yüzey kalitesini belirleyen faktörler, b) yüzey pürüzlülüğü çizgi sistemi.....	28
Şekil 5.1. Kesici takım geometrisi ve görüntüleri	32
Şekil 5.2. a) Deney düzeneği 1=iş parçası, 2= bağlama aparatı, 3= dinamometre, 4= KISTLER 5070 A amplifier (yükseletç), 5= veri kaydedici ve 6= verilerin bilgisayar ortamına gelmesi, b) CNC tezgahı.....	33
Şekil 5.3. Sonlu elemanlar yönteminde akış şeması	37
Şekil 5.4. Talaş kaldırma tekniği ve delme işlem türü	38
Şekil 5.5. Analiz programına girilen takım tanımlamaları ve elde edilen model....	39
Şekil 5.6. İş parçası ve takımın ağ eleman yapıları	40
Şekil 5.7. Delme kuvvetleri için Tecplot 360 yazılımından örnek bir görüntüsü ...	41
Şekil 6.1. DynoWare yazılımıyla elde edilen grafik ve ortalama değerin bulunması	43
Şekil 6.2. İşlem parametrelerinin itme kuvveti üzerindeki etkileri	44
Şekil 6.3. İşlem parametrelerinin moment üzerindeki etkileri	48
Şekil 6.4. İşlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	52

Sayfa

Şekil 6.5. Sonlu elemanlar yöntemiyle (SEY) elde edilen itme kuvvetleri..... 55

Şekil 6.6. Sonlu elemanlar yöntemiyle (SEY) elde edilen moment değerleri..... 56



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Östenitik paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri	13
Çizelge 3.2. Ferritik paslanmaz çeliğinin fiziksel özellikleri	15
Çizelge 3.3. Martenzitik paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri.....	16
Çizelge 3.4. Çift fazlı (dubleks) çeliğin nominal mekanik özellikleri	17
Çizelge 3.5. Çökelme ile sertleşebilen paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri.	18
Çizelge 5.1. AISI 430 paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri	30
Çizelge 5.2. AISI 430 paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri	31
Çizelge 5.3. Deney Tasarımı	35
Çizelge 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının özellikleri.....	36
Çizelge 6.1. Kaplamalı ve kaplamasız takım için Fz'deki azalma miktarları.....	46
Çizelge 6.2. Kaplamasız takım ile elde edilen itme kuvveti için ANOVA sonuçları ..	47
Çizelge 6.3. Kaplamalı takım ile elde edilen itme kuvveti için ANOVA sonuçları	47
Çizelge 6.4. Kaplamalı ve kaplamasız takım için momentteki azalma miktarları.....	49
Çizelge 6.5. Kaplamasız takım ile elde edilen moment için ANOVA sonuçları	50
Çizelge 6.6. Kaplamalı takım ile elde edilen moment için ANOVA sonuçları	50
Çizelge 6.7. Kaplamasız takım ile elde edilen R_a için ANOVA sonuçları	53
Çizelge 6.8. Kaplamalı takım ile elde edilen R_a için ANOVA sonuçları	54
Çizelge 6.9. SEY ile elde edilen itme kuvveti için ANOVA sonuçları	55
Çizelge 6.10. SEY ile elde edilen moment için ANOVA sonuçları	57
Çizelge 6.11. İtme kuvveti için deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması	58
Çizelge 6.12. Moment için deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

V_c	: Kesme hızı (m/dak)
f	: İlerleme miktarı (mm/dev)
F_{rz}	: Radyal kuvvet (N)
F_{vz}	: İlerleme kuvveti (N)
F_{sz}	: Kesme kuvveti (N)
F_{nz}	: Bileşke kuvvet (N)
N	: Devir sayısı (dev/dak)
V_f	: İlerleme hızı (mm/dak)
F_z	: İtme kuvveti (N)
M	: Moment (Nm)
R_a	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
R_t	: Yüzey pürüzlülüğü derinliği
R_p	: Yüzey pürüzlülüğü düzeltilmiş derinliği

KISALTMALAR

CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
FEM	: Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
TiN	: Titanyum Nitrür
TiAlN	: Titanyum Alüminyum Nitrür
TiC	: Titanyum Karbür
WC	: Tungsten Karbür
Al	: Alüminyum
HSS	: High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Malzemeler, çeşitli kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olup, hayatımızın birçok alanında kullanılan vazgeçilmez ihtiyaçlar arasında yer alır. Başlıca malzeme grupları; metaller, seramikler, polimerler, yarı iletkenler ve kompozitler olarak adlandırılmaktadır. Günümüz endüstrisinde, konstrüksiyon ve imalat alanının çoğunluğunu alüminyum ve çelik grubu malzemeler kapsamakta ve endüstride bu malzemelerin işlenebilirliği büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, bir malzemenin belirlenen şartlar çerçevesinde kullanım amacına uygun bir geometrik şekle sokulması için genellikle talaş kaldırma yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Bu süreçte, tornalama, frezeleme ve delme işlemleri gibi geleneksel talaş kaldırma yöntemleri vazgeçilmez imalat teknikleri olarak kullanılmaya devam etmektedir.

Talaş kaldırma yöntemleri kullanılarak malzemenin işlenebilirliği araştırıldığında, birçok girdi parametresine (kesici takım, kesme hızı, ilerleme miktarı, takım geometrisi, kesme derinliği, soğutma/yağlama uygulaması vb.) göre çeşitli işleme çıktılarının (kesme sıcaklığı, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü, ölçü tamlığı vb) değişimleri incelenmektedir. Bu noktada, talaş kaldırma yöntemine göre girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi malzemenin işlenebilirliğinin optimizasyonu açısından önemlidir. Ayrıca, mühendislik malzemeleri ve kesici takım malzemelerindeki iyileştirmelere bağlı olarak işlenebilirlik araştırmalarının sürdürülebilir imalat açısından önemi büyüktür.

İşlenebilirlik çalışmaları, çeşitli kesici takım, takım tezgahı ve ölçüm ekipmanlarının kullanıldığı deneysel ve çeşitli bilgisayar yazılımları ve işleme yöntemi teorilerinden faydalanılarak yapılan nümerik analize dayalı simülasyon olmak üzere iki teknik ile yapılabilmektedir. Teorik çalışmalarda, belirlenen parametreler çerçevesinde malzeme davranışının gözlemlenebilmesi için sonlu elemanlar yöntemi (SEY)

yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ile imalat işlemlerinin (frezeleme, delme, tornalama, derin çekme vb.) nümerik analizlere dayalı simülasyonları yapılmakta ve incelenmesi hedeflenen problemin tahmini sonuçları ortaya çıkarılmaktadır. Bu teknik, işleme yöntemi girdi parametrelerinin işlenen ve/veya işleyen malzeme üzerinde meydana gelen kuvvet, sıcaklık, aşınma, gerilme vb. üzerindeki etkilerinin deneysel çalışmalara nazaran daha düşük maliyetlerde araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Literatür incelendiğinde, delme işlemleri ile ilgili birçok deneysel ve teorik çalışmaların gerçekleştirildiği görülmektedir. Ancak, ferritik paslanmaz çeliklerin delinebilirliği üzerine kapsamlı bir araştırmanın yapılmadığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada, AISI 430 paslanmaz çeliğin kaplamalı ve kaplamasız takımlarla delme işlemleri deneysel ve teorik olarak gerçekleştirilmiştir. AISI 430 paslanmaz çeliğinin delinebilirliği noktasında kesme parametrelerinin (ilerleme miktarı ve kesme hızı); itme kuvveti, moment, talaş oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kapsamında ThirdWave AdvantEdge analiz programı kullanılmış ve analizler kaplamasız takıma bağlı olarak yapılmıştır. SEY ve deneysel yöntemle elde edilen veriler kaplamasız takım açısından karşılaştırılmıştır.

Bu araştırmanın ilk bölümü, genel bilgilerin ve tez kapsamındaki yapılacakların kısa özetini oluşturmaktadır. İkinci bölümde, delme işlemi ile ilgili yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde paslanmaz çelikler ile alakalı geniş çaplı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, talaşlı imalat ve delme işlemiyle ilgili teorik bilgilere yer verilmiştir. Beşinci bölüm, deneysel ve nümerik çalışmalarda kullanılan malzeme, teçhizat ve yöntemleri kapsamaktadır. Altıncı bölümde, deneysel ve nümerik analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Son bölümde, ortaya çıkan sonuçlar özetlenmiş ve bu sonuçlara göre öneriler verilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

2.1. PASLANMAZ ÇELİKLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kıvak vd. (2012), TiN, TiAlN ve TiAlN/TiN kaplamalı HSS takımlar kullanarak AISI 316 paslanmaz çeliğin delinebilirliğini araştırmışlardır. İşleme parametreleri olarak farklı kesme hızları (12, 14, 16, 18 m/dak) ve ilerleme miktarlarını (0,08, 0,1, 0,12 mm/dev) kullanmışlardır. Bu parametreler çerçevesinde delik çapı, dairesellik ve talaş oluşumunun değişimini incelemişlerdir. Araştırmacılar, delik çapı ve dairesellik noktasında en verimli sonucu TiAlN/TiN kaplı takımlardan elde etmişlerdir [1].

Sultan vd. (2015), AISI 316L paslanmaz çelik üzerinde karbür takım kullanarak delme deneyleri yapmışlar ve meydana gelen talaş oluşumunu inceleyerek talaş şekil ve boyutunu daha iyi tanımlamayı hedeflemişlerdir. Deneylerde, farklı kesme hızları (18 ve 30 m/dak) ve ilerleme miktarları (0,03, 0,045 ve 0,06 mm/rev) kullanmışlardır. Yürütülen deneyler sonucunda, düşük kesme hızı ve düşük ilerleme miktarının östenitik paslanmaz çelik üzerinde arzu edilen talaş oluşumunu en iyi şekilde ortaya çıkardığını tespit etmişlerdir [2].

Sultan vd. (2015), delme işlemine etki eden parametrelerin takım aşınması ve delik kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kaplamasız karbür matkap ile farklı kesme hızları (18 ve 30 m/dak) ve farklı ilerleme miktarlarını (0,03, 0,045 ve 0,06 mm/rev) kullanarak AISI 316L çeliğinin delinebilirliği incelenmiştir. Bu bağlamda, çap hatası, dairesellik ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Sonuçlara göre, kesme hızı ve ilerleme hızının delik kalitesini ciddi derecede etkilediğini belirtmişlerdir. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını ve ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit

etmişlerdir. İlerleme miktarının çap hatası üzerindeki etkisinin kesme hızından daha fazla olduğunu, en düşük çap hatasının düşük kesme hızı ve düşük ilerleme miktarında gerçekleştiğini saptamışlardır [3].

Balaji vd. (2016), delme işleminde kesme parametrelerinin (ilerleme miktarı, kesme hızı ve helis açısı) takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. AISI 304 paslanmaz çelik üzerinde, Taguchi L_8 dikey dizinine göre karbür kesici takımla delme deneyleri yapılmıştır. Kesme parametrelerinin etkilerini takım titreşimini ve yüzey pürüzlülüğünü hesaplayarak incelemişlerdir. Takım titreşimini ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli parametreleri tanımlamak için varyans analizi kullanmışlardır. Araştırmacılar, takım aşınmasının artmasıyla takım titreşiminin arttığını belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü için en uygun parametre seviyelerini; helis açısı 25° , ilerleme hızı 12 mm/dak ve devir sayısı 800 dev/dak olarak tespit etmişlerdir. Takım titreşimi için en uygun parametre seviyelerini ise; helis açısı 25° , ilerleme hızı 10 mm/dak ve devir sayısı 600 dev/dak olarak elde etmişlerdir [4].

Çaydaş vd. (2011), kuru ortam şartlarında AISI 304 östenitik paslanmaz çelik üzerinde çeşitli takımlar ile delme işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Takım çeşidi olarak yüksek hız çeliği (HSS), K20 karbür ve TiN kaplı HSS takımları kullanmışlardır. Devir sayısı, ilerleme miktarı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü, takım yan yüzey aşınması ve çıkış çapak yüksekliği üzerindeki rollerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, TiN kaplı HSS matkabın uzun takım ömrü ve delik kalitesi açısından yüksek performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. K20 karbür ve HSS takımların ise düşük yüzey pürüzlülüğü sağladığını belirlemişlerdir [5].

Prabhu vd. (2015), AISI 410 martenzitik paslanmaz çelik üzerinde delme deneyleri yapmışlardır. Delme işlemi için farklı değerlerde devir sayıları, ilerleme miktarları ve uç açıları esas alınmış, nano katmanlı B_4TiN kaplamalı takım kullanmışlardır. Araştırmacılar, Taguchi metodu (single optimization) ve Grey teorisi (multiple optimization) olmak üzere iki farklı optimizasyon çeşidini uygulayarak, en düşük yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranı için en uygun parametre seviyelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Taguchi metoduna göre optimum parametreleri, 500 dev/dak, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 98° uç açısı olarak belirlemişlerdir. Grey

teorisi için devir sayısı 500 dev/dak, ilerleme miktarı 0,2 mm/rev ve uç açısı 78° olarak tespit edilmiştir [6].

Paro vd. (2005), NiTi kaplamalı ve sıcak izostatik preslenmiş X2CrNi1911 paslanmaz çeliğinin delme işleminde, TiN ve TiCN kaplı sementit karbür takımlarının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Paslanmaz çelik ve NiTi kaplama arasındaki ara yüzeyi, SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve EDS (enerji dağılımlı spektreskopi) ile birlikte incelemişlerdir. İlerleme miktarının, talaş oluşumu ve takım aşınması üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. İşlenebilirlik açısından, kesme hızının 50 m/dak ve ilerleme miktarının 0,1-0,2 mm/rev olarak uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, etkili kesme hızı ve ilerleme miktarından yararlanıldığında ideal takım ömrüne ulaşıldığını tespit etmişlerdir [7].

Kaneriya ve Sharma (2014), takım üzerinde oluşan sıcaklığın azaltılması ve uygun takım cinsinin seçilmesi üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde, kaplamasız HSS, kobalt kaplı HSS ve K20 karbür takımlarının performanslarını incelemişlerdir. Deneylerde ilerleme miktarı (0,05-0,09 mm/dev) ve devir sayısı (1200-1500 dev/dak) esas alınarak, en uygun parametre seviyeleri araştırılmıştır. Takım sıcaklığında ilerleme miktarının önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit edilmiştir. En düşük takım sıcaklığının (190 °C) 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 1200 dev/dak devir sayısı ve K20 karbür takım ile oluştuğunu bulmuşlardır. K20 karbür takımın, HSS ve kobalt kaplı HSS takıma göre daha uzun ömürlü olduğunu saptamışlardır [8].

Kanagaraju vd. (2016), süper dubleks paslanmaz çelik (SAF2507) üzerinde kesme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar tekli kaplama, çoklu kaplama ve kaplamasız olmak üzere üç farklı karbür takım kullanmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde, itme kuvveti ve moment değerlerinin değişimini karbür takım çeşidine göre incelemişlerdir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda, SAF2507 paslanmaz çeliğin işlenmesinde çoklu kaplamalı takımın diğer takımlardan daha iyi bir sonuç gösterdiğini tespit etmişlerdir [9].

Siddiquee vd. (2014), delme işleminde AISI 321 paslanmaz çeliğinin delinmesinde yüzey pürüzlülüğünü minimize etmek için Taguchi deneysel yöntemi kullanarak en uygun kesme parametrelerini araştırmışlardır. İşleme parametreleri olarak kesme sıvısı (A), devir sayısı (B-300, 400, 500 dev/dak), ilerleme hızı (C-0,03, 0,04, 0,05 mm/s) ve delik derinliği (D-25, 30, 35 mm) belirlenmiş olup, deneyler Taguchi L₁₈ dikey dizini kullanılarak yapılmıştır. Deneyler sonucunda, minimum yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için en uygun parametre seviyelerini A2B3C2D1 olarak belirlemişlerdir. Varyans analizine göre, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahip parametre devir sayısı olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca, Taguchi yönteminin endüstriyel alanda uygulanabilir bir teknik olduğuna dikkat çekmişlerdir [10].

Vas vd. (2016), östenitik paslanmaz çelik üzerinde delme işlemleri gerçekleştirerek, işleme parametrelerinin takım sıcaklığı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İşleme parametreleri olarak ilerleme miktarı ve kesme hızı kullanılmış ve L₉ dikey dizine göre deney tasarımı yapılmıştır. Araştırmacılar, deneylerde farklı helis açılarında (82°, 100° 118°) yüksek hız çeliği (HSS) takım kullanmışlardır. Kesme hızı ve ilerleme miktarı arttıkça takım üzerindeki sıcaklığında arttığını belirlemişlerdir. En yüksek takım sıcaklığının 118° helis açısında meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Delme işlemi boyunca termal etkiyi azaltmak için 82° helis açısında olan takımın kullanılmasını önermişlerdir [11].

2.2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR

Özçelik ve Bağcı (2005), AISI 1040 ve Al7075-T651 malzemelerine delme işlemleri uygulayarak, TiAlN kaplamalı helisel matkap üzerinde oluşan sıcaklıkları gözlemlemişlerdir. Araştırmalarında, Taguchi yöntemini (L₉) kullanmışlar ve deneysel ve nümerik olarak elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, AISI 1040 çeliği için 955 dev/dak'da, her bir ilerleme miktarında (0,08, 0,12, 0,16 mm/dev) ve Al7075-T651 malzemesi için 1910 dev/dak'da her bir ilerleme miktarında (0,1, 0,15, 0,20 mm/dev) sıcaklık artışının olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, yapılan kuvvet analizinde ise devir sayısı ve ilerleme miktarının artmasıyla doğru orantılı bir şekilde kuvvetinde arttığını görmüşlerdir. Sonlu elemanlar

yöntemine göre yapılan nümerik analizler ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve aralarında iyi bir benzerlik olduğu vurgulanmıştır [12].

Kheireddine vd., Mg AZ31b malzemesi üzerinde deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile delme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar bu işlemde, soğutma açısından kriyojenik sıvı nitrojen kullanarak elde edilen delik oluşumlarının yüzey sertlik değerlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Kesici takım olarak AISI 1075 ve %15 kobalttan oluşan bir takım malzemesi kullanmışlardır. Deneysel ve nümerik çalışmalardan oluşan delme işlemleri hem soğutmasız hem de kriyojenik sıvı nitrojenli ortamlarda yapılmıştır. Kriyojenik sıvı nitrojen kullanılan delme işleminde, soğutmasız delme işlemine göre daha az itme kuvveti sergilediğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar sıvı nitrojen ile soğutma işleminin ürün maliyetini azaltma noktasında önemli bir faktör olduğuna dikkat çekmişlerdir. Sertlik değerleri noktasında sonlu elemanlar yönteminde DEFORMTM yazılımını kullanmışlardır. Sabit devir sayısında (512 dev/dak) ve 0,05, 0,1, 0,2 mm/rev ilerleme miktarlarında deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Her bir deney sonucunda sıvı nitrojen soğutmalı ortamın soğutmasız ortama göre sertlik değerlerinin daha yüksek çıktığını saptamışlardır [13].

Han ve Wu (2010), AISI 1045 ve Ti6Al4V malzemelerine sonlu elemanlar yöntemi kullanarak delme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, analizleri 0,056, 0,112, 0,224 mm/rev ilerleme miktarlarında ve 6,7, 10,7, 17 m/dak kesme hızlarında yapmışlardır. Third Wave Advantedge programında, 17 m/dak ve 0,224 mm/rev parametrelerinde sıcaklık değerlerini AISI 1045 için 321 °C ve Ti6Al4V için 449 °C bulurken, deneysel yöntemle sırasıyla 311 °C ve 410 °C olarak ölçmüşlerdir. Tahmini tork değerleri ise 17 m/dak kesme hızı ve 0,112 mm/rev ilerlemede, AISI 1045 için 2,6 Nm, Ti6Al4V için 2,4 Nm olarak, deneysel yöntemle sırasıyla 2,2 Nm ve 2,0 Nm olarak tespit edilmiştir. Aynı şartlarda, itme kuvvetleri ise sırasıyla 1020 N ve 1150 N olarak tahmin edilirken ve deneysel çalışma ile 814 N ve 974 N olarak ölçülmüştür. Araştırmacılar tahmini sonuçların deneysel sonuçlardan daha yüksek çıktığını, fakat bazı gerçek koşulların ihmal edildiğini vurgulamaktadır. Nümerik ve deneysel çalışma arasındaki hata payının %20'nin altında olduğunu belirtmişlerdir.

Sonlu elemanlar yönteminin delme işlemi için kullanılabilir bir araç olduğunu belirtmişlerdir [14].

Su vd. (2015), titanyum alaşımlı malzemenin DEFORM 3D programında sonlu elemanlar yöntemine dayalı delme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kesici takım malzemesi olarak karbür matkap seçilmiştir. İlerleme miktarlarını 0,08, 0,012, 0,16 mm/rev ve kesme hızlarını 9,42, 11,3, 13,19 m/dak olarak belirlemişlerdir. Sonlu elemanlar analizi neticesinde, ilerleme miktarının itme kuvveti, maksimum takım sıcaklığı ve moment üzerindeki etkisinin kesme hızından daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, Ti6Al4V malzemesinin delinmesinde en düşük ilerleme miktarı (0,08 mm/rev) ve en yüksek kesme hızının (13,19 m/dak) en uygun parametreler olduklarını tespit etmişlerdir [15].

Ahmeed (2014), DEFORM 3D sonlu elemanlar analiz programı kullanarak işlem parametrelerinin itme kuvveti ve moment üzerinde oluşan etkilerini incelemiştir. İş parçası olarak Ç 2080 malzemesi kullanılmış ve nümerik analizlerden elde edilen sonuçları doğrulamak için deneyler gerçekleştirmiştir. Tungsten karbür kaplamalı matkap ile farklı seviyelerde ilerleme miktarı (0,125, 0,176, 0,25, 0,352 mm/rev) ve devir sayısı (360, 700, 1000, 1400 dev/dak) kullanarak deneyler yapılmıştır. Araştırmacı, devir sayısının 360 dev/dak'dan 1400 dev/dak'ya arttıkça itme kuvveti üzerinde bir artış olduğunu tespit etmiş ve ilerleme miktarının kesme hızına göre itme kuvveti üzerinde daha belirgin bir etki bıraktığını saptamıştır. İlerleme miktarı ve devir sayısı arttıkça moment değerinin arttığı, düşük devir sayısında ilerleme miktarının önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Fakat, devir sayısı arttıkça ilerleme miktarının moment üzerinde ciddi bir etkisinin olduğu gözlemlenmiştir [16].

Gök vd. (2013), AISI 1040 malzemesine deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle delme işlemi uygulanmasında oluşan moment ve itme kuvvetlerini incelemiştir. Elde edilen deneysel ve nümerik analiz sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Kesici takımı (HSS), farklı helis açılarında (20°, 25°, 30°), uç açısı 118° ve çapı 10 mm olarak belirlemişlerdir. Deneylerde, üç farklı kesme hızı (18, 22, 28 m/dak) ve ilerleme miktarı (0,1, 0,2, 0,3 mm/rev) kullanmışlardır. İlerleme miktarının 0,1 mm/rev ve kesme hızının 18 m/dak olduğu değerlerde tahmin edilen itme kuvvetinin ölçülen

itme kuvvetinden %0,38 daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. İlerleme miktarının 0,1 mm/rev, kesme hızının 18 m/dak ve helis açısının 30° olduğu parametrelerde ortalama tahmini moment değeri 18 Nm bulunurken, deneysel olarak ölçülen moment değerini 18,86 Nm olarak bulmuşlardır. Her bir helis açısında (20°, 25°, 30°) kesme hızı arttığında itme kuvvetinin ters orantılı bir şekilde azaldığını saptamışlardır. Araştırmacılar, bu sonucu kesme hızının artması sonucu sıcaklığında artmasıyla doğru orantılı bir şekilde malzeme dayanımındaki azalmaya atıf etmişlerdir [17].

Davoudinejad ve Tosello (2017), Al2024-T3 malzemesi üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle delme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sonlu elemanlar analiz programı olarak Third Wave Advantedge analiz programını kullanmışlardır. Deneylerde, 4 yönlü helisel yüksek hız çeliği (HSS) ve 2 yönlü helisel kobaltlı yüksek hız çeliği (HSS-Co) takımlar kullanılmıştır. Delme simülasyonları her iki takım için farklı kesme koşullarında yapılmıştır. Nümerik ve deneysel sonuçlardan elde edilen itme kuvvetleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Nümerik analizler ile talaş kesit alanındaki takım gerilme dağılımları, talaş oluşumları ve sıcaklık dağılımlarını belirlemişlerdir. Delme işleminde kullanılan SEY'in avantajını ve kullanılabilirliğini doğrulamışlardır [18].

Doomra vd. (2014), Al1100/10% SiC metal matris kompozit malzemesinin delme işlemini farklı devir sayısı (900, 1800, 2700 dev/dak) ve ilerleme miktarında (0,12, 0,18, 0,30 mm/dev) gerçekleştirerek, belirlenen parametrelerin itme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Johnson Cook malzeme modeli iş parçasına uygulanmış ve 8 mm çapında yüksek hız çeliği (HSS) delici takım olarak kullanılmıştır. 1800 dev/dak devir sayısında, ilerleme miktarı 0,12 mm/dev'den 0,18 mm/dev ve 0,30 mm/dev'e kademeli olarak çıkarıldığında itme kuvveti artışlarının sırasıyla %24 ve %29 olarak tespit etmişlerdir. İlerleme miktarı ve kesme hızının artması ile doğru orantılı olarak itme kuvvetinin de arttığını saptamışlardır. Al1100/10 %SiC metal matris kompozitin düşük devir sayısı ve ilerleme miktarında delinmesinin uygun olduğunu vurgulamışlardır [19].

Li ve Sihih, Ti6Al4V malzemesi üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel olarak delme işlemini uygulamışlardır. Araştırmacılar, sıcaklık, itme kuvveti ve Von Mises gerilmelerini incelemişlerdir. En yüksek sıcaklık 183 m/dak kesme hızında, 0,051 mm/dev ilerleme miktarında ve kuru delme koşullarında 1240 °C olarak belirlenirken, aynı delme parametrelerinde ve kesme sıvısı kullanıldığında ise sıcaklık 1130 °C olarak belirlenmiştir. Kesme hızı azaltılıp ilerleme miktarı artırıldığında, kesme sıvısı altında en yüksek sıcaklık değerinin 1090°C'den 960°C'ye düştüğünü ve en yüksek Von Mises gerilmesinin ise 2200 MPa'dan 3300 ve 4600 MPa'ya çıktığını tespit etmişlerdir [20].

Muhammad vd. (2010), AISI 1010 çeliğinin delinmesinde, ilerleme miktarı, kesme hızı ve yağlamanın itme kuvveti, moment ve sıcaklık üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalar neticesinde, yağlayıcı kullanılmayan durumlarda itme kuvvetinin %13 arttığı, ilerleme miktarının artması ve yağlayıcı kullanılmasıyla moment değerinin %8, yağlayıcı kullanılmayan durumda ise %12 arttığını saptamışlardır. Bir diğer parametre olan kesme hızının artmasıyla itme kuvvetinin %5 ve moment değerinin ise %6 arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, kesme hızı ve ilerleme miktarının sıcaklık üzerindeki etkilerini ise ilerleme miktarı arttıkça %8,5, kesme hızının artmasıyla %15 oranında arttığını gözlemlemişlerdir. İlerleme miktarının itme kuvveti ve tork üzerinde baskın bir etkiye sahip olduğunu, kesme hızının ise sıcaklık üzerinde daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemiyle yağlama parametresi kullanılarak itme kuvvetinin ve moment değerinin önemli derecede azaldığını da ortaya koymuşlardır [21].

Guo ve Dornfeld (2000), AISI 304L paslanmaz çeliğin delme işleminde ortaya çıkan çapak oluşumlarını sonlu elemanlar yöntemiyle (FEM) araştırmışlardır. Delme işleminde çapak oluşumunu analiz etmek için malzeme sünekliğinin kırılma ölçütü esas alınmış ve bu oluşum dört aşama (başlangıç, gelişme, döngül nokta ve çapak oluşum) olarak ayrılmıştır. Çapak kalınlığı işlenmiş yüzey ile döngül nokta (pivot point) arasındaki mesafe ile belirlenmiştir. Araştırmacılar, çapak oluşum sürecinde negatif kesme ve bükülme mekanizmalarının sonlu elemanlar yöntemiyle baskın bir etkiye sahip olduklarını göstermişlerdir. Simülasyon sonuçlarından elde edilen çapak geometrisinin görüntü açısından benzerliğini doğrulamışlardır [22].

Gao vd. (2010), Cr18Ni9Ti paslanmaz elik malzemesine sonlu elemanlar yöntemiyle (DEFORM-3D) birlikte delme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada helisel matkap kullanılmış ve işleme ıktıları olan kesme kuvveti, sıcaklık ve moment üzerinde incelemelerde bulunmuşlardır. Araştırmacılar, kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvveti ve momentin arttığını tespit etmişlerdir. Takım apı ve ilerleme miktarının kesme kuvvetinde büyük bir etkiye sahip olduğunu, kesme hızının ise moment ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin çok az olduğunu saptamışlardır. En yüksek sıcaklığın takım ve talaş arasındaki temas ara yüzünde meydana geldiğini belirtmişlerdir [23].



BÖLÜM 3

PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, bünyesinde en düşük %10,5 krom (Cr) içeren demir bazlı malzeme grubu olarak bilinmektedir. Bu malzemelerin yüzey kısımlarında meydana gelen ince ve kuvvetli krom oksit katmanı yüksek korozyon direnci oluşturarak, malzeme üzerinde oksitlenmenin yayılmasını önlemektedir. Paslanmaz çeliklerin üstünlükleri; korozyon direnci, yüksek ve düşük sıcaklıklarda paslanmaz çelik türüne göre kullanılabilmesi, mekanik mukavemet ve uzun süre dayanıklılık şeklinde belirtilmektedir [24,25].

3.1. PASLANMAZ ÇELİK ÇEŞİTLERİ

Paslanmaz çelikler beş ana başlık altında sınıflandırılmaktadır:

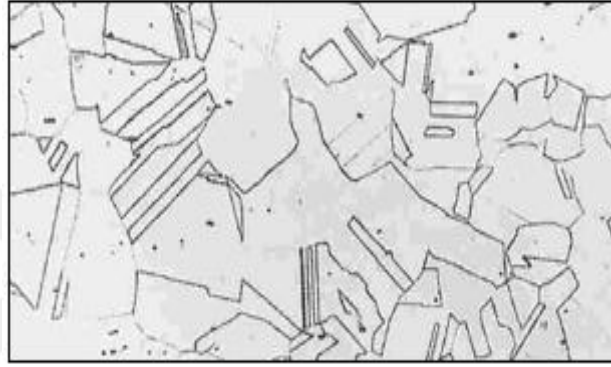
- Östenitik paslanmaz çelikler
- Ferritik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler
- Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler [24].

3.1.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, 200 ve 300 gruplarını kapsayan tür olup, %18 Krom (Cr) ve %8 Nikel (Ni) ana bileşimlerini oluşturmaktadır. Paslanmaz çelik, yapısında uygun miktarda Ni elementine sahipse, östenitik yapı oda sıcaklığında bile meydana gelir. Östenitik çeliklerin manyetik özelliği bulunmayıp, östenitik yapısı değişim sergilemediğinden dolayı sertleştirmek için ısıtılma maruz bırakılmaz. Sadece

soğuk şekillendirme yöntemiyle mekanik dirençleri yükseltilebilir. Östenitik paslanmaz çelikler; şekillendirme, mekanik davranışlar ve korozyon direnci açısından verimli bir çelik yapısı sağlamaktadır. Şekillendirilme ve tokluk özellikleri minimum sıcaklıklarda dahi kusursuzdur [24,25].

Östenitik paslanmaz çelikler, %70'lik dilimle azami tercih edilen çelik türüdür. Bünyesinde var olan AISI 304 cinsi sık bir şekilde kullanılmaktadır. [26].



Şekil 3.1. Östenitik çelik mikro yapısı [25].

Şekil 3.1'de östenitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı gösterilmiş olup, Çizelge 3.1'de fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Östenitik paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri [25].

Fiziksel Özellik	
Elastikiyet modülü (GPa)	195
Yoğunluk (g/cm^3)	8,0
Isıl genleşme katsayısı ($\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$)	16,6
Isıl iletkenlik (W/mK)	15,7
Özgül ısı (J/kgK)	500
Elektriksel direnç ($\mu\Omega\text{cm}$)	74
Manyetik geçirgenlik (H/m)	1,02
Ergime aralığı ($^\circ\text{C}$)	1375-1450

Başlıca Özellikleri:

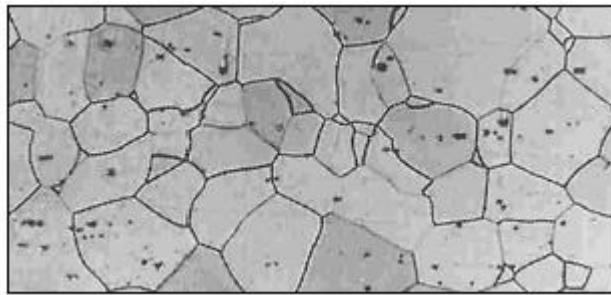
- Yüksek derecede korozyon direnci gösterirler.
- Kaynak yapılabilme noktasında üstün yetenek sergilerler.

- Sünek bir yapısı mevcut olduğu için rahatlıkla biimlendirilebilirler.
- Mekanik zellikleri maksimum sıcaklıklarda oldukça iyidir.
- Tavlanmış durumunda manyetik özelliklere sahip değildirler, mukavemetleri yalnızca pekleşme ile yükseltilebilir [25].

3.1.2. Ferritik Paslanmaz elikler

Ferritik paslanmaz elikler, %11,5-30,5 Cr, %0,20'ye kadar C ve düşük miktarda Al, Nb, Ti ve Mo gibi ferrit dengeleyici elementler içerir. Bunlar, her sıcaklıkta ferrit yapıda olup, bu nedenle östenit oluşturmazlar ve ısıl işlem ile sertleştirilemezler. Bu grupta yer alan çeşitlerin başında 405, 409, 430, 442 ve 446 gelmektedir. Krom oranının yükselmesi ile birlikte orta-iyi seviyedeki korozyon direnci yükselir. Ferritik paslanmaz çeliklerin önemli karakteristik unsuru; kaynak işleminde ve sıcaklık etkisi altında meydana gelen ve kaynak dikişinin tokluğunun azalmasına sebebiyet veren tane büyümesidir [24,25].

Bu grup çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldığında daha ucuzdur, ayrıca korozyon dayanımı noktasında iyi bir davranış sergilediğinden dolayı tercih edilebilmektedirler [26]. şekil 3.2'de östenitik paslanmaz çeliğinin mikro yapısı gösterilmiş olup, izelge 3.2'de ise fiziksel özellikleri verilmiştir.



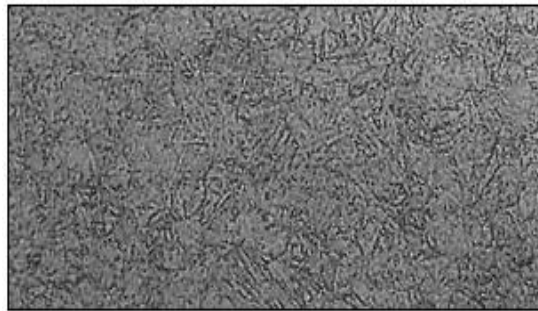
şekil 3.2. Ferritik elik mikro yapısı [25].

Çizelge 3.2. Ferritik paslanmaz çeliğinin fiziksel özellikleri [24].

Fiziksel Özellik	
Elastikiyet modülü (GPa)	200
Yoğunluk (g/cm^3)	7,8
Isıl genleşme katsayısı ($\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$)	10,4
Isıl iletkenlik (W/mK)	25,1
Özgül ısı (J/kgK)	460
Elektriksel direnç ($\mu\Omega\text{cm}$)	61
Manyetik geçirgenlik (H/m)	600-1100
Ergime aralığı ($^\circ\text{C}$)	1425-1530

3.1.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik çelikler, maksimum yüksek sıcaklıkta süratli bir şekilde soğutularak, östenit yapının martenzit yapıya ulaşması sonucunda meydana gelir. Bu grupların yapısında tavlanmış olarak ferrit fazı da mevcuttur. %16 ve %18 oranında Cr bulunan bazı türleri dışında (440A, 440B, 440C), yapılarında maksimum %14 Cr bulunmaktadır. Ayrıca yapısında %0,60 ve %1,20 oranında yüksek karbon (C) bulunduran 440 cinsi hariç, bu grup çeliklerin C değerleri az veya orta seviyededir. Martenzit yapının meydana gelmesi Cr ve C elementlerinin dengelenmesiyle oluşmaktadır. Bünyesine Ni eklenmesiyle tokluk ve korozyon direnci daha iyi noktaya gelmektedir. Bu gruptaki çeliklerin, arzu edilen martenzit yapısına ve niteliklere ulaşması için ısıtılma maruz kalmaları gerekmektedir. Çelik türüne göre 950-1050°C, östenitleme sıcaklığının aralığıdır. Belirtilen sıcaklık değerlerinde çeliğe su verme işlemi uygulanırsa, martenzitik bir yapıya dönüşüm sağlanır. Mekanik özellikler noktasında ana etken C miktarıdır [25]. Şekil 3.3'te martenzitik paslanmaz çeliğinin mikro yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Martenzitik çelik mikro yapısı [25].

Düşük C miktarı ile birlikte temperleme işlemi görmüş martenzitik alaşımlar, rahat işlenebilen çeliklerdir. Yapısında sülfür (S) elementi işlenebilirliğini yükseltirken, karbon değerinin artmasıyla sertliğin yükselmesine sebebiyet verecektir. Bundan dolayı artan C değeri takım ömrünü azaltarak işlenebilirlik noktasında verimin düşmesine neden olacaktır. Bu çeliklerin sertlik değerinin fazla olması, işlenebilirlik noktasında (yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım ömrü) olumsuz olarak etkilenmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, bu çeliklerin işlenmesinde kaplamalı veya kaplamasız kesici takımlardan faydalanılmaktadır [27]. Çizelge 3.3'te martenzitik paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Martenzitik paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri [24].

Fiziksel Özellik	
Elastite modülü (GPa)	200
Yoğunluk (g/cm ³)	7,8
Isıl genleşme katsayısı (µm/m°C)	10,3
Isıl iletkenlik (W/mK)	24,2
Özgül ısı (J/kgK)	460
Elektriksel direnç (µΩcm)	61
Manyetik geçirgenlik (H/m)	700-1000
Ergime aralığı (°C)	1425-1530

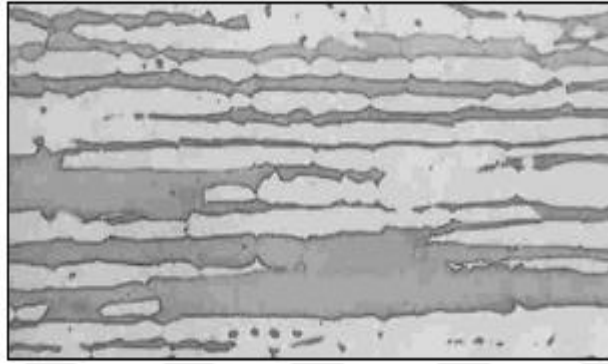
Martenzitik paslanmaz çelikler, kalitelerine göre tavlama ya da ıslah işlemi görmüş bir şekilde endüstriyel imalat alanında bulunmaktadır. Tavlama işlemi uygulanmış olarak temin edilen bu çelikler, istenilen şekle sokulduktan sonra üzerinde ıslah işlemi (su verme+temperleme) gerçekleştirilmektedir. Burada önemli unsurlardan birisi temperleme sıcaklığı olup, farklı temperleme sıcaklıkları altında malzememe özellikleri değişkenlik göstermektedir. Önerilen ısı işlem sıcaklık değerleri dikkate alınarak, iyi korozyon direnci sağlamak mümkündür [25].

3.1.4. Çift Fazlı (dubleks) Paslanmaz Çelikler

Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler, ferrit ve östenit yapılarının birleşimiyle ortaya çıkan ve Latin dilinde “iki bölümden meydana gelen” anlamını taşımaktadır. Süneklik, korozyon direnci ve tokluk özelliklerini bünyesinde barındırdığı östenit yapısından alırken, mekanik mukavemeti ile yüksek gerilim korozyon dayanımını

ferrit yapısından almaktadır. Ferrit yapının katılaşması esnasında meydana gelebilecek termal çatlakların önlenmesi gerekmektedir. Bu noktada dubleks paslanmaz çeliğe az oranda S (kükürt) ve P (fosfor) ilavesi yapılmaktadır [28].

Bu çelik türlerinin diğerlerine oranla karşılaştırıldığında, yüksek mekanik özelliği ön plana çıkmaktadır. Bu sayede kullanım alanına göre daha fazla ince kesitli parçalardan faydalanılmasına fırsat vermektedir [29]. Şekil 3.4'te çift fazlı (dubleks) çeliğinin mikro yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çift fazlı (dubleks) çeliğinin mikro yapısı [25].

Çift fazlı paslanmaz çelikler, yarı yarıya ferrit ve östenitten oluşmaktadır. Yapısında barındırdığı yüksek mekanik özelliği ve korozyon direnci sayesinde, gemicilik ve petrokimya alanlarında kullanılır [29]. Çizelge 3.4'te çift fazlı (dubleks) çeliğe ait nominal mekanik özellikler gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Çift fazlı (dubleks) çeliğin nominal mekanik özellikleri [24].

Çelik Türü	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı %0,2 (N/mm ²)	Uzama (%)
2205	827	448	25
2304	758	414	25
255	758	552	15
2507	800	550	15

3.1.5. Çökelme İle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Çökelme ile sertleşme özelliği kazanan paslanmaz çelikler, martenzitik, yarı-östenitik ve östenitik olarak sınıflandırılmaktadırlar [24]. Çökelme sertleşmesi gerçekleştirilen çelikler iyi süneklik ve tokluk kabiliyeti ile orta-iyi korozyon direnci kabiliyetine sahiptir [30]. Çizelge 3.5'te çökelme ile sertleşebilen çeliklere ait fiziksel özellikler belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Çökelme ile sertleşebilen paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri [24].

Fiziksel Özellik	
Elastite modülü (GPa)	200
Yoğunluk (g/cm ³)	7,8
Isıl genleşme katsayısı (µm/m°C)	10,3
Isıl iletkenlik (W/mK)	24,2
Özgül ısı (J/kgK)	460
Elektriksel direnç (µΩcm)	61
Manyetik geçirgenlik (H/m)	700-1000
Ergime aralığı (°C)	1425-1530

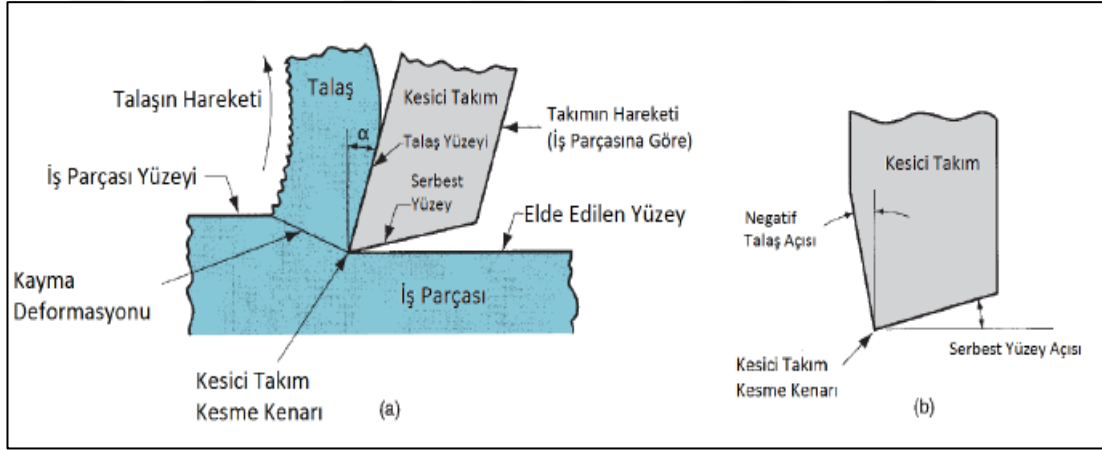
Çökelme sertleşmesi yapılan çelikler, yaklaşık 1700 MPa'ya varan akma dayanımı göstererek, mekanik özellikleri noktasında yüksek bir davranış sergilemektedir. Ayrıca, soğuk şekillendirme ve yaşlandırma işlemleriyle akma dayanımının artırılabilmesi mümkündür. Genel olarak yararlanılan cinsi 630 kalite paslanmaz çeliktir [25].

BÖLÜM 4

TALAŞLI İMALAT VE DELME İŞLEMİ

4.1. TALAŞLI İMALAT

İmalat teknolojisinde ulaşılması istenilen düşük maliyet, kalite ve verimli yöntemleri ortaya çıkarmak ana hedeflerdir. Talaşlı imalatta dikkat edilmesi gereken birçok etken bulunmaktadır. Genel olarak; ürün geometrisi, malzeme cinsi ve mekanik özellikler bu noktada önemli bir etki oluşturmaktadır. Bu etkenler incelenip en uygun işleme teknikleri belirlenebilmektedir. Talaşlı imalat ile tasarlanan ürünleri arzu edilen ölçülere ve şekle getirerek nihai ürünler ortaya çıkarılmaktadır [31]. Talaş kaldırma yönteminin temel görünümü Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Talaş kaldırmanın temel gösterimi; a) Talaşın kesit görünümü pozitif talaş açılı kesici takım, b) Negatif talaş açılı kesici takım [32].

Talaşlı imalat, kesici takımın belirlenen parametreler çerçevesinde iş parçasına teması ve arzu edilmeyen malzemenin iş parçası üzerinden kaldırılması söz konusudur. Bu işlemde, talaş oluşumu için iş parçası üzerinde kayma deformasyonu gerçekleştirilir ve bu sayede talaş oluşumu gerçekleştikçe işlenmiş yeni yüzeyler

ortaya çıkmaktadır. Metal şekillendirmek için en sık kullanılan imalat tekniği talaşlı imalattır [32].

Talaş kaldırma yöntemlerinde torna, freze ve matkap gibi farklı tezgahlar kullanılmaktadır. Tezgahlar üzerinde kesici takım ya da iş parçasının belirli bir devirde dönmesi sağlanmaktadır. Bu noktada doğru kesici takım ve parametrelerin seçimi büyük önem arz etmektedir. Uygun seçilmeyen işleme parametreleri, kesici takımın aşınmasına, kırılmasına ve iş parçasında deformasyon gibi ekonomik zararlara sebebiyet vermektedir [33].

Talaşlı imalat, nihai ürünün oluşturulması noktasında son derece önemli bir etkiye sahiptir. Bu tekniğin önemini oluşturan bazı etkenler aşağıda belirtilmiştir.

İş parçası çeşitliliği:

Talaşlı imalat tekniğinde iş parçası olarak çeşitli malzemeler ve tüm metaller işlenebilmektedir. Ek olarak, plastikler ve plastik esaslı kompozitler talaşlı imalat ile şekillendirilebilmektedir. Yüksek sertlik ve gevrekliğinden dolayı seramikler bu noktada sorun teşkil edebilirler. Fakat çoğu seramiklere aşındırıcılar ile talaş kaldırma yöntemi uygulanarak kesme işlemi başarıyla gerçekleştirilebilir [32].

Parça Şekilleri ve Geometrik Unsurların Çeşitliliği:

Talaşlı imalat vasıtasıyla, birçok tasarlanmış parçaların istenilen boyutlarda ve yüzey kalitesinde oluşturulması, takım geometrisine tanımlamalar yapılarak vida dişi ve T-kanal gibi karmaşık unsurlu parçaların elde edilmesi mümkündür [32].

Hassas Boyutlandırma:

Talaşlı imalat sayesinde çok hassas ölçülerde parça yapılabilir ve $\pm 0,025$ mm toleransında boyutlandırmalar gerçekleştirilebilir. Diğer tekniklere göre, daha yüksek hassasiyet özelliğine sahiptir [32].

İyi Yüzey Kalitesi:

Talaşlı imalat tekniği, iyi kalitede yüzey oluşumunu sağlamaktadır. Bu teknik ile yüzey pürüzlülük değerini $0,4\ \mu\text{m}$ 'den daha az değerlere ulaştırmak imkan dahilindedir. Ayrıca, daha iyi yüzey kalitelerini bazı aşındırıcı talaş kaldırma teknikleriyle de sağlamak mümkündür [32].

Talaşlı imalat yöntemleri temel olarak üç ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar, tornalama, frezeleme, delme işlemi olarak bilinmektedir.

4.2. DELME İŞLEMİ

Delik delme işlemi, yaygın olarak kullanılan talaş kaldırma tekniklerinden bir tanesidir. Bu işlemde kesici takım olarak kullanılan matkap, belirli bir devir sayısı ve ilerleme hızında iş parçasına temas ederek talaş kaldırma işlemi (delme veya delik genişletme) gerçekleştirir. Diğer talaş kaldırma teknikleri (tornalama ve frezeleme) ile karşılaştırıldığında, işlem basamaklarının ve parametrelerin aynı mantıkta olduğu görülmektedir [34,35]. Şekil 4.2'de delme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Delme işlemi [36].

Delik delme işleminde, belirli parametreler çerçevesinde iş parçası üzerinden talaşın dışarıya çıkarılması son derece önemlidir. Delinmesi planlanan iş parçasının kalınlığı arttıkça, delme işlemi etkili bir şekilde kontrol altına almakta güçleşir [35].

Delme işleminden sonra, oluşturulan delik üzerinde bazı işlemler yapmak mümkündür. Bunlardan bazıları; raybalama, diş açma ve havşa açma gibi son işlem olarak bilinen uygulamalardır [35,36].

Raybalama:

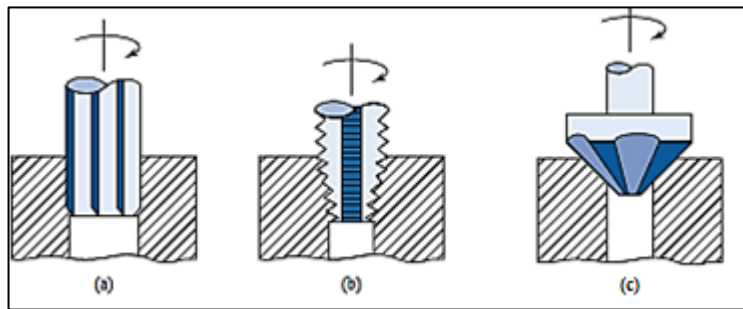
Delme işleminden sonra ortaya çıkan deliğin ince işlemi olarak tabir edilmektedir. Raybalama işlemi, oluşturulan deliğe yüksek yüzey kalitesi ve tolerans kazandırır [35,36]. Şekil 4.3(a)'da raybalama işlemi gösterilmiştir.

Diş açma:

Diş açma işlemi, önceden oluşturulmuş deliğin iç kısmına diş açılmasıdır [36]. Şekil 4.3(b)'de diş açma işlemi gösterilmiştir.

Havşa açma:

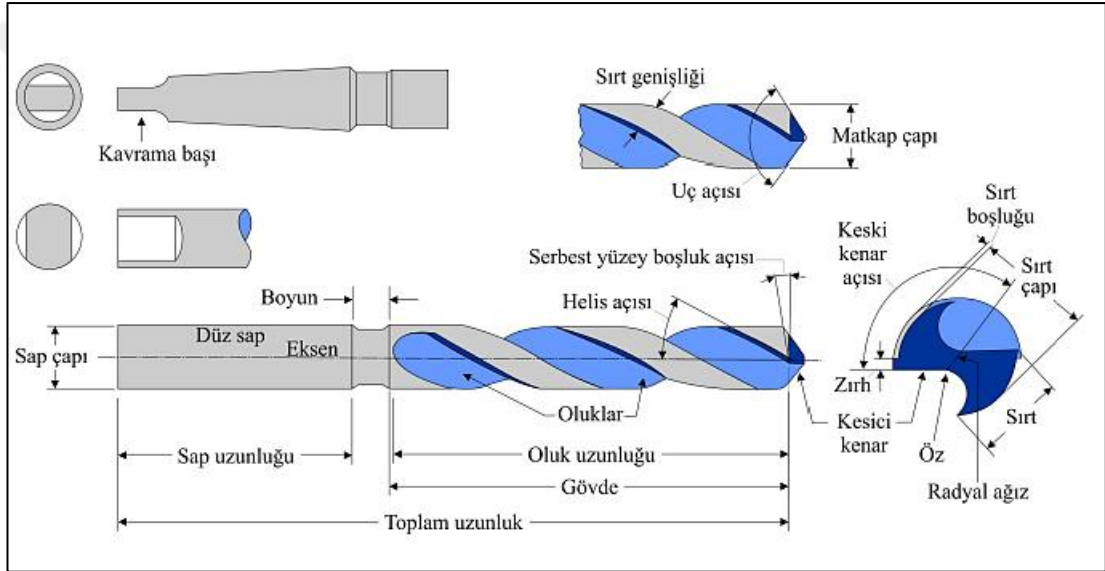
Havşa açma işlemi, vidaların rahat bir şekilde konumlandırılması için delik üzerine açılı yuvaların oluşturulması olarak bilinmektedir [36]. Şekil 4.3(c)'de havşa açma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Delmeden sonra yapılan bazı işlemler [36].

4.2.1. Delme İşlemi Mekanîği

Talaşlı imalatta işleme performansına etki eden başlıca faktörler; kesme parametreleri, takım malzemesi ve geometrisi, işlenen malzemenin metalürjik yapısı, kesme işleminin gerçekleştirildiği tezgah özellikleri vb. olarak sıralanabilir. Bu faktörler diğer işleme tekniklerinde olduğu gibi delik delme işleminde de etkilidir [37]. Bu noktada, delme işleminde kesici takım geometrisinin uygulanan parametreler çerçevesinde etkin bir rol oynadığı söylenebilir. Delme işleminde kullanılan kesici takım (matkap) ve geometrik tanımlamaları Şekil 4.4 'te verilmiştir.



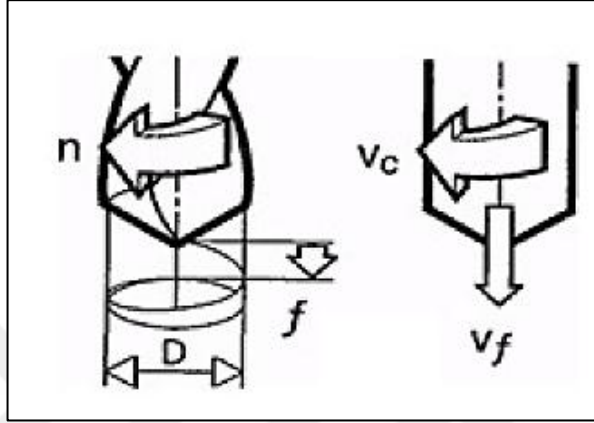
Şekil 4.4. Kesici takım ve geometrisi [37].

Delme işlemlerinde temel hareket, takımın kendi eksenini etrafında belirli bir devirle yaptığı dönme hareketidir. Temel hareketi oluşturan devir sayısı (n) bir dakikada atılan tur olarak tanımlanmaktadır. Delme işlemi için kesme hızı (V_c), Çevresel hızdan yararlanılarak belirlenir, bu hız dakikadaki devir sayısı bilindiğinde kolaylıkla hesaplanabilir [38].

$$V_c = \pi \times D \times n / 1000 \text{ [m/dak]} \quad (3.1)$$

$$V_f = f \times n \text{ [mm/dak]} \quad (3.2)$$

İlerleme hızı (V_f) birim zamanda alınan yol olarak tanımlanır ve takımın iş parçasına göre veya alternatif olarak iş parçasının takıma göre ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tezgâhın veya tablanın ilerleme hızı olarak bilinir. Devir başına ilerleme (f , mm/dev) ilerleme hızını hesaplamak için kullanılan bir büyüklük olup, takım veya iş parçasının bir devirdeki ilerlemesidir (Şekil 4.5) [38].

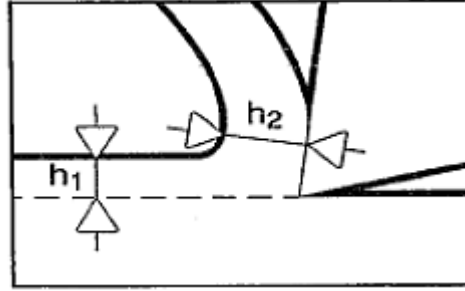


Şekil 4.5. Kesme hızı ve ilerleme hızının gösterimi [38].

Yüksek ilerleme hızı; iyi talaş kontrolü, daha düşük kesme süresi, daha düşük takım aşınması sağlamak ve daha yüksek matkap kırılması riskine, delik kalitesinin kötüleşmesine sebebiyet vermektedir. Düşük ilerleme hızı ise daha uzun talaşlar, yüzey kalitesinde iyileşme, takım aşınmasında daha hızlı artış sağlamaktadır. Yüksek kesme hızı; matkap üzerinde hızlı serbest yüzey aşınmasına, kesme kenarlarında plastik deformasyona, düşük delik kalitesine yol açabilir. Çok düşük kesme hızı ise matkap üzerinde yığıntı talaş oluşumuna ve talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine zemin hazırlar [37].

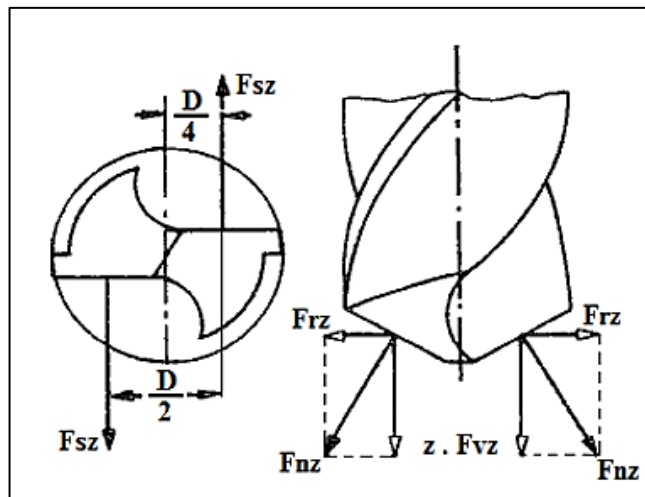
Normal delik delme işleminde kullanılan matkapların birçoğunda iki talaş kanalı ve iki kesici kenar vardır. Meydana gelen talaşlar, delik içerisinden helis kanalları vasıtasıyla tahliye edilir. Bu işlem, matkaplarda kesme sıvısının takım içerisinde bulunan mikro kanallar sayesinde kesme bölgesine ulaştırılması sonucunda gerçekleştirilir. Talaş oluşumu iş parçası, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kesme sıvısı gibi parametrelerden farklılık göstermektedir. Genelde ilerleme hızının artması veya kesme hızının azalması kısa talaş oluşumunu sağlar. Delme işleminde oluşan talaşın sorunsuz bir şekilde takımın kesici kenarlarından uzaklaştırılması,

talaşın makul bir boyuta olduğunun göstergesidir. Talaş sıkışması matkabın yanıl hareketine sebep olabilir ve delik kalitesini, matkap ömrünü ve emniyetini ya da kesici uç kırılmalarını tetikleyebilmektedir. Delme işlemi sırasında talaş, plastik deformasyona uğrayarak ilk halinden ayrı bir forma bürünerek iki durum arasında kalınlık farklılıkları meydana gelir. Şekil 4.6’da deformasyona uğramış talaş kalınlığı (h_2) ve teorik talaş kalınlığı (h_1) gösterilmiştir [38].



Şekil 4.6. Talaş farklılıkları [39].

Delme sırasında bir ağıza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri, yani kesme kuvveti F_{sz} , ilerleme kuvveti F_{vz} , radyal kuvveti F_{rz} ve bileşke kuvvet F_{nz} Şekil 4.7.’de gösterilmiştir. Şekil 4.7’den görüldüğü gibi kesici ağızların konumu itibariyle her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Bu sebeple delme işleminde sadece F_s ve F_v kuvvetleri etki göstermektedir [40].



Şekil 4.7. Delme işleminde kesme kuvvetleri [41].

4.2.2. Matkap Malzemeleri

Talaşlı imalattaki gelişmeler, üretim açısından farklı malzemelerin kullanılmasını, tezgahların ve kesici takımlarında sürekli gelişmesini tetiklemektedir. Talaşlı imalat tekniğinde işlenecek malzemenin cinsine ve arzu edilen hassasiyete göre, kesici takımlar farklılık göstermektedir. İş parçalarının işlenmesinde kullanılan kesici takımlar, yüksek kaliteli ve gelişmiş malzeme gruplarından üretilmektedir. İşlenecek parçanın özellikleri, kullanılacak kesici takım malzemelerine sınıflandırmalar getirdiği gibi, takımın kullanım şartları da takım malzemesinin seçimini büyük oranda etkilemektedir. Kesici takım malzemelerinde istenen özellikler sertlik, sıcak sertlik, aşınma direnci, tokluk ve maliyet açısından uygun olması olarak sıralanabilir [40].

Kesici takım malzemelerinin seçimi talaşlı imalat işlemlerinde en önemli faktördür. Metal işleme sanayinde vazgeçilmez bir yeri olan delme işleminde, çeşitli kesici takım malzemeleri kullanmak mümkündür. Genel olarak takım malzemeleri üç ana grupta metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı takım malzemeleri olarak toplanmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan matkap malzemeleri ise yüksek hız çelikleri (HSS) ve sementit karbürlerdir [40].

Sementit karbürler, yüksek elastikiyet modülü, yüksek ısı iletkenlik, düşük ısı genleşme ve geniş bir sıcaklık aralığında sahip olduğu yüksek sertlik özelliğiyle birçok uygulama alanları için önemli ve ekonomik açıdan uygun takımlardır. HSS matkaplara göre daha yüksek devirlerde ve daha sert malzemelerde kullanılabilmektedirler. Aşınma direncinin ve termal dayanımının yüksek olmasından dolayı karbür takımlar oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Karbür kesici takımların genel avantajları; uzun takım ömrü, daha iyi kaplanabilme, yüksek kalite ve iyi yüzey sağlaması şeklinde sıralanabilir [40].

İşleme için kullanılan karbür takımları tungsten karbür (WC) ve titanyum karbür (TiC) olarak iki ana grupta toplanmaktadır. Tungsten karbürün mevcut kobalt miktarının artırılmasıyla takım özellikleri ciddi derecede etkilenmektedir. Artan kobalt miktarı tokluğu artırırken, sertlik, aşınma direnci ve dayanımı azaltmaktadır.

Titanyum karbür ise tungsten karbürden daha yüksek aşınma direncine sahiptir, ancak sert değildir [42].

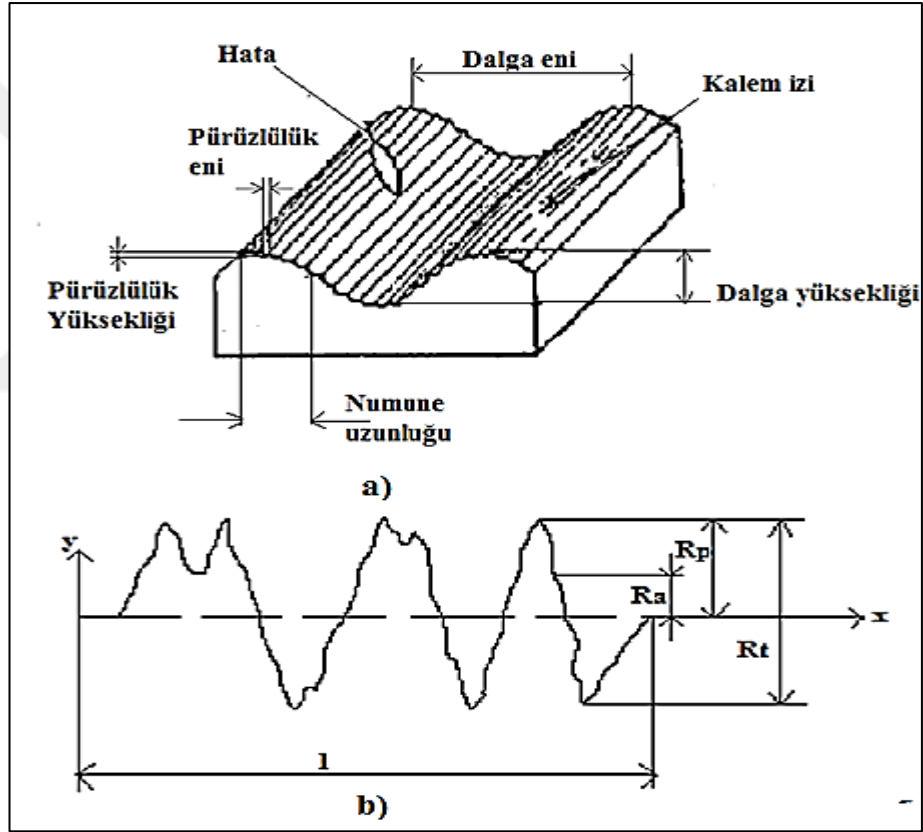
Yüksek hız çelikleri yeteri derecede C ve yüksek oranda alaşım elementlerinden oluşmakta ve geleneksel ergitme yöntemi ile değişik kompozisyonlarda üretilebilmektedir. Alaşım elementlerinden büyük bir çoğunluğu karbür halinde malzeme bünyesinde dağılmış durumdadır. Bu karbürlerin bir kısmı yüksek sıcaklıkta çözünmezler ve çalışma sıcaklıklarında sertliklerini kaybetmezler. Sahip olduğu yüksek sertlik ve kırılmalara karşı yüksek direnciyle rayba ve matkap gibi karmaşık takımlarda kullanılması uygundur. Yüksek hız çelikleri, takım çeliklerine göre yüksek ısıya karşı direnç gösterebilme (600°C) ve daha yüksek sertliğe ulaşabilme (62-67 HRC) özelliklerine sahiptir. Bu özellikler ana yapıdaki karbürlerin sayısına ve dağılımına bağlıdır. Yüksek hız çeliğini; wolfram içeren, molibden içeren ve wolfram-molibden içeren olarak üç grupta toplamak mümkündür [40].

Yüksek hız çeliği istenilen ölçülerde sıcak haddelenebilir veya dövülebilmektedir. Tavlanmış halde iken konvansiyonel talaşlı imalat yöntemleriyle yüksek hız çeliği kolay bir şekilde şekillendirilebilir. Östenitleme (1190-1270 °C) ve genelde üç kere menevişleme (~550 °C) ile yeterli ölçüde tokluk özelliğinin yanı sıra yüksek mukavemet ve sertlik (3750 HV) özelliklerine sahip olurlar. Düşük sıcak sertliklerinden dolayı en önemli kısıtlamaları, kesme hızlarının karbür takımlarla karşılaştırıldığında daha düşük olmasıdır [42].

4.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi noktasında göz önünde bulundurulacak en önemli kısıtlardan bir tanesi de işlenen yüzeylerde oluşan yüzey pürüzlülüğüdür. Kaliteli bir yüzey nihai ürünün tribolojik özellikleri, yorulma dayanımı, korozyon direnci ve estetik görünümüne ciddi derecede katkı sağlamaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan imalat yöntemleriyle ve çeşitli etkilerle oluşan ve genelde küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. Yüzey düzensizliği kesici kenar kalitesine, iş parçası malzemesine ve işleme parametrelerine bağlı olarak meydana gelen yüzeyin mikro yapısını temsil etmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ve iç

yüzey kalitesi, birbirleri üzerinde eş zamanlı olarak hareket eden makina parçalarının verimliliği üzerinde önemli rol oynamaktadır. Delik iç yüzeyleri bitirme işlemlerinde birçok problemle karşılaşıldığı için üretim noktasında zaman açısından büyük kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden delik delme işlemlerinde işleme parametrelerine bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi son derece önemlidir [37,43]. Bu hususta, elde edilmiş olan geometrik şekil üzerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü çizgi sistemiyle ölçülebilmektedir. Şekil 4.8’de yüzey kalitesini belirleyen faktörler ve yüzey pürüzlülüğü çizgi sistemi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. a) yüzey kalitesini belirleyen faktörler, b) yüzey pürüzlülüğü çizgi sistemi [44].

Talaş kaldırma işlemiyle elde edilen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki çeşit yüzey sapması ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.8(a)). Dalga, geometrik sapmalar grubundadır ve bu yüzden yüzey kalitesini ana hatlarıyla yüzey pürüzlülüğü belirlemektedir. Şekil 4.8(b)’de belirtilen çizgi sisteminde R_t yüzey pürüzlülüğü derinliğini, R_p yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliğini ve R_a yüzey

pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değerini ifade etmektedir. [41]. Bu değerler, birçok faktörün etkisi altında kalıp değişkenlik gösterebilmektedir. Bu bağlamda, yüzey pürüzlülüğüne etki eden başlıca faktörler; kesme hızı, ilerleme oranı, takım kaplaması, kesici takımda meydana gelen titreşimler, kesici takım geometrisi, takım ucuna talaş yapışması, iş parçasındaki yapı bozukluğu olarak sıralanabilir [44].



BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, iş parçası olarak belirlenen AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzeme üzerinde kaplamasız ve kaplamalı karbür kesici takım (matkap) ile farklı kesme hızı ve ilerleme miktarı kullanılarak delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kesme parametreleri doğrultusunda ortaya çıkan işleme çıktılarının (itme kuvveti ve moment) deneysel ve sonlu eleman yöntemi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca, itme kuvveti, moment ve delik yüzeylerinde oluşan pürüzlülüklerin kesme parametrelerine göre değişimi deneysel ve istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

5.1. DENEY MALZEMESİ

Delme deneylerinde iş parçası malzemesi olarak AISI 430 kalite çelik kullanılmış olup, bu malzeme %16-18 Cr ve en fazla %0,12 C elementini içeren temel kalite ferritik paslanmaz çeliktir. Mekanik özellik bakımından standart değerlere sahip olup, endüstriyel alanda 1.4016 ve XCr17 gibi farklı tanımlamalarla da bilinmektedir [45]. Çizelge 5.1’de AISI 430 paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. AISI 430 paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri [25].

Fiziksel özellikler	
Elastite modülü (GPa)	220
Özgül ağırlık (g/cm ³)	7,7
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	10
Isıl iletkenlik (W/mK)	25
Özgül ısı (J/kgK)	460
Elektrik direnci (Ωmm ² /m)	0,60
Manyetiklik	Var

Ferritik paslanmaz çelik grubunda yer alan AISI 430’un iyi bir korozyon ve oksidasyon direnci göstermesi yapısında barındırdığı Cr elementine bağlıdır [46]. Bu

çeliğin yapısında nikel ve molibden elementleri bulunmadığı için 300 kalitesinde olan paslanmaz çeliklere nazaran ekonomik olarak uygundur. Yüzey görünümü açısından sıklıkla kullanılmakta ve kaliteli bir ısıtım işlem uygulanmasıyla korozyon direnci iyi bir seviyeye ulaşmaktadır [25,47]. Çizelge 5.2’de 430 paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. AISI 430 paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri [25].

Mekanik özellikler		%0,2 Akma dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Sertlik (Brinell)
	Tavlanmış durumda	En az 210	430-600	> 20	150-190
Yüksek sıcaklık özellikleri					
Sıcaklık (°C)	100	200	300	400	500
Elastikiyet modülü (MPa)	216	212	206	197	
%0,2 akma dayanımı (MPa)	220	210	200	190	110
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	10	10	10,5	10,5	11

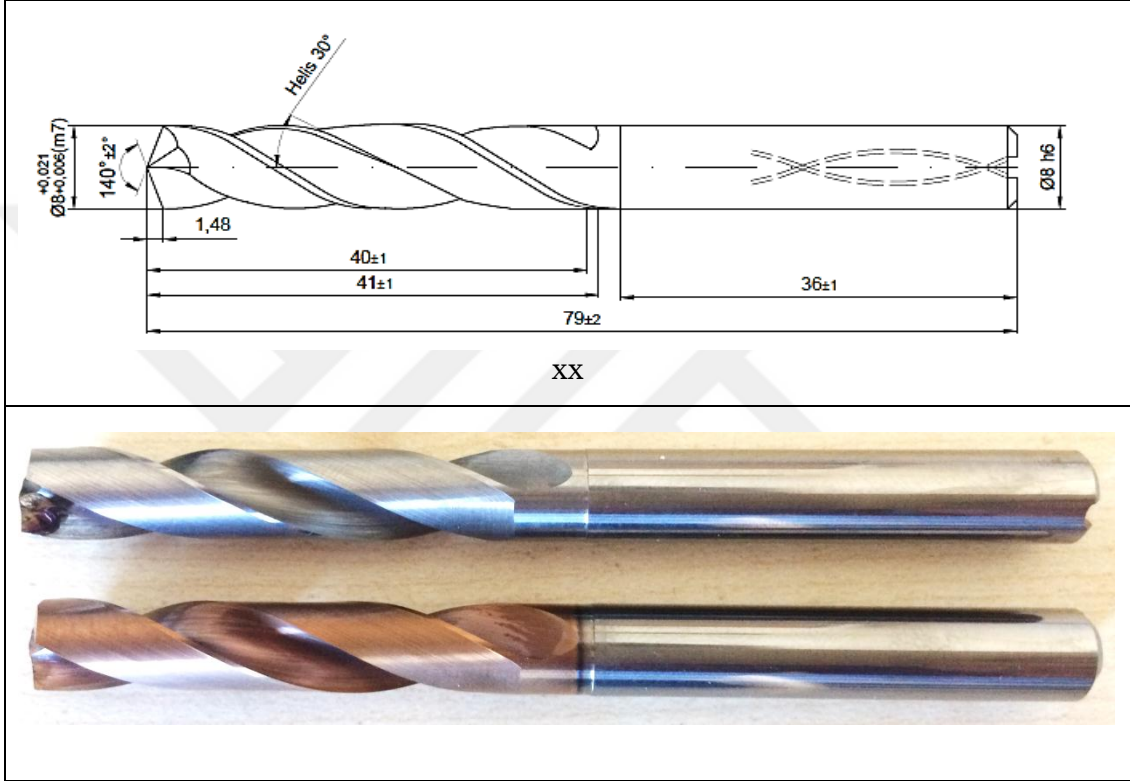
Kullanım alanları olarak;

- Mutfak eşyalarında (bulaşık makinesi ve buzdolabı)
- Otomotiv alanında (araç gövde panellerinde),
- Dekoratif yapılarda AISI 430 paslanmaz çelikleri rol oynamaktadır [47,48].

Yapılan deneysel araştırmalarda, AISI 430 çelik malzemeden 100x85 ebatlarında 4 mm kalınlığında deney numuneleri kullanılmıştır. Numuneler, kaplamalı ve kaplamasız matkaplar ile delme işlemlerinde kullanılmak üzere iki ayrı plaka şeklinde lazer ile kesilerek hazırlanmıştır.

5.2. KESİCİ TAKIMLAR

Delme deneylerinde, KARCAN şirketinden tedarik edilen kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür kesici takımlar (matkaplar) kullanılmıştır. Matkaplar, 8 mm çapında, 140° uç açısında, 30° helis açısında ve çift kesici ağızlı geometrik özelliklere sahiptir (Şekil 5.1).



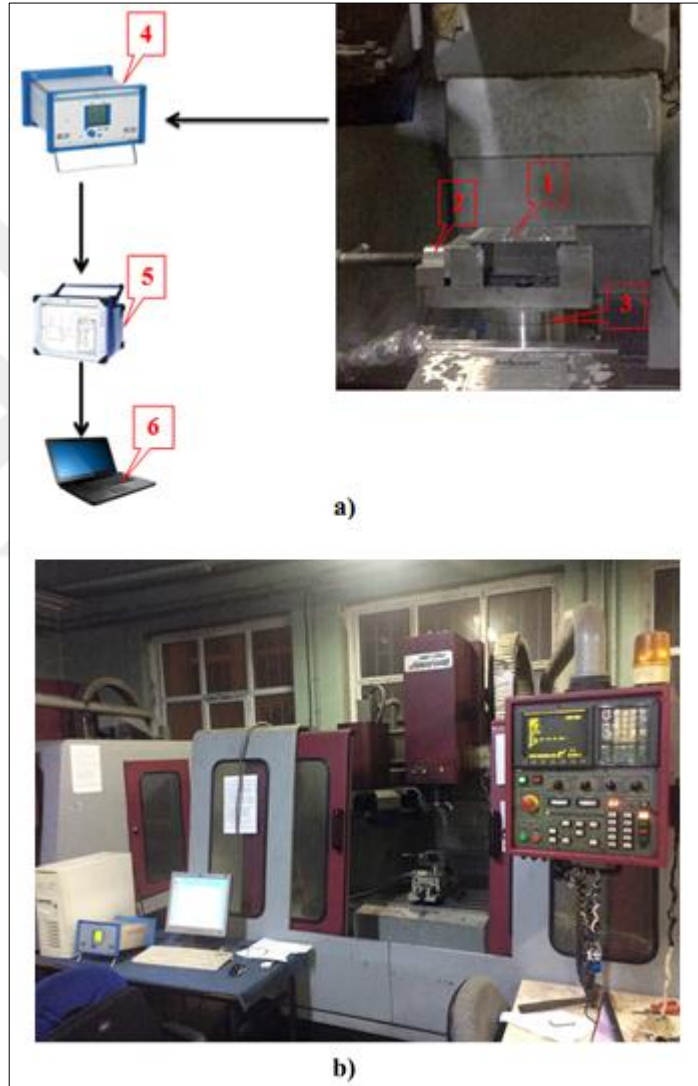
Şekil 5.1. Kesici takım geometrisi ve görüntüleri.

Kesici takımların (kaplamalı ve kaplamasız matkap) maksimum dönme hızı 9947 dev/dak'dır. Takımlar %10 kobalt içeren, sertlik değeri 1600 HV30'dan oluşan ve eğme dayanımı (TRS) 4000 MPa olan CTS20D hammaddesinden oluşmaktadır.

5.3. TAKIM TEZGAHI VE KUVVET ÖLÇÜM DÜZENİĞİ

Deneyisel çalışmalarda delme işlemleri için motor gücü 10 HP, en yüksek dönme hızı 6000 dev/dak ve hassasiyeti ise 0,001 mm olan Johnford VMC-550 dik işleme merkezi kullanılmıştır. Deneylerden hedeflenen itme kuvveti ve moment çıktılarının

elde edilebilmesi için tezgah üzerinde bağı olan Kistler 9257A türü dinamometreden faydalanılmıştır. Delik delme işlemlerini gerçekleştirebilmek için belirlenen ölçülerdeki (100x85x4 mm) iş parçaları, dinamometre üzerinde bulunan bağlantı aparatı vasıtasıyla sabitleştirilmiştir. Bu sayede delik delme esnasında iş parçasının hareketi engellenmiştir. Şekil 5.2’de deney düzeneği ve deneylerin yapıldığı CNC tezgahı gösterilmiştir.



Şekil 5.2. a) Deney düzeneği; 1= iş parçası, 2= bağlama aparatı, 3= dinamometre, 4= KISTLER 5070A amplifier (yükseletç), 5= veri kaydedici ve 6= verilerin bilgisayar ortamına gelmesi, b) CNC tezgahı.

Delme işleminde, uygulanan parametreler çerçevesinde meydana gelen kesme kuvvetlerinin (radyal kuvvet, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet) ve moment

sonuçlarının elde edilebilmesi için dinamometreden gelen üç boyutlu x, y ve z sinyallerin Şekil 5.2 (a)'da gösterilen 5 numaralı veri kaydedicisine gönderilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, Şekil 5.2 (a)'da gösterilen 4 numaralı KISTLER 5070A türü amplifier bu işlevi sağlamaktadır. Sinyallerin veri kaydedicisinden alınıp bilgisayar ortamındaki analizi için Dynoware yazılımı kullanılmıştır. Artık bu noktada x, y ve z sinyalleri sırasıyla F_x (radyal kuvvet), F_y (kesme kuvveti) ve F_z (itme kuvveti) olarak tanımlanmış ve oluşturdukları moment değerleri de M_x , M_y ve M_z olarak ortaya çıkmıştır.

5.4. DENEY TASARIMI

Delik delme işlemlerinde, kesme hızı (m/dak) ve ilerleme miktarı (mm/dev) kesme parametreleri olarak seçilmiştir. Bu iki ayrı parametrenin deneylerde kullanılacak olan değerlerinin belirlenmesinde, paslanmaz çeliğin delinebilirliği ile alakalı literatür çalışmaları ve matkap üretici firmanın önerileri dikkate alınmıştır.

Taguchi L_9 dikey dizini kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız takımların her biri için 9'ar adet deney olmak üzere toplamda 18 adet deney gerçekleştirilmiştir. Seçilen üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarı ile birlikte bunların CNC tezgahta uygulanan değerleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir. Belirlenen kesme parametreleri ışığında her bir deney ikişer kez yapılmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Delme işlemi sonucunda elde edilen işleme çıktılarına %95 ($\alpha=0,05$) güven seviyesinde Minitab16 yazılımıyla varyans analizi uygulanarak işleme parametrelerinin etki oranları belirlenmiştir. Deneyler sonucunda oluşan verilere göre kesme hızı ve ilerleme miktarlarının itme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmış olup, işleme çıktılarının kaplamalı ve kaplamasız takımlara göre değişimleri gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.3. Deney tasarımı.

Deney No	İlerleme (mm/rev)	Kesme hızı (m/dak)	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme hızı (mm/dak)
1	0,06	15	597	71,64
2	0,08	15	597	95,52
3	0,1	15	597	119,40
4	0,06	30	1194	143,28
5	0,08	30	1194	191,04
6	0,1	30	1194	238,80
7	0,06	45	1791	214,92
8	0,08	45	1791	286,56
9	0,1	45	1791	358,20

5.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMÜ

Talaşlı imalat çalışmalarında gerek bilimsel gerekse endüstriyel alanda, uygulanan parametreler ışığında malzemede oluşan yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi ve iyi bir yüzey kalitesinin meydana getirilmesi son derece önemli bir husustur. Bu amaçla, kesme parametreleri olarak tanınan ilerleme miktarı ve kesme hızının delik delme işlemi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Her bir deney için yüzey pürüzlülük ölçümleri Marsurf M300 türü yüzey pürüzlülük cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde Marsurf M300 ölçüm cihazında hareket uzunluğu (L_t) 1,75 mm ve dalga boyu (λ) 0,8 mm olarak ayarlanmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri delik yüzeyi boyunca üç farklı noktada (her 120°’de) alınmış ve ölçümlerin aritmetik ortalaması yapılarak yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır. Çizelge 5.4’te yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının özellikleri [49].

Tarama ucu	2 μm	
Temas hızı	0,5 mm/s	
Kalibrasyon İşlevi	Dinamik	
Ölçüm aralığı	350, 180, 90 μm	
L_t	1,75, 5,6, 17,5 mm	
λ	0,25, 0,8, 2,5 mm	
Ölçüm kuvveti	0,7 mN	

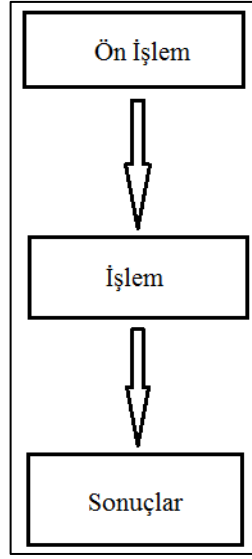
5.6. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), mühendislik ve matematiksel fizik alanlarındaki problemlerin çözümünü gerçekleştiren sayısal bir yöntemdir. Çözümlemesi istenilen problemin belirlenen sınır şartlarıyla birlikte bilgisayar ortamına entegre edilmesiyle tahmini sonuçlara ulaşmak için kullanılmaktadır. Gerilme, akış, ısı transferi, mekanik, statik ve dinamik analizlerde bu yöntem sıklıkla tercih edilmektedir [50].

Bu yöntem, nihai ürün için en uygun parametre değerlerini saptaması konusunda ışıktan tutarak endüstriye ciddi anlamda ekonomik katkı sağlamaktadır. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı nümerik analizlerde kullanılan programlara, ANSYS/LS-DYNA, THIRDWAVE ADVANTEDGE, DEFORM, HYPERMESH olarak örnek verilebilir.

5.6.1. Sonlu Elemanlar Yönteminde Akış Şeması

Sonlu elemanlar yönteminde, istenilen sonuçlara ulaşmak için üç basamaktan oluşan adımları gerçekleştirmek gerekmektedir. Bu adımlar, Şekil 5.3'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Sonlu elemanlar yönteminde akış şeması [50].

Ön işlem: Akış şemasında ilk basamak olarak gösterilen ön işlemde, sonlu elemanlar yönteminde analizi yapılması planlanan modelin oluşturulması gerekmektedir. Bu aşamada iki seçenek bulunmaktadır. İlk seçenek, belirlenen analiz programında model oluşturulabilir ya da ikinci seçenek olan herhangi bir tasarım programında model tasarlanarak analiz programına kabul edilen formatlarda (STL, STEP, IGES vs.) aktarılabilir. Akabinde, oluşturulan model üzerinde eleman boyutlarının (1 boyutlu, 2 boyutlu ve 3 boyutlu elemanlar) seçimleri gerçekleştirilerek sınır koşullarının tanımlamaları yapılmaktadır [50].

İşlem: Model, arzu edilen sınır koşullarında ve tanımlamalarda oluşturulduktan sonra, Şekil 5.3'te ikinci basamak olarak gösterilen işlem kısmında sayısal çözümlemesi yapılmaktadır [50].

Sonuçlar: Analiz programında problemin çözümlenmesi sonrası, istenilen sonuçların elde edildiği son basamaktır [50].

5.6.2. Çalışmada Kullanılan Analiz Programı ve Tanımlamalar

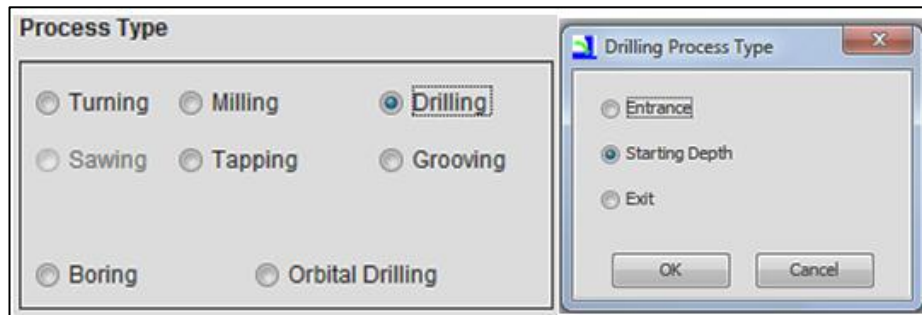
Bu çalışma kapsamında, deneysel yöntemden farklı olarak kesme parametrelerine (kesme hızı ve ilerleme miktarı) göre işlem çıktılarının (itme kuvveti ve moment)

değişimlerini araştırmak için sonlu elemanlar yönteminden yararlanılmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmaların esas amacı, deneysel yöntemle elde edilen verilerin sonlu eleman yöntemiyle ulaşılan verilerle mukayese edilmesi ve nümerik analize dayalı delme simülasyonları sonucunda bazı işleme çıktılarının tahmin edilebilirliğini göstermektir. Bu nedenle, sadece kaplamasız karbür matkap kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak yapılan delme simülasyonlarını gerçekleştirebilmek için AdvantEdge 7.1 analiz programı kullanılmıştır. Bölüm 5.6.1’de gösterilen sonlu elemanlar yöntemi akış şemasına göre analiz programında gerekli tanımlamalar yapılmıştır.

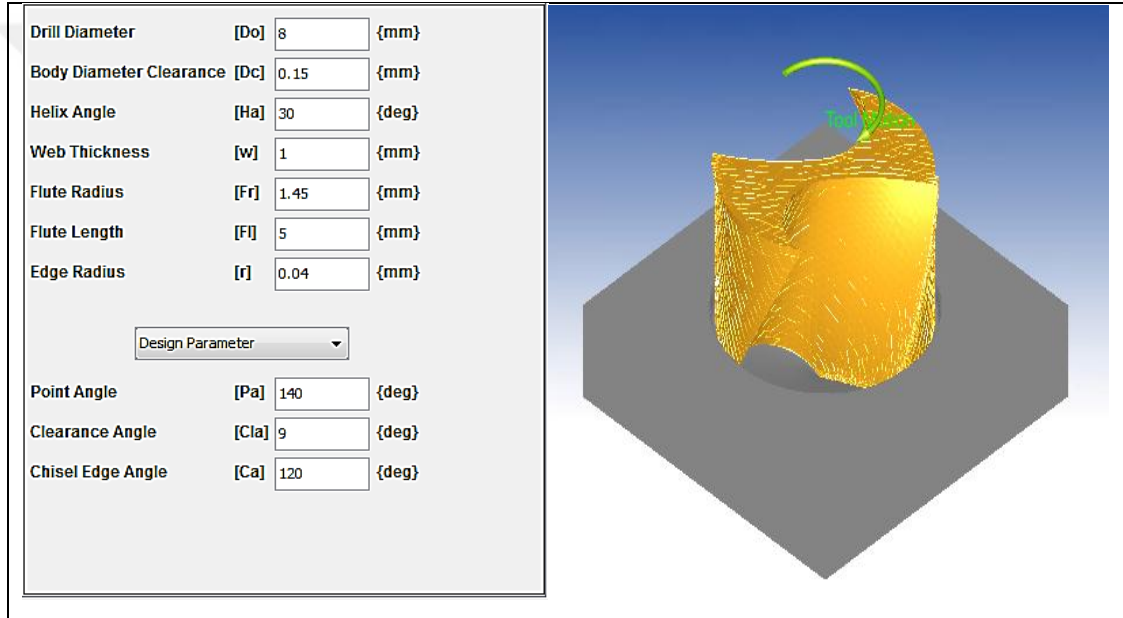
5.6.2.1. Delme İşlemi İçin Modelin Tanımlanması

Belirtilen analiz programında delik delme simülasyonunu gerçekleştirebilmek için ilk önce programa istenilen talaş kaldırma yönteminin tanımlanması gerekmektedir. AdvantEdge analiz programında talaş kaldırma yöntemi olarak delme işlemi tanımlanmış ve delme işlemi türü olarak da başlangıç derinliği (*starting depth*) seçilmiştir. Bu noktada ikinci basamakta tanımlanan başlangıç derinliği, kesici takımın iş parçasının yüzeyinden belirlenen bir derinlikte başlamasını ifade etmektedir. Bu tür delik delme işleminin literatürdeki çalışmalarda kullanıldığını söylemek mümkündür [51]. Başlangıç derinlik türünün kullanılması analiz süresi açısından tasarruf sağlamaktadır. Şekil 5.4’te seçilen talaş kaldırma yöntemi ve delme işlem türü gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Talaş kaldırma yöntemi ve delme işlem türü.

Bu işlemden sonra analiz programındaki aşama, iş parçası yüzeyinden belirli bir derinlikte olan kesici takım ve iş parçası modelini oluşturmaktadır. İş parçası modeli 12x12x4 mm boyutunda AISI 430 çelik malzeme olarak tanımlanmış olup, malzemeye ait mekanik ve fiziksel özellikleri içeren malzeme model parametreleri yazılımdan seçilmiştir. Takımın sonlu elemanlar modelinde ise öncelikle tedarikçi firmadan alınan matkap geometrik ölçüleri yazılıma girilmiştir. Takım malzeme modeline ait tanımlamalar için benzer şekilde yazılım alt yapısındaki kaplamasız karbür takım seçilmiştir (Şekil 5.1). Şekil 5.5'te elde edilen matkap ve işparçası modelleri ile takım tanımlaması için girilen değerler verilmiştir.



Şekil 5.5. Analiz programına girilen takım tanımlaması ve elde edilen model.

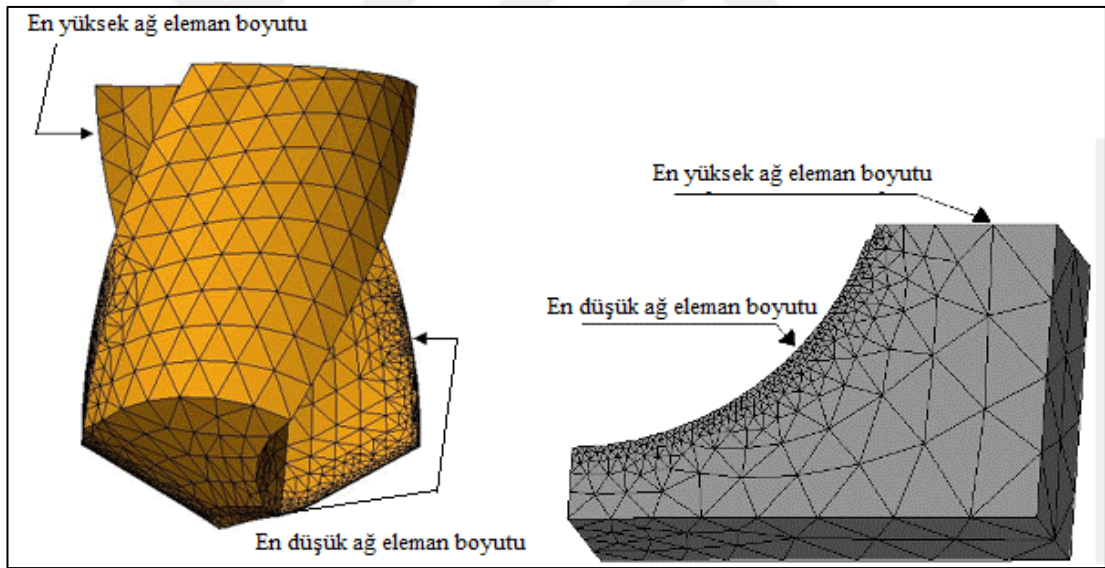
5.6.2.2. Kesme Parametreleri ve Ağ Eleman Boyutlarının Tanımlanması

AdvantEdge analiz programı işlem türüne göre yapılacak olan tanımların anlaşılır ve rahat bir biçim girilmesine olanak sağlamaktadır. Bu açıdan elde edilen modele kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme miktarı) ve ağ eleman boyutlarının tanımlanması Bölüm 5.6.2.1'deki mantık çerçevesiyle aynıdır.

Delme işleminde işleme çıktılarına etki eden kesme hızı ve ilerleme miktarı program içerisinde bulunan işlem parametreleri (*process parameters*) bölümünden

yapılmaktadır. Bu bölümde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici takımın başlangıç derinliği tanımlanmakta ve sonlu elemanlar modeli ağ eleman boyutlarının tanımlanması için hazır hale gelmektedir. Modelleme işleminin bu aşamasında, her bir delme simülasyonu için Çizelge 5.3'te gösterilen işleme parametreleri kullanılmıştır.

Ağ eleman boyutları, delme işlemine en büyük etkiyi sağlayan kesici takımın uç ve kenar bölgeleri için 0,03 mm (en düşük eleman boyutu), takımın diğer bölümleri için 0,3 mm (en yüksek eleman boyutu) olarak uygulanmıştır. İş parçası için ise, delme işlemine maruz kalacak olan köşe ve kenarlar için 0,02 mm (en düşük eleman boyutu), diğer kısımlar için (delme işleminde herhangi bir işlevsellik göstermeyen) 1,5 mm (en yüksek eleman boyutu) olarak uygulanmıştır. Şekil 5.6'da iş parçası ve takımın ağ eleman yapıları gösterilmiştir.

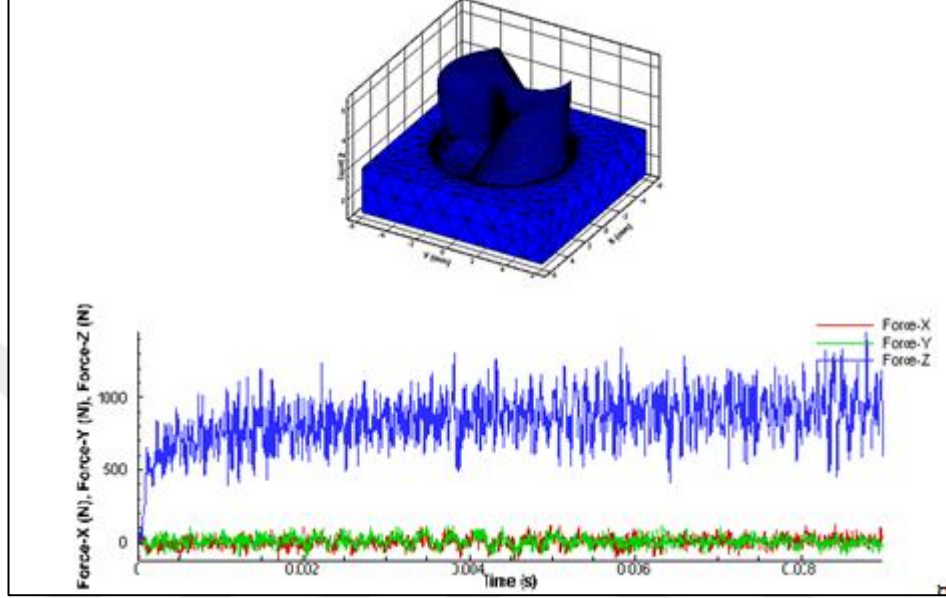


Şekil 5.6. İş parçası ve takımın ağ eleman yapıları.

5.6.2.3. Çözümleme ve Verilerin Elde Edilmesi

Analiz programında ağ eleman boyutları ve kesme parametreleri tanımlandıktan sonra problem çözümlemesi (nümerik analiz) başlatılarak delme işlemi simüle edilmektedir. Problemin zorluğu (kesme işlemi) ve bilgisayarın teknik özelliklerine bağlı olarak program tarafından tahmini çözümleme süresi verilmektedir.

Çözümlemenin hemen ardından, AdvantEdge içerisinde bulunan Tecplot 360 yazılımı vasıtasıyla işlem parametrelerine göre oluşan itme kuvveti ve moment değerlerinin tahmini sonuçları tespit edilmektedir. Şekil 5.7’de elde edilen radyal, kesme ve eksenel kuvvetlerin örnek bir görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.7. Delme kuvvetleri için Tecplot 360 yazılımından örnek bir görüntüsü.

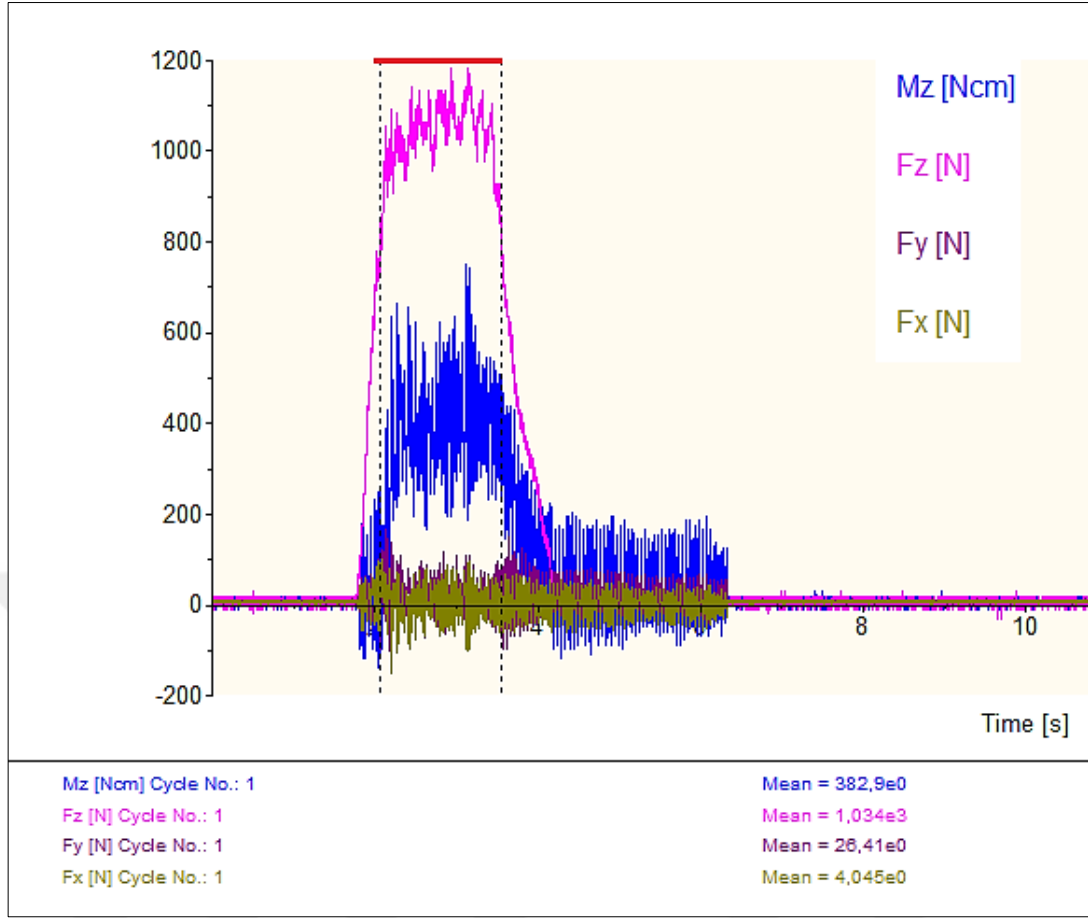
BÖLÜM 6

DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, AISI 430 paslanmaz çeliğin kaplamasız ve kaplamalı tungsten karbür kesici takımlarla delinmesinde, etkin biçimde rol oynayan kesme hızı ve ilerleme miktarının işlenebilirlik kriterleri olarak belirlenen itme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, deneysel ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı nümerik analiz (SEY) ile elde edilen itme kuvveti ve moment değerleri kıyaslanmıştır. Daha sonra deneysel yöntemle yapılan çalışmalarda elde edilen delik yüzeylerindeki pürüzlülük değişimleri değerlendirilmiştir. Ayrıca varyans analiziyle (ANOVA) işleme parametrelerinin itme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları belirlenmiştir.

6.1. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin delinmesinde elde edilen işleme çıktılarının deneysel olarak değerlendirilmesinde, Çizelge 5.3'te sunulan kesme parametreleri ve matkap kaliteleri esas alınmıştır. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplar ile delme işleminde elde edilen itme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızı-ilerleme miktarı etkileşimine göre değişimleri grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Bunun için öncelikle, her bir deney şartında delme işlemi süresince oluşan kesme kuvvetleri (F_x , F_y , F_z) ve moment değerlerinin DynoWare yazılımıyla ortalamaları alınarak deneysel sonuçlar belirlenmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. DynoWare yazılımıyla elde edilen grafik ve ortalama değerin bulunması.

6.1.1. İtme Kuvveti

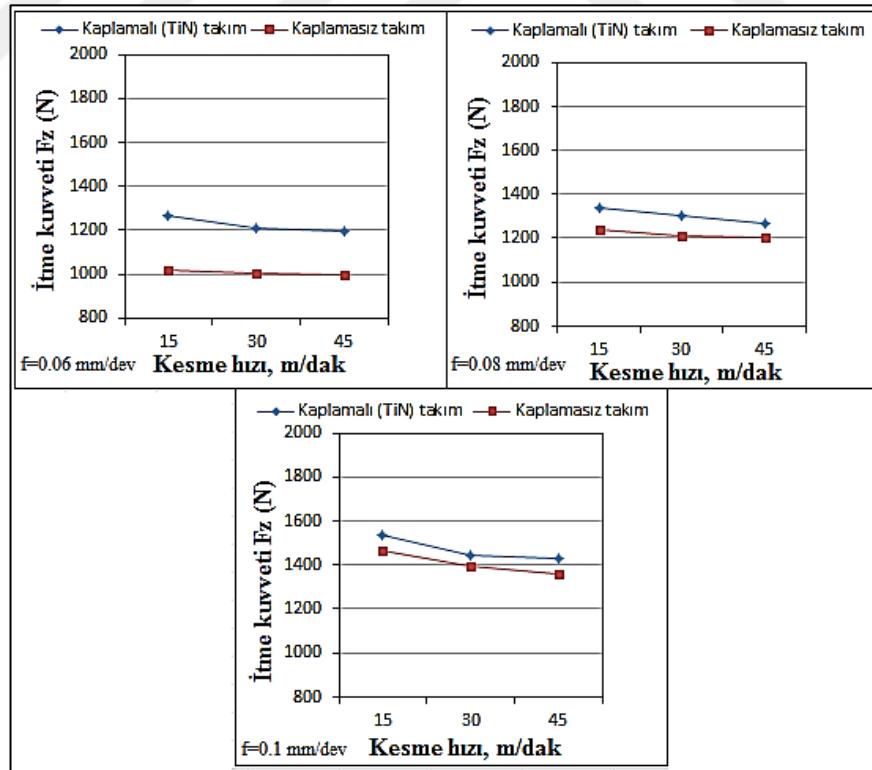
Talaş kaldırma işlemlerinde, deneysel veya sonlu elemanlar yöntemiyle itme kuvvetinin (F_z) tespitini yapmak ve işlem esnasında bu kuvvetin artması veya azalması yönünde etki eden işleme parametrelerini belirlemek mümkündür. Şekil 6.2’de, kaplamalı ve kaplamasız takımlarla (matkaplar) birlikte ilerleme miktarı ve kesme hızının itme kuvveti üzerindeki etkileri grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil 6.2’deki grafikler ilerleme miktarına göre değerlendirildiğinde, ilerleme miktarı arttıkça kullanılan her iki takımın beraber (kaplamalı ve kaplamasız) itme kuvvetinde artış görülmektedir. Paslanmaz çelik malzemesi ile ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla itme kuvvetinin yükseldiğini

söylemek mümkündür [52]. Bu durum, ilerleme miktarına bağlı olarak oransal olarak artan talaş kesit alanıyla ilişkilendirilmektedir [53].

Kesme hızı dikkate alınıp itme kuvveti incelendiğinde, kaplamalı ve kaplamasız takımlar için sabit ilerleme miktarında kesme hızının artmasıyla, itme kuvvetinin azalma eğilimi içerisinde olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 6.2). Bu durum, iş parçasının yüksek kesme hızlarında sıcaklığın artmasına bağlı olarak yumuşaması ve malzeme dayanımının azalmasına dayandırılmakta olup, elde edilen sonucun literatürle [54,55] bağdaştığı görülmektedir.

Delme işleminde kesme parametreleri hem kaplamalı hem de kaplamasız takımda itme kuvveti için aynı etkiyi göstermiştir. Diğer yandan, kaplamalı takım kullanılması sonucu elde edilen değerlerin (itme kuvveti) kaplamasız takıma göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.2). Aynı sonucu literatürdeki benzer bir çalışmayla desteklemek mümkündür [55].



Şekil 6.2. İşlem parametrelerinin itme kuvveti üzerindeki etkileri.

Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde; kaplamasız takım için en yüksek itme kuvveti 0,06 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 1016 N, en düşük kuvvet ise 45 m/dak kesme hızında 999 N olarak bulunmuş olup, kesme hızının artmasıyla oluşan azalma miktarı %1,67 olarak tespit edilmiştir. Kaplamalı takım için en yüksek itme kuvveti; 0,06 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 mm/dak kesme hızında 1267 N, en düşük kuvvet ise 45 m/dak kesme hızında 1196 N olarak ölçülmüş olup, kesme hızının yükselmesiyle oluşan azalma miktarı %5,60 olarak belirlenmiştir. Kaplamasız takım için en yüksek itme kuvveti; 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 1237 N, en düşük kuvvet ise 45 m/dak kesme hızında 1206 N olarak ölçülmüş olup, kesme hızının artmasıyla birlikte meydana gelen azalma miktarı %2,51 olarak bulunmuştur. Kaplamalı takım için en yüksek itme kuvveti; 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 mm/dak kesme hızında 1341 N, en düşük kuvvet ise 45 m/dak kesme hızında 1266 N olarak ölçülmüş olup, kesme hızının artmasıyla birlikte oluşan azalma miktarı %5,59 oranında belirlenmiştir. Kaplamasız takım için en yüksek itme kuvveti; 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 1463 N, en düşük kuvvet ise 45 m/dak kesme hızında 1361 N olarak bulunmuş olup, kesme hızının artmasıyla oluşan azalma miktarı %6,97 oranında hesaplanmıştır. Kaplamalı takım için en yüksek itme kuvveti; 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 mm/dak kesme hızında 1533 N, en düşük kuvvet ise 45 m/dak kesme hızında 1430 N olarak ölçülmüş olup, kesme hızının yükselmesiyle oluşan azalma miktarı %6,72 olarak tespit edilmiştir.

Deneysel olarak elde edilen sonuçların, her bir ilerleme miktarı ve kademeli olarak artan kesme hızları (15-30-45 m/dak) için itme kuvvetinde oransal bazdaki azalmalar Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Kaplamalı ve kaplamasız takım için Fz'deki azalma miktarları.

İlerleme miktarı (mm/dev)/Takım		15-30 (m/dak) Azalma oranı (%)	30-45 (m/dak) Azalma oranı (%)
0,06	Kaplamalı	4,65	0,99
	Kaplamasız	1,08	0,59
0,08	Kaplamalı	2,83	2,84
	Kaplamasız	2,02	0,49
0,1	Kaplamalı	5,93	0,83
	Kaplamasız	4,51	2,57

AISI 430 paslanmaz çeliğin delinebilirliği için genel bir değerlendirme yapıldığında, artan ilerleme miktarının itme kuvvetini (arttırıcı yönde) önemli derecede etkilediği görülmektedir. Ayrıca, kesme hızının artmasıyla da itme kuvvetinin azaldığı saptanmıştır. Ancak, ferritik paslanmaz çeliğin delinmesinde işleme parametrelerinin işleme çıktısı (Fz) üzerindeki etkilerinin istatistiksel olarak belirlenmesi sonuçların kullanılabilirliği açısından önemlidir. Bu bağlamda, parametrelerin etki oranlarını belirlemek amacıyla %95 güven seviyesinde varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir.

Kesme hızı ve ilerleme miktarının itme kuvveti üzerindeki etki oranları hem kaplamasız ve hem de kaplamalı takıma bağlı olarak sırasıyla Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te gösterilmiştir. Çizelgelerde kesme hızı ve ilerleme miktarının önem seviyesini gösteren P değerleri ve serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), F değerleri ve yüzdelik olarak etki oranları (PCR) görülmektedir. Faktörlerin etki seviyesi, ANOVA çizelgesindeki P değeri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu noktada, işleme parametrelerinin itme kuvveti üzerinde etkili olduğunu yorumlayabilmek için P değerinin 0,05'den küçük olması gerekmektedir.

Çizelge 6.2. Kaplamasız takım ile elde edilen itme kuvveti için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
Kesme hızı	2	0,1718	0,0859	5,00	0,082	1,33
İlerleme miktarı	2	12,7382	6,3691	371,05	0,000	98,14
Hata	4	0,0687	0,0172			0,53
Toplam	8	12,9786				100,00

Çizelge 6.2 incelendiğinde, kaplamasız takıma bağlı olarak itme kuvveti üzerinde en büyük etkiye sahip faktörün %98,14 PCR ile ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı istatistiksel olarak önemli bulunmasa da, %1,33 PCR ile itme kuvveti üzerinde çok düşük bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca, genel hata oranının çok küçük olması (%0,53 PCR) verilerin doğruluğunu göstermektedir.

Çizelge 6.3. Kaplamalı takım ile elde edilen itme kuvveti için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
Kesme hızı	2	0,4636	0,2318	41,67	0,002	10,65
İlerleme miktarı	2	3,8709	1,9354	347,91	0,000	88,84
Hata	4	0,0223	0,0056			0,51
Toplam	8	4,3568				100,00

Kaplamalı takım kullanılması durumunda Çizelge 6.3'te belirtilen ANOVA sonuçlarına göre, F_z üzerinde en etkili parametrenin %88,84 PCR ile ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Kaplamalı takım için kesme hızının F_z üzerinde ikincil derecede öneme sahip parametre olduğu %10,65 PCR değerinden anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, hatanın PCR değeri oldukça düşük olup %0,51 olarak bulunmuştur.

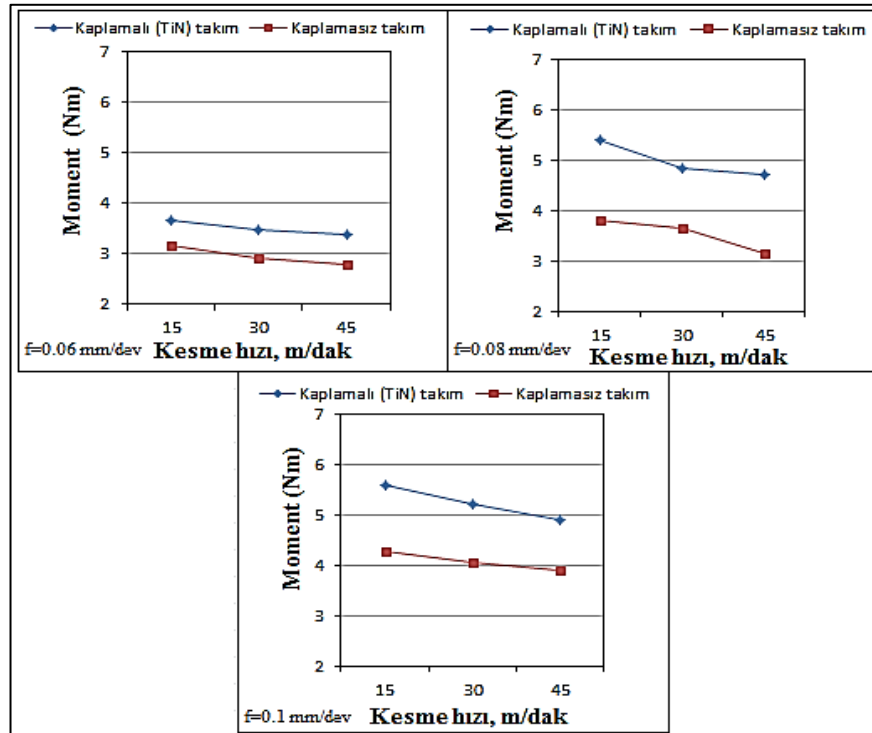
6.1.2. Moment

Delme işleminde, kesici takımın (matkap) iş parçasına tanımlanan parametreler çerçevesinde temas ederek talaş kaldırması sonucu meydana gelen işleme çıktılarından bir tanesi de momenttir. Moment, birçok işlem parametresine (ilerleme miktarı, kesme hızı, takım çapı vs.) bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu

Çalışma kapsamında, kaplamalı ve kaplamasız matkap için ilerleme miktarı ve kesme hızının moment üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

şekil 6.3'te kaplamalı ve kaplamasız karbür matkap için ilerleme miktarı ve kesme hızına göre moment değişimleri grafik olarak gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, kullanılan her iki takım (kaplamalı ve kaplamasız) için ilerleme miktarının artmasıyla momentin arttığı görülmektedir. Bu durum, itme kuvveti sonuçlarına benzer olarak ilerleme miktarının artmasıyla birlikte artan takım-talaş temas alanının arttırmasıyla açıklanabilir [56]. İlerleme miktarının moment üzerindeki etkisi literatürle paralellik göstermektedir [57].

Elde edilen moment verileri için kesme hızının etkisi göz önünde bulundurulduğunda, itme kuvveti üzerindeki etkisiyle paralellik göstermektedir. Yapılan delik delme işlemlerinde kesme hızının artmasıyla (hem kaplamalı hem de kaplamasız takımda) momentin azalan bir davranış sergilediği belirlenmiştir (şekil 6.3). Delik delme üzerine farklı çalışmalar incelendiğinde aynı sonuca ulaşmak mümkündür [55,58].



şekil 6.3. İşlem parametrelerinin moment üzerindeki etkileri.

Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde; kaplamasız takım için en yüksek moment 0,06 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 3,15 Nm, en düşük moment ise 45 m/dak kesme hızında 2,79 Nm olarak bulunmuştur. Kesme hızının artmasıyla moment değerindeki bu azalma miktarı %11,43 olarak tespit edilmiştir. Kaplamalı takım için en yüksek moment değeri 0,06 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 3,65 Nm, en düşük ise 45 m/dak kesme hızında 3,36 Nm olarak elde edilmiş olup, moment değerindeki bu azalma miktarı %7,95 olarak hesaplanmıştır. Kaplamasız takım için en yüksek moment 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 3,80 Nm, en düşük moment ise 45 m/dak kesme hızında 3,16 Nm olarak bulunmuştur. Kesme hızının yükselmesiyle moment değerindeki bu düşüş %16,84 olarak hesaplanmıştır. Kaplamalı takım için en yüksek moment değeri 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 5,40 Nm, en düşük ise 45 m/dak kesme hızında 4,71 Nm olarak elde edilmiş olup, moment değerindeki bu azalma miktarı %12,8 olarak belirlenmiştir. Kaplamasız takım için en yüksek moment 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 4,29 Nm, en düşük moment ise 45 m/dak kesme hızında 3,91 Nm olarak elde edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla moment değerindeki bu azalma miktarı %8,86 oranında ortaya çıkmıştır. Kaplamalı takım için en yüksek moment değeri 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 5,60 Nm, en düşük ise 45 m/dak kesme hızında 4,89 Nm olarak elde edilmiş olup, moment değerindeki bu azalma miktarı %12,7 olarak belirlenmiştir.

Deneysel olarak elde edilen sonuçların, her bir ilerleme miktarı ve belirli bir oranda artan kesme hızına (15-30-45 m/dak) bağlı olarak moment değerlerindeki azalma miktarları Çizelge 6.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Kaplamalı ve kaplamasız takım için momentteki azalma miktarları.

İlerleme miktarı (mm/dev)/Takım		15-30 (m/dak) Azalma oranı (%)	30-45 (m/dak) Azalma oranı (%)
0,06	Kaplamalı	4,65	3,45
	Kaplamasız	8,25	3,46
0,08	Kaplamalı	10,75	2,28
	Kaplamasız	4,21	13,18
0,1	Kaplamalı	6,60	6,50
	Kaplamasız	5,60	3,46

Çizelge 6.4'teki sonuçlar incelendiğinde, ilerleme miktarı ve kesme hızının momente etkisinin beklediği gibi bu parametrelerin itme kuvveti üzerindeki etkisiyle benzer olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'da işleme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme miktarı) kaplamasız ve kaplamalı takıma bağlı olarak moment üzerindeki etki oranlarını belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 6.5. Kaplamasız takımla elde edilen moment için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
Kesme hızı	2	1,9998	0,9999	12,34	0,019	13,76
İlerleme miktarı	2	12,2145	6,1073	75,39	0,001	84,01
Hata	4	0,3240	0,0810			2,23
Toplam	8	14,5386				100,00

Çizelge 6.5'te kaplamasız takıma bağlı olarak elde edilen moment değerlerinin ANOVA sonuçları ele alındığında, ilerleme miktarının %84,01 PCR ile en fazla etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, kesme hızının ise %13,76 PCR ile moment üzerinde bir etkisi olduğu görülmektedir. Bu analiz sonucunda, hata oranının %2,23 olarak ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.6. Kaplamalı takımla elde edilen moment için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
Kesme hızı	2	1,6309	0,8154	24,87	0,006	6,91
İlerleme miktarı	2	21,8225	10,9113	332,84	0,000	92,53
Hata	4	0,1311	0,0328			0,56
Toplam	8	23,5845				100,00

Kaplamalı takım açısından ulaşılan moment değerlerinin ANOVA sonuçları incelendiğinde, %92,53 PCR ile ilerleme miktarının etkin bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Kesme hızının etki oranı ve hata yüzdesi sırasıyla %6,91 ve %0,56 olarak bulunmuştur (Çizelge 6.6).

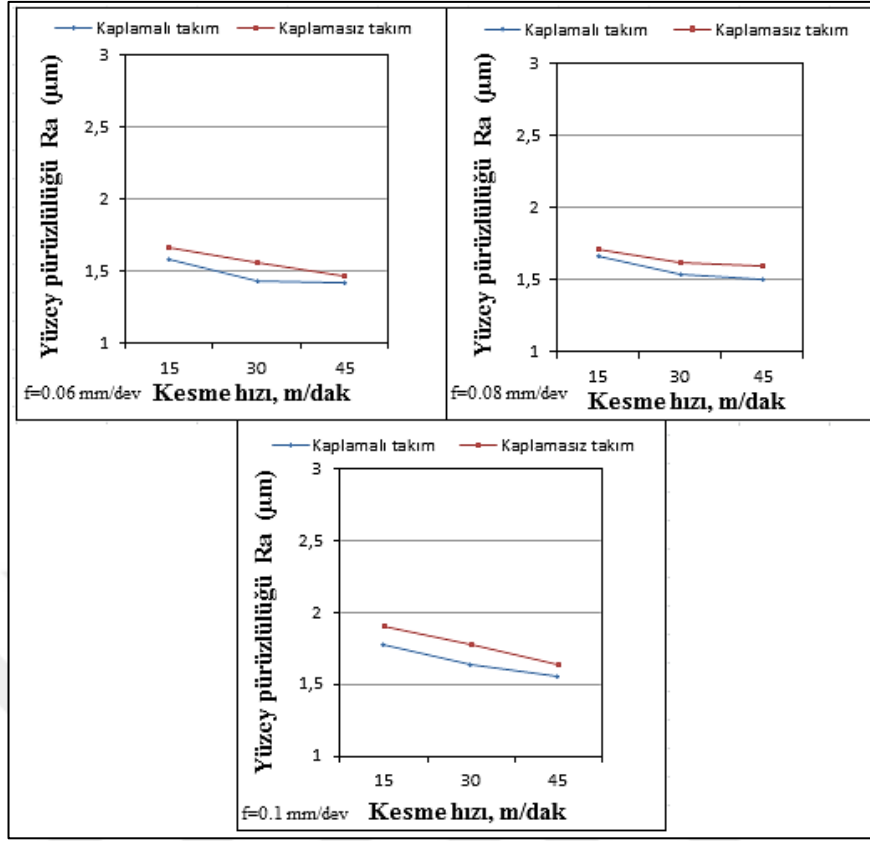
6.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü (R_a), işleme parametrelerine (ilerleme miktarı, kesme hızı, kesme derinliği, malzeme sertliği vb.) göre değişen ve yüzey kalitesini gösteren en temel işlenebilirlik kriterlerinden birisidir [59]. Diğer yandan, yüzey pürüzlülüğü işlenen malzemenin yorulma ömrünü etkilemesi açısından önemli bir yere sahip olup, delme işleminde oluşan delik kalitesi açısından değerlendirilmesi gereken önemli bir etkidir.

Yüzey pürüzlülük değerleri, talaş kaldırma yöntemlerinde kullanılan kesici takım özelliklerine (kaplamalı, kaplamasız, takım geometrisi vs.) göre farklılık göstermektedir. Kesme işlemlerinde kesici takım kaplamalı ve kaplamasız olarak mukayese edildiğinde, kaplamalı takımın yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi bir performans gösterdiği bilinmektedir [60,61].

Şekil 6.4'te AISI 430 kalite çeliğin kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür matkaplarla delinmesinde, işleme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğündeki değişimler grafik olarak gösterilmiştir. Her iki takım için sabit kesme hızında ilerleme miktarının artmasıyla beraber yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu durum, ilerleme miktarının artması meydana gelen talaş hacminin artmasına sebebiyet vermesiyle açıklanabilmektedir [62].

Sabit ilerleme miktarında, kaplamalı ve kaplamasız takımlara bağlı olarak kesme hızının etkisi incelendiğinde, kesme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün olumsuz yönde etkilenecek arttığı söylenebilir (Şekil 6.4). Kesme hızının azalması, takım titreşimini tetikleyerek yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebebiyet verebilmektedir [63]. Aynı etkiyi var olan benzer bir araştırmayla desteklemek mümkündür [60].



Şekil 6.4. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.

Deneysel sonuçlardan elde edilen Ra değerlerine göre; kaplamasız takım için en büyük yüzey pürüzlülüğü 0,06 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 1,657 μm , en düşük Ra ise 45 m/dak kesme hızında 1,458 μm olarak ölçülmüş olup, kesme hızının artmasıyla Ra'daki bu azalma miktarı %12,01 olarak tespit edilmiştir. Kaplamalı takım için en büyük Ra değeri, 0,06 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 mm/dak kesme hızında 1,577 μm , en düşük ise 45 m/dak kesme hızında 1,419 μm olarak ölçülmüş olup, bu azalma miktarı %10,02 olarak belirlenmiştir. Kaplamasız takım için en büyük yüzey pürüzlülüğü 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 1,714 μm , en düşük Ra ise 45 m/dak kesme hızında 1,598 μm olarak ölçülmüş olup, kesme hızının artmasıyla Ra'daki bu azalma miktarı %6,77 olarak tespit edilmiştir. Kaplamalı takım için en büyük Ra değeri, 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 mm/dak kesme hızında 1,661 μm , en düşük ise 45 m/dak kesme hızında 1,498 μm olarak ölçülmüş olup, bu azalma miktarı %9,82 olarak belirlenmiştir. Kaplamasız takım için en büyük yüzey pürüzlülüğü 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 1,904 μm , en düşük Ra ise 45 m/dak

kesme hızında 1,639 μm olarak ölçülmüş olup, kesme hızının artmasıyla R_a 'daki bu azalma miktarı %13,92 olarak tespit edilmiştir. Kaplamalı takım için en büyük R_a değeri, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 mm/dak kesme hızında 1,781 μm , en düşük ise 45 m/dak kesme hızında 1,562 μm olarak ölçülmüş olup, bu azalma miktarı %12,30 olarak belirlenmiştir.

Ortaya çıkan sonuçlar genel olarak ele alındığında, en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin kaplamalı takım kullanılarak ortaya çıktığı ve kaplamalı takımın daha iyi bir yüzey kalitesi oluşturduğu anlaşılmıştır (Şekil 6.4). Bunun sebebi, kaplamalı takımın kaplamasız takıma göre daha düşük sürtünme katsayısı ve ısı iletkenliğe sahip olmasıyla açıklanabilir [64,65].

AISI 430 paslanmaz çeliğin delinmesinde elde edilen delik oluşumlarının yüzey pürüzlülüğü açısından ANOVA sonuçları, kaplamasız ve kaplamalı takıma bağlı olarak sırasıyla Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Kaplamasız takımla elde edilen R_a için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
Kesme hızı	2	0,056459	0,028229	17,65	0,010	41,84
İlerleme miktarı	2	0,072081	0,036040	22,53	0,007	53,42
Hata	4	0,006399	0,001600			4,74
Toplam	8	0,134938				10,00

Çizelge 6.7'den, kaplamasız takımlar ile delme işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli etkiye sahip parametrenin %53,42 PCR ile ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Diğer bir işleme parametresi olan kesme hızının ise %41,84 PCR'lik bir etkide bulunduğu ve genel hata yüzdesinin %4,74 olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.8. Kaplamalı takım ile elde edilen R_a için ANOVA sonuçları.

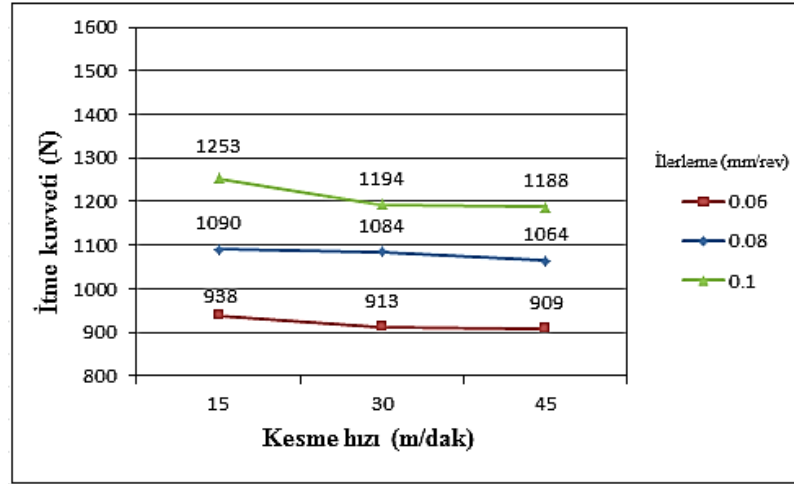
Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
Kesme hızı	2	1,60236	0,80118	102,64	0,000	50,62
İlerleme miktarı	2	1,53166	0,76583	98,11	0,000	48,39
Hata	4	0,03122	0,00781			0,99
Toplam	8	3,16524				100,00

Çizelge 6.8’den, kaplamalı takımlar ile elde edilen yüzey pürüzlülükleri için kesme hızı ve ilerleme miktarının sırasıyla %50,62 ve %48,39 PCR’lik önemli bir etkiye sahip oldukları gözlemlenmiştir. Varyans analizi incelendiğinde, küçük bir hata yüzdesinin (%0,99) olduğu tespit edilmiş olup, bu sonuç deneysel sonuçların tutarlılığını göstermektedir.

6.2. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Paslanmaz çelik malzemesinin delik delme işleminde, tahmini işlem çıktılarının değerlerine ulaşmak için sonlu elemanlar yöntemi (SEY)’den yararlanılarak delme simülasyonları yapılmıştır. Deneysel olarak yapılan delme işlemlerinde, işlem parametreleri olarak dikkate alınan ilerleme miktarı ve kesme hızı, yapılan nümerik analiz çalışmaları kapsamında aynen kullanılmıştır. Nümerik analizlere dayalı delme simülasyonlarında AdvantEdge 7.1 programı kullanılmıştır. Simülasyonlar, Çizelge 5.3’te gösterilen deney tasarımı ve toplam 9 deneyden oluşan kaplamasız tungsten karbür matkap özelliklerine göre gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında faydalanan sonlu elemanlar yöntemi, birçok delik delme işleminde kullanılarak, kesme parametrelerinin işleme çıktıları üzerindeki etkisinin incelenmesine olanak sağlamaktadır [15,17].

Şekil 6.5’te ve Şekil 6.6’da ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak sonlu elemanlar yöntemine dayalı nümerik analizler sonucunda elde edilen itme kuvveti (F_z) ve moment (M_z) sonuçlarının değişimleri verilmiştir.



Şekil 6.5. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen itme kuvvetleri.

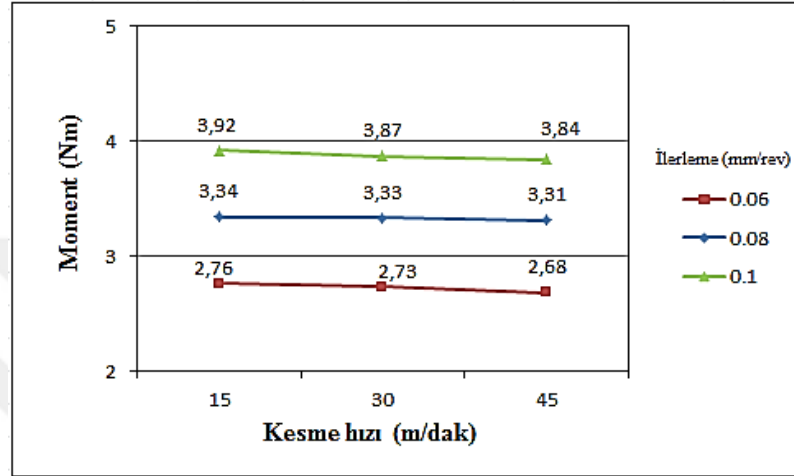
Şekil 6.5'te gösterilen Fz sonuçları incelendiğinde; en büyük itme kuvveti 0,06 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 938 N, en küçük Fz ise 45 m/dak kesme hızında 909 N olarak bulunmuştur. Kesme hızındaki artışla birlikte Fz değerindeki bu azalma miktarı %3,09 olarak tespit edilmiştir. İlerleme miktarı 0,08 mm/dev'e artırıldığında; en büyük itme kuvveti 15 m/dak kesme hızında 1090 N, en küçük Fz ise 45 m/dak kesme hızında 1064 N olarak elde edilmiş olup, bu azalma miktarı %2,39 olarak hesaplanmıştır. İlerleme miktarının 0,1 mm/dev'e yükselmesiyle birlikte en büyük itme kuvveti 15 m/dak kesme hızında 1253 N, en küçük Fz ise 45 m/dak kesme hızında 1188 N olarak bulunmuştur. Fz değerindeki bu azalma miktarı %5,19 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.9. SEY ile elde edilen itme kuvveti için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
Kesme hızı	2	0,1605	0,0803	8,51	0,036	1,82
İlerleme miktarı	2	8,6440	4,3220	457,97	0,000	97,76
Hata	4	0,0377	0,0094			0,42
Toplam	8	8,8423				100,00

Sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak kaplamasız takım ile gerçekleştirilen delme simülasyonlarında elde edilen itme kuvveti için yapılan varyans analizinde, en yüksek etkiye sahip parametrenin %97,76 PCR ile ilerleme oranı olduğu

görülmektedir (Çizelge 6.9). Öte yandan, kesme hızının ise itme kuvveti üzerinde %1,82 PCR'lık çok küçük bir etkisi olduğu belirlenmiştir. ANOVA sonucuna göre hata yüzdesi %0,42 olarak elde edilmiştir. Buna göre, delme simülasyonları ile deneysel olarak elde edilen Fz değerlerinin benzerlik oranının yüksek olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 6.6. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen moment değerleri.

Şekil 6.6'da verilen Mz değerleri incelendiğinde; en yüksek momentin 0,06 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 2,76 Nm, en düşük Mz ise 45 m/dak kesme hızında 2,68 Nm olarak bulunmuş olup, kesme hızının artmasıyla birlikte Mz'deki bu azalma miktarı %2,90 olarak tespit edilmiştir. İlerleme miktarı 0,08 mm/dev'e artırıldığında, en yüksek Mz değeri 15 m/dak kesme hızında 3,34 Nm, en düşük Mz değeri 45 m/dak kesme hızında 3,31 Nm olarak bulunmuştur. Bu ilerleme için Mz değerindeki azalma miktarı %0,90 olarak hesaplanmıştır. İlerleme miktarının 0,1 mm/dev'e artırıldığında, en yüksek için Mz değeri 15 m/dak kesme hızında 3,92 Nm, en düşük Mz ise 45 m/dak kesme hızında 3,84 Nm olarak belirlenmiş olup, bu azalma miktarı %2,05 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.10. SEY ile elde edilen moment için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F değeri	P değeri	PCR (%)
Kesme hızı	2	0,0440	0,0220	9,86	0,028	0,32
İlerleme miktarı	2	14,1982	7,0991	3184,11	0,000	99,62
Hata	4	0,0089	0,0022			0,06
Toplam	8	14,2511				100,00

Delme simülasyonları sonucunda elde edilen moment için ANOVA sonuçları incelendiğinde, Mz üzerinde en önemli etkinin %99,62 PCR ile ilerleme oranında olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan, kesme hızının %0,32 PCR ile moment üzerinde çok küçük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Hata yüzdesi ise %0,06 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 6.10).

Sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak gerçekleştirilen delme simülasyonları değerlendirildiğinde, deneysel sonuçlara benzer olarak artan ilerleme miktarıyla birlikte itme kuvveti ve moment değerlerinin belirli bir oranda arttığı belirlenmiştir. Diğer yandan, kesme hızının artmasıyla birlikte her iki işleme çıktısının (itme kuvveti ve moment) azaldığı ve bu sonucun deneysel verilerle benzer bir eğilimde olduğu tespit edilmiştir.

6.3. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin kaplamasız takımla delinmesinde, deneysel ve nümerik analize dayalı delme simülasyonları sonucunda elde edilen itme kuvveti ve moment değerlerinin karşılaştırılması sırasıyla Çizelge 6.11 ve Çizelge 6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.11. İtme kuvveti için deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

No	İlerleme miktarı (mm/dev)	Kesme hızı (m/dak)	Deneysel sonuç (N)	Analiz sonucu (N)	Hata oranı (%)
1	0,06	15	1016	938	7,67
2	0,08	15	1237	1090	11,89
3	0,1	15	1463	1253	14,35
4	0,06	30	1005	913	9,15
5	0,08	30	1212	1084	10,56
6	0,1	30	1397	1194	14,53
7	0,06	45	999	909	9,01
8	0,08	45	1206	1064	11,77
9	0,1	45	1361	1188	12,71

Çizelge 6.12. Moment için deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

No	İlerleme miktarı (mm/dev)	Kesme hızı (m/dak)	Deneysel sonuç (Nm)	Analiz sonucu (Nm)	Hata oranı (%)
1	0,06	15	3,15	2,76	12,38
2	0,08	15	3,80	3,34	12,11
3	0,1	15	4,29	3,92	8,62
4	0,06	30	2,89	2,73	5,53
5	0,08	30	3,64	3,33	8,51
6	0,1	30	4,05	3,87	4,44
7	0,06	45	2,79	2,68	3,94
8	0,08	45	3,16	3,31	4,75
9	0,1	45	3,91	3,84	1,79

Çizelge 6.11’de itme kuvveti için karşılaştırmalar ele alındığında, en yakın benzeşimin %7,67 hata oranıyla $f=0,06$ mm/dev ve $V=15$ m/dak olan işleme parametrelerinde tespit edilmiş, deneysel ve analiz sonuçları sırasıyla 1016 N, 938 N olarak bulunmuştur. Çizelge 6.12’deki moment sonuçları için karşılaştırmalar incelendiğinde, en iyi benzeşimin %1,79 hata oranıyla $f=0,1$ mm/dev ve $V=45$ m/dak olan işleme parametrelerinde gözlemlenmiş olup, deneysel ve analiz sonuçları sırasıyla 3,91 Nm, 3,84 Nm ölçülmüştür. Deneysel ve nümerik olarak elde edilen tüm sonuçlar kıyaslandığında, hata oranının %15’in altında olduğu belirlenmiştir.

Delme işleminde analiz ve deneysel sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, ilerleme miktarının hem deneysel yöntemde hem de sonlu elemanlar yönteminde

itme kuvveti ve moment değerlerine etkisinin aynı olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, kesme hızındaki artışın her iki yöntemde de itme kuvveti ve momenti azaltıcı yönde etki gösterdiği belirlenmiştir. G z önünde bulundurulan işleme parametrelerinin SEY ve deneysel yöntemde aynı etkiyi gösterdiği saptanmış, iki yöntem sonuçlarının da birbirleriyle tutarlı olduğu anlaşılmıştır.



BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemesinin kaplamalı ve kaplamasız takımlarla delinmesinde, kesme parametrelerinin (ilerleme miktarı ve kesme hızı) itme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi (SEY)'ne dayalı delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak yapılan delme simülasyonlarında sadece kaplamasız takım kullanılmış olup, deneysel yöntemle elde edilen Fz ve Mz değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar sırasıyla aşağıda özetlenmiştir.

- Kaplamasız takım için en yüksek itme kuvveti; 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 15 m/dak kesme hızında 1463 N, en düşük 0,06 mm/dev ve 45 m/dak kesme hızında 999 N olarak bulunmuştur.
- Kaplamalı takım için en yüksek itme kuvveti; 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 15 m/dak kesme hızında 1533 N, en düşük 0,06 mm/dev ve 45 m/dak kesme hızında 1196 N olarak belirlenmiştir.
- Hem kaplamalı hem de kaplamasız takım için ilerleme miktarının artması itme kuvvetini arttırırken, kesme hızının artması ise bu kuvveti azaltmıştır.
- Kaplamasız takım için en yüksek moment değeri; 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 15 m/dak kesme hızında 4,29 Nm, en düşük 0,06 mm/dev ve 45 m/dak kesme hızında 2,79 Nm olarak ölçülmüştür.

- Kaplamalı takım için en yüksek moment değeri; 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 15 m/dak kesme hızında 5,60 Nm, en düşük 0,06 mm/dev ve 45 m/dak kesme hızında 3,36 Nm olarak tespit edilmiştir.
- Kesme parametrelerinin moment üzerindeki etkisi itme kuvvetine etkisiyle benzer bir durum oluşturmuştur.
- Kaplamasız takım için elde edilen analiz sonuçlarına (SEY) göre; en yüksek itme kuvveti 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 15 m/dak kesme hızında 1253 N, en düşük 0,06 mm/dev ilerleme miktarında 45 m/dak kesme hızında 909 N olarak ölçülmüştür. Moment değerleri ise aynı parametre değerlerinde en yüksek ve en düşük olarak sırasıyla 3,92 Nm, 2,68 Nm olarak belirlenmiştir.
- Deneysel ve analiz sonuçları (kaplamasız takım için) karşılaştırıldığında, delme işlemine etki eden işlem parametrelerinin her iki yöntemde de aynı etkiyi gösterdiği saptanmıştır.
- Kaplamasız takım için en yüksek yüzey pürüzlülük (R_a) değeri; 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 15 m/dak kesme hızında 1,904 μm , en düşük 0,06 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek itme kuvveti 45 m/dak kesme hızında 1,458 μm olarak ölçülmüştür.
- Kaplamalı takım için en yüksek yüzey pürüzlülük (R_a) değeri; 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 15 m/dak kesme hızında 1,781 μm , en düşük 0,06 mm/dev ilerleme miktarında en yüksek itme kuvveti 45 m/dak kesme hızında 1,419 μm olarak ölçülmüştür.
- Elde edilen veriler doğrultusunda kaplamalı takımın kaplamasız takıma göre daha iyi bir yüzey oluşturduğu anlaşılmıştır.

- ANOVA sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, işlem çıktıları (yüzey pürüzlülüğü, moment ve itme kuvveti) üzerinde en etkin parametrenin ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir.

7.2. ÖNERİLER

- Paslanmaz çeliklerin delinmesinde, yüksek ilerleme miktarı ve düşük kesme hızı kullanılmamalıdır.
- Talaş kaldırma yöntemlerinde işleme çıktılarının tahmini değerlerine ulaşmak için sonlu elemanlar yöntemi tercih edilebilir.
- AISI 430 paslanmaz çeliğin delinmesinde, takım ömrü belirlemek için performans deneyleri yapılarak işleme parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilebilir.
- AISI 430 paslanmaz çeliğin delinmesinde, işleme çıktıları için matematiksel modelleme çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Kıvak, T., Çiçek, A., Uygur, İ. ve Özbek, N. A., “AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde tek katlı ve çok katlı kaplamaların delik kalitesi üzerindeki etkileri”, **3. Ulusal Talash İmalat Sempozyumu** (2012).
2. Sultan, A. Z., Sharif, S., and Kurniawan, D., “Chip formation when drilling AISI 316L stainless steel using carbide twist drill”, **2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference**, 224-229 (2015).
3. Sultan, A. Z., Sharif, S., and Kurniawan, D., “Effect of machining parameters on tool wear and hole quality of AISI 316L stainless steel in conventional drilling”, **2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference**, 202-207 (2015).
4. Balaji, M., Murthy, B. S. N. and Mohan Rao, N., “Optimization of cutting parameters in drilling of AISI 304 stainless steel using Taguchi ANOVA”, **Global Colloquium in Recent Advancement and Effectual Researches in Engineering Science and Technology**, 1106-1113 (2016).
5. Çaydaş, U., Haşcalık, A., Buytoz, Ö. and Meyveci, A., “Performance evaluation of different twist drills in dry drilling of AISI 304 austenitic stainless steel”, **Materials and Manufacturing Processes**, 26: 951–960 (2011).
6. Prabhu, M., Athijayamani, A., Chandrasekaran, K., Mahesh, S. and Dharmalingam S., “Development of nano layered coated B4TiN for AISI 410 in drilling operation”, **Journal of Applied Science Research**, 11(22): 1-4 (2015).
7. Paro, J.A., Gustafsson, T.E., and Koskinen, J., “Deformation effects on the interface between X2CrNi1911 stainless steel and hiped NiTi coating in machining”, **18th International Conference on Production Research**, 5, (2005).
8. Kaneriya N. G., Sharma G. K., “Experimental evaluation and optimization of dry drilling parameters of AISI304 austenitic stainless steel using different twist drills”, **5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference**, 543/1-7 (2014).
9. Kanagaraju, T., Kumar, M., Mahesh, R., Manikandan, R., and Shanmugapandiyar, S., “Influence of drilling parameters in super duplex stainless steel”, **International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology**, Vol. 3 445-451 (2016).

10. Siddique, A. N., Khan, Z. A., Goel, P., Kumar, M., Agarwal, G. and Khan, N. Z., "Optimization of deep drilling process parameters of AISI 321 steel using Taguchi method", **3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation**, 1217-1225 (2014).
11. Vas, J.S., Fernandes, A., D'Souza, A., Rai, A., Quadros, J.D., "Analysis of temperature changes during dry drilling of austenitic stainless steels on twist drills having different point angles", **Journal of Mechanical Engineering and Automation**, 6(5A): 121-125 (2016).
12. Ozcelik, B., Bagci, E., "Experimental and numerical studies on the determination of twist drill temperature in dry drilling: A new approach", **Materials and Design** 27, 920–927 (2006).
13. Kheireddinea, A.H., Ammouria, A.H., Lub, T., Jawahirb, I.S., Hamade, R.F., "An FEM analysis with experimental validation to study the hardness of in-process cryogenically cooled drilled holes in MgAZ31b", **14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations**, 588-593 (2013).
14. Han, R. and Wu, J., "Finite element simulation of drilling based on Thirdwave systems AdvantEdge", **Key Engineering Materials**, Vol. 431-432, 229-232 (2010).
15. Su, Y., Chen, D. D. and Gong, L., "3D Finite element analysis of drilling of Ti-6Al-4V alloy", **International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications**, 908-911 (2015).
16. Ahmeed, N., "Effect of changing drilling parameters on thrust force and torque", **Middle-East Journal of Scientific Research**, 21 (2): 347-352 (2014).
17. Gök, K., Türkes, E., Neseli, S., Saglam, H. and Gök. A., "The validation as experimental and numerical of the values of thrust force and torque in drilling process", **Journal of Engineering Science and Technology Review**, 6 (3) 93-99 (2013).
18. Davoudinejad, A. and Tosello, G., "3D Finite element modeling of drilling process of Al024-T3 alloy with solid tooling and experimental validation", **European Society For Precision Engineering And Nanotechnology, 17th International Conference** (2017).
19. Doomra, V. K., Debnath, K. and Singh, I., "Drilling of metal matrix composites: Experimental and finite element analysis", **Journal of Engineering Manufacture**, Vol. 229(5), 886-890 (2014).
20. Li, R. and Shih, A. J., "Finite element modeling of high-throughput drilling of Ti6Al4V", **Transactions of NAMRI/SME**, Vol. 35 73-80 (2007).

21. Muhammad, R., Ahmed, N., Abid., M. and Silberschmidt, V. V., “3D Modelling of drilling process of AISI 1010 steel”, **Journal of Machining and Forming Technologies**, Vol.2 Issue 3/4, 201-216 (2010).
22. Guo, Y. B. and Doenfeld, D. A., “Finite element modeling of burr formation process in drilling 304 stainless steel”, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, Vol. 122 612-619 (2000).
23. Gao, X., Li, H., Liu, Q., Zou, P. and Liu, F., “Simulation of stainless steel drilling mechanism based on Deform-3D”, **Material Science and Engineering Applications**, Vol. 160-162, 1685-1690 (2010).
24. Askaynak, O., C., “Paslanmaz çeliklerin kaynağı”, 3-14, 15-17 (2007).
25. Aran, A. ve Temel, M. A., “Paslanmaz çelik yassı mamuller üretimi, kullanımı, standartları, **Acar matbaacılık A.Ş.**, İstanbul, 9, 25-29, 53-54, 86-87 (2004).
26. Kaya, Y., “AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin TIG, MIG ve örtülü elektrod ark kaynağıyla birleştirilebilirliğinin araştırılması”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 25, No 3, 549-557 (2010).
27. Özer, A. ve Bahçeci, E., “AISI 410 martenzitik paslanmaz çeliklerin kesici takım ve kaplamasına bağlı işlenebilirliği” **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 24, No 4, 693-698 (2009).
28. Mavi, A. ve Gültekin, U., “Dubleks 1.4462 “Paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkisi”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 5(3): 177-184 (2017).
29. Kısasöz, A. ve Karaaslan, A. “Dubleks paslanmaz çeliklerde oluşan yüksek sıcaklık fazlarına genel bir bakış”, **Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası**, 57-61
30. Davis, J. R., “ASM, speciality handbook , stainless steel”, **ASM International**, 6-7 (1994).
31. Özer, E., “Fabrika imalat teknikleri”, **İstanbul Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu**, İstanbul, (2015).
32. Groover, M. P., “Fundamentals of modern manufacturing: Materials, process and system 4th edition”, **John Willey & Sons, Inc.**, USA, 483-533 (2010).
33. Aktaş, S., “İmalat işlemleri II ders notları”, **.Kocaeli Üniversitesi Uzunçiftlik Nuh Çimento Meslek Yüksek Okulu**, Kocaeli
34. Cerit, A. M., “Makina mühendisliği el kitabı, üretim ve tasarım”, **TMMOB Makina Mühendisleri Odası**, Cilt 2, Yayın No 170 253-255, 367-370, 373-377, 392, 406

35. Şeker, U., “Delik delme, ders notları”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 1-24
36. Schneider, G., “Cutting tool applications”, *ASM International*, USA, 1-153 (2002).
37. Çakır, A., “AA7075 ve AA 2024 alüminyum malzemelerine delik delinmesinde soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Ankara, 23-30 (2015).
38. Kıvak, T., “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti-6Al-4V alaşımının delinebilirliğinin üzerindeki etkilerinin araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Ankara, 20-35 (2012).
39. Çakır, M.C., “Modern Talaslı İmalat Yöntemleri”, *Vipas A.Ş.*, Bursa, 350-390 (2000).
40. Meral, G., “AISI 1050 malzemesinin delinmesinde delme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 12-25 (2010).
41. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *Birsan Yayınevi*, Ankara, (1998).
42. Özdemir, Ö., İpek, M. ve Zeytin, S., “Kesici takım malzemeleri”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, Sayı 497 (2000).
43. Çakmak, S., “AISI 4140 Çeliğin işlenmesinde kesici uç geometrisinin talaş kırmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Düzce Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Düzce, 13-15 (2015).
44. Eyigün, A., “Tornalama işleminde lunet kullanımının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi”, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Düzce, 33-34 (2014).
45. İnternet: Birçelik, “AISI 430 (1.4016) Paslanmaz çelik”, <https://bircelik.com/tr/kategori/430-1-4016-> (2018).
46. Filho, A. F., Herrera, C., Lima, N. B., Plaut, R. L. and Padilha, A. F., “Texture evolution of ferritic (AISI 430) stainless steel strips during cold rolling, annealing and drawing”, *Materials Science Forum*, Vol. 539-543 4926-4931 (2007).
47. Osmanoglu, T., “AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına soğuk deformasyonun etkileri”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 37-38 (2012).

48. Yürük, A., Bozkurt, B. ve Kahraman, N., “S235JR karbon çeliği ile AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 90-96 (2016).
49. İnternet: Msi-viking, “Marsurf M 300 set”, <https://www.msi-viking.com/assets/images/downloads/productspecsheets/MahrSpecSheets/MarSurf%20M%20300%20SET%20download.pdf>, (2018).
50. Weck, O. and Kim, Y. I., “Finite element method”, *Massachusetts Institute of Technology*, (2004).
51. Marusich, T. D., Usui, S., Ma, J. and Stephenson, D. A., “Finite element modeling of drilling processes with solid and indexable tooling in metals and stack-ups”, *ResearchGate*, (2014).
52. Kuram, E., Ozcelik, B. and Şık, E., “Effects of cutting fluid types and cutting parameters on surface roughness and thrust force”, *Proceeding of The World Congress on Engineering*, Vol.2 (2010).
53. Yaşar, N., Korkmaz, M. E. ve Günay, M., “Investigation on hole quality of cutting conditions in drilling of CFRP composite”, *MATEC Web of Conferences 112*, (2017).
54. Çiçek, A., Kıvak, T., Samtaş, G. and Çay, Y., “Modelling of thrust force in drilling of AISI 316 stainless steel using artificial neural network and multiple regression analysis” *Strojniski Vestnik Journal of Mechanical Engineering*, 492-498 (2012).
55. Küçüktürk, G., “Modeling and analyzing the effect of experimentally determined torque and thrust force on cutting tool according to drilling parameters”, *Journal of Engineering Manufacture*, 227(1) 84-95 (2012).
56. Bayraktar, Ş., Siyambaş, Y. ve Turgut, T., “Delik delme prosesi: bir araştırma”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 120-130 (2016).
57. Iliescu, M. and Vlas, A., “New mathematical models of axial cutting force and torque in drilling 20MoCr13 stainless steel”, *Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering*, 210-215 (2008).
58. Balajina, O. and Vlas A., “Analysis of the calculus relations of the cutting forces and moments at drilling of the stainless steel X20Cr13”, *Proceedings of the 6th International Conference on Manufacturing Engineering, Quality and Production System*, 88-93 (2013).
59. Günay, M., “AISI 316L çeliğinin işlenmesinde takım radyüsü ve kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 28, No 3, 437-444 (2013).

60. Saravanan, L. and Xavier, M. A., “Comparative performance of coated and uncoated inserts during intermittent cut milling of AISI 4340 steel”, ***Journal of Engineering Science of Technology***, Vol.10, 606-616 (2015).
61. Baviskar, K. A., Chavan, U. S. and Kulkarni, D., “Tool life, force and surface roughness prediction by variable cutting parameters for coated and uncoated tool, ***International Journal of Advanced Mechanical Engineering***, Vol.8, 61-69 (2018).
62. Yaşar, N., Boy, M. and Günay M., “The effect of drilling parameters for surface roughness in drilling of AA7075 alloy”, ***MATEC Web Of Conferences 112***, (2017).
63. Sharif, S. and Rahim, E. A., “Performance of coated and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy Ti6Al4V, ***Journal of Materials Processing Technology***, 72-76 (2007).
64. Gaurav, S. and Sargade, V. G., “Comparative performance evaluation of uncoated and coated carbide inserts in dry end milling of stainless steel (SS 316L), ***International Conference in Computational Intelligence***, (2011).
65. Nagalwade, P. L. and Kale, A. V., “Performance evaluation of TiN coated and uncoated carbide tools in turning AISI 4140 steel”, ***5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference***, 405(1)-405(6) (2014).

ÖZGEÇMİŞ

Tolga MERAL, 1992 yılında Artvin’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya’da tamamladı. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde öğrenime başlayıp 2015 yılında mezun oldu. Akabinde Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Makine Mühendisliği Anabilim Dal’ında yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Alimex Alüminyum A.Ş.’de Ar-Ge mühendisi olarak çalıştı. Şuan Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.

İletişim Bilgileri:

Adres : 846/1C Demsi sitesi Şeker Mah. SAKARYA/ADAPAZARI

E-posta : tolgameral54@gmail.com