

**SICAK VE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN
FARKLI DELİK DELME UYGULAMALARI İLE
DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE
MODELLENMESİ**

**2015
DOKTORA TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

İsmail TEKAÜT

**SICAK VE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN FARKLI DELİK DELME
UYGULAMALARI İLE DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE
MODELLENMESİ**

İsmail TEKAÜT

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2015**

İsmail TEKAÜT tarafından hazırlanan “SICAK VE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN FARKLI DELİK DELME UYGULAMALARI İLE DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE MODELLENMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Halil DEMİR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy çokluğu ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir. 16/01/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER (GÜ)

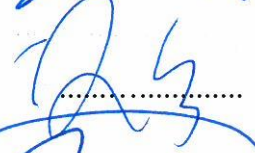
Üye : Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. İhsan KORKUT (GÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT (GÜ)

İmzası



...../...../ 2015

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“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.”

İsmail TEKAÜT

ÖZET

Doktora Tezi

SICAK VE SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN FARKLI DELİK DELME UYGULAMALARI İLE DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE MODELLENMESİ

İsmail TEKAÜT

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Halil DEMİR

Ocak 2015, 148 sayfa

Makine imalat sanayinde delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir. Bu nedenle son yıllarda işlenmesi zor malzemelerin delme işlemlerinde karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik yapılan deneysel çalışmalar hız kazanmıştır. Bu amaçla, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ve işlenmesi güç AISI H13 sıcak iş takım çeliği ile AISI D2 soğuk iş takım çeliği malzemeleri kaplamasız ve kaplamalı (AlCrN) solid karbür matkaplarla delinmiştir. Deneyler, kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme miktarı) ve kesici takım tipi (kaplamasız ve kaplamalı solid karbür) gibi işleme parametreleri değiştirilerek yapılmış; kesme kuvvetleri, moment, işleme sıcaklığı ve delik kalitesi (ölçü tamlığı, dairesellikten sapma ve yüzey kalitesi) değerlendirilmiştir. Kesme bölgesi sıcaklığı kaplamasız ve kaplamalı matkapların soğutma kanalları içerisine yerleştirilmiş ısıtıcı çiftler yardımıyla ölçülmüştür. Çalışma sonucu, ilerleme miktarının artışı kaplamasız ve kaplamalı

matkaplarla yapılan işlemlerde sıcaklığın azalmasını sağlamış, fakat ilerleme kuvveti ile moment artışına yol açmıştır. Kesme hızı artışı kaplamasız matkaplarla yapılan deneylerde sıcaklığın ve momentin azalmasına yol açarken, ilerleme kuvvetinin artmasına neden olmuştur. Kaplamalı matkaplarla yapılan deneylerde, kesme hızı artışı az da olsa sıcaklığın artmasına yol açarken, ilerleme kuvveti ve momentin azalmasına sebep olmuştur. İlerleme miktarı, kesme hızı ve kesici takım tipi, delik kalitesi üzerinde etkili faktörler olarak tespit edilmiştir. Deneysel veriler, ANSYS paket programı aracılığıyla değerlendirilmiş ve analiz sonucu, toplam deformasyonun ve gerilmelerin kesme kuvvetleri ile takım-talaş temas süresinden etkilendiği belirlenmiştir. Kesme parametreleri ve kesici takım tipi baz alınarak yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçlarının uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : AISI H13, AISI D2, delinebilirlik, kesme parametreleri, kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı, delik kalitesi, gerilme analizi, modelleme.

Bilim Kodu : 914.3.028

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

MODELING AND INVESTIGATION OF DRILLABILITY WITH DIFFERENT DRILLING APPLICATIONS OF HOT AND COLD WORK TOOL STEELS

İsmail TEKAÜT

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Halil DEMİR

January 2015, 148 pages

Drilling operation in manufacturing industry is one of the most important machining process. Therefore, experimental studies aimed at the solution of problems encountered in drilling of difficult to machine materials have increased in recent years. For this purpose, AISI H13 hot work tool steel and AISI D2 cold work tool steels widely used in industrial applications and difficult to machine were machined by uncoated materials and AlCrN coated solid carbide drills. The drilling tests were carried out at cutting various parameters (cutting speed and feed rate) uncoated and coated solid carbide drills and shear force, torque, process temperature and hole quality (dimensional accuracy, surface quality and deviations from circularity) were evaluated. Cutting temperature was measured using thermocouples inserted in the cooling channels of the uncoated and coated drills. The results showed that

increasing feed rate decreased the temperatures when drilling with uncoated and coated drills but increased the torque and feed force. While increasing cutting speed decreased the temperature and torque during drilling with uncoated drill, it caused the feed force to increase. In experiments with coated drills, increasing cutting speed led to the increase of temperature slightly and also decreased the feed force and moment. Feed rate, cutting speed and cutting tool type was identified as effective factors in the hole quality. The experimental data were evaluated by means of ANSYS program. The analysis results showed that total deformation and stresses were influenced by cutting forces and tool chip contact time. A mathematical model has been developed based on cutting parameters and cutting tool type. Experimental results were seen to be consistent with the results of mathematical models.

Keywords : AISI H13, AISI D2, drillability, cutting parameters, cutting forces, cutting temperature, hole quality, stress analysis, modeling.

Science Code : 914.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER, Doç. Dr. Halil Demir, Prof. Dr. İbrahim ifti, Doç. Dr. Abdullah Kurt, Öğr. Gör. Mehmet Boy, Öğr. Gör. Dr. Hacı Bekir Özerkan, Selçuk Yağmur ve emeği geçen tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu akademik tezi rahmetli annem YETER TEKAÜT' ün ruhuna ithaf ediyorum.

Bu alıŐma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi tarafından (Proje no: KBÜ-BAP-13/1-DR-002) desteklenmiŐtir. BAP birimine ayrıca teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. TAKIM ÇELİKLERİ	3
2.1.1. Sıcak İş Takım Çelikleri	3
2.1.2. Soğuk İş Takım Çelikleri.....	4
2.1.3. Çeliklerin İşlenebilirliği.....	5
2.2. DELİK DELME İŞLEMİ.....	6
2.2.1. Delik Delme İşleminin Diğer Talaş Kaldırma İşlemleri Arasındaki Yeri.....	6
2.2.2. Delik Delme İşlemleri.....	7
2.2.3. Matkap Geometrisi	10
2.2.4. Delik Delmede Kesme Kuvvetleri ve Güç	13
2.2.5. Delik Delmede Talaş Oluşumu.....	17
2.2.6. Matkap Aşınması	19
2.2.7. Deliklerde Şekil ve Konum Bozuklukları.....	22

	<u>Sayfa</u>
2.2.8. Delik Delmede Yüzey Pürüzlülüğü	24
2.2.9. Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Sıcaklık	25
2.3. SAYISAL MODELLEME VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	28
2.3.1. Sayısal Modelleme.....	29
2.3.2. Matematiksel Modelleme ve Çözüm Basamakları	30
2.3.3. Ansys ve Ansys Workbench Nedir?	32
BÖLÜM 3	34
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	34
3.1. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
3.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ	60
BÖLÜM 4	62
MALZEME VE METOD	62
4.1. DENEY MALZEMESİ VE NUMUNELERİN HAZIRLANMASI	62
4.2. DENEYLERDE KULLANILAN DİĞER MAKİNA VE EKİPMAN	65
4.3. KESME PARAMETRELERİ	71
4.4. PİLOT DENEYLER.....	73
4.5. SONLU ELEMANLAR METODU İLE MODELLEME.....	74
4.5.1. Gerilme Bileşenlerinin Modellenmesi.....	76
BÖLÜM 5	81
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	81
5.1. DENEYSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMALARIN ÖZETİ	81
5.2. KESME BÖLGESİNDEKİ SICAKLIĞIN DEĞERLENDİRİLMESİ	81
5.2.1. İlerleme Miktarına Bağlı Sıcaklık Değişimi.....	81
5.2.2. Kesme Hızına Bağlı Sıcaklık Değişimi	83
5.2.3. Malzeme Özelliklerine Bağlı Olarak Sıcaklık Değişimleri	88
5.3. İLERLEME KUVVETLERİ VE MOMENTLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	89

Sayfa

5.3.1. İlerleme Miktarına Bağlı İlerleme Kuvveti, Moment ve Kesme Kuvveti	90
5.3.2. Kesme Hızına Bağlı İlerleme Kuvveti, Moment ve Kesme Kuvveti	92
5.3.3. Malzeme Özelliklerine Bağlı Olarak İlerleme Kuvvetleri ve Momentler.....	95
5.4. YÜZEY KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	97
5.4.1. İlerleme Miktarına Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü	98
5.4.2. Kesme Hızına Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü	99
5.4.3. Malzeme Özelliklerine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü	101
5.5. ÖLÇÜ TAMLIĞI VE DAİRESELLİKTEN SAPMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	102
5.5.1. Ölçü Tamlığı (Çaptan Sapma)	104
5.5.2. Dairesellikten Sapma (Ovalite).....	109
5.6. ANALİTİK ÇALIŞMALAR VE ANALİZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	113
5.7. KESİCİ TAKIM MODEL SONUÇLARI	124
BÖLÜM 6	135
SONUÇ VE ÖNERİLER	135
6.1. SONUÇLAR	135
6.2. ÖNERİLER	139
KAYNAKLAR	140
ÖZGEÇMİŞ	147

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Delik delmede çap uzunluk ilişkisi	7
Şekil 2.2. Delme işlemleri.....	8
Şekil 2.3. Matkap ile iş parçası ekseninin hizalanması (TGO)	9
Şekil 2.4. Gagalayarak delme.....	9
Şekil 2.5. Matkabın yüzey ve kesici kenarlar	11
Şekil 2.6. Matkabın uç, helis ve enine kesme kenarı açıları	11
Şekil 2.7. Matkabın kesme açıları	12
Şekil 2.8. Matkapta etken yön ve açıların kesitte görünüşü	12
Şekil 2.9. Matkap ucunu etkileyen kuvvetler	13
Şekil 2.10. Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme momenti	15
Şekil 2.11. Matkap ucunun sürtünmesinde oluşan notasyonlar	16
Şekil 2.12. İdeal talaş şekli	18
Şekil 2.13. Matkap aşınma tipleri	20
Şekil 2.14. Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın gösterimi	20
Şekil 2.15. Matkap alın kesici kenar aşınması	21
Şekil 2.16. Dairesellikten sapma ve teknik resimde gösterilişi	22
Şekil 2.17. Dairesellikten sapma ölçme metodu.	23
Şekil 2.18. Isıl çiftlerde sıcak ve soğuk nokta sıcaklığının önemi.....	26
Şekil 2.19. Sonlu eleman örnekleri	31
Şekil 2.20. Ansys'nin modüler yapısı.	32
Şekil 3.1. Sertlik artışına bağlı talaş kırılma uzunlukları	36
Şekil 3.2. Isıl çiftlerin konumlandırılması	42
Şekil 3.3. Kablosuz ısıl çift düzeneği	44
Şekil 3.4. Kaynak'ın ısıl çifti yerleştirme düzeneği	45
Şekil 3.5. Talaş kaldırma esnasında oluşan sıcaklık dağılımı	58
Şekil 3.6. İşlenebilirlik açısından talaş formları	59
Şekil 4.1. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin mikroyapı fotoğrafı.....	62
Şekil 4.2. Rijit ve güvenli takım bağlama aparatı.	63

Şekil 4.3. Deneylede kullanılan numunelere ait teknik resim.	63
Şekil 4.4. Dik işleme merkezinde sabit kesici takım/dönen iş parçası uygulaması .	64
Şekil 4.5. Deneylede kullanılan yekpare karbür helisel kesici takım.	65
Şekil 4.6. DynoWare programındaki grafik çıktılarının görüntüsü.	66
Şekil 4.7. Soğutma delikleri boyunca ısı çift yerleştirilmiş kesici takım.....	69
Şekil 4.8. Deneyle düzenine şematik olarak gösterimi.	69
Şekil 4.9. Elemanlara ayırma işlemi sonrasındaki matkap.	74
Şekil 5.1. Kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıkların karşılaştırılması.....	82
Şekil 5.2. AISI H13- Kaplamasız takım ve oluşan talaş şekli.	83
Şekil 5.3. AISI H13- Kaplamalı takım ve oluşan talaş şekli.....	84
Şekil 5.4. AISI D2- Kaplamasız takım ve oluşan talaş şekli.	85
Şekil 5.5. AISI D2- Kaplamalı takım ve oluşan talaş.	86
Şekil 5.6. AISI H13 ile AISI D2 çeliklerinin sıcaklık karşılaştırılması.	87
Şekil 5.7. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin delinmesi esnasında oluşan ilerleme kuvveti kesme kuvveti ve moment değişiminin karşılaştırılması.	90
Şekil 5.8. AISI H13 ve AISI D2 malzemelerinin karşılaştırılması.	95
Şekil 5.9. Yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi.	97
Şekil 5.10. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin karşılaştırılması.	101
Şekil 5.11. Malzeme cinsi, kaplama uygulaması ve kesme parametrelerine bağlı olarak değişen çapta sapma.....	103
Şekil 5.12. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin çaptan sapma açısından karşılaştırılması.	106
Şekil 5.13. AISI H13 ve AISI D2 malzemeleri için dairesellikten sapmalar.....	109
Şekil 5.14. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin dairesellikten sapma değerlerinin karşılaştırılması.	112
Şekil 5.15. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla yapılan toplam deformasyon analizi.....	114
Şekil 5.16. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarda oluşan eş değer gerilme analizi.	116
Şekil 5.17. AISI H13 için en büyük ve en küçük asal gerilmelerin karşılaştırılması.	119
Şekil 5.18. AISI D2 için en büyük asal gerilme ile en küçük asal gerilmelerin karşılaştırılması.	121

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.19. Analiz ve model sonuçlarının karşılaştırılması.....	124
Şekil 5.20. Kaplamalı matkaplar için analiz ve model sonuçlarının karşılaştırılması.....	126
Şekil 5.21. Kaplamasız matkaplar için analiz ve model sonuçlarının karşılaştırılması.....	129
Şekil 5.22. Kaplamalı matkaplar için analiz ve model sonuçlarının karşılaştırılması.....	131

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. K değerleri	15
Çizelge 2.2. Sürtünme katsayı değerleri	17
Çizelge 4.1. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kimyasal kompozisyonu.	62
Çizelge 4.2. Deneyleerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri	65
Çizelge 4.3. Deneyleerde kullanılan kesici takımın mekanik ve termal özellikleri.....	65
Çizelge 4.4. KISTLER 9272 dinamometrenin teknik özellikleri.....	66
Çizelge 4.5. Mahr Perthometer yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri..	68
Çizelge 4.6. Çalışmalarda kullanılan makine ve teçhizatlar	70
Çizelge 4.7. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri.....	72
Çizelge 5.1. AISI H13 - kaplamasız matkaplar için hesaplanan model sabitleri.....	125
Çizelge 5.2. AISI H13 - kaplamalı matkaplar için hesaplanan model sabitleri	127
Çizelge 5.3. AISI D2 - kaplamasız matkaplar için hesaplanan model sabitleri.....	130
Çizelge 5.4. AISI D2-Kaplamalı matkaplar için hesaplanan model sabitleri	132

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: karbon
Si	: silisyum
Mn	: mangan
Al	: alüminyum
P	: fosfor
S	: kükürt
Cr	: krom
Mo	: molibden
Ni	: nikel
Co	: kobalt
Cu	: bakır
Nb	: niobyum
Ti	: titanyum
V	: vanadyum
W	: volfram
Sn	: kalay
Fe	: demir
Δ	: toplam deformasyon
S_{EQV}	: eş değer gerilme
S_1	: en büyük asal gerilme
S_3	: en küçük asal gerilme
F_Z	: ilerleme kuvveti
F_c	: kesme kuvveti
M_Z	: moment
f	: ilerleme miktarı
V	: kesme hızı

RMS : karakök ortalanma
 R^2 : belirlilik katsayısı
MAPE : ortalama mutlak yüzde hata
%emax: yüzde hata
 ϕ : enine kesme açısı
 θ : helis açısı
 γ : talaş açısı
 α : serbest acı
 β : kama açısı
 η : eğim açısı
 α_e : etken yanaşma açısı
 γ_e : etken talaş açısı
 F_a : ilerleme kuvveti
 F_r : radyal kuvvet
 F_c : kesme kuvveti
 F_t : kesme kuvveti
K : değer sabiti
s : ilerleme miktarı
d : takım çapı
 ψ : uç açısı,
 M_f : sürtünme momenti
 M_c : kesme momenti
 M_{top} : toplam moment
Kc : özgül kesme kuvveti
AlCrN : Alüminyum Krom Nitrür

KISALTMALAR

AISI : American Ironand Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
TGO : Toplam Gösterge Okuması
EMF : Sıcak Nokta İle Soğuk Nokta Arasındaki Sıcaklık Farkı
FEA : Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Analizi)

- CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
- NaCl : Sodium Chlorure (Sodyum Klorür)
- SEM : Scanning Electron Microscobe (Taramalı Elektron Mikroskobu)
- CBN : Cubic Boron Nitride (Bor İçeren Kübik Nitrür)
- HRB : Rockwell Hardness (Rockwell Sertlik)
- HB : Brinell Hardness (Brinell Sertlik)
- ISO : International Organization Standardization (Ulusalar Arası Standart Örgütü)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilen malzemeler tasarımcıların seçim yelpazesini genişletmiş ve bu genişlemede takım çelikleri önemli bir pay sahibi olmuştur. Takım çelikleri kesme, dövme, bükme gibi üretim yöntemi ile şekillendirilmesinin yanında daha çok talaş kaldırılarak şekillendirilmektedir. Fakat bu malzemelerin talaşlı ve talaşsız şekillendirilmesinde karşılaşılan zorluklar imalat alanında araştırmaları kaçınılmaz kılmıştır. Özellikle, bu malzemelerin geliştirilen özelliğinden dolayı talaş kaldırma yöntemi ile şekillendirmelerinde karşılaşılan kesici takım ömrü problemleri bu alanda yapılan araştırmaları tetiklemiştir. Talaşlı imalatta kaçınılmaz bir süreç olan kesici takım aşınması, kesici takım-iş parçası-işleme şartları arasındaki karşılıklı etkileşimin sonucu olarak kesici takımın kesme performansını kaybettiği önemli bir problemdir. Bu problemleri en aza indirmek için malzeme, kesici takım malzemesi, kesme parametreleri, işleme şartları vb. araştırılmalı ve işlemin verimliliği açısından uygun parametreler belirlenmelidir.

Talaş kaldırma işlemleri ağırlıklı olarak tornalama, frezeleme ve delik delme işlemlerinden oluşmaktadır. Bu işlemlerin ortak noktası işlemin kinematik ve dinamik yapılarının birbirine benzer olmasıdır. Yani frezeleme, tornalama ve delik delme yöntemlerinde talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımı benzerdir. Fakat delik delme işleminde talaş oluşumunun kapalı alanda meydana gelmesi ve gözle görülemez olması bu işlemi diğer işlemlerden farklı kılmaktadır. Çünkü talaş oluşumu ve talaş tahliyesi bir takım kısıtlamalar oluşturmaktadır. Bu kısıtlamalardan en önemlisi talaş akışını sınırlandıran sadece kesici takım (matkap) oluşan talaş kalınlığıdır. Matkap-iş parçası arasındaki sürtünme karakteristiği de önemli olup, yüzeyden transfer olan ısının yetersiz olması ve dönme ekseninde kesici ağız boyunca kesme hızı değerinin sıfır olması en temel sorunlardır. Bu yüzden matkap ve

işleme parametreleri, özgül değerlerde tezgaha ve iş parçasına uygun seçilerek arzu edilen delik kalitesi sağlanmalıdır [1].

Delik delme işleminde talaş kırma ve talaş tahliyesi kritik öneme sahip işlemlerdir. Delik derinliği ne kadar fazla ise işlemi kontrol etmek ve talaş kaldırmak o kadar zor olmaktadır [1]. Delme işlemi sırasında meydana gelen talaş oluşumu kesme kuvvetlerini, kesme sıcaklığını ve dolaylı olarak deliğin yüzey kalitesi ile ölçü tamlığını etkilemektedir. Ayrıca, delme işlemleri sırasında oluşan talaşın tahliye edilebilirliği de delik kalitesini doğrudan etkileyen bir unsurdur. Kesme hızı ve ilerleme miktarı delik delmedeki en önemli parametrelerdir. Bunlar kesme işlemi sırasında meydana gelen sıcaklık ve kesme kuvvetlerini doğrudan etkilemekte olup matkap performansını belirleyen unsurlardır. Her kesici takım da olduğu gibi matkabın da bir ömrü vardır ve ömrünü tamamlayan matkapla yapılan bir kesme işlemi delik kalitesini ve ölçü tamlığını etkilemektedir. Ancak kaplamalı matkaplarla yapılan delme işlemlerinde, delme sürecinde takım ömrünü azaltan bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak ve matkapları daha uzun süreli kullanmak mümkündür. Fakat kaplamalı matkap fiyatlarının kaplamasızlara göre yüksek olması işleme maliyetlerini artırmaktadır. Bu bağlamda, herhangi bir malzeme üzerinde gerçekleştirilecek olan delik delme işlemlerinde oluşan sıcaklığın ve kesme kuvvetlerinin önceden tahmin edilerek kesme işleminin yapılması matkap ömrünün kestirilebilir olmasında etkin rol oynayacaktır. Dolayısıyla matkap ömrünün önceden tahmini oluşacak delik kalitesi hakkında imalatçıya ışık tutacaktır.

Tüm bu bilgiler göz önüne alınarak, endüstride yaygın kullanılan AISI H13 sıcak iş takım çeliği ile AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinmesi işleminde delik kalitesi araştırılmıştır. Bu çalışmada, kesme parametrelerinden kesme hızı ve ilerleme miktarlarının farklı kombinasyonlarına bağlı olarak sıcaklık, kesme kuvvetleri, delik kalitesi (yüzey pürüzlülüğü, delik ölçüsünün tamlığı ve dairesellikten sapmalar) değerleri deneysel olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler ANSYS paket programı yardımıyla analiz edilerek yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir.

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

2.1. TAKIM ÇELİKLERİ

Demir alaşımları, öncelikle demir-karbon esaslı olan sade karbonlu çelik alaşımlarını, takım çeliklerini ve dökme demirleri içermektedir. Geniş kullanım alanı olan takım çelikleri, su verme ve temper ısıl işlem ile yüksek sertlik elde edilebilen yüksek karbonlu çeliklerdir. Bu çelikler, talaş kaldırmak için kesici takımların imalatında, yüksek dayanım, sertlik, tokluk veya yüksek sıcaklık direnci gibi özellikler gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Takım çeliklerinin kimyasal bileşiminin çok geniş aralıklarda olması bu çeliklerin diğer çelik grupları ile kesişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle takım çeliklerinin kimyasal bileşimine göre sınıflandırılması mümkün olmadığı için sınıflama ana kullanım alanına göre yapılmaktadır. DIN 17350 normunda kullanım alanına göre yapılan sınıflandırmada, takım çelikleri; soğuk iş takım çelikleri, sıcak iş takım çelikleri, yüksek hız takım çelikleri adı altında toplanmıştır. Bu çelikleri birbirinden ayıran özellikleri, malzeme özelliklerini etkileyen kullanım sıcaklığı ve malzemenin temperleme sıcaklığıyla sertliğinin değişimidir [2].

2.1.1. Sıcak İş Takım Çelikleri

Sıcak iş takım çelikleri demir, demir dışı metal, polimer ve seramik malzemelerin yüksek sıcaklıklarda şekillendirilmesi işlemleri ile çok yüksek mekanik ve termik zorlanma altında çalışan takımların üretiminde kullanılır. Bu çelikler kullanıldığı yerlerde genellikle periyodik ani sıcaklık değişimleri etkisinde kalır. Yüksek sıcaklıklarda ve yüksek mekanik yükler altında çalışan bu çeliklerin çalışma sıcaklığı 200°C'nin üzerindedir. Sıcak iş takım çeliğinin yüksek temper dayanımı, yüksek

sıcaklık dayanımı, yüksek sıcaklık tokluğu, yüksek sıcaklıktaki aşınma dayanımı ve termoşok dayanımı çeliğin yapısına ilave edilen alaşım elementlerinin miktarı ve uygulanan ısıl işlem yönteminden kaynaklanmaktadır. Bu çeliklerin en önemli özelliği yüksek sıcaklıkta kullanılabilir olması ve kullanım sırasında sıcaklık artışına rağmen sertliklerinde düşüş olmamasıdır. Artan ısı ile sertlik kaybı ne kadar düşükse çeliğin temper dayanımı da o kadar yüksek olur. Bu çeliklerinde sertlik, soğuk iş takım çeliklerinde olduğu gibi sürekli bir düşüş göstermez, tam aksine alaşım elementi miktarına bağlı olarak 500-600 °C arasında bir maksimum sertlik gösterir. Sıcak iş takım çelikleri genelde: dövme kalıplarının imalatında, hafif ve ağır metallerin basınçlı döküm takımlarında, metal ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplarında, bakır-pirinç ve bronzlarının sıcak şekillendirilmesinde (dövme, ekstrüzyon ve enjeksiyon preslerinde), çubuk ve boru ekstrüzyon takımlarında, bükme-formlama takımlarında, özel plastik kalıpların imalatında, yüksek gerilimli sıcak iş takımları, sıcak ekstrüzyon takımları ve kalıpları, civata, somun, perçin vb. parçaların imalatında kullanılmaktadır. Sıcak iş takım çelikleri yapısına ilave edilen alaşım elementleri miktarı ile üretimi aşamasında uygulanan ısıl işlemler göz önüne alınarak sınıflandırılmaktadır [3].

2.1.2. Soğuk İş Takım Çelikleri

Soğuk iş takım çelikleri; işlem sıcaklığı 200 °C'nin altında çalışan iş parçalarının talaşlı ve talaşsız imalatında kullanılır. Soğuk iş takım çelikleri, metalik veya metalik olmayan malzemeler için kesme kalıpları, soğuk deformasyon ve plastik şekillendirme kalıpları yapımında en çok tercih edilen çelik grubudur. Bu kalıplarda darbe olmadığında tokluk düşük olabilir. Fakat darbeye maruz kalan kalın sac kesen makas ağızları, zimbalar veya soğuk makaslarda tokluğu yüksek olması, kırılma ve atma gibi risklerin minimuma indirilmesi gerekir. Bu nedenle bu kalıplar genelde basma, aşınma, bükme ve kayma yüklenmeleri altında çalıştıkları için sertlik, aşınma direnci ve tokluk gibi önemli özellikleri olan soğuk iş takım çeliklerinden imal edilirler. Sertlik ve aşınma dayanımı, soğuk iş takım çeliklerinin en önemli özelliğidir. Sertlik de mikroyapıya bağlıdır. Sertlik sadece matris yapıdan gelebildiği gibi aynı zamanda karbürlere ve kalıntılara da bağlı olabilir. Bu alaşımlı çeliğin mikroyapısındaki martenzit, kalıntı östenit, karbür miktarı ve dağılımı malzemenin

sertliğini belirleyen en önemli unsurlardır. Bu çelikler genelde; kesme takımları, delme zımbaları, makine bıçakları, cıvata perçin ve somunları, kağıt ve plastik bıçakları, kazıma bıçakları, sıvama kalıpları vb. makine parçalarının veya sistemlerin imalatında kullanılmaktadır. Soğuk iş takım çelikleri de yapısına ilave edilen alaşım elementleri miktarı ve üretim aşamasında uygulanan ısı işlemler dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır [3].

2.1.3. Çeliklerin İşlenebilirliği

İşlenebilirlik, bir malzemeyi istenilen biçimde ve boyutta şekillendirmek için yapılan işlemlerde karşılaşılan zorluklar veya güçlüklerdir. İşlenebilirlikte karşımıza çıkan temel etken malzeme yapısıdır. İş parçası malzemesinin metalürjisi, kimyası, mekaniği, ısı işlemleri, katkı maddeleri, içindeki kalıntılar, yüzeyindeki sert tabakanın kalınlığı gibi özellikler malzemenin işlenebilirliğini etkiler. Kesici takım-iş parçası çiftinin, kesici takım ömrü, talaş oluşumu, yüzey kalitesi, talaş debisi, kesme kuvveti ve yığma kenar eğilimi kriterleri de işlenebilirliği etkilemektedir.

Talaş kaldırılarak şekillendirilen çelik malzemelerde sertlik, mukavemet, süneklik, ısı iletkenlik, deformasyon sertleşmesi, kalıntılar, katkı malzemeleri, malzemenin yapısı (ferrit, perlit, sementit) ve malzemeye uygulanan ısı işlem yöntemleri malzemenin işlenebilirliğini belirleyen temel faktörlerdir. Bu faktörlerin bir araya gelerek malzemede oluşturduğu sertlik ve mukavemetin düşük olmasını istenir. Fakat malzemenin sertliğinin düşük olması sünekliği artıracaktır. Artan süneklik talaş kaldırma işlemlerinde yığma kenar oluşumuna yol açmakta ve kötü yüzey bırakmaktadır. Bu nedenle iyi bir işlenebilirlik için süneklikle sertlik arasında bir ara değer bulunması gerekmektedir. Bunun için çelik içerisinde bulunan karbon ve ilave edilen alaşım elementleri miktarı önemlidir. Çünkü çeliğin içerisine ilave edilen elementlerin oluşturdukları bileşikler işlenebilirliği etkilemektedir. Malzemenin yapısında oluşan bileşikler, kalıntılar, karbürlerin tane boyutu ve dağılımı uygulanan ısı işlem yöntemi ile kontrol edilir. Isıl işlem sonucu malzemenin yapısında oluşan karbürler ile kalıntıların tane boyutunun ince olması ve homojen dağılımı malzemenin yüksek kırılma tokluğu ve yüksek sünekliğinin olmasını sağlarken malzemenin mukavemetini yükseltir. Yüksek mukavemetli malzemenin plastik

deformasyonu için daha çok kuvvet harcamak gerekir. Örneğin karbon elementi sertliği artırırken, MnS (mangan sülfat) bileşiği talaş oluşumu sürecinde düşük mukavemetli düzlemler oluşturur. Talaş kaldırma esnasında bu düzlemler boyunca çatlak başlangıcı ve çatlağın yayılması için gerekli enerji miktarı azalır. Bu durum birincil deformasyon bölgesinde deformasyonu kolaylaştırır. Deformasyonun kolaylaşması talaş oluşumu esnasında talaşın kıvrılmasında artış, talaş kalınlığı, takım-talaş temas uzunluğu ve kesme sıcaklığında azalma sağlar. Tüm bu azalmalar kesme kuvvetlerinde azalmasına yol açar [4].

2.2. DELİK DELME İŞLEMİ

2.2.1. Delik Delme İşleminin Diğer Talaş Kaldırma İşlemleri Arasındaki Yeri

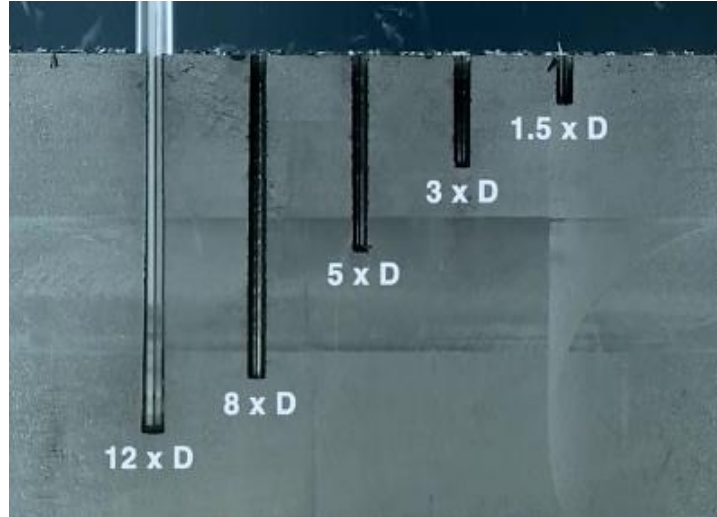
Delik delme, iş parçasından talaş kaldıran bir kesici takım yardımıyla silindirik delik açma işlemidir. Bu işlem genelde, kısa veya derin delik delme işlemlerinden oluşmaktadır. Delik delme işlemi, sanayinin tüm alanlarında makine gövdelerinin iç ve dış yüzeylerinde çeşitli amaçla kullanılan deliklerin açılması veya mevcut deliğin genişletilmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Delik delme işlemi sonrası broşlama, raybalama, havşa yuvası açma ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli bitirme işlemleri de delik delme işlemi kapsamındadır. Bütün bu işlemlerde ortak nokta, ana dönme hareketinin doğrusal bir ilerleme hareketiyle beraber iş parçasından talaş kaldırılarak silindirik deliklerin oluşturulmasıdır. Delik delme işlemleri genel olarak ya sabit kesici takım-dönen iş parçası veya sabit iş parçası-dönen kesici takım tertibinde gerçekleştirilir [5].

Delik delme işleminde talaş oluşumunun kapalı alanda oluşması ve kesme olayının tam detaylı görülebilmesi birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Talaş tahliyesi esnasında yaşanan sıkıntılar ve istenilen kalitede delik elde edilememesi bu problemlerin ilk sıralarında yer almaktadır. Bu problemleri en aza indirmek için delik delme işleminde matkap, tezgah, iş parçası malzemesi ve kesme parametrelerinin bir birleriyle uyumlu olmaları delik delme işleminin verimliliği ve delik kalitesi için oldukça önemlidir [5].

2.2.2. Delik Delme İşlemleri

Delik delme işlemi, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik işleme) ve raybalama gibi birbirini takip eden işlemlerden oluşur. Delikler, delik boyu ve delik çapının orantısal ilişkisine bağlı olarak kısa delik, normal delik ve uzun (derin) delik olarak sınıflandırılmaktadır. Delik delme işlemlerinde delik boyu, delik çapının 10 katından büyük olan deliklere uzun/derin delik, delik boyu delik çapının 4-10 katı arasında olan deliklere normal delik, delik boyu delik çapının 3 katı veya daha az katında olanlara ise kısa delik adı verilmektedir (Şekil 2.1) [5].

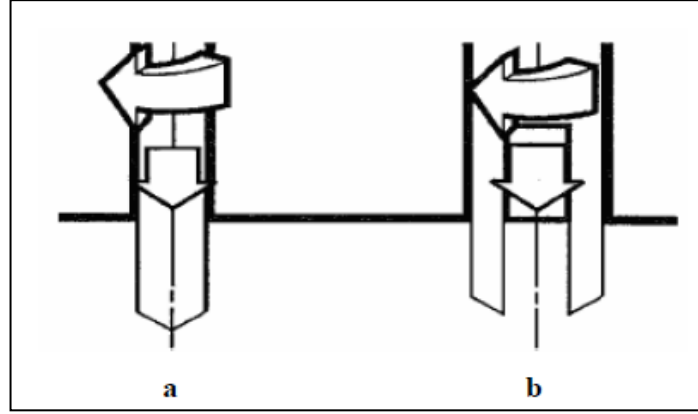
Delik delme işleminde en önemli kıyaslama kriteri talaş tahliyesidir. Delik delme işleminde delik boyu derinleştikçe talaşın tahliyesi ve işlemin kontrol edilmesi zorlaşır. Kısa delik delme işlemi ile derin delik delme işlemini birbirinden farklı kılan sadece çap ve delik boyu ilişkisi olmayıp, talaş tahliyesi ve talaş debisi de önemli bir kıyaslama kriteridir [6]. Ayrıca uzun delik delme işlemlerinde talaşın tahliyesinin daha uzun zaman alması matkap sıcaklığının en üst seviye ulaşmasını sağlar. Bu nedenle uzun delik delme işlemlerinde sıcaklıkta önemli bir kriterdir [7].



Şekil 2.1. Delik delmede çap uzunluk ilişkisi [8].

Delik delme uygulamaları içerisinde en yaygın olarak kullanılan dolu bir iş parçasının yekpare bir matkapla tek bir işlemde delinmesidir (Şekil 2.2.a). Hem içten hem de dıştan kesen bir takımın kullanıldığı çevreden kesme (Şekil 2.2.b) metodu

dolu numuneye delik delme işlemindeki kadar güç gerektirmeyen ve prensipte büyük çaplı deliklerin delinmesi için ön delik delinmiş parçalara uygulanan bir metottur. Bu metot, malzemenin tamamını talaş olarak kaldırmak yerine, merkezde silindirik şekilde bir çekirdek oluşturan ve yine tek operasyonda tamamlanan bir delme işlemidir [9].



Şekil 2.2. Delme işlemleri a) Tek operasyonda delme işlemi, b) Ön delik delme [9].

Delik delme işlemlerinde, dönen matkap/sabit iş parçası veya sabit matkap/döner iş parçası uygulamaları söz konusudur. Uygulamada sabit bir matkap kullanılacaksa en önemli husus, matkap ile fener milinin eş eksenli olarak hizalanması ve bunun için gerekli kontrollerin yapılmasıdır. Delme işleminde uygulama ne olursa olsun, titreşim, çok düşük frekansta olsa bile, takım ömrü ve üretim güvenliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Titreşim; kötü yüzey kalitesi, serbest yüzey aşınması yerine tanecik kopması ve çabuk kırılmaya sebep olmaktadır. Ayrıca delme işleminde minimum salgı esastır. Yekpare (solid) matkap uygulamalarında en önemli kriterlerden biri, en düşük salgıyı sağlamaktır. IT 8 aralığına kadar düşebilen toleranslar ve en iyi takım ömrünü elde edebilmek amacıyla matkap ve pens için 20 mikronluk “Toplam Gösterge Okuması (TGO)”nın aşılmaması (delik – matkap eksenleri arasındaki TGO) tavsiye edilir (Şekil 2.3). Döner elemanın (matkap veya iş parçası) anma salgısı için salgı, toplam uzunlukta 0,015 mm’yi geçmemelidir. Bunu sağlamak için kovanların kullanılmasından kaçınılması ve doğrudan bağlama tavsiye edilir. Söz konusu bu tedbirlerin alınması halinde sabit matkap/döner iş parçası uygulamasıyla delme işlemi yapılabilir [6].

2.2.3. Matkap Geometrisi

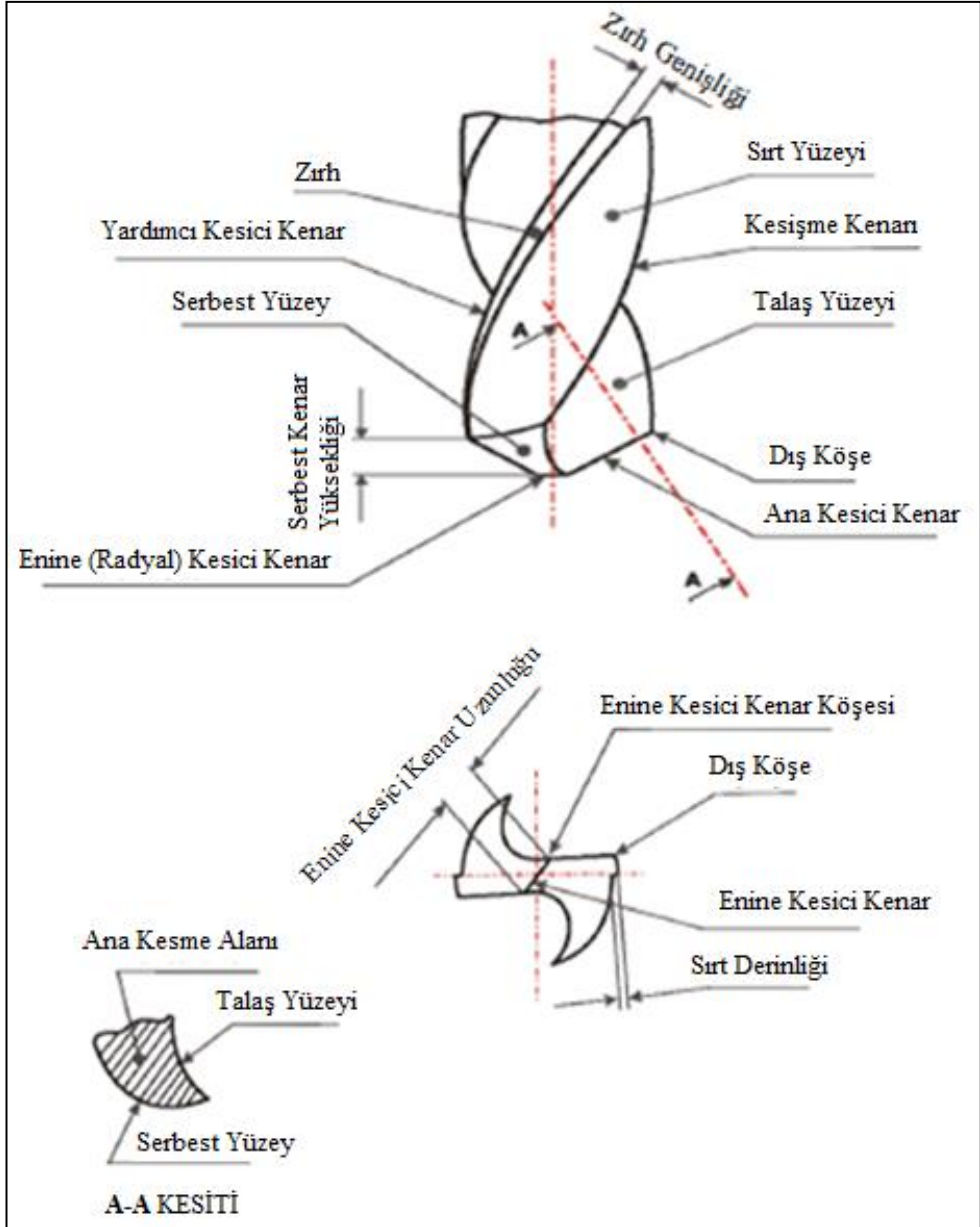
Delik delme işlemlerinde en yaygın kullanılan kesici takım olan helisel matkaplar, konik bir çekirdek etrafına helisel olarak sarılmış iki veya daha fazla kesici ağza sahip, iş parçasından talaş kaldırarak delik delme ve delik genişletme işlemlerinde kullanılan kesici takımlardır [11].

Delik delme işlemlerinde, matkabin uç kısmı talaş kaldırma olayının gerçekleştiği kısımdır. Bu uç kısım ana kesici kenarın bulunduğu iki ya da üç ağızdan oluşmaktadır. Her ağzın bir talaş yüzeyi ve serbest yüzeyi bulunmaktadır. Ana ağzların bulunduğu koni tam sivri değildir. Aralarında *çekirdek* denilen yassı bir kısım mevcuttur. Çekirdeğin uç genişliği *enine kesici kenarı* oluşturur. *Serbest yüzey*, uç kısmındaki konik alandır. Matkabin kanallı kısmında iki kanal arasında kalan yüzey *sırt* denilen kısımdır. Sırt üzerinde matkabin kanalı boyunca helisel olarak uzanan yüzeye *zırh* adı verilir ve zırh yüzeyinin kanal tarafındaki kenarı *yardımcı kesici kenar* olarak adlandırılır (Şekil 2.5).

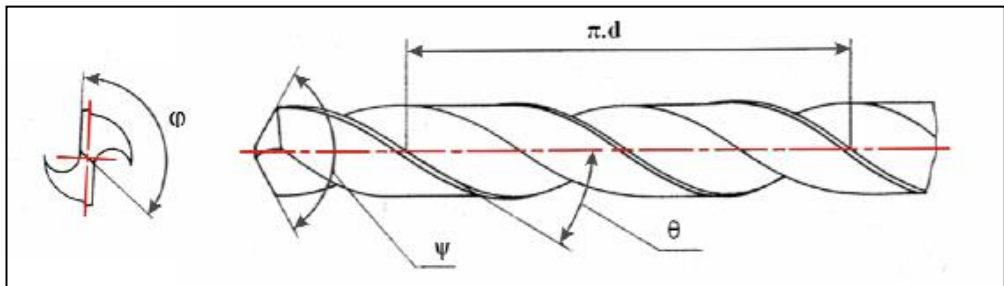
Matkabin iki ana kesici kenarların birbirine göre açısal konumu *uç açısını* (ψ), enine kesme ağzının konumu *enine kesme açısını* (ϕ), kanalların matkap eksenine göre konumu *helis açısı* (θ) olarak tanımlanır (Şekil 2.6) . Matkapların ana kesme ağzının geometrisi bir ağızlı tek uçlu kesicilere benzetilerek yorumlanabilir. Kesme açıları adı verilen talaş açısı (γ), serbest açısı (α) ve kama (β) açısı matkabin uç açılarını oluşturmaktadır (Şekil 2.7) . Bu açıların toplamı 90° eşittir [12].

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (2.1)$$

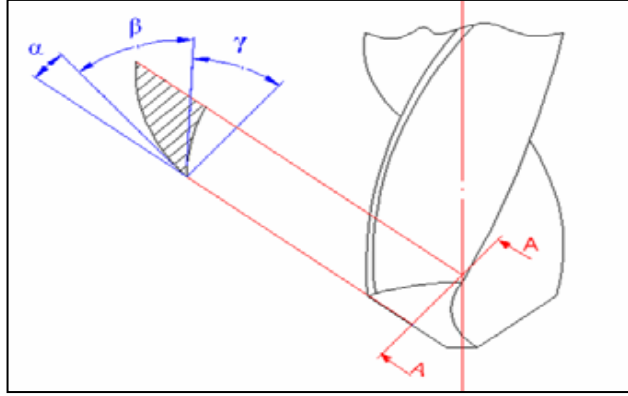
Matkapta ana kesici kenarlarda ağız boyunca talaş açısı değişmektedir. Ana kesici kenarın dış köşesinde maksimum olan talaş açısı matkabin ucuna doğru azalmakta, enine kesme ağzının bulunduğu yassı kısımda negatif olmaktadır. Bu durumda kama açısı $\beta > 90^\circ$ olur. Bundan dolayı enine kesme kenarında talaş kesilerek değil ezilerek kaldırılmaktadır [12].



şekil 2.5. Matkap yüzeyi ve kesici kenarlar [12].



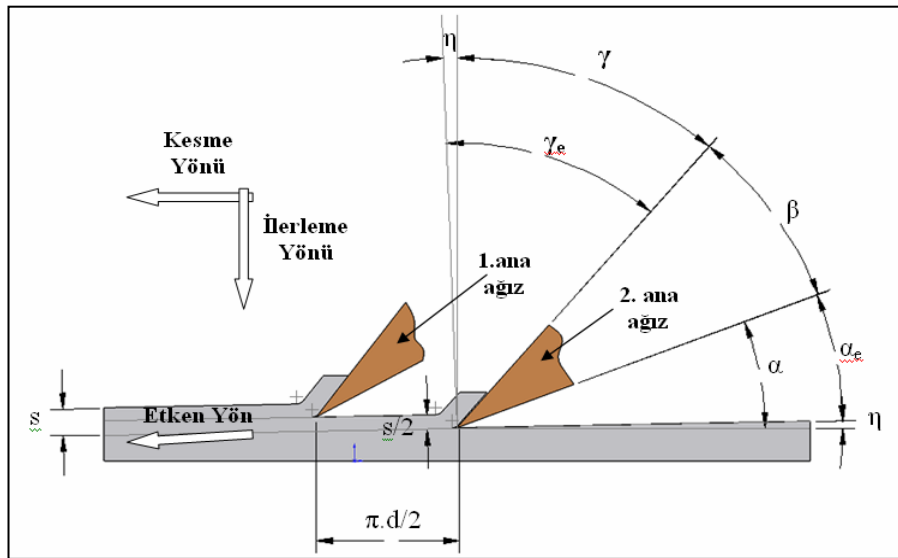
şekil 2.6. Matkabin uç, helis ve enine kesme kenarı açları [12].



Şekil 2.7. Matkabin kesme açıları [12].

Matkabin kesme esnasında tüm ağız, helisel bir yüzey oluşturur. Helisel yüzey kesme ve ilerleme yönlerinin oluşturduğu etken yöndeki eğim açısından (η) dolayı talaş kaldırma sırasında matkabin kesme açıları değişecektir. Eğim açısından dolayı ortaya çıkan bu yeni açılara *etken kesme açıları* denir. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi yaklaşma açısı (α) eğim açısı (η) kadar azalarak *etken yaklaşma açısı* (α_e) ortaya çıkar ($\alpha_e = \alpha - \eta$). Talaş açısı (γ) ise eğim açısı kadar büyüyüp *etken talaş açısı* (γ_e) ortaya çıkar ($\gamma_e = \alpha + \eta$). Kama açısı ise değişmeden kalır [12]. Eğim açısı ise şu eşitlikle hesaplanır;

$$\tan \eta = s / (\pi \cdot d) \quad (2.2)$$

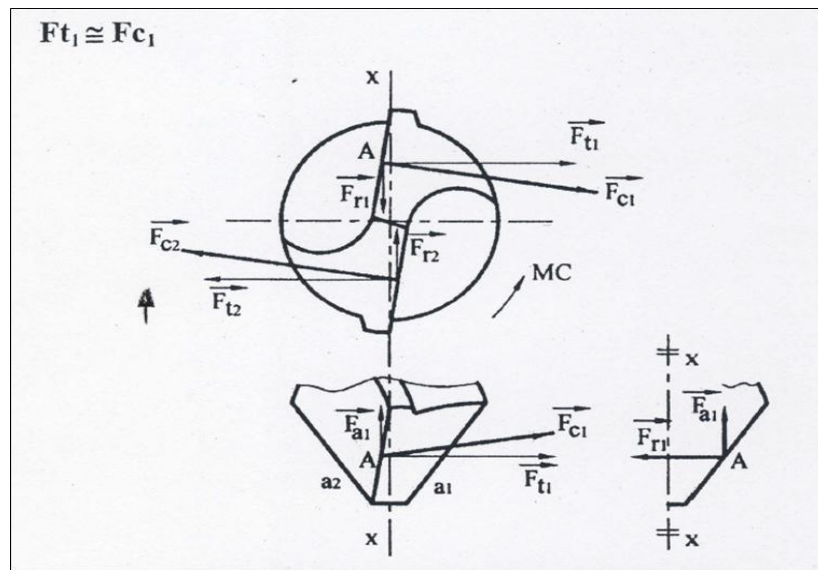


Şekil 2.8. Matkapta etken yön ve açıların kesitte görünüşü [12].

2.2.4. Delik Delmede Kesme Kuvvetleri ve Güç

Delik delme işleminde matkap, delik boyunca ilerlemek ve talaş kaldırmak için enerji harcar. Matkabin kesici kenarları talaş kaldırmaya başladığı an kesme kuvvetleri matkabin kesici kenarlarına etki etmeye başlar ve bu işlem için bir miktarda güç gereklidir. Gerekli olan bu güç, iş parçası malzemesinin cinsine göre farklılık gösterdiği için gücün, momentin ve ilerleme kuvvetinin hesaplanmasında özgül kesme kuvvetine (k_c - N/mm^2) ihtiyaç vardır [13]. Delik delme işlemlerinde özgül kesme kuvveti, 1 milimetrekarelik bir talaş kesit alanını kesmek için gerekli olan teğetsel kuvveti veya efektif kesme kuvvetinin teorik talaş alanına oranı olarak tanımlanır. Örneğin özgül kesme kuvveti karbon çeliği (% 8 C) için $2700 N/mm^2$, normal bir alüminyum alaşımı için ise $750 N/mm^2$ ' dir. Özgül kesme kuvveti; efektif talaş açısı, ortalama talaş kalınlığı ve iş parçası malzemesine bağlı olarak hazırlanmış tablolardan elde edilir. Özgül kesme kuvveti pozitif talaş açısı ve ortalama talaş kalınlığı arttıkça azalma gösterir. Talaş açısının her bir derecelik artışı için özgül kesme kuvveti değerindeki azalma % 1-1,5 civarındadır [14].

Delme işlemi esnasında matkabin bir ağzına gelen talaş kaldırma kuvveti bileşenleri kesme kuvveti ($F_c = F_t$), ilerleme kuvveti (F_a) ve radyal kuvvetten (F_r) oluşmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Matkap ucunu etkileyen kuvvetler [15].

Matkapta bulunan ağızların konumu itibarıyla her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedirler. Bundan dolayı delme işleminde sadece F_c ve F_a kuvvetleri hesaba katılmaktadır [15]. Matkap ucu incelendiğinde, kesici ağızlardan birinin üç kuvvetin etkisi altında olduğu görülür. Takımın iki kesici ağızdan oluştuğunu kabul edersek, aşağıdaki bağıntılar yazılabilir;

$$F_a = F_{a1} + F_{a2} \quad (\text{eksenel kuvvet}) \quad (2.3)$$

$$F_{t1} = F_{t2} \quad (\text{teğetsel kuvvet}) \quad (2.4)$$

$$F_{c1} = F_{c2} \quad (\text{kesme kuvveti}) \quad (2.5)$$

İlerleme kuvveti (F_a) genelde deneysel yollarla belirlenir. F_t teğetsel kuvvet ile F_c kesme kuvveti pratikte birbirine eşit olarak kabul edilir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar neticesinde ilerleme kuvveti ;

$$F_a = 2F_c \cdot \sin \psi/2 \quad (\text{N}) \quad (2.6)$$

$$F_a = K \cdot (s \cdot d)^{0.8} \quad (\text{N}) \quad (2.7)$$

Yazılan bu eşitliklerden $F_a = K \cdot (s \cdot d)^{0.8} \quad (\text{N})$ gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği için ilerleme kuvveti hesaplamalarında daha çok tercih edilmektedir. Bu eşitliklerde;

F_c : Esas kesme kuvveti (N),

s : İlerleme miktarı (mm/dev),

d : Takım çapı (mm),

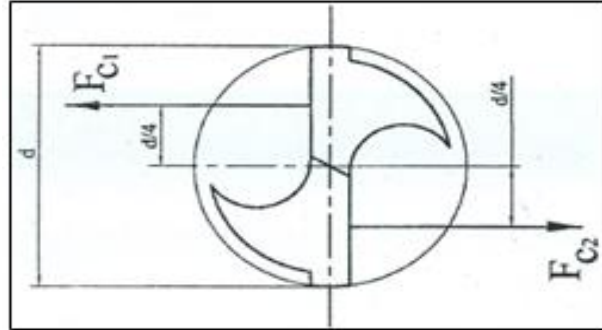
ψ : Uç açısı,

K : Çizelge 2.1'deki K sabitini ifade etmektedir.

Çizelge 2.1. K değerleri [15].

Delinen gereç cinsi (genel)	K (N/mm ²)
Çelikler	1650
Döküm gereçler	800
Hafif metal alaşımları	900

Delme işleminde, kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği momenti iki ayrı açıdan incelemek gerekir. Birincisi delme (kesme) momenti (M_c), diğeri ise sürtünme momenti (M_f) olup, delme esnasında oluşan toplam moment bu iki momentin toplamından oluşmaktadır. Delme momenti, F_c kesme kuvvetinin matkap yarıçapının dörtte bir uzunluğunun çarpımı sonucu elde edilir (Şekil 2.10). Matkapta bulunan ağız sayısı kadar moment oluşacağından F_c 'nin oluşturduğu moment ağız sayısı ile çarpılarak delme momenti toplamı elde edilir. Şekil 2.10'daki kesme kuvvetinin tarafsız eksene göre momenti alınır,



Şekil 2.10. Kesme kuvvetlerinin oluşturduğu kesme momenti [15].

$$M_c = F_c \cdot (d/4) + F_c \cdot (d/4) \text{ (Nm)} \quad (2.8)$$

$$M_c = 2 \cdot F_c \cdot (d/4) \text{ (Nm)} \quad (2.9)$$

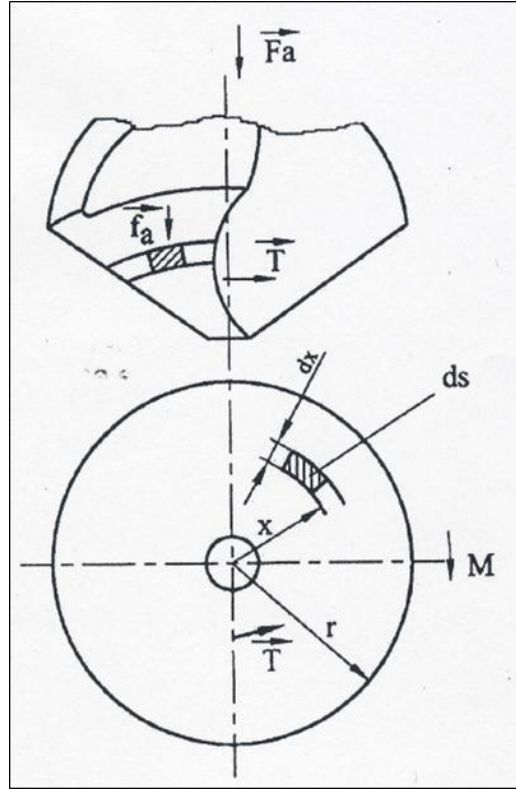
$$M_c = F_c \frac{d}{2} \text{ (Nm)} \quad (2.10)$$

olur [15].

Sürtünme momenti (M_f) ise; matkap ucunun, delik yuvasına dik konumlandırılmış bir mil olduğu ve delme sürecinde matkap konik ucunun delik taban yüzeyine kayma sürtünmesi ile temas ettiği varsayılır. Şekil 2.11 incelendiğinde, (ds) elemanter yüzeyini etkileyen aksenal kuvvetin ve teğetsel kuvvetin difransiyelleri alınarak yapılan işlemler sonucunda;

$$M_f = \mu \cdot F_a \frac{d}{3} \quad (\text{Nm}) \quad (2.11)$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 2.11. Matkap ucunun sürtünmesinde oluşan notasyonlar [15].

Bu eşitlikte sürtünme katsayısı (μ) Çizelge 2.2'den işlenen malzeme grubuna göre değerler alınır. Delik delme işleminde toplam moment kesme kuvveti momenti ile sürtünme kuvvetinin oluşturduğu momentler toplamına eşittir. Toplam moment sayısal olarak;

$$M_{top} = M_c + M_f \text{ (Nm)} \quad (2.12)$$

$$M_{top} = (F_c/2) + \mu.(F_a/3) \cdot d \text{ (Nm)} \quad (2.13)$$

eşitliğiyle hesaplanır [15].

Çizelge 2.2. Sürtünme katsayı değerleri [15]

Sürtünen gereç cinsi	μ
Çelik / Çelik	0,10
Çelik / Döküm	0,16
Çelik / Bronz	0,18
Çelik / Hafif met. Alaşım	0,20
Çelik / Ağaç	0,5-0,6

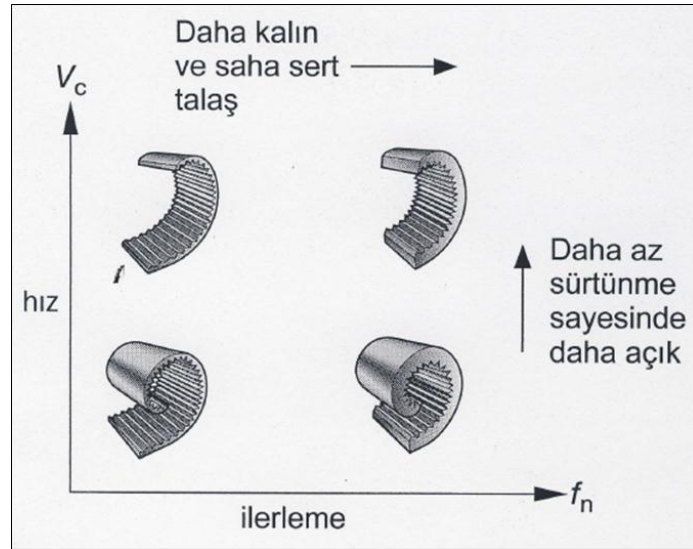
2.2.5. Delik Delmede Talaş Oluşumu

Fiziksel olarak talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye bağlı; sürtünme, ısı oluşumu, talaşın büzülmesi ve kırılması, iş parçasının yüzeyinin sertleşmesi, matkap ucunun aşınması vb. birçok olaylardan meydana gelen karmaşık bir fiziksel olaydır. Delik delme işleminde talaş kaldırma işlemi kesici takımın (matkap) iş parçasına dalarak yeterli kesme kuvveti uygulamasıyla iş parçasından belirli kalınlıkta malzemeyi koparması işlemidir. Bu işlem esnasında oluşan talaşın şeklini iş parçası malzemesi, matkap geometrisi, kesme sıvısı, takım tezgahının dinamik özellikleri ve kesme koşulları gibi faktörler etkilemektedir [16].

Talaş kaldırma işlemleri esnasında oluşan talaş, frezeleme ve tornalama işlemlerinde kesme bölgesinden rahat bir şekilde tahliye olurken, delik delme işleminde oldukça problemlidir. Bu nedenle delik delme işleminde talaş oluşumu ve talaş tahliyesi çok önemlidir. Talaş kırma ve talaş tahliyesinin yeterli düzeyde olmadığı durumlarda talaş sıkışmaları sonucu kalitesiz delik ve kısa takım ömrü olumsuzlukları ile karşı karşıya kalırız. Bu olumsuzlukları aza indirmek için matkap uç geometrisini ve kesme parametrelerini işlenecek malzemeye uygun seçmeliyiz. Uygun olmayan

kesme parametreleri çok kısa veya kalın talaşlara ve aşırı kesme kuvvetlerine neden olur. Aşırı kesme kuvvetleri ise matkabın delik ekseninden sapmasına ve titreşime neden olur. Kesme parametrelerinin ve iş parçası cinsine göre talaş oluşumu farklılık gösterir. Düşük kesme hızında ve ilerleme miktarlarında daha kapalı ve yumuşak talaş oluşurken yüksek kesme ve ilerleme hızlarında ise daha açık ve sert talaşlar oluşmaktadır. Bu nedenle delik delme işleminde uzun, düz, dolaşık veya çok kısa talaşların tahliyesinde yaşanan zorluklar sonucu, delik yüzey kalitesi bozulur ve talaş sıkışmaları görülür. Oluşan talaşın virgül veya spiral şeklinde olması ve matkabın helis kanallarına yapışmadan delikten kolayca tahliye olması delik delme işleminde ideal talaş şekli olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.12) [5].

Talaşlı imalatta işlenen malzemenin cinsi, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş açısı vb. faktörlerin oluşturduğu kombinasyonlara göre talaş tipleri değişiklik gösterir. Bu talaş tipleri kırık talaş, akma talaş ve yığma talaş olarak üç ana başlık altında toplanmıştır. Kırık/kesikli talaş, genelde gevrek malzemelerin işlenmesinde oluşur.



Şekil 2.12. İdeal talaş şekli [9].

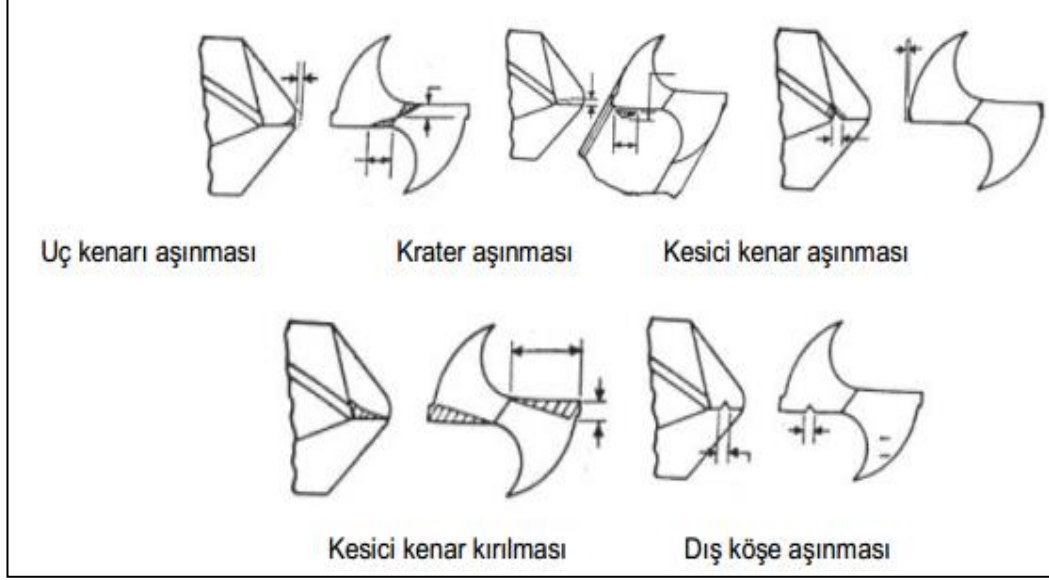
Matkap kesici kenarı iş parçasına temas ettiği zaman iş parçası malzemesinde basma gerilmeleri meydana getirir. Talaş, matkap kesici kenarı-talaş ara yüzeyinde akmaya başlar. Kesme hareketi gevrek iş parçası malzemesine daha fazla gerilme uyguladığından malzeme, kırılmanın olduğu noktaya ulaşmaya kadar basma

gerilmesine maruz kalır ve talaş işlenmemiş kısımdan kopar. Bu tip talaş oluşumlarında genellikle birbiri ardına kırılma sonucu kötü yüzey oluşur. Sünek malzemelerde işlendiğinde ise takım/tezgah titreşimi kesikli talaş oluşturur. Akma/sürekli talaş, iş parçası malzemesinden sürekli ve akıcı bir şekilde ayrılan talaş tipidir. Genellikle sünek malzemelerin uygun kesme hızlarında işlenmesiyle elde edilir. İşleme süresince harcanan güç takım ömrü açısından tercih edilen bir talaş tipidir. Sürekli talaşta iyi bir yüzey kalitesi elde edilir. Bu talaş tipinin olumsuz yönü ise işleme esnasında işlenen yüzeye teması neticesinde yüzeyi bozmasıdır. Yığma/sıvımalı sürekli talaş, az karbonlu imalat çeliği ve birçok yüksek karbonlu alaşım çeliği, yüksek hız çeliği gibi sünek malzemelerin düşük kesme hızlarında ve takım kesici kenarının aşınma sürecine girmesiyle sünek sürekli talaş oluşur. Kesici kenar önündeki malzeme, basma gerilmesine maruz kalarak sıkışır ve takım-talaş ara yüzeyi boyunca başlayan talaş tipi oluşur. Talaş-takım ara yüzeyi boyunca talaşın akmasına karşı yüksek sürtünme direnci, basınç ve sıcaklık nedeniyle talaş, kayma gerilmesine maruz kalarak ayrılırken küçük metal parçacıkları takıma yapışmaya başlar. Bu durumda talaş takımın talaş yüzeyine tam anlamıyla yığılır. Kesici uçta oluşan bu yığılma kötü yüzey oluşturur ve istenmeyen bir talaş tipidir [17].

2.2.6. Matkap Aşınması

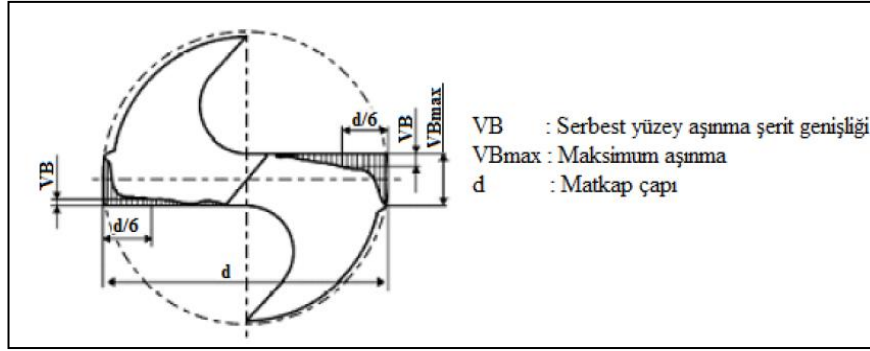
Delik delme işlemlerinde, kesme parametrelerinin optimize edilmesi oldukça önemlidir. Çünkü delme parametreleri efektif takım açlarına doğrudan etki etmektedir. Örneğin, ilerleme miktarının artması, helis açısını artırır ve boşluk açısını azaltır. Boşluk açısının azalması, takımın ana serbest yüzeyinin, işlenen yüzeye sürtünmesini arttırarak, serbest yüzey aşınmasını hızlandırmaktadır [7]. Özellikle matkap ucunda aşınma, başlangıçta yavaş, zamanla ivme kazanarak artan bir süreçtir. Aslında, matkap delme işlemine başladığı anda aşınma sürecine girmiş olur. Aşınma ilerledikçe kesici kuvvetler artar, daha fazla ısı ortaya çıkar ve aşınma hızlanır. Matkapta aşınma, başlangıçtaki aşınma, zayıf aşınma, düzenli aşınma, aşırı aşınma ve kesici takımın kırılması safhalarından oluşturmaktadır. Malzeme çeşidi, ilerleme miktarı, kesme hızı gibi parametrelere bağlı olarak matkap ucunda farklı aşınma türleri oluşabilir. Bu aşınmalar dış köşe aşınması, kesici kenar aşınması, kesici kenar

kırılması, krater aşınması ve uç kenarı (enine kesici kenar) aşınması olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2.13) [18].



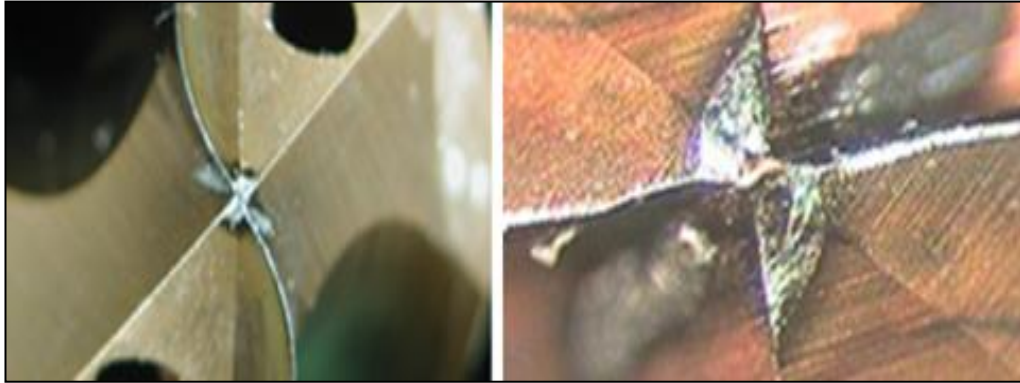
Şekil 2.13. Matkapta aşınma tipleri [18].

Araştırmacıların çoğu dış köşe aşınmasını en etkin aşınma tipi olarak belirlemişlerdir. Bunun nedeninin en yüksek kesme hızının kesme kenarlarının en dış köşelerinde ortaya çıkması, dolayısıyla en fazla aşınmanın bu bölgede oluşmasıdır. Kesici kenar ile zırhın (fesata) birleştiği noktada başlayan aşınma, daha sonra kesici ağızlar ve serbest yüzeylere yayılır (Şekil 2.14). Kesici ağızlarda aşınmanın artması, serbest yüzeylerde boşluk açısının kaybolmasına ve konik bir yüzey oluşmasına neden olur. Oluşan bu konik yüzey serbest yüzeylerde aşınma şeritlerini (VB) temsil eder. Serbest yüzeylerdeki aşınma, kesme işlemini yapılamaz hale getirir. Bunun sonucunda matkap sürtünme ve zorlamalar yaparak ısı oluşumunu hızlandırır ve aşınma da hızlanarak matkabın çabuk körelmesine neden olur [18].



Şekil 2.14. Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın gösterimi [5].

Delik delme işleminde iş parçası-takım salgısının en aza indirgenmesi oldukça önemlidir. Yüksek salgının olduğu durumlarda ve kesme hızı düşük/ilerleme miktarı yüksek kombinasyonlar da enine kesici kenar aşınması oluşur (Şekil 2.15). Aşınmaya bağlı olarak sonucu matkabın kötü merkezlemesi de daha büyük çapta deliklerin oluşumuna yol açar [9].



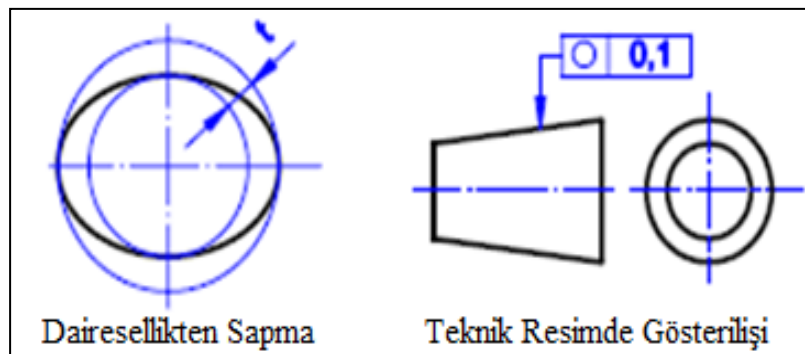
Şekil 2.15. Matkap alın kesici kenar aşınması [9].

Matkapta oluşan aşınma makul değerleri aştığında, delik geometrisi (dairesellik), boyut ve yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Bunun için delik delme işlemlerinde kullanılan matkapların kesme işlemi esnasında oluşan tork, kesme kuvvetleri, sıcaklık, kimyasal ve aşındırıcı etkileri karşılayabilme özelliklerine sahip olması gerekir. Matkap yeterli mukavemet ve kırılma direncine sahip olmalıdır. Ayrıca matkap talaş kaldırma esnasında oluşan ısının transferini daha kolay sağlanabilmesinin yanında, aşınmaya karşı yüksek dirençli ve yüksek kimyasal kararlılığa sahip olmalıdır. Yapılan araştırmalar sonucu matkapların kaplama

tekniklerinin gelişmesiyle matkapların ana malzemenin tokluk özelliği korunarak, mikron mertebesindeki sert seramik tabakalarla, yüksek aşınma direnci, yüksek ısı direnci ve kimyasal olarak kararlı matkap malzemeleri elde edilmiştir.

2.2.7. Deliklerde Şekil ve Konum Bozuklukları

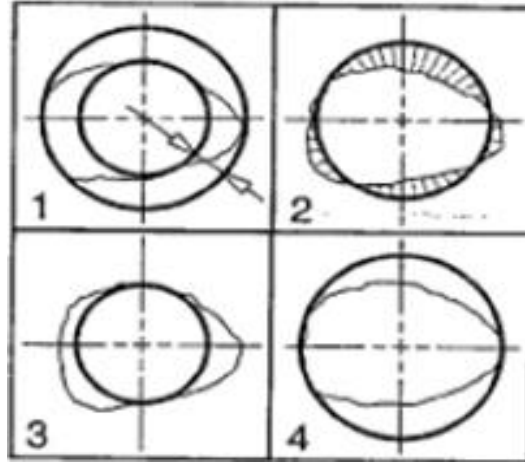
Makine parçalarının üretilebilmesi için imalat resimleri üzerinde gösterilen ideal ölçülerde ve şekillerde parçanın üretilmesi imkansızdır. Çünkü iş parçası üretilirken malzemenin yapısal özelliği, tezgah ve kesici takımında oluşan olumsuzluklar iş parçasının ideal ölçü ve şekilde üretilmesini engeller. İş parçasını oluşturan geometrik elemanlar şekil ve konum bakımından ideal ölçüde ve şekilde olmazlar. Bu şekillerin ideal şeklinde olmaması şekil bozukluklarını oluştururken, bu şekillerin birbiriyle ideal konumda olmamaları da konum bozukluklarını oluşturur. İstenilen tolerans değerleri arasında olmayan boyut ve konum ölçüleri geometrik şekil bozuklukları olarak adlandırılır. Üretilen bir delikte doğrusallık, düzlemsellik, dairesellik, silindiriklik, profil, diklik, paralellik ve eğiklik malzemenin üretim kalitesini belirleyen geometrik özellikleridir. Bu geometrik şekil bozuklukları içerisinde yer alan dairesellikten sapma delik delme işlemlerinde genellikle sehim, titreşim, yetersiz yağlama, aşınma gibi etkilerin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Dairesellikten sapma delik merkezinden dairenin dış çevresine olana uzaklığın (yarıçap) dairenin çevresini oluşturan her bir noktaya eşit uzaklıkta olmamasıdır. Dairesellikten sapma belirli bir merkez noktadan ölçülen en büyük ve en küçük çap arasındaki fark olarak da tanımlanabilir (Şekil 2.16) [19].



Şekil 2.16. Dairesellikten sapma ve teknik resimde gösterilişi [19].

Dairesellikten sapmanın belirlenmesi için birçok metot vardır. Bu metotlar:

- En çok kullanılan metot en küçük radyal sapmanın elde edildiği noktayı merkez olarak tanımlamaktır (Şekil 2.17 (1)). Bu metot MRS (Minimum Radyal Sapma) veya TGO (Toplam Gösterge Okuması) olarak da bilinir.
- En küçük merkez daire (LSC) metodu (Şekil 2.17 (2)). Bu metotta merkez nokta, radyal koordinatlarının kareleri toplamı en küçük olan dairenin merkezidir.
- İçeri çizilebilecek en büyük çember (MIC) (Şekil 2.17 (3)).
- Dışarı çizilebilecek en küçük çember (MLC) (Şekil 2.17 (4)).



Şekil 2.17. Dairesellikten sapma ölçme metodu [5].

Matkapla delik delme işlemi sonrası elde edilen deliğin çapı imalat resmi üzerinde gösterilen ideal çap ölçüsünde olması mümkün değildir. Çünkü talaş kaldırma işlemi esnasında matkapta oluşan kesme kuvvetleri büyüklüğü, malzemenin yapısı ve tezgah titreşimi delik eksenini ile matkap ekseninin eşeksenli olarak matkabin talaş kaldırmasını engeller. Matkap delik eksenini boyunca farklı çaplarda delik çapları oluşturur. Farklı çaplardan oluşan delik ikinci bir işleme tabi tutularak istenilen tolerans değerleri arasında çaplarından oluşan delik elde edilir. Bu nedenle delikler oluşturulurken bir miktar çap ölçüsünden küçük elde edilir.

2.2.8. Delik Delmede Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma yöntemi ile üretilen hiçbir parça sıfır pürüzlülükte olamaz. Çünkü talaş kaldırma esnasında matkap geometrisi, kesme parametreleri, malzeme yapısı gibi parametreler yüzey pürüzlülüğünü etkiler. Yüzey pürüzlülüğü değerinin yüksek olması özellikle birbiri üzerinde hareket eden parçaların performansında önemli rol oynar. Özellikle delik-mil sisteminde çalışan parçaların yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek olması güç kaybına ve aşırı ısınmaya neden olur. Aşınma ve yüksek güç tüketimi kısa sürede hareketli sistemleri kullanılmaz hale getirir. Bu nedenle delik delme işlemlerinde tek işlemde işlenen parçalardan istenilen yüzey pürüzlülüğü değerlerini elde edilememesi, ikinci işlemi gündeme getirecektir. İstenen toleranslar arasında yüzey kalitesi elde etmek uygulanan ikinci işlemler maliyeti artıracaktır. Bu yüzden delik delme işlemlerinde ikinci işleme gerek duymadan delik kalitesinin yakalanması için iş parçası malzemesi-matkap geometrisi ve kesme parametreleri kombinasyonlarının uyumu oldukça önemlidir. Bu üçlünün uyumu sayesinde yakalanan delik kalitesi sonraki işlemlerde de operatörlere seçme kolaylığı sağlayacaktır.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ölçüm yöntemleri, uygulama şekli ve ölçme hassasiyeti bakımında gruplandırılmıştır. Yüzey kalitesinin belirlenmesinde kullanılan bu yöntemleri birbirinden ayıran özellikler ise; uygulama şekli (tahribatlı, tahribatsız), temaslı veya temassız bir şekilde kaba, orta veya hassas ölçüm yapabilmeleridir. Bu metotlardan biri izleyici uçlu cihazlarla yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemidir. İzleyici uçlu cihazlar çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk açısından önem olduğundan genellikle $4 \cdot 10^{-5}$ mm çapında iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir [20].

2.2.9. Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Sıcaklık

Talaş kaldırma esnasında kesici takım tarafından kaldırılan talaş, kayma bölgesinde plastik şekil değiştirerek esas malzemedan ayrılmaktadır. Plastik şekil değiştirme bölgesinde kesici takım tarafından iş parçası deformasyonu için harcanan enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. İşlem esnasında ortaya çıkan ısı, kayma bölgesi, takım-talaş ara yüzeyi ve takım-iş parçası ara yüzeyinde oluşmaktadır. Kayma bölgesi (1. bölge); birinci plastik deformasyon bölgesidir ve enerjinin ısıya dönüştüğü bölgedir. Kesici takım-talaş ara yüzeyi (2. bölge); ikinci deformasyon bölgesi olarak anılmakta ve sürtünmeden dolayı ısı oluşmaktadır. Kesici takım ve iş parçası ara yüzeyinde (3. bölge); takımın serbest yüzeyi ve iş parçası arasında sürtünmeden meydana gelen ısı oluşmaktadır. Kesici takımla kısa sürede daha fazla talaş kaldırmak için kullanılan güçteki artış, takım kesme kenarının yakınında ısı oluşumunun artışına sebep olur. Ayrıca kesici takımda artan aşınma ve azalan takım ömrü takım-iş parçası arasındaki sürtünme yüzeyini büyüyeceğinden bu bölgedeki ısı oluşumu da artar. Kesme bölgesindeki sıcaklık, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesici takım geometrisi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Aynı zamanda sıcaklık, kesici takımın fiziksel özellikleri kadar işlenen malzemenin de özelliklerine bağlıdır. Talaş kaldırma sırasında oluşan enerjinin bir miktarı, kesici takımın ısıl iletkenliğine bağlı olarak talaşa aktarılmaktadır. Kesici takımın ısıl iletkenliği genellikle çok düşük olduğunda, talaştaki sıcaklık özellikle talaşın alt kısmında oldukça yüksektir ve bu ısı talaşla dışarı atılır. Bu nedenle talaş-kesici takım temas boyu önemlidir [21].

Talaş kaldırma işlemleri esnasında kesici takım ile iş parçası ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın kontrol edilmesi büyük önem taşır. Sıcaklığın kontrol edilememesi takım ömrünü azaltıp iş parçasının da kimyasal yapısında istenmeyen değişikliklere sebep olur. Delik delme işlemi için de bu bahsedilen olaylar tamamen geçerlidir. Bu nedenle, talaşlı imalatın yaklaşık % 30'unu oluşturan delme işleminde sıcaklık önemli bir kavramdır. Çünkü tormalama ve frezeleme gibi diğer talaşlı imalat işlemlerinin aksine delme işlemi esnasında kesme işlemi iş parçası içerisinde kapalı bir alanda gerçekleşmekte ve alanın kapalı oluşu sıcaklığın artmasını tetiklemektedir [22].

Delik delme işlemlerinde sıcaklığın en yüksek olduğu bölge kesme bölgesidir. Bu sıcaklığın iş parçası-matkap-talaş arasında paylaşıldığı ve bu paylaşma oranlarında matkap kaplama malzemesinin önemli rol oynadığı bilinmektedir. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın iş parçası-talaş-matkap arasında paylaşım oranları matkap ömrü ve işlem kalitesi açısından önemlidir. Bu nedenle delik delmede, sıcaklık ölçümü çok önemli konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular ışığında takım-iş parçası- kesme parametresi üçlüsünün oluşturduğu sıcaklık tahmin edilerek gerekli önlemler alınır, işlem süreci kontrol edilebildiği ortaya konulmuştur [23].

Matkapla kuru delik delmede ortaya çıkan ısı konvansiyonel sulu işlemede olduğu gibi atılamaz, bu nedenle uygun takım tasarımı gereklidir. Pozitif talaş açılı keskin ağızlar, sürtünmeyi azaltmak için zırh genişliğinin küçültülmesi, matkapta konikliğinin artırılması, talaş-talaş yüzeyi arasında sürtünmenin azaltılması ve talaşın hızlı tahliyesi ısının azalmasında önemli etkenlerdir. Kesme bölgesinde ortaya çıkan ısının oluşmasında ve tahliyesinde kısa talaş oluşumu etkilidir. Kısa talaş, hem delikten daha kolay tahliye olur hem de talaş-kesici takım temas yüzeyinin küçülmesinden dolayı daha düşük sürtünme ısı ortaya çıkar. Kısa talaş kanalda tıkanıklığa sebebiyet vermez. Sürekli kuru çalışan bir matkap uçunda sıcaklık 431 °C'yi bulur. Bu sıcaklık modern geliştirilmiş matkaplar için büyük bir problem oluşturmaz. Ancak aşındırma mekanizmaları (örneğin difüzyon ve adezyon) yüksek sıcaklıklarda ivme kazanırlar ve matkap ömrünü kısaltırlar. Isının birikmesi iş parçasının termik genişlemesine sebebiyet verir ve işleme stratejisine dikkat edilmezse dar toleranslı kanal ölçüleri tehlikeye girebilir. Bunun dışında çelik işlemede delik çeperlerinde bölgesel sertleşmeler ortaya çıkabilir. Bundan sonra uygulanacak diş çekme veya rayba gibi operasyonlarda zorluk yaşanabilir [24].

Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında en çok tercih edilen kesme esnasında oluşan sıcaklığın ölçülmesi için ısı çifti kullanılmasıdır. Isıl çifti tekniğinde sıcaklık değerleri veri kaydedicilerle depolanmaktadır. Veri kaydedici belirli zaman aralıkları ile yapılan sıcaklık, nem, akım, gibi değerlerin ölçümlerini kaydeden cihazlardır [25].

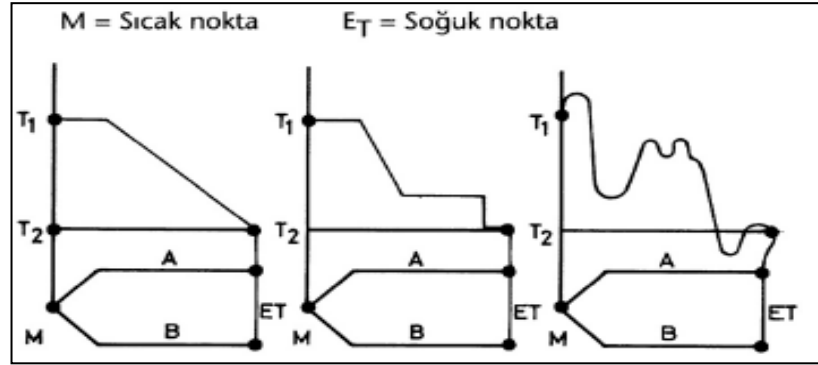
Sıcaklık ölçme sistemleri, temel olarak dokunmalı ve dokunmasız yöntemler olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Dokunmalı sıcaklık ölçümü ekipmanları olarak temaslı termometreler, ısı çiftleri (thermocouple); dokunmasız ekipmanlar içinse kızılötesi (IR) kameralar ve pirometreler sayılabilir. Kesici takımın hareketli olması durumunda kızılötesi kamera, kesici takımın sabit olması durumunda ısı çifti uygulaması tercih edilmektedir. Isıl çiftler delme, boşaltma vb. yöntemlerle kesici takımın içine yerleştirilmektedir [25].

Isıl çiftler (Termokupl), sıcaklık ölçümünde sanayi alanında ve bilimsel çalışmalarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Isıl çiftler -200°C – 2320°C gibi geniş bir aralıkta sıcaklık ölçümü gerçekleştirebilmektedir. Bu geniş çalışma aralığı endüstriyel uygulamalar için büyük bir avantajdır. Metalürjik bazı belirsizlikler nedeniyle ısı çiftleri 1 – 2°C ölçüm hassasiyetine sahiptirler. Isıl çiftler, sıcaklık ölçümü için mikro voltlar mertebesinde voltajlar üretmektedir [25].

Isıl çiftler bir tür sıcaklık sensörüdür. Farklı iki iletken malzemeden oluşur. Bu malzemelerin iki ucu birleştirilir (*sıcak nokta*) ve ısıtılırsa, diğer uçlarda (*soğuk nokta*) gerilim elde edilir. Bu gerilimin değeri kullanılan malzemenin cinsine ve birleşim noktasının ısınma miktarına bağlıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır (Şekil 2.18). Sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı ısı çifti (termokupl) üzerinde gerilim (EMF) yaratır. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunur. Bu nedenle mV tablolarındaki değerlerde standart sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0°C 'de tutulması ile elde edilir. Ayrıca sıcaklık gradyanını elektriğe dönüştürürler [25].

Isıl çiftler iki farklı metal veya alaşım telden oluşmasına rağmen genelde işlem esnasında yalnız olarak kullanılmazlar. Çünkü çeşitli mekanik darbeler, fiziksel ve kimyasal aşındırıcı özellikler göz önüne alınarak belli özel koruyucu kılıflar içinde kullanılırlar. İki farklı eleman teli farklı kutuplarda oldukları için birbirlerinden izolatör yardımıyla yalıtılırlar. İzolatörlerin seçiminde yine ortam şartlarının, sıcaklık sınırlarının önemi büyüktür. Çünkü eleman tellerinin ve koruyucu tüplerin cinsleri

ısıtıcı çiftlerin ömürlerini etkilemektedir. Isıtıcı çift tel uçları kaynaklı ve izolatörlü bu kılıflar içine monte edilir. Genel olarak 1200 °C'ye kadar metal, 1200 °C'nin üzerinde seramik koruyucu kılıflar kullanılır. Bazı özel uygulamalarda 1200 °C'nin altında seramik kılıflar kullanıldığı gibi 1200 °C'nin biraz üstüne kadar olan uygulamalarda da özel alaşımlı metal kılıflar kullanılabilir [25].



Şekil 2.18. Isıtıcı çiftlerde sıcak ve soğuk nokta sıcaklığının önemi [26].

2.3. SAYISAL MODELLEME VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Bir parçanın üretimine geçilmeden önce tasarım sürecinden geçmesi gerekmektedir. Bu süreç iki aşamadan oluşmaktadır. İlk parçanın teknik resminin çizimi, daha sonrada parçanın analiz edilmesi gerekmektedir. Tasarlanan parçanın bulunduğu yerde görevini tam anlamıyla yerine getirip getiremeyeceği mühendislik hesaplamaları ve analizleri sonucu belirlenir. ANSYS programı bu analiz aşamasında probleme uygun en iyi çözümü seçerek bu çözümü geliştirmeye yarayan aşamalardan oluşan yazılımdır. Bu aşamalar; çözüm geliştirme, deneme modellerinin oluşturulması, modellerin test edilmesi ve yeniden modellenerek geliştirme aşamalarından oluşmaktadır [26]. Bir parçanın şekilsel tasarımı yapıldıktan sonra mühendislik hesaplamalarının yapılması için şu yöntemler kullanılır;

Analitik hesaplar: Parçanın veya sistemin kullanılacağı yere bağlı olarak mühendislik hesaplarının analitik olarak yapılmasıdır. Bazen teorik olarak yapılan hesaplar ve yöntemler gerçek hayattaki tüm sistemleri ve durumları çözmeye yeterli değildir. Çoğu zaman bu hesaplar işin temelini ve mantığını oluşturmaktadır. Karmaşık

sistemlerin çözümleri için bazen kabuller yapmak ve kararlar almak gerekir. Ardından tasarımın güvenilirliğini ispat etmek gerekir.

Deneysel metotlar: Mühendislik hesaplarının doğruluğunu kontrol etmek ve işletme koşullarında makinenin davranışlarını gözlemlemek için çoğu zaman boyutlandırılmış küçük model uygulamalarına gidilir. Buradan elde edilen deneysel sonuçlar, belli hesaplardan geçirilerek gerçek hayattaki sonuçların ne olacağı ve yapılan hesapların ne derece doğru olduğu tespitinde faydalıdır. Örneğin yeni geliştirilen bir geminin suyun içindeki akış analizleri, ya da bir köprünün rüzgar analizleri gibi.

Nümerik hesaplar: Çoğu zaman tasarlanan bir yapının ya da sistemin modelini oluşturmak, deney koşullarını sağlamak mümkün olmayabilir. Mümkün olsa da elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için başka yöntemlerle de desteklemek gerekebilir. Bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişmesi bu yapılacak hesapların numerik (sayısal) yöntemlerle yapılabilmesini sağlayacak birçok etkili yöntemin gelişmesini sağlamıştır. Bu konuda günümüzde en çok kullanılan yöntemlerden biri FEM (Finite Element Method)(Sonlu Elemanlar Yöntemi-SEY) dir. Bu yöntemle bilgisayarda iyi bir modelleme yapıldığında gerçeğe çok yakın sonuçların alınması mümkündür [27].

2.3.1. Sayısal Modelleme

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Bir anlamda bilgisayar çözümüne uyarlanmış ve matris formda ifade edilen denklemlerin kullanıldığı bir sayısal tekniktir. İlk kullanımı 1950'li yıllarda inşaat mühendisliği alanında olmuştur. Daha sonraları bilgisayar teknolojisine gelişmesiyle birlikte akışkanlar mekaniği, zemin mekaniği, uçak mühendisliği nükleer mühendislik, kaya mekaniği, elektromanyetik alanlar, termal analiz ve daha sayabileceğimiz pek çok mühendislik ve fizik problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlandı. Halen gelişen teknoloji ile birlikte kullanım alanını da genişleterek mühendislere ve işletmecilere hizmet sunmaya devam etmektedir.

Sonlu elemanlar analizi fiziksel bir sistemin matematik olarak ifade edilmesidir. Bu sistem alt parçalara ayrılabilen model olup, malzeme özelliklerine ve uygulanabilir sınır şartlarına sahiptir. Sonlu elemanlar (SE) düzensiz ve karmaşık geometriye sahip sistemlerin incelenmesine olanak sağlar. Değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde uygulanabilir.

2.3.2. Matematiksel Modelleme ve Çözüm Basamakları

Sonlu elemanlar metodunda katı, sıvı veya gaz gibi gerçek cisimler veya sürekli (ardı ardına gelen elemanların birbirinden bariz şekilde farklı olmadığı, ancak aşırı uçlardaki elemanların birbirinden çok farklı olduğu sıralı dizi) birbirine bağlanmış, *sonlu eleman* adı verilen alt bölümler ile tarif edilmektedir. Bu elemanlar birbirlerine *düğüm noktası* adı verilen özel noktalardan bağlanmışlardır. Düğüm noktaları genellikle elemanların birbirine bağlandıkları yerler olan eleman sınırlarında bulunmaktadır. Kontinyumun içerisindeki deplasman, gerilme, sıcaklık, basınç, hız vs. gibi değişkenlerin gerçekte nasıl değiştiği bilinemediğinden, bunların basit fonksiyonlar ile yaklaşık olarak ifade edilebildikleri varsayılmaktadır. Bu yaklaşık fonksiyonlar, değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmektedir. Sistem için denge denklemleri vs. gibi yeni denklemler yazıldığı zaman, bilinmeyenleri değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri olan ve ortak çözümleri gereken yeni denklemler ortaya çıkmaktadır. Genellikle matris denklemleri şeklinde olan bu denklemlerin çözülmesi ile de değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri elde edilmektedir. Yaklaşık fonksiyonların, değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmiş olmaları nedeni ile de, bu fonksiyonların eleman içerisindeki ve sonuç olarak ta bütün kontinyum içerisindeki değerleri bulunmakta ve istenilen sonuçlar elde edilmiş olmaktadır.

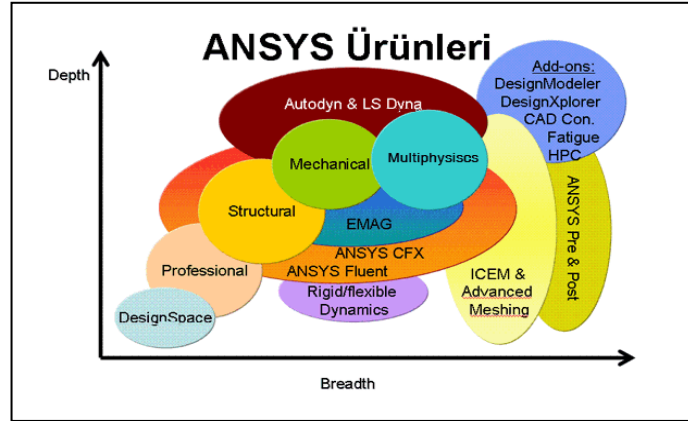
Genel bir kontinyum problemlerinin sonlu elemanlar analizi ile çözümü daima belirli basamaklardan oluşan bir yöntem ile elde edilmektedir. Sonlu elemanlar metodunda ilk basamak, yapıyı veya çözüm bölgesini alt bölümlere yani sonlu elemanlara ayırmaktır. Bu ayırımında uygun sonlu elemanlar kullanılmalı, elemanların cinsi, sayısı ve düzeni tespit edilmelidir (Şekil 2.19) [28].

Basit geometriler veya az sayıda eleman için manuel olarak yapılabilecek modelleme işleminin, karmaşık geometriler veya çok sayıda eleman için yapılabilmesi imkansız hale gelmektedir. Bunun için *ilk işlemci* ("preprocessor") adı verilen programlar kullanılmaktadır. İkinci adım olarak yapının veya çözüm bölgesinin sonlu elemanlar modeli'nin elde edilebilmesi için elemanların birleştirilmesidir. Yapının çok sayıda elemandan oluşmuş olması nedeni ile her bir eleman için bulunmuş olan katılık matrisleri, yük vektörleri ve denge denklemleri uygun bir şekilde birleştirilmeli ve genel denge denklemleri elde edilmelidir. Üçüncü basamak ise bilinen yüklerin (kuvvet ve/veya moment) uygulanması işlemidir. Daha sonraki basamak yapının nasıl desteklendiğinin belirtilmesidir. Bu aşamada düğüm noktaları için bilinen deplasman değerleri genellikle sıfır belirtilir. Bu basamakta ise bilinmeyen düğüm noktası deplasmanlarının bulunması işlemidir [28].

Bu aşamada genel denge denklemleri problemin sınır şartları uygulanarak düzeltilmeli ve daha sonra düğüm noktalarının deplasmanları çözümlenmelidir. Son basamakta ise eleman gerilme ve birim uzamalarının hesaplanması işlemidir. Bu aşamada düğüm noktalarının deplasmanları ile katı hal mekaniği ve yapısal mekaniğin gerekli denklemleri kullanılarak eleman birim uzamaları ve gerilmeleri hesaplanmalıdır. Bir sonlu elemanlar programının çıktısı ve sonuçlar kullanıcıya kolay anlaşılır olması için *son işlemci* ("postprocessor") adı verilen bilgisayar programları kullanılarak verilmektedir [28].

zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin ön görülmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca Ansys yazılımı modüler yapısı (Şekil 2.20) sayesinde CAD ve FEA bağlantı modülleri ile diğer mühendislik yazılımları ile entegre olabilmektedir.

Ansys yazılımı, hem dışardan CAD dataalarını alabilmekte hem de içindeki “preprocessing” imkanları ile geometri oluşturulmasına imkan vermektedir. Yine aynı precess içinde gerekli olan sonlu elemanlar modeli yani mesh’de oluşturmaktadır. Yüklerin tanımlanmasından sonra ve gerçekleştirilen analiz neticesinde sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak elde edilir. Ansys yazılımı ile özellikle “contact” algoritmalarının çeşitliliği, zamana bağlı yükleme ve nonlinear malzeme modelleri sayesinde yüksek mühendislik seviyesindeki analizleri hızlı, güvenilir ve pratik bir şekilde gerçekleştirir. Ansys Workbench parametrik CAD sistemlerini eşsiz bir otomasyon ve performans ile simülasyon teknolojilerini entegre eden bir platformdur. Ansys Workbench’in amacı, ansys çözücü algoritmaları sayesinde sanal ortamda ürünün kullanıcı tarafından doğrulanmasını (verifikasyon) ve iyileşmesini sağlamaktır [28].



Şekil 2.20. Ansys'nin modüler yapısı [28].

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Delik delme işlemlerinde, işlenmesi güç malzemelerin işlenebilirliğini artırmak, işleme maliyetlerini azaltmak için işleme performansı ve şartlarının iyileştirilmesi gerekir. Bunu gerçekleştirebilmek için matkabın ömrüne tesir eden etkenler ile iş parçasının işlenebilirliğinin tespitinde etkili olan işleme faktörlerini (değişkenleri) belirlemek oldukça önemlidir. Matkapta oluşan kuvvetlerin ve sıcaklıkların belirlenmesi konusu yıllardan beri birçok araştırmacının ilgisini çekmiş ve konuyla ilgili birçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmalarda, kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan kesme koşulları ve sıcaklığının çeşitli yöntemlerle tahmin edebilmesinin yanı sıra doğrudan ölçme tabanlı farklı deneysel yöntemlerde basit analitik modeller de kullanılmaktadır.

3.1. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kalidas ve arkadaşları, 25,4 mm çapında ve 43,18 mm uzunluğundaki dökme alüminyum 356 iş parçasını 9,13 mm çapında farklı kaplamaya sahip (TiAlN / TiN, TiAlN kaplamalı HSS ve MoS₂ (molibden disülfür) kaplamalı karbür matkap) kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla Mori Seiki TV30 CNC freze tezgahında delmişlerdir. İki farklı dönme hızı (1600, 2200 dev/dak) ve iki farklı ilerleme miktarı (0,083, 0,162 mm/dev) kombinasyonlarında gerçekleştirdikleri deneylerde, sıcaklığı iş parçası üzerinden ısı çiftleri kullanarak ölçmüşler, kaplama tipinin delik kalitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada, kaplamalı matkaplarla elde edilen delik kalitesinin (ideal delik çapı, yüzey pürüzlülüğü) kaplamasız matkaplara göre daha iyi olduğunu belirlemişlerdir. Talaş sıkışmalarının delik kalitesini olumsuz etkilediğini, iş parçası sıcaklığının artmasının yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir [29].

Dörr ve arkadaşları, Daimler Chrysler tarafından geliştirilen yüksek çözünürlüklü termografik kamera aracılığıyla takım-talaş ara yüzey sıcaklık ölçümü yapmışlardır. Ck45 çeliğini dört farklı kaplama tipinde (TiAlN, TiAlBBON, TiAlN+ZrO₂ ve TiAlBN) kaplamalı ve kaplamasız 6 mm çapında karbür matkaplarla 85 m/dak kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarı kombinasyonunda kuru işleme şartlarında delmişlerdir. Deneysel çalışma sonucu kaplamasız takımla yapılan delme işleminde daha fazla sıcaklık ölçümü kaydetmişlerdir. Bu durumu, kaplamasız matkapta oluşan aşınmanın daha fazla sıcaklık artışına neden olmasına yorumlamışlardır [30].

Çakıroğlu ve arkadaşı, 25 mm çapına ve 25 mm boyunda AI2014 malzemesini CNC dik işleme merkezinde 14 mm çapında TiN/TiAlN/TiCN kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla üç farklı kesme hızı (170, 200 ve 230 m/dak) ile üç farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,2 ve 0,3 mm/dev) kesme kombinasyonlarında delmişlerdir. Sıcaklık ölçümlerini matkap soğutma kanallarına yerleştirdikleri ısı çiftleri, kesme kuvvetleri ile momenti ise KISTLER 9272 tipi dinamometre aracılığıyla ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, ilerleme miktarı artışının sıcaklık değerlerini azalttığını gözlemlemişlerdir. Bu durumu, ilerleme miktarlarının artmasıyla daha kolay kesme işleminin gerçekleşmesine, daha az talaş sıkışmasının olmasına ve delik delme süresinin azalmasından dolayı matkabın daha az sürtünmesine yorumlamışlardır. Kesme hızının artması ile takım talaş ara yüzeyinde sıcaklığın arttığını vurgulamışlardır. Bu durumu, talaş-takım ve iş parçası temas alanında meydana gelen sıcaklıktan dolayı takım aşınmasının olmasıyla açıklamışlardır. Ayrıca deliklerin delinmesinde yaşanan en büyük problemin, talaşın dışarı atılmasındaki zorlukla birlikte artan sıcaklığın olduğunu vurgulamışlardır. Talaşın matkap ile delik yüzeyi arasında sıkıştığını ve matkap üzerine yapışarak (BUE) sıcaklık artışına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla yapılan deneylerin tamamında sabit kesme hızında ilerleme miktarı arttıkça kesme kuvvetlerinde artış, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalış tespit etmişlerdir. Bu durumu, artan ilerleme miktarı ile birlikte artan talaş kesitini koparmak için artan kesme kuvvetlerine yorumlamışlardır. Daha sonra, Taguchi L18 ortogonal düzeni çerçevesinde her bir deneyden elde edilen en yüksek sıcaklık ile kesme kuvveti ortalamasını alınarak, kaplamalı takım için kesme şartlarının optimizasyonunda, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ile 170 m/dak kesme hızı kombinasyonunu en uygun şartlar olarak bulunmuşlardır [31].

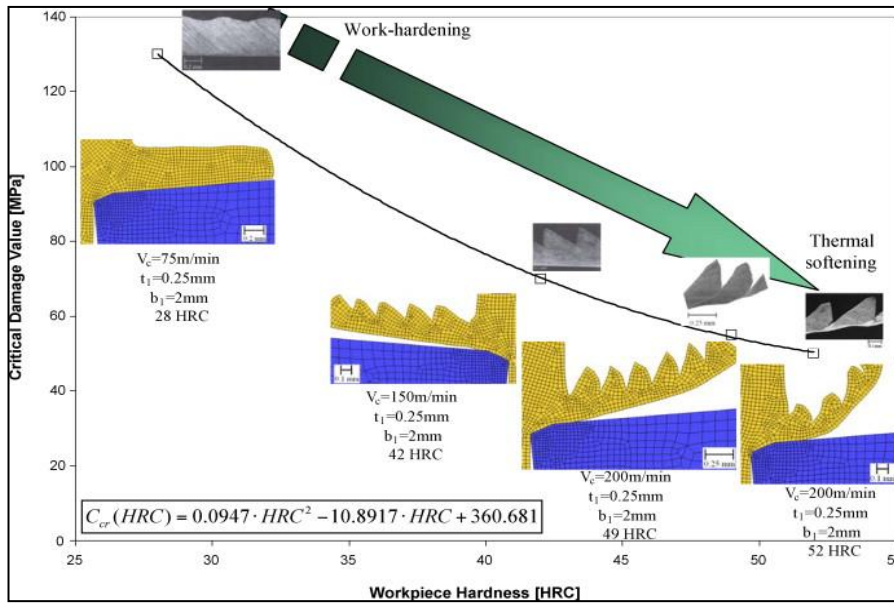
Ertunç ve arkadaşı, literatürdeki delik delme işlemi sırasında matkap ucunda meydana gelen aşınma üzerine yapılan çalışmaları değerlendirmişlerdir. Araştırmalarında, matkabin delik delme sürecine başlamasıyla aşınmaya başladığını ve aşınmanın ilerlemesiyle birlikte kesici kuvvetlerin ve sıcaklığın arttığını tespit etmişlerdir. Malzeme tipi, ilerleme miktarı, kesme hızı gibi parametrelerin matkap üzerinde farklı aşınma türlerini oluşturduğunu belirlemişlerdir. Bu aşınmaları dış köşe, flank (yan kesici kenar), hudut, kavitasyon ve kesici kenar aşınmaları olarak sınıflandırmışlardır. Bu aşınma türleri arasında en çok dış köşe aşınmasına rastlamışlar ve en yüksek kesme hızının kesme kenarlarının en dış köşelerinde görüldüğünden dolayı en fazla aşınma da bu bölgede olduğunu tespit etmişlerdir. Aşınmanın artmasıyla bu bölgedeki sürtünmenin arttığını, dolayısıyla daha fazla ısı enerjisi ortaya çıktığını vurgulamışlardır. Matkap ucunda artan aşınmanın tezgah titreşiminin artmasına neden olduğunu ve delik yüzeyinde kusurlara yol açtığını belirtmişlerdir. Ayrıca, kesici takım aşınmasının kesme kuvvetlerini artırdığını ve artan kuvvetler yüzünden sıcaklığın arttığını belirtmişlerdir [32].

Ghani ve arkadaşları, AISI H13 çeliğinin freze tezgahında yüksek kesme hızlarında işlenmesi esnasında P10 TiN kaplamalı karbür takımların işleme performansını değerlendirmişlerdir. Deneysel çalışmalarını kuru kesme şartlarında dik işleme freze tezgahında gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmaları sonucunda kesici takımın ömrüne en büyük etkinin ilerleme miktarı ve kesme derinliği parametrelerinin neden olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme hızının artmasıyla birlikte sıcaklığın arttığını ve buna bağlı olarak ta kesme kenarında aşınma miktarını daha çok hızlandığını gözlemlemişlerdir. AISI H13 çeliğinin işlenmesi esnasında en önemli kesme parametrelerin ilerleme miktarı ve kesme derinliği olduğunu, bu parametrelerin yüksek mekanik zorlanmaya sebebiyet vererek kesici takım kenarlarında erken çatlak ve aşınmalar oluşturduğunu belirtmişlerdir [33].

Bosheh ve arkadaşları, CBN kesici takım kullanarak yüksek kesme hızında AISI H13 çeliğinin tornada işlenmesi esnasında iş parçasının üzerinde oluşan beyaz katman oluşumuna neden olan sıcaklığı incelemişlerdir. Çalışmada, kesme hızının artmasıyla talaş sıcaklığının yükseldiğini, ama kesme hızının artmasıyla birlikte işlenmiş yüzey sıcaklığının azaldığını tespit etmişlerdir. Beyaz katmanın oluşumunda hızlı ısınma ve

soğumanın en etkili süreç olduğunu belirterek kesme hızının artmasıyla takım aşınması artmış ve takım aşınmasının beyaz katman kalınlığına etkisini olmadığını vurgulamışlardır [34].

Umbrello ve arkadaşları, AISI H13 çeliğin sert tornalama işlemi esnasında iş parçasının mekanik ve ısı özelliklerinden yararlanarak sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyon oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, AISI H13 çeliğinin farklı sertliklerinde farklı kesme hızlarında tornalama işlemine tabi tutarak talaş oluşumu ve şeklini incelemiştir. Talaş şeklinin iş parçası sertlik oranına göre değiştiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca sertlik arttıkça talaş kırılmalarının arttığını ve talaş kırılma uzunluğunun kısaldığını gözlemlemişlerdir (Şekil 3.1). Sonuç olarak talaş şekli ve sıcaklık verilerini baz alarak oluşturdukları simülasyon modeli ile deneysel çalışmalarını uyum gösterdiğini ifade etmişlerdir [35].



Şekil 3.1. Sertlik artışına bağlı talaş kırılma uzunlukları [35].

Yan ve arkadaşları, farklı sertliklere sahip AISI H13 çeliğini 75 m/dak, 150 m/dak ve 200 m/dak kesme hızında torna tezgahında işleyerek talaş şekli ve ilerleme kuvvetlerini baz alarak model oluşturmuşlardır. İşleme sonrası oluşan talaş yarıçapı ile oluşturdukları modelden elde edilen talaş yarıçaplarını karşılaştırarak, FEM yöntemi ile oluşturdukları modelin deney sonuçları ile örtüştüğünü belirtmişlerdir.

Kesme kuvvetlerinin bütün deneylerinde kesme hızının artmasıyla birlikte azalma eğilimi gösterdiğini vurgulamışlardır [36].

Moon ve arkadaşları, kimyasal kompozisyonları farklı takım çeliklerine tornalama ve delme işlemleri uygulayarak işlenebilirlik karakteristiklerini araştırmışlardır. AISI-L6, AISI H13 ve elektrostatik döküm yöntemi ile üretilen AISI L6 (ESC) çeliklerini önce 790 °C’de tavlayıp 12 h hava ile soğutmuşlardır. Daha sonra aynı deney numunelerini 810 °C’de ısıtıp 1h su ile soğutmuşlardır ve 600 °C’de ısıtıp 1h yağ ile soğutarak işlenebilirlik deneylerini yapmışlardır. Isıtılıp su ile soğutulan çelikler ile yine aynı çeliklerin tavllanmış örnekleri arasında karşılaştırmalar yapmışlardır. Özel işleme tabi tuttukları çeliklerin sertlikleri tavllanmış çeliklerden yüksek çıkmış ve hep aynı sertlikte olduğunu belirlemişlerdir. Fakat tavllanmış çeliklerin sertlikleri en düşük AISI H13 çeliğinde en yüksek ise AISI L6 (ESC) çeliğinde gözlemlemişlerdir. Çekme dayanımı ve sertlik bakımından en yüksek değeri AISI L6 (ESC) çeliğinde ölçerek deneylerde TiC kaplamalı kesici takımlar ile TiC kaplamalı sementit karbür matkaplar kullanmışlardır. Tavlama çeliklerin işlenmesinde en yüksek kesme kuvvetinin AISI H13 çeliğinde oluştuğunu ifade etmişlerdir. AISI L6 (ESC) çeliğinin deneyde kullanılan diğer tüm çelik türlerinden daha iyi işlenebilirlik karakteristiğine sahip olduğunu vurgulamışlardır [37].

Davim ve arkadaşı, seramik takımlar kullanarak AISI D2 çeliğinin sert tornalamada işlenebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda takım aşınmasının kesme hızına bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ve seramik takımlarda kesme hızının yükselmesiyle birlikte aşırı derecede yanak aşınmasının oluştuğunu tespit etmişlerdir. Kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülük değerinin düştüğünü, ilerleme miktarının artışıyla yüzey pürüzlülük değerinin de arttığını belirtmişlerdir [38].

Gaitonde ve arkadaşları, geleneksel ve silici seramik kesici takımlar kullanarak AISI D2 çeliğinin sert tornalamada işlenebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında kesme parametrelerini, yüzey pürüzlülüğünü ve takım aşınmasını incelemişlerdir. Ayrıca kesme derinliği ve işleme zamanı parametrelerini baz alarak matematiksel modelleme de yapmışlardır. Deneysel çalışma sonucunda kesme kuvvetleri ve işleme gücünün kesme derinliğinin artışına paralel olarak arttığını tespit etmişlerdir.

Takımları karşılaştırarak özgül kesme kuvvetinin kesme derinliğine bağlı olarak geleneksel takımlara göre silici seramik takımlarda daha az olduğunu ölçmüşlerdir. Kesme derinliğinin düşük olduğunda pürüzlülük değerlerinin de düşük olduğunu ve yine kesme derinliğinin artmasıyla takım aşınmasının da paralel olarak arttığını ifade etmişlerdir. Silici seramik kesici takımların geleneksel seramik takımlara göre daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir [39].

Poulachon ve arkadaşları, aynı sertlikte çeşitli çelikleri tornalarken CBN kesici takımların aşınma davranışını araştırmışlardır. Çalışmalarında X155CrMoV12 (AISI D2) soğuk iş takım çeliğini, X38CrMoV5 (AISI H11) ve 35NiCrMo16 sıcak iş takım çeliğini ve 100Cr6 (AISI 52100) rulman çeliğini CBN kesici takımlarla işlemişler ve kesici takımdaki aşınma oranlarını, krater aşınmasını ve yanak aşınmasını incelemişlerdir. Takım aşınmasına en etkili faktörün iş parçalarının mikroyapılarında bulunan karbür oluşumlarının olduğunu tespit etmişlerdir. Dört farklı mikroyapıya sahip iş parçalarının sertlik derecelerinin aynı olmasına rağmen mikroyapılarında farklı şekilde ve büyüklükte karbürler olduğunu gözlemlemişlerdir. Takım ömrünü etkileyen bu karbürlerin şekil ve dağılımları olduğunu ve buna bağlı olarak ta takım ömrünü farklı şekilde etkilediğini gözlemlemişlerdir. Homojen olmayan ve büyük karbür oluşumları daha çok aşındırma eğiliminde olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca kesme hızının yükselmesiyle birlikte olarak takım aşınmasının da arttığını ve talaş kaldırma esnasında iş parçasının mikroyapısında bulunan karbürlerin kesme sıcaklığından etkilenmediğini tespit etmişlerdir [40].

Ueda ve arkadaşları, matkabın kesici kenarında oluşan sıcaklıkları araştırmışlardır. Çalışmalarında 10 mm çapında sementit karbür matkaplarla AISI 1045 (HV 350), AISI 100/70/03 (HV 320) ve ASTM 383,0 (HV 116) iş parçaları malzemelerini işlemişlerdir. Bu iş parçalarına ilk delik delmişler, daha sonra bu parçaları tornalamışlar ve en son frezeleme işlemine tabi tutarak üç farklı talaş kaldırma işlemini kuru kesme ve kesme sıvısı kullanarak sıcaklık açısından karşılaştırmışlardır. Delik delme işleminde matkabın kesici kenarındaki sıcaklığın ilerleme miktarının ve kesme hızının artmasıyla artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Kesici kenarın sıcaklığının merkezden kesici kenarın dışına doğru artış gösterdiğini tespit etmişler ve kesme hızının merkezden kesici kenarın dışına doğru artış

göstermesini sıcaklığın artmasının nedeni olarak yorumlamışlardır. Delik delme işlemlerinde en yüksek sıcaklığı AISI 1045 (HV 350) iş parçasının delinmesi esnasında ölçmüşlerdir. Sıcaklık değeri olarak ikinci sırayı AISI 100/70/03 (HV 320) malzemesi ve en düşük sıcaklığı ASTM 383,0 (HV 116) malzemesinin matkapla işlenmesinde elde etmişlerdir. İlerleme kuvveti büyüklüğü ve talaş kalınlığı açısından da değerlendirme yapmışlardır. Karşılaştırmada yine sıralama en büyük ilerleme kuvvetleri ve talaş kalınlıkları kuru delme işleminde olduğunu gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada talaş kaldırma işlemlerinde sıcaklığın en çok delik delme işlemlerinde olduğunu, ikinci sırayı tornalamanın ve en az sıcaklık oluşumun ise frezeleme olduğunu belirlemişlerdir. Kesme sıvısı kullanarak yaptıkları deneylerde ise kesici bölgedeki sıcaklığın % 25 delik delme, % 15 frezeleme ve % 5 oranında tornalama işlemlerinde azaldığını tespit etmişlerdir [41].

Silva ve arkadaşı, torna tezgahında AISI 1040 çeliğinden talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımında oluşan sıcaklık dağılımını incelemişlerdir. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesici takım geometrisinden etkilendiğini açıklamışlardır. Yaptıkları ölçümler sonucu kesici takımında sıcaklık dağılımının kesici ucundan 1 mm uzaklıkta talaş yüzeyinde 650 °C'de başlayıp uca olan mesafenin artmasıyla sıcaklığın azaldığını tespit etmiştir. Kesici takımın içine doğru sıcaklık yüzeyin hemen altında 500-550 °C'de başlayıp içeriye doğru azalma gösterdiğini belirlemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artırılmasıyla sıcaklık değerlerinin artış gösterdiğini vurgulamışlardır. Ayrıca talaşın kesici takıma temas süresinin uzamasına paralel sıcaklığında yükseldiğini gözlemlemişlerdir [42].

Haan ve arkadaşları, dik işlem merkezinde SAE 308 ve 390 malzemelerini 25 mm delik boyunda 4,5 mm çapında matkaplarla işlemişlerdir. Delik delme işleminde sıcaklık, kesme kuvveti, delik kalitesi ve talaş şeklini incelemişlerdir. İlerleme miktarının artmasıyla birlikte talaşın kalınlaştığını, soğutma sıvısı kullanıldığında oluşan talaşa göre daha kıvrımlı olduğunu, ilerleme kuvvetinin artmasının ilerleme miktarının artmasıyla gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. İlerleme kuvveti ve moment üzerine matkap uç açısının ve matkap malzemesinin etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Soğutma sıvısı kullanımının yüzey kalitesini iyileştirdiğini

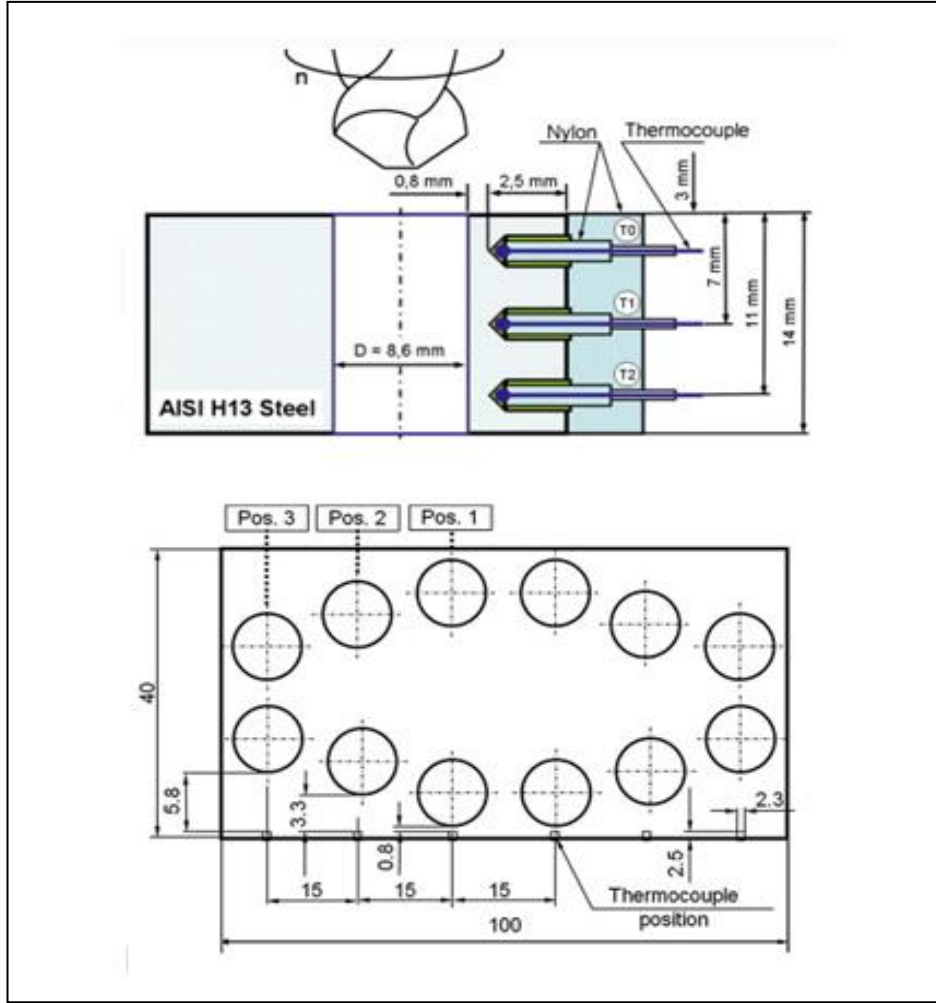
gözlemlemişlerdir. Talaşın delikten dışarı atılması esnasında delik duvarlarına sürtmesinin delik kalitesinde etkili faktör olduğunu vurgulamışlardır. Talaş kaldırma esnasında kesme hızı, ilerleme miktarı ve iş parçası malzemesi sıcaklık seviyesinin belirlenmesinde önemli etken olduğunu gözlemlemişlerdir. Delik delme işlemi esnasında soğutma sıvısının iş parçasını soğutarak, takım- iş parçası arasında oluşan ıstıyı azalttığını ve soğutma sıvısının delme işlemi esnasında oluşan ıstının azalmasında önemli rol oynadığını belirlemişlerdir [43].

Kayır ve arkadaşı, hem CNC hem de klasik torna tezgahında küresel dökme demir (GGG40) iş parçasını 14 çapında karbür matkaplarla işlemişlerdir. Üç farklı ilerleme miktarı (0,18-0,24-0,32 mm/dev) ile 1000 dev/dak dönme hızı kombinasyonlarında, soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan delik delme işlemlerinde Fz (delme kuvveti) ve Mz'yi (moment) ölçmüşlerdir. Delik boyu 50 mm olan delik delme işlemleri esnasında oluşan sıcaklığı da ölçmüşlerdir. GGG40 malzemelerinin boydan boya (50 mm) delinmesi esnasında delik boyunun ilk 20 mm'den sonra ani kuvvet değişimleri gözlemlemişlerdir. Talaşların tahliyesi esnasında talaş sıkışmalarının sıcaklığı artırdığını ve buna bağlı olarak ta Fz ve Mz değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Sıcaklığı artmasında, kesici takım-talaş ara yüzeyinde başlayan talaş sürtünmesi ve bu sürtünmenin kesici takımın helisel olukları boyunca devam etmesi ve de talaşın deformasyonunun en önemli etkenler olduğunu vurgulamışlardır [44].

Bağcı ve arkadaşı, dik işleme merkezinde delik delme operasyonu sürecinde kesme kuvvetlerini ve kesme sıcaklığını araştırmışlardır. Deneylerinde AISI 1040 ve Al 7075-T651 malzemelerini 10 mm çapında TiN/TiAlN kaplamalı matkaplarla 35 mm delik boyunda işlemişlerdir. Üç farklı ilerleme miktarı (0,08, 0,1, 0,15 mm/dev) kullanarak, Al 7075-T651 (160 BHN) malzemesini 2547 dev/dak dönme hızında işlemişlerdir. AISI 1040 (170 BHN) malzemesini ise 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 1433 dev/dak dönme hızında işlemişlerdir. Delik delme işlemini sabit matkap-dönen iş parçası tertibi ile gerçekleştirmişler ve sıcaklığı matkapların soğutma kanallarına yerleştirdikleri termokupullar vasıtasıyla ölçmüşlerdir. Aynı matkapla delik delme sayısı artkça sıcaklığın arttığını, aynı tip matkapla diğer malzemeye göre daha sert olan AISI 1040 delinmesi esnasında ilk delik işleminde sıcaklık değerinin düşük olduğunu fakat delik delme sayısının artmasıyla diğer malzemenin

delinmesinde oluşan sıcaklıktan daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. İlerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Kesme parametrelerinin sıcaklık ve kesme kuvvetlerinin değişiminde çok önemli rol oynadığını ve FEM kullanarak oluşturdukları ısı modeli ile deneysel verileri karşılaştırarak model kestirim değerleri ile deneysel verilerin uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [45].

Brandao ve arkadaşları, ısı akışını dikkate alarak delik delme esnasında kesme sıcaklığını araştırdıkları çalışmalarında, iş parçası olarak kullandıkları AISI H13 çeliğinin delinecek delik duvarı çevresine 0,8 mm, 3,3 mm ve 5,8 mm mesafede üç farklı pozisyonda ve delinecek deliğin üst yüzeyinden 3 mm, 7 mm ve 11 mm deliğin alt tabanına doğru üç termokupul yerleştirerek 8,6 mm çapında delikler delmişlerdir (Şekil 3.2). Yeni matkaplar ve aşınmış matkapları karşılaştırıp, yeni matkaplarla yapılan delik delme işleminde sıcaklık, ilerleme kuvveti ve moment değerlerinin düşük çıktığını tespit etmişlerdir. Delme işlemi sürecinde sıcaklık değişimini en yakın nokta ile en uzak nokta arasında ölçerek yorumlamışlardır. Termokupulların delik çevresine en uzak ve en yakın pozisyonları arasında az sıcaklık farkı olduğunu ölçmüşler, 2. ve 3. pozisyondaki (delik çevresine uzaklık 3,3 mm ve 5,8 mm pozisyon) termokupul sıcaklık ölçümlerinden, azalan sıcaklığın soğutma sıvısı performansından ziyade iş parçası malzemesinin ısı dağıtımından kaynaklanmasına yorumlamışlardır. Buna göre ısı akışının termokupul uzaklığıyla orantısız olduğunu ve tüm soğutma sıvısı uygulamalarında en büyük sıcaklık düşüşünün 1. pozisyonda gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Bu düşüşün tüm deney pozisyonlarında aynı olduğunu ve kuru delik delme işlemiyle soğutma sıvısı kullanılarak yapılan delik delme işlemlerini karşılaştırıldığında soğutma sıvısı kullanım miktarı ile sıcaklığın azalmasının orantılı olduğu ve minimum miktarda yağlamanın soğutma açısından en iyi soğutma şekli olduğunu ifade etmişlerdir [46].

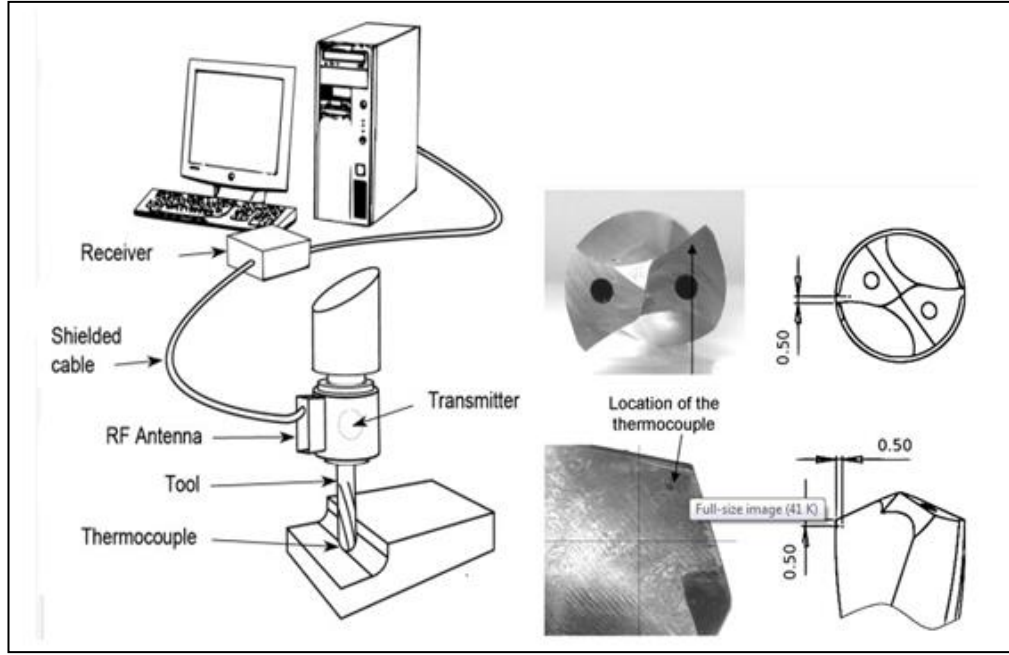


Şekil 3.2. Isıl çiftlerin konumlandırılması [46].

Yağmur, AISI 1050 malzemesini 14 mm çapında kaplamasız ve kaplamalı (TiN, TiAl ve TiACN) karbür matkaplarla üç farklı ilerleme miktarı (0,15, 0,20 ve 0,25 mm/dev) ile dört farklı kesme hızı (60, 75, 90, 108 m/dak) kombinasyonlarında işlemiştir. Sıcaklık, kesme kuvvetleri, moment ve delik kalitesini araştırmıştır. Sıcaklık ölçümlerini kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların soğutma kanalları içerisine yerleştirilmiş ısıl çiftler yardımıyla ölçmüştür. Deneysel çalışma sonucunda kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerlerinde ilerleme miktarının artmasıyla birlikte azalma tespit etmiş ve bu azalmanın nedenini ilerleme miktarının artması sonucu talaş tahliye hızının artmasına, kesici takımın malzeme ile temasta olduğu sürenin azalması ve buna bağlı olarak ta sürtünmeden doğan sıcaklığın azalması olarak yorumlamıştır. İlerleme kuvveti açısından kaplamalı takımlarla elde ettiği değerlerin kaplamasız takımlarla elde ettiğine göre daha düşük değerler olduğunu belirlemiştir.

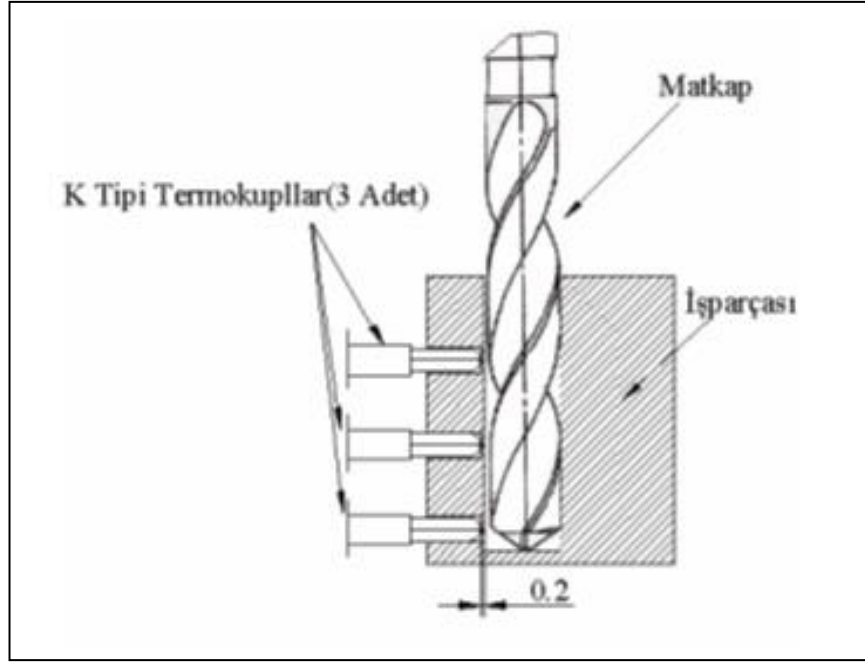
Moment açısından ise artan ilerleme miktarları ve kesme hızlarıyla birlikte moment değerlerinin de arttığını tespit etmiştir. Ayrıca kaplamalı takımlarla yapılan işlemlerde kaplamasız takımlara göre daha iyi yüzey kalitesinin elde edildiğini deneysel olarak tespit etmiştir [5].

Coz ve arkadaşları, Ti6Al4V ile AA7075 malzemelerinin frezede delinmesi esnasında kullanılan MQL'nın soğutma etkisini ve matkapta oluşan sıcaklığı araştırmışlardır. Sabit parçalar üzerinden ölçülen sıcaklık ölçümlerinin haricinde dönen kesici takımlar üzerinden Ti6Al4V ve AA7075 malzemelerini 10 mm çapında ve 20 mm delik boyunda, dört farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,12, 0,14, 0,16 mm/dev) ve iki farklı kesme hızı (30, 35 m/dak) parametrelerinin kombinasyonlarında iki farklı matkap uç geometrisinde işlemişlerdir. Kullandıkları sıcaklık ölçüm sisteminde; kesici takımın veya freze çakısının en yakın kesici yüzeyine ve en yakın kesme kenarına termokupul ısı alıcılarını yerleştirmişlerdir. Isı alıcılarından kablosuz olarak verilerin toplanması için özel takım tutuculara veri toplama cihazını monte etmişlerdir. Radyo frekans anteni takım tutucuya yakın bir yerde konumlandırılarak elde ettikleri verileri değerlendirmişlerdir (Şekil 3.3). Sıcaklık değerlerinin ilerleme miktarının artmasıyla artış gösterdiğini ve aynı zamanda moment değerlerinin artışına paralel seyir izlediğini gözlemlemişlerdir. Sıcaklık artışında kesme hızının az da olsa sıcaklığın yükselmesinde katkısının olduğunu belirtmişlerdir. Matkap uç geometrisinin sıcaklığı etkileyen faktör olduğunu ve kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde sıcaklık değerlerinin daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Kullandıkları sıcaklık ölçüm sisteminin kalibre edilmesinin ve kullanılmasının kolay olduğunu, talaş kaldırma sistemlerine kolayca monte edilebilir olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bu sistemin, delik delme ve frezeleme işlemlerinde iç soğutmaya izin veren sistem olduğunu ve diğer ısı işlem ölçen sistemlere göre maliyeti daha az olduğunu belirlemişlerdir. Sıcaklık ölçüm açısından diğer ölçüm sistemlerine göre çok hassas olduğunu ve çok düşük sıcaklıkları dahi ölçüm yapabildiğini tespit etmişlerdir. Kesici takım sıcaklığının kesme koşullarını optimize etmek için en önemli parametre olduğunu ve MQL'nın soğutma etkisinin sıcaklığın düşürülmesinde önemli rol oynadığını vurgulamışlardır [47].



Şekil 3.3. Kablosuz ısı çift düzeneği [47].

Kaynak, delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisi konulu çalışmasında Al 2024-T4 iş parçasını kuru delme prosesinde; 118° uç açılı taşlanmış HSS helisel matkap, 118° uç açılı TiAlN kaplamalı HSS helisel matkap, 118° uç açılı TiN kaplamalı HSS helisel matkap, 130° uç açılı %5 Co'lu HSS helisel matkap ve 130° uç açılı TiN kaplamalı HSS helisel matkap olmak üzere beş çeşit matkap kullanmıştır. Kuru delme işlemlerini 0,15 mm/dev, 0,20 mm/dev ve 0,25 mm/dev olmak üzere üç farklı ilerleme miktarı ile 30 m/dak, 45 m/dak ve 60 m/dak olmak üzere üç farklı kesme hızı kombinasyonlarında gerçekleştirmiştir. Sıcaklıkları ölçmek için termokupulu 10 mm aralıklarla delik duvarına 0,2 mm kalacak şekilde iş parçası içerisine yerleştirmiştir (Şekil 3.4). En yüksek sıcaklık değerini 118° uç açılı HSS kaplamasız matkapla, en az sıcaklık değerini ise 130° uç açılı TiN kaplamalı matkapla yapılan işlemlerde elde etmiştir. TiAlN kaplamalı matkapla yapılan delme işlemlerinde TiN kaplamalı matkaplara göre biraz daha fazla sıcaklık ölçmüştü ve 130° uç açılı matkaplarda daha düşük sıcaklık la karşılaşmıştır. Bütün deneylerinde ilerleme miktarının artmasıyla birlikte ilerleme kuvvetinde paralel artış tespit etmiştir. Deneysel çalışmadan elde ettiği verilerle sonlu elemanlar analizi yöntemi ile geliştirdiği modeli karşılaştırmış ve aralarında fazla bir farkın olmadığını ifade etmiştir [14].



Şekil 3.4. Kaynak'ın ısı çifti yerleştirme düzeneği [14].

Sousa ve arkadaşları, delik delme esnasında ısı akışı ve sıcaklık alanını tahmin edebilmek için yaptıkları çalışmalarında, kesici takım ve işi parçası arasında oluşan sıcaklıktan yararlanıp, iş parçası üzerinde oluşan sıcaklığı baz alarak Green fonksiyonu metodu yardımıyla bir model geliştirmişlerdir. Bu termal modeli iş parçasının delinen kısmındaki ısı dağılımını elde etmek için sonlu elemanlar hacim metodunu kullanmışlardır. Deneylerinde sementit karbür kaplamalı kesici takımlar ile iş parçası olarak mikro alaşımlı çelik (HSLA çelik, yüksek dirençli, düşük alaşımlı) kullanmışlardır. Deneyler sementit karbür kaplamalı 10 mm çapında 36 mm derinliğinde 2000 dev/dak dönme hızında ve 20 mm/ dak ilerleme miktarında K tipi 30 AWG marka dört adet termokupul kullanılarak yapmışlardır. Sıcaklığın, matkabın iş parçası içerisinde ilerlerken ilk 10 sn matkap ucu ve çevresine, 170 sn sonra ise iş parçasının tümüne yayıldığını tespit etmişlerdir. Isının yayılma hızının iş parçasının ısı iletkenliği ile ilgili olduğunu vurgulamışlardır. Yapmış olduğu doğrusal hipotezlerin deneysel çalışmalar için kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır. Deneysel çalışmalarla geliştirdikleri modelin örtüştüğünü vurgulamışlardır [48].

Li, yüksek hızda boydan boya Ti-6Al-4V titanyum alaşımının 9.92 mm çapında matkaplarla işlenmesi esnasında sıcaklık ve gerilim dağılımını incelemiştir. Sabit matkap-dönen iş parçası tertibatında yaptığı deneyde sıcaklık ölçümleri için termokupları matkap kesici kenarına yakın yerlere konumlandırmıştır. Üç farklı kesme hızı (61, 91 ve 183 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,051, 0,102 ve 0,152 mm/dev) parametrelerine bağlı kalarak yaptığı çalışmada, farklı delik derinliklerinde sıcaklığı, kesme kuvvetlerini ve soğutma sıvısının sıcaklık üzerine etkisini araştırmıştır. Delme işlemi esnasında matkabın delme işlemine başladığı yerden 10,2 mm'ye kadar işlenen delik derinliğinde sıcaklığın artarak yükseldiğini, matkabın 10,2 mm delik derinliğine ulaştıktan sonra ise sıcaklığın paralel seyir izlediğini gözlemlemiştir. Yüksek ilerleme miktarının ve düşük çevresel kesme hızının sıcaklığı azalttığını vurgulamıştır. Yüksek sıcaklığın takım ömrünü kısalttığını uzun delik delme işleminde aşınmaya bağlı olarak sıcaklığın yükseldiğini gözlemlemiştir. Kuru ve ıslak kesme şartlarda matkabın kesici kenarlarında deformasyonların yoğunlaştığını ve kuru kesme şartlarında 1210 °C'ye yaklaşan sıcaklık kesme sıvısının uygulanmasıyla 650 °C'ye kadar düştüğünü, ısı ve gerilim modeli geliştirilmesinin işleme parametrelerinin seçiminde ve matkap tasarımında önemli katkılar sağladığını belirtmiştir. Ters ısı transferi metodu kullanarak sonlu elemanlar ısı modeli geliştirerek ısı modeli ile deneysel çalışmadan elde ettiği verileri karşılaştırmış ve yüksek oranda bir biri ile uyumlu olduğunu tespit etmiştir [49].

Shen ve arkadaşları, şekilli delme işlemi esnasında sıcaklık dağılımının sonlu elemanlar yöntemi ile analiz ederek yeni bir model geliştirdikleri çalışmalarında, üç farklı matkap uç açısı (100°, 120°, 140°), iki farklı ilerleme miktarı (0,10, 0,261 mm/dev) ve iki farklı dönme hızı (300, 475 dev/dak) parametreleri kombinasyonlarında 28 mm çapında HSS matkaplarla 66 HRC sertliğe sahip çelik malzemeyi işlemişlerdir. Kuru işleme şartlarında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, kesme parametrelerinin matkap kesici kenarı üzerinde oluşturduğu sıcaklığın matkap merkezinden matkap kesici kenar dışına doğru arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca matkap uç açısının yükselmesiyle birlikte sıcaklığın yükseldiğini tespit etmişlerdir. Bu durumu matkap uç açısının yükselmesinin matkabın kesme kenarının kısılmasına ve bu kısılmanın da kesintisiz talaş kalınlığını artırmasına yorumlamışlardır. Kesme hızının ilerleme miktarından daha fazla sıcaklık oluşumunda etkiye sahip olduğunu,

kesme hızı, ilerleme miktarı ve matkap uç açısının matkap sıcaklığını etkileyen önemli parametreler olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca deneyler sonucu elde ettikleri verilerini, sonlu elemanlar metodu yardımıyla oluşturdukları sıcaklık tahmin analizleri ile karşılaştırmışlar ve tahmin yöntemi ile deney sonuçlarının örtüştüğünü gözlemlemişlerdir [50].

Nedelik ve arkadaşı, metal malzemelerden talaş kaldırma esnasında oluşan sıcaklığı çeşitli kaplamalı kesici takımlar kullanarak incelemişler ve kesici takımlarda oluşan sıcaklık dağılımına göre bir model geliştirmişlerdir. FEM/ ANSYS programı kullanarak geliştirdikleri model ile deneysel sonuçlarını karşılaştırmışlar ve talaş kesme esnasında kesici takım kenarında sıcaklıkların yüksek boyuta ulaştığını gözlemlemişlerdir. Mekanik kuvvetin, kesme koşullarına bağlı olarak (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği) yüksek oranda ısıya dönüştüğünü ve ısı oluşumunun takım malzemesi, kesici takım geometrisi ve iş parçası malzemesine bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Talaş kaldırma işlemi esnasında ısı artışının, takım-talaş yüzeyi ve talaş kayma bölgesinde olduğunu ve bu bölgelerde oluşan sıcaklıkların kesici takım ömrünü azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca geliştirdikleri modelle deneysel sonuçları karşılaştırmışlar ve sonuçların örtüştüğünü gözlemlemişlerdir [51].

Şahin ve arkadaşı, tornalamada talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takım ile iş parçası arasında oluşan sıcaklığın dağılımını inceleyerek talaş kaldırma esnasında oluşan sıcaklığın yaklaşık olarak % 5-10 iş parçası, % 75-80 talaş ve % 10-20 kesici takım arasında paylaşıldığını tespit etmişlerdir. Kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmenin sıcaklık artışında en önemli faktör olduğunu vurgulamışlardır. Takım aşınmalarının sıcaklığın yükselmesinde birinci etken olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca iş parçası malzeme yapısının da sıcaklık dağılımında önemli etken olduğunu, sıcaklık dağılım oranının kesici takım malzemesi, talaş ve iş parçası malzemesi arasında değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Tornalama işlemlerinde kesme hızı ilerleme miktarından daha fazla sıcaklığın yükselmesinde etkili kesme parametre olduğunu belirterek ve Fourier ısı iletim denklemi yardımıyla iki boyutlu sürekli talaş kaldırma işlemlerinde takım ve talaş arasında oluşan sıcaklık dağılımı için sonlu

farklar metoduna dayalı sıcaklık dağılımının simülasyonu yapmışlardır. Ölçülen değerlerle simülasyonun benzerlik gösterdiğini gözlemlemişlerdir [52].

Usta, matkapla AISI 1050 ve 3G40 malzemelerine uç açısı 140° olan 14 mm çapında kaplamasız ve kaplamalı (TiAlN) karbür uçlu helisel matkaplarla 50 mm boyunda delikler delmiştir. Çalışmasını üç farklı ilerleme miktarı (0,18, 0,24, 0,32 mm/dev) ile üç farklı kesme hızı (43,96, 61,54, 87,92 m/dak) kombinasyonlarında torna tezgahında gerçekleştirmiştir. Matkabın soğutma kanallarına yerleştirdiği termokuplar vasıtasıyla delik delme esnasında oluşan sıcaklığı ve kesme kuvvetlerini ise KISTLER 9272 Dinamometre ile ölçmüştür. Kaplamasız takımlarla yaptığı bütün deneylerde kaplamalı takımlara göre ilerleme kuvvetlerinin yüksek çıktığını tespit etmiştir. AISI 1050 malzemesinin delinmesinde elde edilen delme kuvveti ve moment değerlerinin DDK 40 malzemesinden elde edilen değerlerden daha büyük olduğunu ve bu durumu AISI 1050 malzemesinin kopmaya karşı direncinin DDK 40 malzemesinden daha fazla olmasına yorumlamıştır. Ayrıca düşük kesme ilerleme miktarları BUE oluşumuna yol açtığını ve buna bağlı olarak ta sıcaklık değerlerinin yükseldiğini ve kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvvetinin çok azda olsa düşüş gösterdiğini, bu düşüşün kaplamalı takımlarda daha dikkate değer olduğunu belirtmiştir. Delik işleme boyunun artmasıyla birlikte sıcaklığın arttığını ve deneysel çalışması sonucu kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerinin ve sıcaklığın azalması veya yükselmesinde çok önemli faktör olduğunu vurgulamıştır [53].

Herbert ve arkadaşları, nikel esaslı süper alaşımlarının delinmesi esnasında oluşan beyaz tabakanın özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, TiN/TiAlN kaplamalı 6 mm çapında 30° helis açılı yeni matkaplar ile yanak aşınması 0,1 mm olan matkaplar kullanarak, beş eksenli tezgahta kuru delme işlemi yapmışlardır. Beyaz tabakanın oluşmasını sağlamak için kesme hızı 35 m/dak, ilerleme miktarı 0,12 mm/dev parametrelerini seçmişlerdir. Çalışmalarında kaba malzeme (ilk hali) ile delme işlemi sonucunda oluşan beyaz tabaka oluşumunu yapısal olarak inceleyip karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak üretilen beyaz tabakanın yapısının malzemenin ilk yapısına benzediğini fakat beyaz tabaka yapısının yaklaşık % 50 oranında küçük ve çok ince taneciklerden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bu durumu çok ince tanelerden oluşan yapının delme işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve mekanik etkilerden

kaynaklandığı, ayrıca düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemenin delme işlemi esnasında yüksek sıcaklığa maruz kalması ile bu çok küçük boyutta tanelerin oluştuğunu belirtmişlerdir. Beyaz tabaka sertliğinin % 45 oranında malzemenin ilk halindeki yapısından daha sert olduğunu ve bunun nedeninin de beyaz tabaka içerisindeki parçacık boyutlarının küçülmesiyle oluştuğunu belirtmişlerdir [54].

Şekerci ve arkadaşları, AISI 316L malzemesini 14 mm çapında kaplamsız ve kaplamalı (TiN/TiAN/TiCN) çok katmanlı (Firex coated) helisel karbür matkaplarla 35 mm boyunda dik işleme merkezinde sabit matkap dönen iş parçası tertibinde işlemişlerdir. Çalışmalarını dört farklı kesme hızı (60, 75, 90, 108 m/dak) ve dört farklı ilerleme miktarı (0,15, 0,20, 0,25, 0,30 mm/dev) kombinasyonlarında kesme parametrelerinin kesme bölgesinde sıcaklığa etkisini araştırmışlardır. Sıcaklığı matkabın soğutma kanallarına yerleştirdikleri termokuplarla ölçmüşlerdir. Kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerlerinin ilerleme miktarının artmasıyla birlikte düşüş gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Bu durumu talaş tahliyesinin hızlı olmasına ve matkapla talaş temasının kısa sürmesine yorumlamışlardır. Kaplamalı matkaplarla yapılan deneylerin bütünde kaplamasız matkaplara göre daha çok düşüş tespit etmişlerdir. Ayrıca kesme hızının artmasıyla sıcaklık değerlerinde düşüş gözlemlemişlerdir. Bunun nedeni ise kaplamalı matkapların yüksek kesme hızlarında daha verimli çalışmasına yorumlamışlardır. Her iki kesici takımında da en düşük kesme bölgesi sıcaklığının en yüksek kesme hızı ve en yüksek ilerleme miktarlarında olduğunu vurgulamışlardır [55].

İşbilir ve arkadaşı, titanyum alaşımı (Ti6Al4V) iş parçasını 8 mm çapında TiAN kaplamalı karbür matkaplarla 95,119, 142 ve 171 m/dak ilerleme miktarlarında 1400 dev/dak dönme hızında işlemişlerdir. Çalışma sonucu, ilerleme miktarının artmasıyla ilerleme kuvvetinde ve moment değerlerinde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kesici takım ucu ile iş parçası arasındaki etkileşiminden ve delme parametrelerinden yararlanarak delme işlemi sürecini ABAQUS yazılımı ve sonlu elemanlar yöntemi ile modellemişlerdir. Delme işlemi sürecini üç aşamaya ayırmışlar (giriş, sabit ve çıkış), sonlu elemanlar modeli sayesinde ilerleme kuvveti ve moment için doğru tahminler sağlamışlardır. Ayrıca sonlu elemanlar modelini çapak yüksekliğinin tahmin edilmesinde de kullanmışlar ve başarılı olmuşlardır. Sonuç olarak karmaşık takım

geometrisini kapsayan 3D sonlu elemanlar modelinin Ti6Al4V iş parçasının delinmesinde delme işlemi parametreleri ve gerilimin tahmin edilmesinde uygulanabilir model olduğunu vurgulamışlardır [56].

Soylu, Ç 1040 çeliğini farklı uç açılarına (20°, 25°, 30°) ve farklı helis açılarına (100°,118°,130°) sahip 10 mm çapında HSS matkaplarla 30 mm uzunluğunda sütunlu matkap tezgahında işlemiştir. Kesme parametreleri olarak üç farklı ilerleme miktarı (0,1, 0,2, 0,3 mm/dev) ve üç farklı devir (560, 710, 900 dev/dak) seçmiş ve soğutma sıvısı kullanmamıştır. Kesme parametrelerinin ve takım geometrisinin ilerleme kuvveti ve moment üzerine etkilerini araştırmıştır. İlerleme miktarının artmasıyla ilerleme kuvvetlerinin ve moment değerlerinin arttığını gözlemlenmiştir. Uç açısındaki artma sonucunda kesme kuvvetlerinde artmalar, momentlerde ise azalmalar tespit etmiştir. Kesme hızındaki artma sonucunda uç açısının 118° ve 130° olduğu durumlarda kesme kuvvetlerinin ve momentlerin azaldığını gözlemlenmiştir. Helis açısındaki artma sonucunda kesme kuvvetlerinde ve momentlerde azalmalar tespit etmiştir [57].

Almeida ve arkadaşları, volfram karbür-cobalt (WC-Co) iş parçalarını delmek için nanokristal elmas kaplama (NCD) matkaplar kullanmışlar ve bu NCD matkapları kaplamasız matkaplarla karşılaştırmışlardır. Kimyasal buhar çökeltme yöntemiyle elde ettikleri nanokristal elmas matkapların takım aşınmasını ve kesme performanslarını karşılaştırmışlardır. NCD matkapların kesme etkisinin kaplamasız matkaplara göre dikkat çekici miktarda üstün olduğunu tespit etmişlerdir. Kaplamasız matkaplarda dört delikten delme işleminden sonra yanak aşınmasının görülmesi bu matkapların sadece 0,02 m/dak ilerleme miktarı ile işleme yapılırken NCD matkaplar ile 0,94 m/dak ilerleme miktarlarında delik tamlığını da korumak şartıyla delme işleminin gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca ilerleme kuvvetinin, 0,1 m/dev ilerleme miktarından daha yüksek olduğunda ilerleme miktarıyla orantılı artış gösterdiğini belirlemişlerdir [58].

Onwubolu ve arkadaşı, CNC matkap tezgahlarında delme operasyonlarında tepki yüzey yöntembilimi esaslı yaklaşımlar adlı çalışmalarında kesme kuvveti ve momenti ölçmüşlerdir. Delme operasyonlarında 100 W gücünde, maksimum 2800

dev/dak dönme hızı olan CNC matkap tezgahı kullanmışlar ve 25 mm kalınlığında 3004-0 alüminyum alaşımlı (50 BHN) iş parçalarını işlemişlerdir. Çalışmalarında 2,5 mm, 3,5 mm ve 5 mm çaplarında matkaplarla 270, 1135 ve 2000 dev/dak ve 1,3, 1,9 ve 3,8 mm/sn ilerleme miktarı kombinasyonlarında, kesme parametreleri ve matkap uç açısının ilerleme kuvveti ve moment değerleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kesme hızının yükselmesine karşın ilerleme kuvvetinin azaldığını, ilerleme miktarının artmasıyla ilerleme kuvvetini arttığını ve tüm delme parametrelerinde momentin doğrusal olmayan bir çeşitlilik gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca matkap çapının artmasına paralel ilerleme kuvvetinin de artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Deneysel sonuçlarla geliştirdikleri matematiksel modelin birbirine çok yakın olduğunu vurgulamışlardır [59].

Hamade ve arkadaşları, 10 mm çapında HSS helisel matkapları kullanarak alüminyum 6061-T6 malzemesini beş farklı kesme hızında (25, 50, 100, 200, 310 m/dak) ve beş farklı ilerleme miktarlarında (0,04, 0,08, 0,16, 0,32, 0,06 mm/dev) delmişlerdir. İlerleme kuvveti ve moment değerlerinin ilerleme miktarının artmasıyla artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca dört farklı talaş açısına (25°, 30°, 35°, 40°) sahip matkaplarla yapılan delik delme işleminde talaş kalınlığını incelemişlerdir. Talaş açısının artışının talaş kalınlığının artmasına yol açtığını gözlemlemişlerdir. Talaş açısı, ilerleme kuvveti ve ilerleme miktarı parametrelerinden yararlanarak kesme kuvveti faktöriyel katsayısı elde etmişlerdir. Kesme kuvveti faktöriyel katsayısı, kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş açısı vasıtasıyla kesme kuvveti denklemi kurmuşlardır. Elde ettikleri kesme kuvveti denklemini ile literatürdeki denklemin örtüşüğünü tespit etmişlerdir [60].

Biermann ve arkadaşları, küçük çaplarda tek kesici ağızlı delik delme matkapları ile delik delme işleminin yüzey kalitesi üzerinde takım geometrisinin etkisini analiz etmişlerdir. Çapları 0,5 - 6 mm arasında matkaplar üreterek 36000 dev/dak dönme hızında ve 250 bar basınçta soğuma sıvısı kullanarak AISI 16L paslanmaz çeliği delmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmada standart matkap geometrisi ile yeniden tasarladıkları tek ağızlı delik delme matkabını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda matkap geometrisi, matkaptaki aşınma miktarı ve sıcaklığın yüzey kalitesini olumsuz yönde etkileyen ana faktörler olduğunu belirlemişlerdir. Bu

faktörlerden etkilenen kesme kuvvetleri, kesici kenarın temas alanı boyutu, takım kaplaması ve kesme kenarı açısı yüzey kalitesini etkileyen en önemli parametreler olduğunu gözlemlemişlerdir. Yüksek ilerleme miktarlarında iyi performans sağlayacak matkap tasarlanarak olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması durumunda iyi bir yüzey kalitesi elde edileceğini vurgulamıştır [61].

Oliveira ve arkadaşları, yoğunlaştırılmış grafit demir iş parçasının delinmesi esnasında TiAlN ile kaplanmış sementit karbür matkabın aşınması üzerine takım geometrisinin etkilerini araştırmışlardır. Üç değişik takım geometrisine (S grinding, Cross grinding, Round grinding) sahip matkaplarla 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 80, 90 ve 100 m/dak kesme hızı kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Tüm deneylerde küresel bilenmiş (Round grinding) matkapların en iyi performansı sergilediğini tespit etmişlerdir. Kesici takım ömrünü etkileyen en önemli faktörün kesici takım geometrisi ve kesme hızı olduğunu vurgulamışlardır [62].

İnçal, buharlaşma yöntemi kullanarak TiN kaplama yapılan HSS malzemelerinden imal edilmiş helisel matkap uçları ile C45 malzemesinden imal edilmiş iş parçası yüzeyine delik genişletme işlemi uygulamıştır. Çalışmasında 5 mm çapında, 15 mm derinliğinde olan delikleri 13 mm çapında genişletmiş ve delik yüzey kalitesini ve aşınmaları incelemiştir. TiN kaplamalı matkap uçları ile yaptığı deneylerde delik sayısının artışına paralel yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığını gözlemlemiştir. Kaplamasız matkap uçları ile yaptığı deneylerde ise yüzey pürüzlülüğü değer artışının delik sayısı ile orantısının olmadığını tespit etmiştir. Nedenini ise iş parçalarının kimyasal yapısının homojen olmamasına ve kaplamasız matkap helisine talaşın tutunarak yüzeyi bozduğuna yorumlamıştır. Aşınma açısından ise kaplamasız matkap ucundaki aşınma kaplamalı matkap uçundaki aşınmanın yaklaşık 1,5 katı olduğunu ölçmüştür [63].

Kıvak ve arkadaşı, Ti-6Al-4V alaşımının delinmesi esnasında kaplama malzemesi ve kesme şartlarının kesme kuvvetlerine etkisini araştırmışlardır. CNC dik işleme merkezinde 5 mm çapında kaplamasız ve çok katlı TiAlN/TiN kaplı matkaplarla 15 mm boyunda boydan boya delikler delmişlerdir. Dört farklı kesme hız ve üç farklı

ilerleme miktarı kombinasyonları kullanarak yaptıkları deneylerde, kaplama malzemesinin kesme kuvvetlerinde % 14'lere ulaşan düşüslere yol açtığını gözlemlemişlerdir. Kesme hızına oranla ilerleme miktarının kesme kuvvetleri üzerinde en önemli parametre olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ıslak kesme işleminin bir miktar kesme kuvvetlerini artırdığını gözlemlemişlerdir [64].

Çakır ve arkadaşları, AA 7075 ve AA 6013 olmak üzere iki farklı alüminyum malzemeyi iki ağızlı HSS ve karbür matkaplarla, dört farklı kesme hızı (35, 50, 65 ve 80 m/dak) ve dört farklı ilerleme miktarı (0,2, 0,3, 0,4, ve 0,5 mm/dev) kullanılarak delik delme deneylerine tabi tutmuşlardır. Çalışmalarında kesme parametreleri, takım türü ve iş parçası malzemesinin kesme kuvvetleri ile momente etkisini araştırmışlardır. Keme hızının artmasıyla birlikte HSS matkaplarda karbür matkaplara oranla daha fazla kuvvet ve moment artışı tespit etmişlerdir. İlerleme miktarında artışın, HSS matkaplara oranla karbür matkaplarda daha fazla kuvvet ve moment artışına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı delik deme şartlarında sertlik derecesi daha fazla olan (150 HB) AA 7075 iş parçası malzemesinde oluşan kuvvetlerin sertlik derecesi daha düşük olan (max 130 HB) AA 6013 iş parçası malzemesine oranla daha yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Ayrıca karbür matkaplarda delik delerken takımda oluşan kuvvet değişimi frekans aralığının HSS takımlara oranla daha fazla çıktığını belirlemişler ve bunun sebebini takım ucundaki BUE oluşumu ve talaş sıkışması olarak yorumlamışlardır. Yaptıkları Varyans analizlerinde ise kesici takımda oluşan momentlere kesici takımın ve ilerleme miktarının etkili olduğunu, malzeme ile kesme hızının ise etkili olmadığını tespit etmişlerdir [65].

Batzer ve arkadaşları alüminyum alaşımlı dökümlerin matkapla delinmesi işleminde delik yüzey dokusu ve talaş biçimlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında iş parçası malzemesinin, kesme hızının, ilerleme miktarının, delik derinliğinin, soğutma sıvısı kullanımı ve soğutma sıvısı bileşiminin, iş parçası sıcaklığının, matkap türünün ve efektif matkap uzunluğunun talaş biçimi oluşumu üzerine etkisini araştırmışlardır. SAE 308 ve SAE 390 alüminyum alaşımlı dökme demiri, farklı uç açılara sahip 5,5 mm çapında beş farklı profilli karbür ve HSS matkaplarla işlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda talaş boyutu üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğunu

tespit etmişlerdir. SAE 390 iş parçasının sünekliğinin düşük olması daha küçük talaş oluşumuna neden olduğu yorumunu çıkarmışlardır. Talaş boyutu oluşumunda en önemli ikinci parametrenin matkap türü olduğunu tespit etmişlerdir. Matkap uçunun sivri oluşundan dolayı kesme kenarının geniş olmasının ince ve geniş talaş oluşumuna neden olduğunu belirlemişlerdir. Kesme hızının yükselmesiyle talaş ağırlığının da arttığını gözlemlemişlerdir. Bunu da deformasyon bölgesinde oluşan ısının yükselmesine yorumlamışlardır. Kesme sıvısı kullanımının talaş boyutu ve şeklinin oluşumunda önemsenecek kadar az etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir. Küçük boyuttaki talaşların delik yüzeyine etkisinin olmadığını, fakat büyük boyuttaki talaşların ise devamlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerini yükselttiğini belirlemişlerdir [66].

Cheung ve arkadaşları, manyetik parlatma yöntemiyle HSS matkapların kesme kenarına işlem uygulayıp sonra takım ömrünü ve takım aşınmasını araştırmışlardır. Miknatıslı parlatma yönteminin HSS matkaplarının performansları ne derecede etkilendiğini araştırmışlardır. Farklı yarıçaplarda oluşturdukları kesici kenar yarıçaplarını (18'den 50 µm arası) parlatılmamış kesici kenarlı matkapla karşılaştırmışlardır. 200 HB sertliğinde SUS304 paslanmaz çelik kumundan oluşan parlatma işlemi her bir işlem için parlatma zamanı ve parlatma parametrelerini aynı tutmuşlardır. İş parçası malzemesi olarak Böhler M238 plastik kalp çeliğini kullanmışlardır. Sonuçta miknatıslı kesme kenarı parlatmanın HSS matkaplarının kesici kenarlarını koruma için etkili ve uygun alternatif bir yol olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca en iyi matkap ömrü performansı açısından kesici kenar yarıçapı 24 ile 27 µm arasında olan kesici kenar yarıçaplı matkaplarda gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Tüm delik delme işlemlerinde ilerleme kuvveti ve delik yüzey pürüzlülüğü değerleri ilerleme miktarının artmasıyla birlikte arttığını tespit etmişlerdir. Kesici kenar yarıçapı büyük olan matkapların daha küçük delik işlemlerine eğilimli olduğu sonucunu çıkarmışlardır. İlerleme kuvveti ile moment değerlerinin yükselmesinin yanak aşınmasıyla bağlantılı bir olgu olduğunu belirlemişlerdir. Kesici kenarları parlatılmış matkapların aşınma direnci ve yanak aşınması bakımından iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [67].

Tosun ve arkadaşları, matkapla delmede kesme parametrelerinin iş parçası yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. 10 mm kalınlığında Ç 4140 çelik malzemesini 5 mm çapında ve 90°, 118° ve 130° uç açısına sahip HSS, TiN kaplı HSS ve karbür matkaplarla işlemişlerdir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; yüzey pürüzlülük değerlerinin kesici takım olarak kullanılan matkapların sertliklerinin artmasıyla düştüğünü ve karbür matkaplarla yapılan işlemlerde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edildiğini tespit etmişlerdir. Matkap uç açıları 90° ve 130° olan karbür matkaplarda en düşük yüzey pürüzlülük değerlerini elde etmişlerdir. Bütün deneylerde ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma gözlemlemişlerdir [68].

Özkul ve arkadaşları, dievar sıcak iş takım çeliğini çapı 16 mm olan kaplamasız karbür yekpare kesici takımlar ve kendiliğinden raybalı TiAlN kaplamalı karbür kesici takımlarla işlemişlerdir. Dik işleme merkezli tezgahta gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarında, delik delme esnasında oluşan aksel kuvvetler, kesme momentleri, yüzey pürüzlülüğü, ölçü tamlığı ve dairesellikten sapmaları araştırmışlardır. Çalışmalarında ilerleme miktarı 0,16 mm/dev ve dört farklı kesme hızlarını (36, 40 44, 48 m/dak) kesme parametreleri olarak seçmişler ve çıkan sonuçları doğrusal regresyon metodu ile modellemişlerdir. Sonuç olarak kesme hızının artmasıyla birlikte ilerleme kuvvetlerinde ve moment değerlerinde düşüş gözlemlemişlerdir. Karbür kesici takımlarla ölçülen ilerleme kuvvetleri ve moment değerlerinin kendiliğinden raybalı kesici takım değerlerine göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Kendiliğinden raybalı kesici takımla yapılan işlemlerde daha iyi yüzeyler elde etmişlerdir. Çaptan sapma açısından yüksek kesme hızlarında karbür kesici takımla yapılan işlemlerde kendiliğinden raybalı kesici takımlara göre yaklaşık % 50 oranında daha iyi sonuçlar almışlardır. Kaplamasız karbür kesici takımların oluşturduğu dairesellikten sapma değerleri yaklaşık % 550 oranında kendiliğinden raybalı kesici takımlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Elde ettikleri verilerle oluşturdukları modelle karşılaştırmışlar ve uyum içinde olduğunu tespit etmişlerdir [69].

Kıvak ve arkadaşları, CNC dik işleme merkezinde AISI 304 östenitik paslanmaz çelikleri uç açısı 118° olan 6 mm çapında TiAN kaplı ve nano TiAN kaplı M35 HSS matkaplarla dört farklı kesme hızı (10, 12, 14 ve 16 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,04, 0,06 ve 0,08 mm/dev) parametrelerine bağlı kalarak işlemişlerdir. Deneysel çalışmaları sonucunda ilerleme kuvvetlerinin ilerleme miktarının artmasıyla birlikte arttığını ve nano TiAN kaplamalı takım ile yapılan deneylerde kesme kuvvetlerinin TiAN kaplamalı takıma göre daha düşük çıktığını tespit etmişlerdir. Kesme hızının artmasıyla birlikte kesme kuvvetlerinin de arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca artan ilerleme miktarı ile kesme hızının delik kalitesini olumsuz yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. Bunun nedenini artan ilerleme miktarı ile kesme hızının kesici uçta aşınmaların erken başlamasına neden olmasına ve talaş tahliyesinin zorlaşmasına yorumlamışlardır. Kesme hızının artmasıyla birlikte kesici takımlarda aşınmaların arttığını belirlemişler ve nano TiAN kaplamalı takımın TiAN kaplama takıma göre daha az aşındığını tespit etmişlerdir. Kesme kuvvetlerindeki artışın delik kalitesini olumsuz yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir [70].

Meral ve arkadaşları, AISI 105 imalat çeliğini dik işleme merkezinde TiAN kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla işlemişlerdir. Uç açısı 118° olan matkaplarla üç farklı kesme hızı (20, 30 ve 40 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,05, 0,1 ve 0,15 m/dev) parametrelerinin kombinasyonlarında kesme hızı, ilerleme miktarı ve matkap çapının ilerleme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. Daha sonra bu veriler ışığında kesme parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi Yöntemini uygulamışlardır. Sonuç olarak Taguchi optimizasyonunun başarıyla uygulandığını, kaplamalı matkapların kaplamasız matkaplara göre daha iyi performans sergilediğini, kesme kuvvetini en çok ilerleme miktarının ile matkap çapının etkilediğini, kesme hızının ise çok az etkilediğini tespit etmişlerdir. İlerleme miktarı ile matkap çapının artmasıyla kesme kuvvetlerinin de artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin en düşük ilerleme miktarı ile en düşük matkap çapında ve en yüksek kesme hızı kombinasyonlarında olduğunu vurgulamışlardır [71].

Hepyaşar ve arkadaşları, C45P ıslah çeliğini 30 mm derinliğinde TiAN kaplamalı ve kaplamasız uç açısı 146° olan karbür matkaplarla 0.12 mm/dev ilerleme miktarı ve

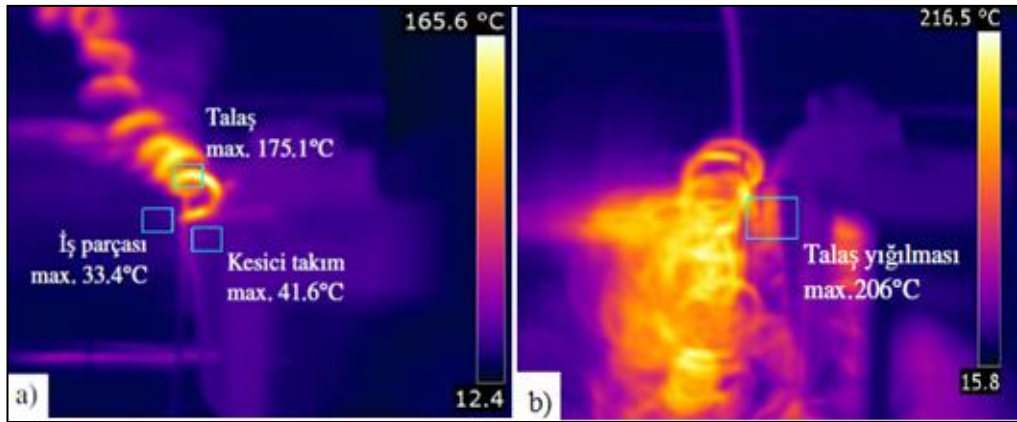
iki farklı kesme hızında (80, 90 m/dak) 70 bar kesme sıvısı basınçla işlemişlerdir. İslah çeliklerin işlenebilirliğini inceledikleri çalışmada kaplamasız matkapların delme işlemini tamamlamadan kırıldığını gözlemlemişlerdir. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde ise kırılma ile karşılaşmamışlardır. 80 m/dak kesme hızında kesme kenarında aşınmayla karşılaşmışlardır. Kesme hızının 90 m/dak'a çıkmasıyla plastik deformasyona bağlı aşınmanın yüksek olduğunu ve kesme kenarı aşınması ile kesme kenarı köşesinde ufalanma tespit etmişlerdir [18].

Afazova ve arkadaşları, mikro delik delme parametrelerini belirlemek yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu parametreleri belirlemede iş parçası ve matkabın titreşim sönümlenme, biçimsel sağlamlık, kesme kuvveti gibi etkenleri yok kabul edip sadece matkabın doğal frekansına göre sonlu elemanlar yöntemiyle modelleme yapmışlardır. Çalışmalarında kesici takım geometrisi olarak matkap çapı 100 µm, matkap helis kanalı uzunluğu 1,3 mm ve kesici kenar yarıçapını 0,8 µm olan matkaplar kullanmışlardır. Sonuçta 100 µm çapında delikler için Macor kesme mekanizmasının açıkladığı gibi çatlakların oluştuğunu ve yayıldığını görmüşlerdir. Milin doğal frekanslarını baz alarak yaptıkları modelleme ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlar ve modelleme ile deneysel sonuçların farklı olmadığını belirtmişlerdir [72].

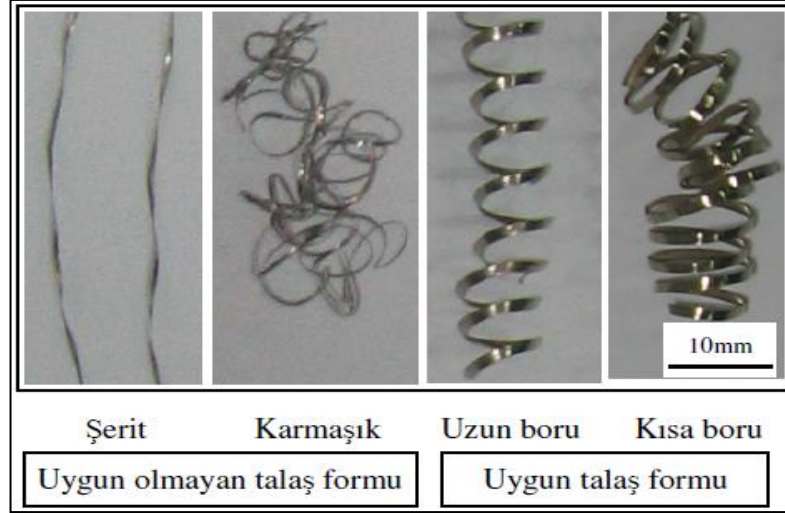
Jayal ve arkadaşları, A390.0 alüminyum alaşımlı dökme demirin delinmesi sırasında kullanılan kesme sıvısı uygulamalarının sağlık ve işleme performansı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kör delik delme işlemi sırasında kesme hızı, ilerleme miktarı ve delik derinliği parametrelerine bağlı kalarak kuru delme ve çeşitli kesme sıvısı türlerini kullanmışlar ve delik kalitesi, kesme sıvı çeşitleri ile bu sıvıların çevreye etkilerini araştırmışlardır. Kuru delme şartlarında deliğin boyutsal tamlığı kesme hızı, ilerleme miktarı ve delik derinliğinde bağımsız ve alt bir etken olurken, kesme sıvısı kullanılan uygulamalarda silindiriklik açısından delik derinliğini ve delik boyutu açısından ise kesme hızı ve diğer parametrelerin etkisi oldukça fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Kesme sıvısı kullanmanın soğutma ve talaş taşıma işlemini yapmasının yanında yüksek miktarda kesme sıvısı kullanmak küçük parçacıkları da havaya uçurmadan taşıdığını tespit etmişlerdir. Aksi halde

sprey şeklinde püskürtmeli soğutmada havada atomizer şeklinde olan zararlı parçacıkların sağlık açısından tehlikeli olduğunu tespit etmişlerdir [73].

Aydın ve arkadaşları, AISI 304 malzemesini HC-M35 kaplamalı kesici takımla (70-90 m/dak) kesme hızı, (0,5-0.7 mm) talaş derinliği ve (0.08-0.11mm/dev) ilerleme miktarı parametrelerinin çeşitli kombinasyonlarında tornalama işlemine tabi tutarak işlenebilirliği araştırmışlardır. Çalışmalarında, talaş kaldırma esnasında kesme kuvveti, talaş kaldırılan bölgenin ve talaşın ayrılma anındaki sıcaklığını ölçmüşlerdir. Ayrıca talaşın ayrılma anındaki formunu fotoğraflamışlar ve kesici takımda oluşan aşınma miktarını incelemişlerdir. Deneysel çalışma sonucu, düşük kesme hızlarında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin arttığını, orta kesme hızlarında ise kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin azalmaya başladığını gözlemlemişlerdir. Talaş kaldırma esnasında oluşan sıcaklığın talaş (% 70), iş parçası (% 13) ve kesici takım (% 17) arasında paylaşıldığını (Şekil 3.5.a) ve kesme hızının artmasıyla birlikte kesme bölgesi sıcaklığının da arttığını tespit etmişlerdir. Talaş yığılmasının sıcaklığı artırdığını ve bu durumun kesici takımda sıcaklık artışına yol açtığını vurgulamışlardır (Şekil 3.5.b). Artan sıcaklığın kesici takımda aşınmaya neden olduğunu ve aşınmış kesici ucun keskin bir kenardan farklı olarak sürtünen bir bölge oluşturduğunu için bu bölgenin iş parçası ile sürtünmesi sonucu daha fazla ısı enerjisi açığa çıkardığını vurgulamıştır. İşlenebilirlik açısından oluşan talaş formlarını incelemişler ve uzun veya kısa talaş formlarının uygun olduğunu, şerit, dolaşık, karmaşık talaş formlarının ise uygun olmadığını belirtmişlerdir (Şekil 3.6) [74].



Şekil 3.5. Talaş kaldırma esnasında oluşan sıcaklık dağılımı [74].



Şekil 3.6. İşlenebilirlik açısından talaş formları [74].

Neugebauer ve arkadaşları tornalama ve matkapla delme işlemi esnasında enerji tüketimi üzerine kesici takım özelliklerinin kullanım etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarında gri dökme demir iş parçasını kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla işlemişler ve özellikle ilerleme miktarının sistemin enerji tüketiminde çok önemli etken olduğunu tespit etmişlerdir. Matkapla delme işleminde işleme zamanı ve talaş kaldırma miktarının enerji tüketiminde hayati faktör olduğu sonucunu çıkarmışlardır. Delme operasyonlarında kuru işlemede biraz enerji tasarrufu sağlanmasına rağmen matkapta aşınma seviyesinin soğutma sıvısı kullanılarak yapılan işlemlere göre kabul edilemez yüksekliklerde olduğunu tespit etmişlerdir. Tornalama işleminde ise yüzey pürüzlülük değerinin yükselmesinin takım geometrisinin etkisinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca ilerleme miktarı kapasitesi yüksek kesici takımlar kullanılarak işleme zamanının azaltılabileceği sonucuna varmışlardır [75].

3.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Literatürdeki bu çalışmaları daha da çoğaltmak mümkündür. Literatür araştırmasında sadece kesme parametreleri ile takım kaplama türünün sıcaklık, kesme kuvvetleri, talaş oluşumu ve delik kalitesi üzerine yapılan çalışmalar taranmıştır. Literatürdeki bu çalışmalar değerlendirildiğinde;

- Farklı malzemelerle, malzemenin mikroyapısı ve sertliğinin, delme işlemine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.
- AISI H13 malzemesinin işlenebilirliğinin AISI D2 malzemesinin işlenebilirliğinden daha zor olduğu ve bunun nedeninin de AISI H13 malzemesine ilave edilen alaşım elementi oranı ile uygulanan ısı işlem farklılığına bağlı karbür oluşumundan kaynaklandığı görülmektedir.
- Delik delme sürecinde işleme performansına etki eden faktörlerden kesici takım türü ve uç geometrisi, iş parçası malzemesi, delik çapı, tezgah rijitliği, soğutma sıvısı, kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri ile ilgili çeşitli araştırmaların yapıldığı görülmektedir.
- Takım ömrü ve matkap uç geometrisi üzerine yapılan çalışmaların çokluğu dikkat çekmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda özellikle uç geometrisine bağlı olarak kesme kuvveti ve momentlerle ilgili çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir.
- Takım ömrünü belirleyen aşınma ve aşınmaya sebep olan kesme kuvvetleri ve momentleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, uç geometrisi haricinde kesme hızı, ilerleme, delik çapı, tezgah rijitliği gibi faktörlerin etkileri de çeşitli teorik ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir.

Literatürdeki çalışmalar değerlendirilerek yapılan bu çalışmada; AISI H13 ve AISI D2 çeliklerin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla işlenmesi sürecinde kesme parametreleri ve takıma kaplama uygulanıp uygulanmamasının kesme kuvvetleri, sıcaklık ve delik kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır Ayrıca deneysel verilerden yararlanılarak yeni bir matematiksel model oluşturulmuştur.

BÖLÜM 4

MALZEME VE METOD

4.1. DENEY MALZEMESİ VE NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

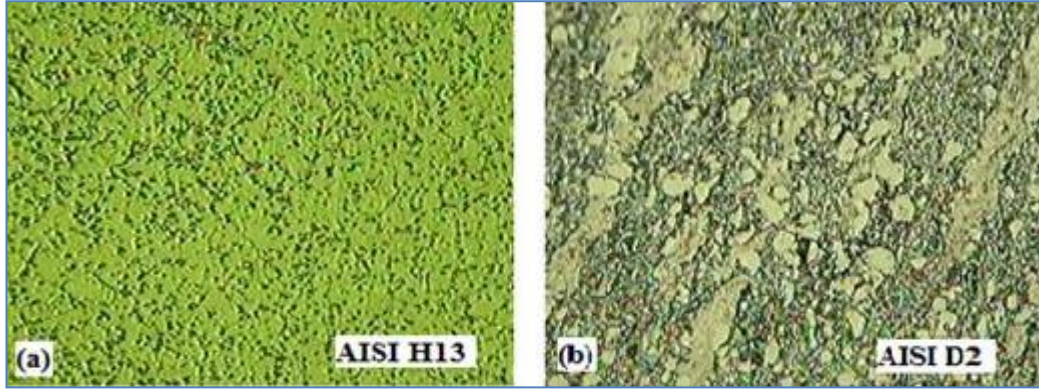
Bu çalışmada, iş parçası malzemesi olarak mekanik ve fiziksel özellikleri farklı AISI H13 (DIN 1.2344) sıcak iş takım çeliği ve AISI D2 (DIN 1.2374) soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. AISI H13 çeliği demir, demir dışı metal, polimer ve seramik malzemelerin yüksek sıcaklıklarda şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. AISI H13 çeliği yüksek sıcaklık altında sertliğini kaybetmeden kullanıldıkları alanlarda çok yüksek mekanik yükler altında ve çok yüksek termik zorlanma altında çalışabilirler. AISI D2 (DIN 1.2374) soğuk iş takım çelikleri ise genel olarak kesme takımları, çekme takımları, bükme takımları, baskı takımları, dişli takımları, plastik işleme takımları, ölçü aletleri vb. takımların imalatında kullanılmaktadır.

Talaşlı imalatta işlenebilirliği etkileyen etkenler arasında ise iş parçası malzemesi en önemli faktördür. İş parçasının mikroyapısı (kristal ve tane yapısı, fazlar), tane boyutu, ısıtma işlemi, kimyasal kompozisyonu (ana alaşım elementleri, ilaveler, inklüzyonlar), üretim yöntemi (sıcak veya soğuk hadde, döküm, dövme v.b.) ve mekanik özellikleri (sertlik, akma ve çekme mukavemeti) malzemenin işlenebilirliğini belirler [76].

Deneysel olarak kullanılan AISI H13 sıcak iş takım çeliği ile AISI D2 soğuk iş takım çeliğine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1’de, mikroyapı fotoğrafı ise Şekil 4.1.’de verilmiştir. Çeliklerin sertlik ölçümleri için rastgele seçilmiş 10 adet deney numunesinin sertlik değerleri ölçülüp aritmetik ortalamaları alınmıştır. Yapılan sertlik ölçümü neticesinde, AISI H13 malzemesinin sertlik değeri 90 HRB (184 HB), AISI D2 çeliğinin ise 96 HRB (225 HB) tespit edilmiştir.

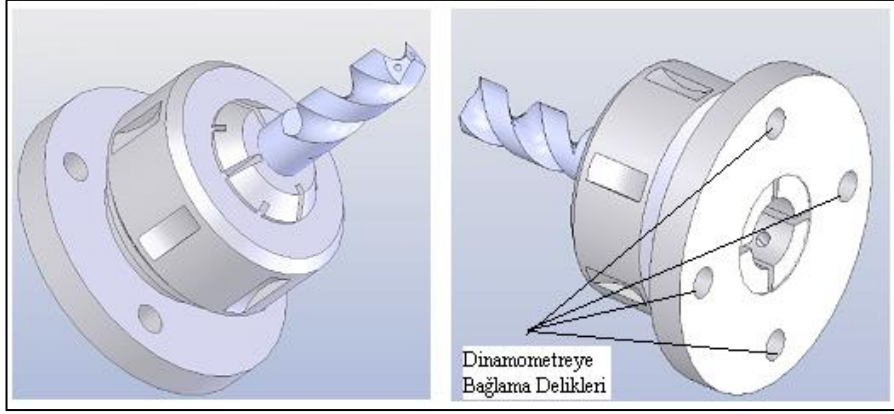
Çizelge 4.1. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kimyasal kompozisyonu.

AISI H13 % Ağırlık	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>Ni</i>
	0,418	1,08	0,348	0,017	0,001	5,12	1,36	0,044
<i>Al</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Nb</i>	<i>Ti</i>	<i>V</i>	<i>W</i>	<i>Sn</i>	<i>Fe</i>
0,037	≤ 0,01	0,018	0,006	0,009	1,09	<0,01	<0,001	90,455
AISI D2 % Ağırlık	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>Ni</i>
	1,58	0,435	0,459	0,028	0,011	11,467	0,88	0,092
<i>Al</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Nb</i>	<i>Ti</i>	<i>V</i>	<i>W</i>	<i>Sn</i>	<i>Fe</i>
0,001	0,011	0,037	0,008	0,003	0,84	0,058	0,03	84,092



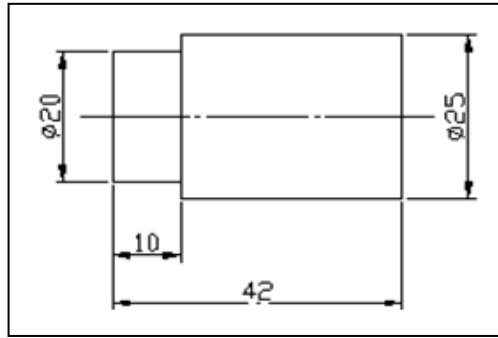
Şekil 4.1. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin mikroyapı fotoğrafı.

Delik delme işlemlerinde *dönen kesici takım/sabit iş parçası* uygulaması yaygın kullanılmakla beraber torna tezgahındaki delik delme işlemlerinde de *sabit kesici takım/dönen iş parçası* uygulamaları da söz konusudur. Bu uygulamada en önemli husus, kesici takım ile fener milinin eş eksenli olarak hizalanmasıdır. Delme işleminde uygulama ne olursa olsun, titreşim, çok düşük frekansta olsa bile, takım ömrü ve üretim güvenliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Titreşim; kötü yüzey kalitesi, serbest yüzey aşınması yerine tanecik kopması ve çabuk kırılmaya sebep olur. Ayrıca delme işleminde minimum salgı esastır. Deneyleerde içten soğutmalı matkabın soğutma kanallarına ısı çifteler yerleştirildiği için çalışma kapsamında *dönen iş parçası ve sabit matkap* uygulaması seçilmiş ve matkabın dinamometreye rijit bağlanması için özel bir bağlama kalıbı kullanılmıştır (Şekil 4.2) [5] .



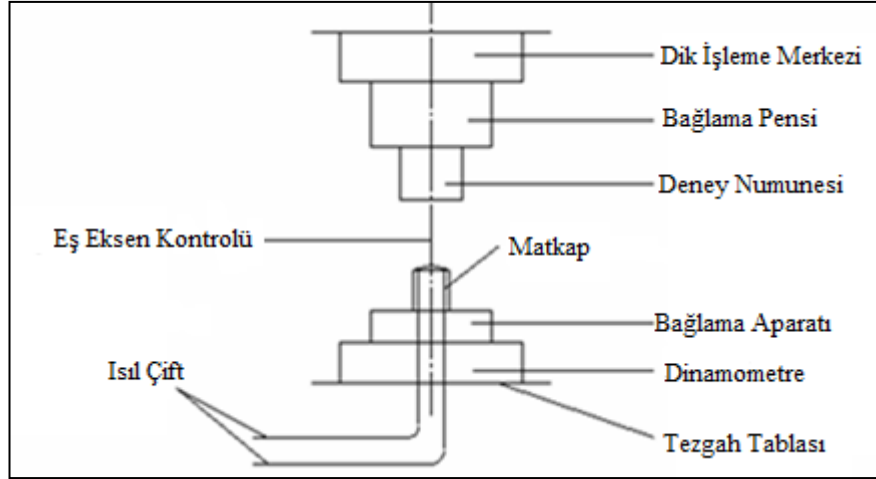
Şekil 4.2. Rijit ve güvenli takım bağlama aparatı [5].

Ayrıca deneylerde dolu numuneye delik delme işlemi uygulanmıştır. Her bir deney numunesinin dış çapları 25 mm olacak şekilde tornalanıp numunelerin boyları 3D standartlarında delik delebilmek için 42 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. İş parçasının dik işleme merkezi fener mili bağlama pensine daha güvenli bağlanması için, bağlama pensine tutturulacak kısım 20 mm çapında 10 mm boyunda tornalanarak kademeli bir kısım oluşturulmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan numunelere ait teknik resim.

Delik delinecek yüzeylerde tornalama sonrası kalabilecek memeleri ortadan kaldırarak kesici takımın delme esnasında merkezden kaçmasını engellemek ve TOG sınırları içinde kalmak için numunelerin alın yüzeyleri taşlanmıştır. Her delik için aynı numuneden, 10 delik tekrarı için, 10'ar adet deney numunesi hazırlanmıştır. Deneylerde, matkabın içten soğutma kanallarından ısı çift geçirme yöntemiyle sıcaklık ölçülmüştür. Dik işleme merkezinde sabit takım/ dönen iş parçası uygulama yönteminin ve sıcaklık ölçümünün şematik resmi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



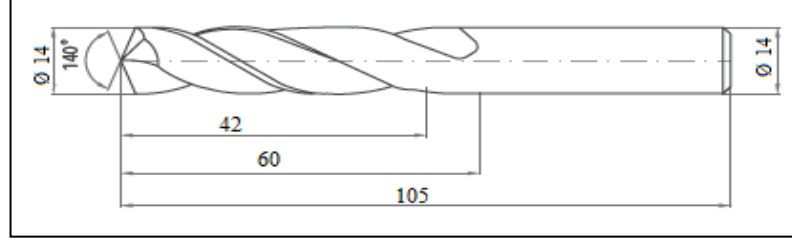
Şekil 4.4. Dik işleme merkezinde sabit kesici takım/dönen iş parçası uygulaması [5].

4.2. DENEYLERDE KULLANILAN DİĞER MAKİNA VE EKİPMAN

Kesici takım malzemelerinde sağlanan gelişmeler, kesici takım performansını ve takım ömrünü önemli ölçüde arttırmıştır. Bu gelişmeler sonucu modern sinterlenmiş karbür delik delme kesici takımları, delik delme uygulamalarında geniş yer bulmuştur. Bu kesici takımlar, halen birçok uygulamada kullanılmakta olan yüksek hız çeliği (HSS) helis kesici takımlardan, kesici takım ömrü olarak 20 kat daha iyi performans göstermektedir. Sinterlenmiş karbür kesici takımlar 1000°C'ye kadar çalışma sıcaklığında ve 30 m/dak ila 300 m/dak kesme hızları arasında performanslarında düşüş göstermeden çalışabilirler [77].

Bu çalışmada, kaplama uygulamasının delik işleme çıktıları üzerindeki etkilerini de değerlendirmek amacıyla, kaplamasız ve AlCrN (Monolayer) kaplamalı karbür matkaplarla tekrarlanan deneylerle AISI H13 ile AISI D2 çeliklerinin delinebilirliği karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Kaplamalı matkabın kaplaması alüminyum-kromnitrit (AlCrN) bazlı olup, özellikle yüksek sıcaklıkta sertliğini muhafaza etme ve pasa karşı koruma özelliklerine sahiptir. Kaplama rengi metalik-gri olan AlCrN kaplaması 1100 °C'ye kadar servis sıcaklığının olması ve yüksek aşınma mukavemeti sayesinde çok yüksek kesme hızlarında çalışırlar [78]. Dolayısıyla deneylerde, 3D delme derinliğinde, DIN 6537 K standardında ve matkabın ucundaki sıcaklığın ısı çifti ile ölçülebilmesi için ısı çiftinin matkap soğutma kanallarından geçebilecek minimum şartları sağlayan Ø14 mm'lik matkaplar kullanılmıştır (Şekil

4.5). Deneylerde kullanılan kesici takımın mekanik ve termal özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Deneyde kullanılan yekpare karbür helisel kesici takım [78].

Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan kesici takımın mekanik ve termal özellikleri.

ÖZELLİKLER	K25 grade (Kaplamasız)	P25 grade (Kaplmalı)
Yoğunluk (gr/cm ³)	14,6	12,6
Basma Dayanımı (MPa)	5000	4600
Young Modülü (GPa)	590	550
Poisson Oranı	0,22	0,22
Termal İletkenlik (W/mK)	70	45
Termal genleşme katsayısı (10 ⁶ /K)	5,6	6,7

Talaş kaldırma deneyleri, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalında bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri.

Tezgahın Gücü	5 KW
En Yüksek Devir Sayısı	8000 rpm/min
Sırayla x, y, z eksenleri	600, 500, 600 mm
Ölçü Hassasiyeti	0,001 mm
İşletim Sistemi	Fanuc

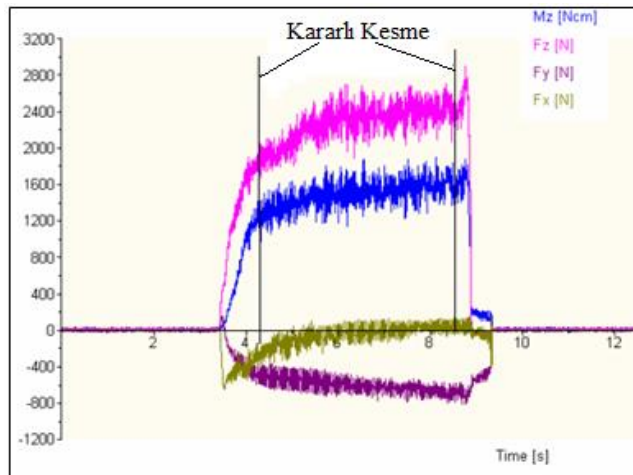
Kesme kuvvetlerinin ve momentin deneysel olarak belirlenmesi için üç kesme kuvveti bileşenini (Fx, Fy, Fz) ve momenti (Mz) aynı anda ölçme kapasitesine sahip,

kuartz kristal esasıyla çalışan *Kistler 9272* tipi dinamometre ve *Kistler Type 5070 amplifier* kullanılmıştır.

Dinamometre tezgah tablasına bağlanmış ve kesici takımları bağlamak için özel tasarlanan bağlama aparatı da dinamometreye rijit bir şekilde sabitlenmiştir. Deneylede kullanılan dinamometre ve teknik özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ölçülen değerler DynoWare programı yardımı ile sayısal değerlere dökülmüştür. DynoWare programında elde edilen, ilerleme kuvveti ve moment ölçümünü gösteren grafik Şekil 4.7'de verilmiştir

Çizelge 4.4. KISTLER 9272 dinamometrenin teknik özellikleri.

Ölçme Aralığı	Fx, Fy	-5....5 kN
	Fz*	-5....20 kN
	Mz	-200...200 Nm
	Fx, Fy	-7.8 pC/N
Hassasiyet	Fz	-3.5 pC/N
Hassasiyet	Mz	-160 pC/Nm
Dogal Frekans fn(x,y)		3,1 kHz
fn(x)		6,3 kHz
fn(Mz)		4,2 kHz
Çalışma sıcaklığı aralığı		0....70 °C
* Dinamometrede Fz olarak ölçülen kuvvet bu çalışmada İlerleme kuvveti Fa'ya karşılık gelen kuvvettir.		



Şekil 4.6. DynoWare programındaki grafik çıktıların görüntüsü.

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak üretimden yüksek hassasiyet beklentileri artmıştır. Özellikle hareketli sistemlerde birbiri ile çalışan parçalarda bu beklendi oldukça fazladır. Bu hareketli sistemler delik-mil veya kayıt kızak sistemleri gibi sistemlerse yüksek hassasiyet söz konusudur. Bu gibi sistemlerde delik kalitesini belirleyen en önemli özellikler; ölçü tamlığı (toleranslar dahilinde), dairesellik, çaptan sapma (ölçü tamlığı) ve delinmiş yüzeylerin kalitesidir.

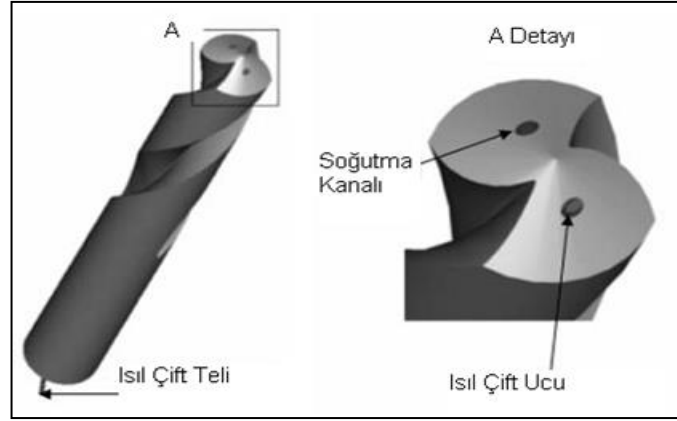
Deliklerde bu özellikleri sağlamak için ikincil bir işlem olarak “raybalama” işleminin uygulanması yaygındır. Ancak günümüzde modern takım tezgahları ve modern delme takımları ile yapılan delik delme işlemleri ilave bir işleme gerek kalmaksızın yapılabilmektedir. Bu modern delik delme kesici takımlarından istenilen delik kalitesini elde etmek için doğru kesme parametrelerini seçmek çok önemlidir. Deneysel çalışmalar sonucu iş parçası ve kesici takım malzemelerine göre doğru kesme parametreler tespiti her yönüyle fayda sağlayacaktır.

Bu amaçla çalışmada kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerindeki etkilerinin ve uygun parametrelerin tespiti esas alınmıştır. Çalışmada girdi parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalar sonucu elde edilecek deliklerin delik kalitesini belirlemek amacıyla; işlenen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülüğü, ölçü tamlığı (toleranslar dahilinde) ve dairesellik ölçümleri yapılmıştır. Yüzey kalitesini belirlemek amacıyla, işlenmiş yüzeylerde ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerini ölçmek için portatif bir yüzey pürüzlülük cihazı olan iğne uçlu *Mahr Perthometer M1* cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 4.5’te verilmiştir. Çaptan sapma ve dairesellikten sapma değerlerinin belirlenmesinde DEA GLOBAL CLASSIC 07.10.07 Üç Boyutlu Koordinat Ölçme Cihazından kullanılmıştır. Her bir numune için parçanın alın yüzeyinden 2 mm aşağıda 30 noktadan birinci ölçüm, 4 mm aşağıda 30 noktadan ikinci ölçüm, 6 mm aşağıda 30 noktadan üçüncü ölçüm yapılarak elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak çaptan sapma değerleri belirlenmiştir. Dairesellikten sapma değerlerinin belirlenmesi için parçanın alın yüzeyinden 2, 4 ve 6 mm aşağıda dairesellik ölçümleri yapılarak elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları hesaplanıp dairesellikten sapma değerleri elde edilmiştir.

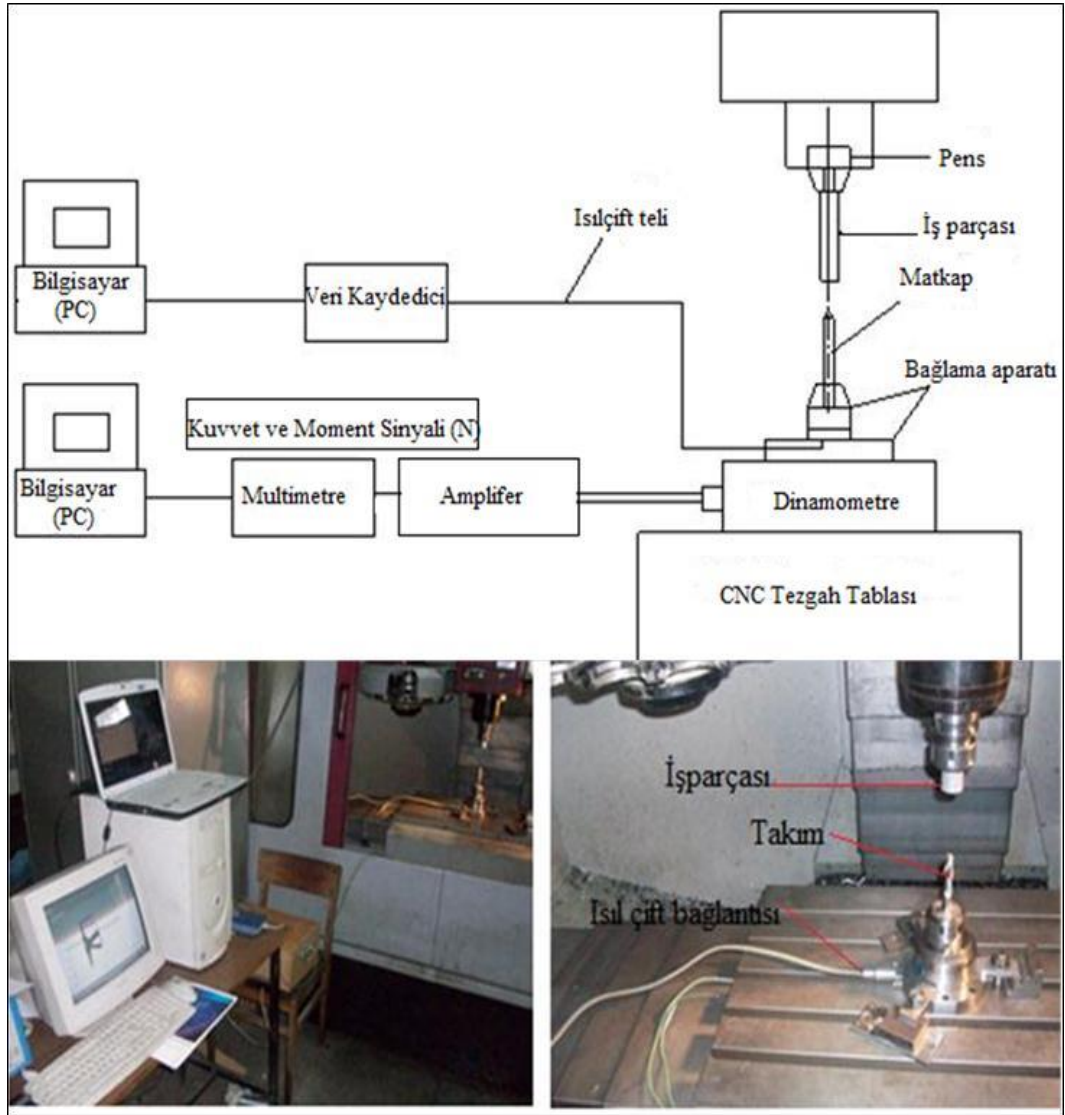
Çizelge 4.5. Mahr Perthometer yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri.

<u>Model</u>	<u>M1</u>
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
İğne uç yarı çapı	2 µm
Ölçüm aralıkları	100-150 µm
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	<u>Gaussian</u>
Örnekleme uzunluğu (λ)	0,25 – 0,8 – 2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 – 5,6 – 17,5 (mm)
Ölçülebilen parametreler	<u>Ra</u> , <u>Rz</u> , <u>Rmax</u>

Talaş kaldırma sırasında kesme bölgesindeki sıcaklık, talaş derinliği ve takım geometrisi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Aynı zamanda sıcaklık, kesici takımın fiziksel özellikleri kadar işlenen malzemenin özelliklerine de bağlıdır. Matkap ucunda oluşan sıcaklığın ölçülmesi için -200 °C ile 1200 °C arasındaki sıcaklıkları ölçebilen K tipi bir ısı-çift kullanılmıştır. Isıl çift matkabın soğutma deliklerine yerleştirilerek sıcaklık, delme işlemi süresince ölçülmüştür (Şekil 4.8). Sıcaklık ölçümleri için, daha önce araştırmalarda kullanılmış *Pico* marka 8 kanallı data logger kullanılmıştır. Cihaz veri kablosu ile bir diz üstü bilgisayara bağlanarak verilerin bilgisayar ortamında *PicoLog Recorder* yazılımı ile değerlendirilip, grafiklere dönüştürülmüştür. Matkabın soğutma delikleri boyunca ısıl çift yerleştirilmiş matkap özel olarak tasarlanmış tutucuya yerleştirilmiştir. Delme işlemi süresince kesme kuvvetleri ve sıcaklık ölçümleri eş zamanlı olarak yapılmıştır. Isıl çiftten alınan sinyaller veri toplama kartı yardımıyla bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Tutucuya yerleştirilen her yeni kesici takımın tutucudan takım taşma mesafesi her seferinde 72 mm'yi sağlayacak şekilde sabitlenmiş ve deneyler esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve sıcaklık eş zamanlı ölçülmüştür (Şekil 4.9).



Şekil 4.7. Soğutma delikleri boyunca ısı çift yerleştirilmiş kesici takım.



Şekil 4.8. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.

Bu araştırmada kullanılan makine ve teçhizatlarının toplu listesi Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6.Çalışmalarda kullanılan makine ve teçhizatlar.

Adı / Modeli	Kullanım amacı
Üniversal Torna Tezgahı/Tezsan SN 45 A	Deney numunelerinin hazırlanması (Tornalama)
Düzlem Taşlama Tezgahı/Taksan TYT 400	Numunelerin alın yüzeylerinin taşlanması
CNC Dik İşleme Merkezi/Johnford VMC-550	Delme (delinebilirlik) deneylerinin yapılması
Dinamometre ve Aksesuarları / Kistler 9272-A Dinamometre, Kistler 1667A5 Data Kablosu, Kistler 5070-A Amplifier, Kistler Dynoware yazılımı	Delme deneyleri sırasında oluşan kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvveti (Ft), ve burulma momenti (torkun, Mc) ölçülmesi ve bilgisayar ortamına aktarılarak, grafiklerin oluşturulması.
Veri Toplama Cihazı (Data Logger) ve yazılımı/ PICO TC 08 (8 kanallı) ve PicoLog Recorder	Delme deneyleri sırasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklık ölçüm verilerinin alınması ve kaydedilmesi, grafiklere aktarılması
Yüzey Pürüzlülük Ölçme Cihazı/Mahr Perthometer M1	Delinmiş yüzeylerin yüzey kalitesinin belirlenmesi (İşlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin (Ra) ölçülmesi)
Çeşitli ölçü aletleri/Kumpas, mikrometre, komparatör saati ve mıknatıslı sehpaşı	Deney numunelerinin hazırlanması sırasındaki ölçümler, deneyler öncesi yapılacak ayarlar (eş eksenlilik, saldı, vb.)
CMM Coordinate Measuring Machine (Koordinat ölçme cihazı)	Delme deneyleri sonrasında elde edilen deliklerin ölçü tamlığının ve daireselliğinin ölçülmesi

4.3. KESME PARAMETRELERİ

Her hangi bir malzemeye delik delmek için belli bir miktarda enerjiye ihtiyaç duyulur. Kesici takım iş parçasının içine girerek talaş kaldırma anında kesme kuvvetleri kesici takıma etki eder ve bu da belli bir güç uygulanmasını gerektirir. Öncelikle, delik delmek için gerekli olan güç, iş parçası malzemesinin cinsine göre farklılık gösterir ve bu güç hesaplanırken, malzeme için gerekli özgül kesme kuvveti göz önüne alınmalıdır. Talaş oluşumu; iş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kısmen de kesme sıvısının seğimi tarafından etkilenir. Genellikle, arttırılan ilerleme ve azaltılan kesme hızı daha kısa talaş üretir. Talaşlar güvenilir bir şekilde atılabiliyorsa, talaş uzunluğu ve şeklinin kabul edilir olduğu söylenebilir.

Delik delme işleminde kesici takım ömrünü belirleyen temel faktör kesme hızıdır. Ayrıca kesme hızı güç tüketimini de etkilemektedir. Bu nedenle kesme hızı değerleri seçilirken çok dikkat edilmeli. Aksi halde çok yüksek kesme hızları; kesici takım üzerinde hızlı serbest yüzey aşınmasına, kesme kenarlarında plastik deformasyona, düşük delik kalitesine ve tolerans dışı sonuçlara yol açabilir. Eğer kesme hızı değerleri çok düşük ise; kesici takım üzerinde talaş yığılması oluşumuna, talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine ve düşük verimlilik nedeniyle delik başına yüksek maliyete sebep olur.

Delik delme işleminde diğer önemli bir parametre de ilerleme miktarıdır. İlerleme miktarı talaş oluşumu için belirleyici faktördür ve güç tüketimini de etkiler. Ayrıca mekanik ve ısıl gerilmelere yol açar. Bunun için yüksek ilerleme miktarı; iyi talaş kontrolü, daha düşük kesme süresi, daha yüksek kesici takım kırılma riski ve daha kötü delik kalitesi olarak karşımıza çıkar. Düşük ilerleme miktarında ise; daha uzun talaş, delik kalitesinde iyileşme, takım aşınmasında daha hızlı artış ve daha uzun kesme süresi nedeniyle delik başına daha yüksek maliyet olarak kendini gösterir. Bunun için kesme parametreleri belirlenirken en önemli etkenler işlenen ve işleyen malzeme (malzeme çifti) özellikleridir. Bu sebeple, üretici firma kataloğunda (KARCAN) seçilen matkaplar için tavsiye edilen kesme parametreleri aralığında bir başlangıç değeri seçilerek belirlenmiştir. Ömür deneyleri standartlarında belirtilen her bir kesme şartı için en az dört farklı kesme hızı seçilmelidir şartından yola çıkarak, 60 m/dak olan başlangıç değeri, Standart Sayıların Geometrik Dizileri (R10, R20 ve R40) hakkındaki ISO standardına uygun olarak çoğaltılmıştır. Bu şartlar ışığında seçilen dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme değeri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.7). Delme işlemlerinde birim zamanda kaldırılan malzeme miktarı (talaş debisi) sabit olduğundan kesme derinliği (a_p , mm) otomatik olarak sabit seçilmiş olacaktır.

Çizelge 6.7. Denejde kullanılan kesme parametreleri.

KESME HIZI (m/dak)	İLERLEME MİKTARI (mm/dev)
60	0,15
	0,20
	0,25
75	0,15
	0,20
	0,25
90	0,15
	0,20
	0,25
108	0,15
	0,20
	0,25

4.4. PİLOT DENEYLER

Sağlıklı veri elde edilebilmesi ve kesme parametreleri şartlarını doğru belirlemek için *pilot deneyler* yapılmıştır. Bu pilot deneylere, şartlara direncinin daha düşük olacağı öngörülen kaplamasız matkaplarla başlanmıştır. Pilot deneylere başlangıç şartı olarak seçilen düşük ilerleme miktarı ve düşük kesme hızı değerleri ile başlanmıştır ($V= 60$ m/dak, $f= 0,1$ mm/dev). Pilot deneylerde, ilerleme miktarının yarattığı problemler gözlenmiş ve tekrar ilerleme miktarının azaltılması yoluna gidilmiştir. Fakat ters çalışma şartlarının (matkap aşağıda ve sabit iş parçası yukarıda ve hareketli) talaş tahliyesi üzerinde olumsuz etki yaptığı görülmüştür. Bu nedenle tekrar ilerleme miktarının arttırılmasıyla olumlu sonuç alınan değerler belirlenerek Bölüm 4.3’de verilen kesme parametrelerinde karar kılınmıştır. Aynı şekilde delme boyu olarak seçilen 3D ($3 \times 14 = 42$ mm)’lik boya karşılık gelen pilot delme deneylerindeki delme boyu, ters çalışma koşulları nedeniyle, kaplamasız matkaplar için matkap kırılması, talaş tahliyesi gibi problemler yaratmış ve dolayısıyla delme boyu $L \leq 3D$ şartını sağlayacak şekilde, $L = 35$ mm’ ye düşürülmüştür.

4.5. SONLU ELEMANLAR METODU İLE MODELLEME

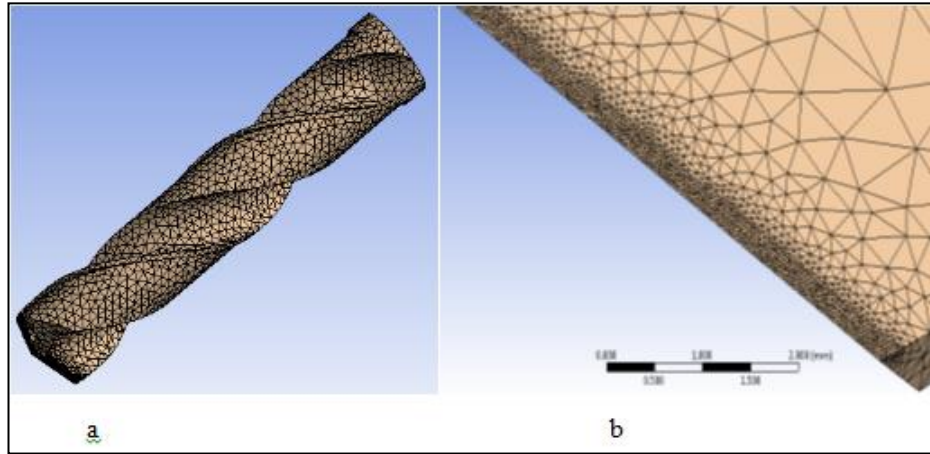
Bu aşamada, dinamometre kullanarak elde edilen kesme kuvveti ve momentler sonlu elemanlar metodu kullanılarak *Ansys Workbench* paket programı yardımıyla analiz edilmiştir. Ayrıca matkabın üzerinde oluşan gerilmelerin tahmini için matematiksel bir model geliştirilmiştir.

Matkapta oluşan gerilmelerin sonlu elemanlar metoduna dayalı olarak *Ansys Workbench 11* paket programı kullanılarak analiz edilmesi amacıyla çözüm öncesinde bazı hazırlıklar yapılmıştır. Bu hazırlıklar; matkaplara ait katı modellerin oluşturulması, matkaplar için gerekli malzeme modellerinin çıkartılması, kullanılacak eleman tipi ve eleman boyutunun belirlenmesi, katı modellerin elemanlara ayrılması (ağ oluşturma, *meshing*), sınır şartlarının belirlenmesi, yükleme durumunun belirlenmesi ve kullanılacak çözüm metodunun seçilmesi olarak özetlenebilir.

Kesme deneylerinde, kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak matkabı etkileyen aksenal kuvvet (F_a) ve delme momenti (M_z) eş zamanlı olarak ayrı ayrı ölçülmüştür. Deneyler yardımıyla kesme kuvveti ve delme momenti değerlerinin belirlenmesinden sonra *Ansys Workbench* programında gerekli gerilme analizlerinin yapılabilmesi için ilgili matkap; *Guhring* kesici takım kataloğundan alınan bilgiler ve doğrudan takım üzerinden alınan ölçüler kullanılarak boyutlandırılmıştır. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için katı model oluşturulma süreci; katı modellerinin öncelikle *Solid Works 2010* programı kullanılarak oluşturulması ve elde edilen bu katı modellerin daha sonra da “.x_t” parasolid uzantısı yardımıyla *Ansys Workbench* programından “*import/x_t*” komutu kullanılarak okutulması olmak üzere, iki ayrı aşamadan oluşmaktadır. Katı modelleme işlemi sırasında matkaba ait tüm geometrik özellikler (boşluk açıları, vb.) dikkate alınmıştır. Katı modelleme ve analiz süresini uzatacak olması nedeniyle katı modelleme sürecinde ilgili matkap bağlama uzunluğu dikkate alınmıştır. *Solid Works 2010* ile katı model oluşturulması sırasında, matkap ucunda ilerleme değerine uygun olarak oluşturulan ve kesme kuvveti ile delme momentinin uygulanacağı talaş-takım temas boyu da hazırlanmıştır.

Çözüm öncesinde yapılan hazırlıkların ikinci safhasında, katı modelleri oluşturulan kaplamasız ve kaplamalı matkaplara ait gerekli malzeme modelleri oluşturulmuştur. Analizlerde lineer elastik malzeme modeli kullanılmış ve matkapların malzeme modelleri için gerilme analizlerinde kullanılan kaplamasız (K25 grade) matkaplar ile kaplamalı (P25 grade) matkapların mekanik özellikleri dikkate alınmıştır.

Gerekli malzeme modelleri tanımlanan matkaplar için bir sonraki safhada katı modellerde kullanılacak eleman tipi ve elemanlara ayırma işlemi (*meshing*, katı model için ağ oluşturma) yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için 3 boyutlu 10 düğümlü kuadratik dört yüzlü SOLID 187 elemanı kullanılmıştır. Elemanlara ayırma işleminde ağ elemanı boyutları, tüm matkap geometrisi için daha seyrek (*element size* =2 mm) (Şekil 4.10.a) ve kesme kuvveti ile delme momentinin uygulanacağı talaş-takım temas yüzeyinde ise daha yoğun (*element size* =0,05 mm) (Şekil 4.10.b) olacak şekilde uygulanmıştır. Kaplamasız ve kaplamalı tüm matkap geometrisi için 54811 eleman ve 87475 düğüm kullanılmıştır.



Şekil 4.9. Elemanlara ayırma işlemi sonrasındaki matkap.

Katı model geometrinin oluşturulması, malzeme modellerinin çıkartılması, uygulanacak eleman tipi ve ağ elemanı boyutlarının seçilmesinden sonra gerilme analizi öncesinde yapılması gereken son işlemlerden birisi de; analizler için gerekli yükleme durumu, başlangıç ve sınır şartlarının belirlenmesidir. Analizler için oluşturulan eleman yapısı içerisinde kesme kuvvetlerinin nasıl uygulanacağına dair literatürde çeşitli yaklaşımlar izlenmiştir [79]. Literatüre paralel olarak kesme

kuvveti ile delme momenti talaş–takım temas yüzeyine uygulanmıştır. Çözüm süresini azaltmak amacıyla sonlu eleman modelini basitleştirmek için literatüre paralellik arz eden aşağıda verilen bazı kabuller yapılmıştır:

- Analizlerde kullanılan matkaplar başlangıçta yeni ve keskindir (kullanılmamış, hiçbir şekilde aşınmamış).
- Yer değiştirmelerin uygulanan yüklerle orantılı ve katı model geometrisine göre çok küçük boyutlarda olduğu, uygulanan yüklemenin kaldırılması halinde matkapların orijinal durumlarına geri döndüğü kabul edilmiştir.
- Statik durum için analiz yapılmış ve hiçbir titreşimin olmadığı kabul edilmiştir.
- Sınır şartı olarak matkabın tezgâha bağlandığı bağlama uzunluğuna karşılık gelen yüzeyde tüm yönlerdeki yer değiştirme sıfır seçilmiştir.

Analiz prosedürü takip edilerek kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için sırasıyla 12 ve 18 analiz olmak üzere toplam 30 analiz gerçekleştirilmiştir. Kesme parametrelerindeki değişime göre matkapta oluşan ve özellikle talaş yüzeyi, yardımcı yüzeyler, esas kesme kenarı, yardımcı kesme kenarı ve kesici takımındaki aşınma üzerinde etkileri bulunan toplam deformasyon (Δ), eşdeğer gerilme (von-Mises gerilmesi, S_{EQV}), en büyük ve en küçük asal gerilme (sırasıyla S_1 ve S_3) sonuçları kullanılmıştır.

4.5.1. Gerilme Bileşenlerinin Modellenmesi

Talaş kaldırma işlemlerinde talaş oluşumu esnasında kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı vb.) ve iş parçası-kesici takım çifti faktörleri kesici takımda oluşan gerilmelerde önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada matkapta oluşan gerilme bileşenlerinin ve toplam deformasyonun modellenmesinde; gerilme ve deformasyonun, matkabı etkileyen ilerleme kuvvetinin, kesme kuvvetinin ve momentin ilerleme miktarına bağlı olarak değiştiği kabul edilmiştir. Bu kabule dayalı olarak, toplam deformasyon (Δ), eşdeğer gerilme (von-Mises gerilmesi, S_{EQV}), en büyük ve en küçük asal gerilme (sırasıyla S_1 ve S_3) için Eş. 1’de verilen bir model geliştirilmiştir:

$$R_i = c \cdot Fa^m \cdot Fc^n \cdot Mz^p \cdot f^q \quad (4.1)$$

Burada R_i , hesaplanan toplam deformasyon ve gerilme sonuçlarını (toplam deformasyon için mm ve gerilme sonuçları için MPa); c , kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için ilgili sabiti; Fa , ilerleme kuvvetini (N), Fc , kesme kuvvetini (N), Mz , momentini (Nmm) ve f , ilerleme miktarını (mm/dev) ifade etmektedir. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için m , n , p ve q ise sırasıyla ilerleme kuvveti, kesme kuvveti, moment ve ilerleme miktarının üst değerlerini ifade etmektedir.

Hesaplanan toplam deformasyon ve gerilme sonuçları (R_i), *Ansys Workbench* gerilme analizleri yardımıyla belirlendiğinden; Eş. 4.1'in çözülebilmesi için, kaplamasız ve kaplamalı olmak üzere matkap tipine bağlı c sabiti ile m , n , p ve q üs değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla Eş. 5.1 ifadesi,

$$\log R_i = \log c + m \log F_z + n \log F_c + p \log M_z + q \log f \quad (4.2)$$

biçiminde logaritmik forma ve daha sonra da,

$$Y = \beta_0 X_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon \quad (4.3)$$

eşitliği kullanılmak suretiyle doğrusal forma dönüştürülmüştür. Eş. 4.3'te; Y , tahmin edilecek toplam deformasyon ve gerilme bileşenlerinin logaritmik değerini (örneğin $\log S_1$); β_1 , β_2 , β_3 ve β_4 eşitlik katsayılarını (sırasıyla m , n , p ve q üs değerleridir); X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 sırasıyla $\log Fa$, $\log F_c$, $\log M_z$ ve $\log f$ değerlerini ve ε ise gerçekleşebilecek muhtemel hatayı göstermektedir. Eşitlikte yer alan β_0 ve X_0 ise matkap tipine (kaplamasız ve kaplamalı) bağlı c sabitinin belirlenmesinde kullanılacak olup; X_0 hayali bir değişken olarak ele alınmış ve değerinin 1 olduğu kabul edilmiştir.

Eş. 5.3, bir adet bağımlı değişken (Y) ve dört adet bağımsız değişken (X_1 , X_2 , X_3 ve X_4) ihtiva ettiğinden, Eş. 4.3'ün ve dolayısıyla da Eş. 4.1'in çözümü; aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler veya kestirimler yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak

adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize eden istatistiksel bir analiz tekniği olan *regresyon analizi* kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eş. 4.3, regresyon analizi tiplerinden *çok değişkenli doğrusal regresyon analizi* kapsamında yer aldığından; Eş. 4.3'ün çözümü ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ ve β_4 katsayılarının tahmini) en küçük kareler metodu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre her bir matkap tipi için Eş. 4.3 ifadesinin matris formundaki gösterimi ise;

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_n \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_n \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix} \text{ ve } X = \begin{bmatrix} 1 & X_{21} & \dots & X_{K1} \\ 1 & X_{22} & \dots & X_{K2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{2n} & \dots & X_{Kn} \end{bmatrix} \text{ in}$$

$$Y = X \cdot B + e \quad (4.4)$$

biçimindedir. Burada n ve K sırasıyla her bir model için deney ve parametre sayısını ifade etmektedir. Y , $n \times 1$ boyutundaki *bağımlı değişkenler vektörünü*; X , $n \times K$ boyutunda *bağımsız değişkenler matrisini*; B , $K \times 1$ boyutunda *model sabitleri vektörünü* ve e , $n \times 1$ boyutunda *hata terimleri vektörünü* göstermektedir. Buna göre kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için parametre sayısı $K = 3$ olmak üzere deney sayısı sırasıyla $n = 12$ ve $n = 18$ 'dir.

Çoklu doğrusal regresyon analizinde parametrelerin (*model sabitleri vektörü*) tahmini; en küçük kareler metodu yardımıyla, gerçek (*Ansys Workbench* yardımıyla belirlenen) değerler ile teorik (hesaplanan) değerler arasındaki farkların kareleri toplamının minimize edilmesiyle yapılmaktadır. Buna göre gerekli düzenlemeler yapılırsa; *model sabitleri vektörü* ve dolayısıyla da Eş.4.1'de kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için sırasıyla ilerleme kuvveti, kesme kuvveti, moment ve ilerleme miktarı değeri için m, n, p ve q üs değerlerinin hesaplanması için gereken çözüm,

$$B = [X'X]^{-1} X'Y \quad (4.5)$$

halini alır [80]. Eş.4.5'te; X' , X bağımsız değişkenler matrisinin transpozunu; $[X'X]^{-1}$, $[X'X]$ matris çarpımının tersini ve Y , *Ansys Workbench* yardımıyla belirlenen değerler ($\log R_i$ 'lerden oluşmaktadır) vektörünü göstermektedir. Eş. 4.1'de belirtilen m , n , p ve q üs değerleri ile c sabitleri, Eş. 4.5'in her matkap tipi için çözülmesi suretiyle yapılmaktadır.

Matematiksel modelleme işlemleri belirli bir hata (analiz sonucu elde edilen değer ile modelleme sonucu hesaplanan değer arasındaki fark, e_i değeriyle yapıldığından, bu hata değerleri toplamının ortalamasının minimize edilmesi gerekir. Bu minimize edilmek istenen değer (*mean squared error, MSE*) aynı zamanda model performansını da belirleyen bir kriterdir. Modelleme sonunda hesaplanan sonuçların, gerçek analiz sonuçlarına uygunluğunda; karekök ortalama (*root-mean-squared, RMS*), belirlilik katsayısı (R^2) ve ortalama mutlak yüzde hata (*mean absolute percentage error, MAPE*) kriter alınmıştır. Ayrıca modelleme sonucu bulunan tüm toplam deformasyon ve gerilme değerlerinin *%emax yüzde hata (% Hata) değerleri belirlenmiştir:*

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_i e_i^2 = \frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2 \quad (4.6)$$

$$RMS = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i e_i^2} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i (t_i - o_i)^2} \quad (4.7)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i (t_i - \bar{t})^2} \right) \quad (4.8)$$

$$\%Hata = \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (4.9)$$

$$MAPE = \frac{1}{p} \sum_i \frac{|t_i - o_i|}{t_i} \times 100 \quad (4.10)$$

Eş. 4.6 – Eş. 4.10'da e_i , t_i , o_i , p , ve \bar{t} ; sırasıyla hata değerini, analiz sonuç değerini, modelleme sonucu bulunan değeri, örnek sayısını ve analiz sonuç değeri ortalamasını göstermektedir. *% Hata* bütün örnekler için bulunarak; bunlar içinden en yüksek olanı maksimum yüzde hatayı (*% e_{max}*) vermektedir. Yüzde hataları toplamının,

örnek sayısına bölünmesiyle ortalama mutlak yüzde hata (*MAPE*) değerleri bulunmuştur. Eş. 4.7'deki *RMS*'nin 0'a yakınlığı, geliştirilen modelin başarı oranını gösteren bir kriter olarak kullanılmıştır. Eş. 4.8'deki R^2 gerçek analiz sonuçları ile model sonuçları arasındaki uyumu belirtir. R^2 değeri 1'e yaklaştıkça, geliştirilen modelin başarı oranı yükselir. Eş. 4.10'daki en küçük *MAPE* değeri, modelin uygulanabilirlik başarısını gösterir.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

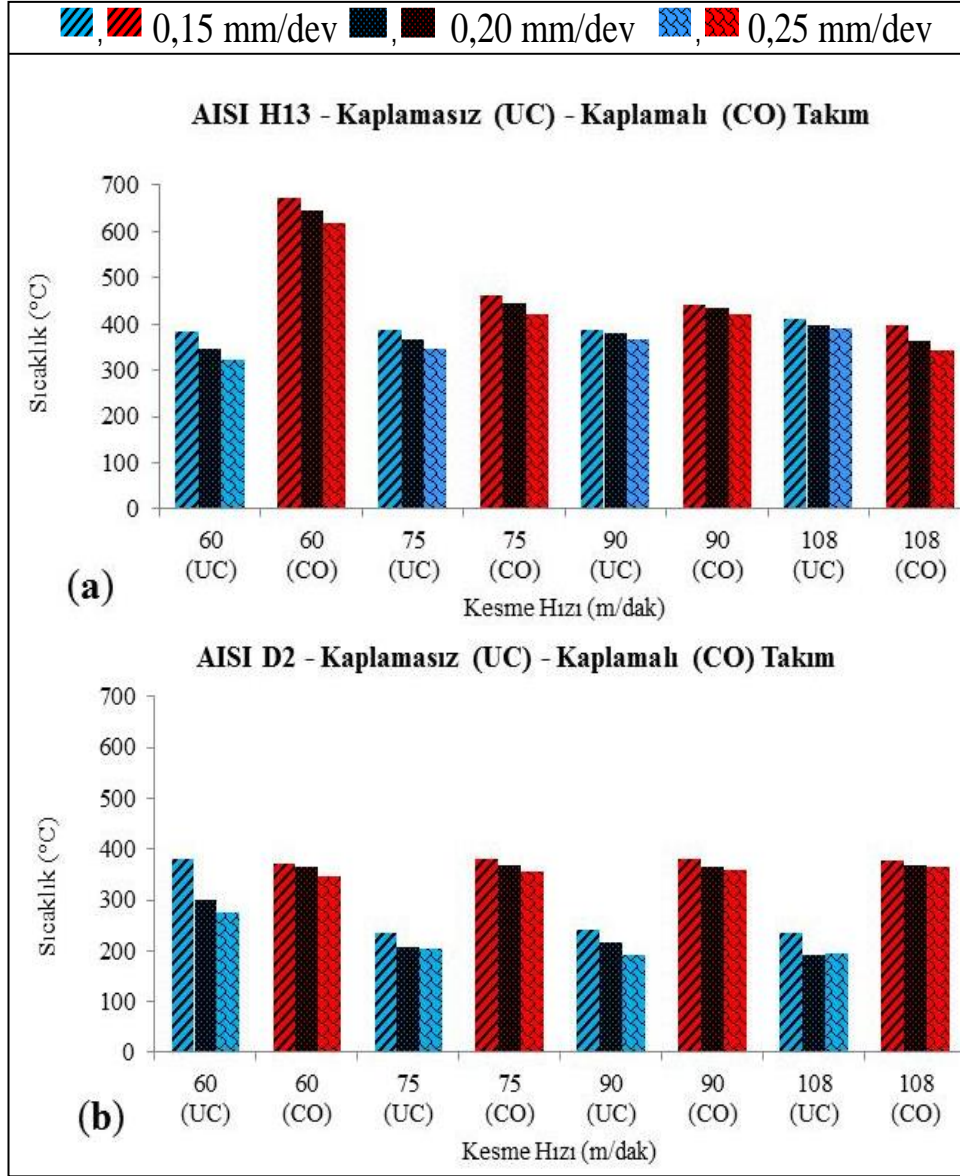
5.1. DENEYSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMALARIN ÖZETİ

Bu çalışmada, dönen iş parçası ve sabit matkap sistemiyle yapılan delik delme deneylerinde kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı) ve matkap tipinin (kaplamasız ve kaplamalı) kesme esnasında oluşan kesme sıcaklığı, kesme kuvvetleri, moment ve delik kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca kesme parametrelerinin değişimine göre matkap üzerinde oluşan gerilmeler sonlu elemanlar metodu kullanılarak *Ansys Workbench* paket programı yardımıyla analiz edilerek matematiksel bir model geliştirilmiştir. Deneylerde uç açısı 140° olan iki farklı tipte kaplamasız ve AICrN (monolayer) kaplamalı helisel yekpare karbür matkaplar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (60, 75, 90 ve 108 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,15, 0,20 ve 0,25 mm/dev) seçilmiştir. Her bir deney için yeni bir matkap kullanılmıştır. Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI H13 sıcak iş takım çeliği ve AISI D2 soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır.

5.2. KESME BÖLGESİNDEKİ SICAKLIĞIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.2.1. İlerleme Miktarına Bağlı Sıcaklık Değişimi

AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı karbür matkaplarla delinmesi esnasında kesme hızı ve ilerleme miktarı parametrelerine göre kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değişimleri AISI H13 çeliği için Şekil 5.1.a, AISI D2 çeliği için ise Şekil 5.1.b'deki grafiklerde verilmiştir. Grafiklerde AISI H13 sıcak iş takım çeliği "AISI H13", AISI D2 soğuk iş takım çeliği "AISI D2", kaplamasız matkaplar "UC", kaplamalı matkaplar ise "CO" notasyonu ile gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıkların karşılaştırılması. a) AISI H13 çeliği için, b) AISI D2 çeliği için.

Şekil 5.1'deki grafikler incelendiğinde, bütün deney sonuçlarında AISI H13 ile AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi esnasında oluşan sıcaklık değerleri, ilerleme miktarının artışına karşın azalma göstermiştir. Bu durum; ilerleme miktarında artışla tahliye edilen talaş miktarındaki artışa ve matkap kesici kenarlarında daha az sürtünmeye neden olmasına atfedebilir. Talaşın matkap kesici kenarları ve delik cidarlarına sürtünmesinin sıcaklığı arttıracığı düşünüldüğünde, ilerleme miktarındaki artışla talaşın iş parçası malzemesi ve matkap kesici kenarları ile temas süresinin kısa olması ortaya çıkan sıcaklığın daha az olmasına yol açmıştır.

Sonuç olarak ilerleme miktarının artmasına karşın sıcaklık değerlerindeki düşüş normal bir sonuç olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın önemli bir bölümünün talaşla atıldığı [5,54,75] kabul edilirse, ilerleme miktarının artmasıyla birlikte matkabın delik içerisinde hızlı ilerlemesi ve buna bağlı olarak da talaşın helis kanallarından daha hızlı tahliyesi sıcaklığın azalmasında etkili olmuştur.

5.2.2. Kesme Hızına Bağlı Sıcaklık Değişimi

Normal şartlar (tezgah-takım rijitliği, iyi bir takım ömrü, uygun kesme parametreleri vb.) altında gerçekleştirilen talaşlı imalatta, kesme hızı artışı kesme kuvvetlerinin azalmasına sebep olur. Bunun nedeni kayma düzlemindeki yüksek sıcaklıklar nedeniyle iş parçası malzemesinin daha az kesme kuvvetiyle deforme edilmesi ve talaş-takım temas alanının azalmasıyla açıklanabilir. Artan kesme hızı oluşan ısının büyük bir bölümünün talaş ile uzaklaştırılmasını sağlar ve takım ile iş parçasına transfer olan ısı azalır [4]. Şekil 5.1.a'daki AISI H13 çeliğinin kaplamasız matkaplarla delinmesi esnasında oluşan sıcaklık grafikleri incelendiğinde, sıcaklık kesme hızının artışıyla birlikte azalma göstermemiş, tam aksine bir miktar artış göstermiştir. Bu durumun; artan kesme hızıyla birlikte matkapta oluşan aşınmanın artmasına bağlı olarak geliştiği düşünülmüştür. Delik delme işlemi esnasında matkap enine kesici kenarı ve çevresinde oluşan bu aşınma, ana kesici kenarın dış köşesinde maksimum olan talaş açısının matkabın ucuna doğru azalarak enine kesici ağzının bulunduğu yassı kısımda negatif olmasından dolayı enine kesici kenarın talaş keserek değil ezerek kaldırmaya çalışmasından kaynaklanmaktadır [12]. Talaş ezerek kaldırmaya çalışan matkabın bu bölgesi (enine kesici kenar) daha fazla gerilmelere maruz kaldığından daha hızlı aşınma sürecine girmektedir (Şekil 5.2). Dolayısıyla yüksek gerilmeler neticesinde aşınan matkabın uç bölgesi delik delme işlemi için daha fazla enerji harcanmış ve çevresel hızın sifira yaklaştığı bu bölgeden talaşın uzaklaştırılması zorlaşmıştır. AISI H13 çeliğinin 600 °C'ye kadar sertliğini kaybetmemesi ve kesme hızının artışıyla birlikte matkap uç bölgesinde (enine kesici kenar) başlayan aşınmanın kesici kenarlara kadar uzanması, matkabın talaş kaldırmak için daha fazla enerji harcaması, sıcaklığın artmasını sağlamıştır [3]. Ayrıca oluşan talaşın yapışmalı sürekli talaş ve karmaşık talaş formunda olması

sıcaklığı daha da artmasına katkı sağlamıştır [17]. Sonuç olarak kesme hızı artışıyla birlikte hızlanan talaş tahliyesi sıcaklığı düşürürken, matkap aşınmasında yaşanan hızlanma sıcaklığın yükselmesine yol açmış ve bunlara bağlı olarak da sıcaklık kesme hızı artışıyla birlikte bir miktar artmıştır. Örneğin 0.15 mm/dev ilerleme miktarı ve kesme hızı kombinasyonları için; 60 m/dak kesme hızında sıcaklık 384 °C iken, kesme hızı 75 m/dak olduğunda sıcaklık 386 °C gibi çok yakın bir değer olarak gözlenmiştir. Kesme hızının 90 m/dak olmasıyla 389 °C olan sıcaklık, kesme hızının 108 m/dak olduğunda 410 °C olmuştur. Kesme hızının % 25 artışına karşılık sıcaklık artışı yaklaşık % 0.5-3 oranında değişmiştir. Bu sıcaklık değişimi diğer ilerleme miktarı ve kesme kombinasyonları içinde benzer durum arz etmektedir.



Şekil 5.2. AISI H13- Kaplamasız takım ve oluşan talaş şekli.

AISI H13 çeliğinin kaplamalı matkaplarla delinmesinde ise kesme hızının artmasına karşın sıcaklık değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durum; artan kesme hızıyla birlikte kayma düzlem açısının artması sonucu ikinci deformasyon bölgesinde yapışan malzemenin akma dayanımının azalması ve ikinci deformasyon bölgesindeki yapışma bölgesinin küçülmesiyle açıklanabilir [82]. Kaplamalı matkabın yüzeyindeki kaplamadan dolayı yüksek aşınma direnci ve düşük sürtünme katsayısına sahip olması (Çizelge 4.3), hem matkap kesici ucunun kullanım ömrünü uzatmış hem de talaşın matkaba yapışması olayını azaltmıştır (Şekil 5.3). Talaşlı imalatta oluşan ısının önemli bir bölümünün talaşla atıldığı [4,52,74] kabul edilirse, kesme hızının artmasıyla talaş tahliyesi kolaylaşması iş parçası ile matkaba ısı transferi ve talaşın delik cidarlarıyla olan temas süresinin kısılmasını sağlayarak

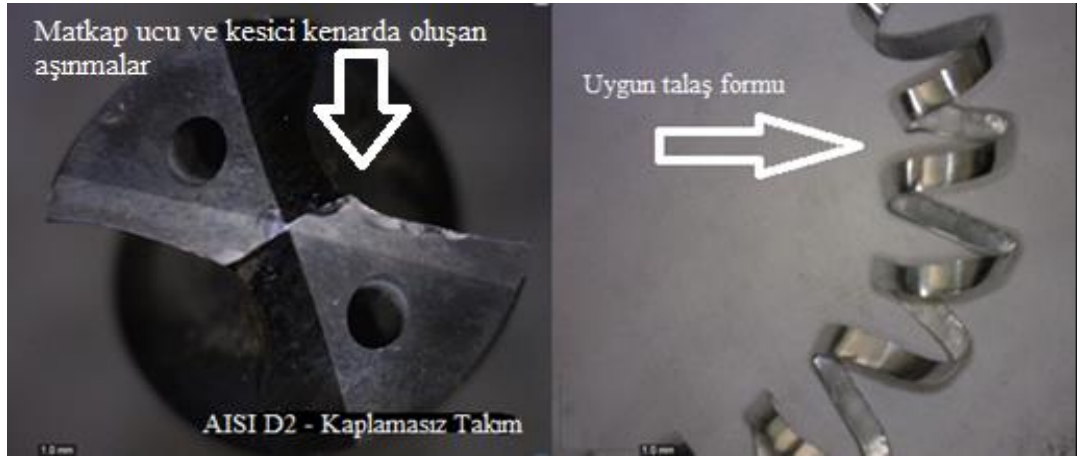
sıcaklığın azalmasında etkili olmuştur. Talaşın uygun talaş formunda olması sıcaklığın kesme bölgesinden uzaklaştırılmasında etkili olmuştur [6,17]. Örneğin 0.15 mm/dev ilerleme miktarı için; 60 m/dak kesme hızında sıcaklık 672 °C iken, kesme hızı 75 m/dak olduğunda sıcaklık 460 °C'e düşmüştür. Kesme hızının 90 m/dak olmasıyla 440 °C olan sıcaklık, kesme hızı 108 m/dak olduğunda sıcaklık 397 °C'ye düşmüştür. Kesme hızındaki % 25 artışa karşılık sıcaklık ~% 10-32 oranında azalmıştır. Diğer ilerleme miktarı ve kesme hızı kombinasyonları için de benzer durumlar söz konusudur.



Şekil 5.3. AISI H13- Kaplamalı takım ve oluşan talaş şekli.

Şekil 5.1.b'deki AISI D2 çeliğinin kaplamasız matkaplarla delinmesi esnasında oluşan sıcaklık grafikleri incelendiğinde, 60 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme miktarı kombinasyonunda sıcaklık en yüksek değerine ulaşmıştır. Fakat aynı ilerleme miktarı ile kesme hızının 75 m/dak olduğu kombinasyonda sıcaklık hızla azalmıştır. Bu durum; kesme hızının artmasıyla birlikte talaş tahliyesinin kolaylaşmasına atfedilebilir. Aynı ilerleme miktarı ile kesme hızının 90 ve 108 m/dak olduğu kombinasyonlarda ise sıcaklıkta önemsenmeyecek kadar değişim gözlenmiştir. Bu durum; artan kesme hızıyla birlikte matkapta meydana gelen aşınmayla açıklanabilir (Şekil 5.4). Artan kesme hızıyla takım aşınma sürecine girerek aşınmayı hızlandırmıştır. Aşınan matkabın kesme etkisinden çok artan sürtünme etkisi sıcaklık artışını tetiklemiştir. Fakat kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın matkap-talaş-iş parçası arasında dağılımı sonucu sıcaklığın çoğunun talaşla atıldığı [5,52,74] göz önüne alınırsa, kesme hızındaki artışla kolaylaşan talaş

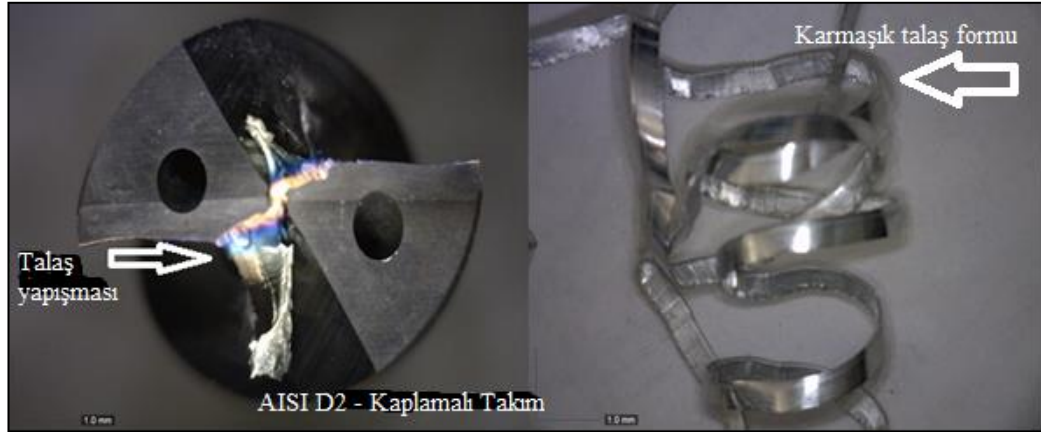
tahliyesi, matkaptaki aşınmaya rağmen sıcaklığın bir miktar azalmasını sağlamıştır. Bu durumun birbirini dengelemesi, değişimin makul düzeylerde kalmasının sebebi olarak düşünülmüştür. Ayrıca AISI D2 malzemenin mekanik özelliklerine bağlı olarak 200 °C'ye kadar sertliğinde düşüş olmaması nedeniyle oluşan talaşın sürekli ve kabul edilebilir talaş formunda olması talaş tahliyesi sürecinde problem oluşturmamıştır [3,6,7,74]. Örneğin 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve kesme hızı kombinasyonlarını karşılaştıracak olursak; 60 m/dak kesme hızında sıcaklık 381 °C iken, kesme hızının % 25'lik artış sonucu sıcaklık 236 °C'ye düşmüştür. Sıcaklık yaklaşık % 38 azalmıştır. Fakat kesme hızının 75 m/dak olduğunda 236 °C olan sıcaklık, kesme hızının 90 m/dak olduğunda 240 °C, kesme hızının 108 m/dak olduğunda ise 236 °C olarak kaydedilmiştir. Kesme hızındaki artış sıcaklığı en fazla % 1,5 oranında artırmış veya azaltmıştır. Bu oran önemsizmeyecek kadar azdır. Kesme hızının 75, 90 ve 108 m/dak olduğu kombinasyonlarda sıcaklık değerlerindeki değişimler paralel eğilim göstermiştir.



Şekil 5.4. AISI D2- Kaplamasız takım ve oluşan talaş şekli.

AISI D2 malzemesinin kaplamalı takımlarla delinmesi sırasında da benzer durumla karşılaşmıştır. Kesme hızı artışı sıcaklığın azalmasında etkili olmamış ve önemsizmeyecek derecede artışlar gözlemlenmiştir. Bu durum kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın, kaplamalı matkabın ısıl iletim katsayısının düşük olmasından dolayı, talaş ve iş parçası arasında paylaşılması sonucu oluşan talaşın yapışmalı sürekli talaş şekline dönüşmesiyle açıklanabilir [17]. Şekil 5.5'deki AISI D2- Kaplamalı matkap ve oluşan talaş şekli incelendiğinde, matkap ucunda talaş

yapışmasının olduğu görülmektedir. Bu yapışma genellikle talaşı ezerek kaldırmaya çalışan ve çevresel hızın en düşük olduğu bölge olan matkap enine kesici kenarın da gerçekleşmiştir [12]. Kesme hızının artması sonucu sıcaklığın artması ve matkap kaplama malzemesinin özelliğinden dolayı matkabın bünyesine transfer olması gereken ısının iş parçası ile talaşa transfer olması, oluşan talaşın daha yapışkan hal almasını sağlamıştır. Kesme hızı artışıyla birlikte talaş tahliyesinde yaşanan hızlanma sıcaklığı azaltması gerekirken, yapışmalı talaşın kesme hızı artışıyla birlikte yapışmalı talaşın daha da yapışkan hal alması ve talaşın özellikle çevresel hızın en az olduğu matkap enine kesici kenar ile çevresinde yapışarak talaş tahliyesinde problemler oluşturması az da olsa sıcaklığı artırmıştır. Örneğin 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve kesme hızı kombinasyonlarında elde edilen sıcaklıklar karşılaştırılırsa; kesme hızı 60 m/dak iken sıcaklık 372 °C, kesme hızı 75 m/dak iken sıcaklık 380 °C olarak kaydedilmiştir. Kesme hızı 90 m/dak olduğunda sıcaklık 382 °C'ye çıkmış ve kesme hızının 108 m/dak olduğunda sıcaklık tekrar 379 °C'ye düşmüştür. Kaplamalı matkaplarla yapılan tüm kesme hızları ve ilerleme miktarı kombinasyonlarında benzer durum söz konusudur. Yani kesme hızlarının artmasıyla birlik sıcaklık değerlerinde kayda değer azalma veya yükselme olmamıştır.



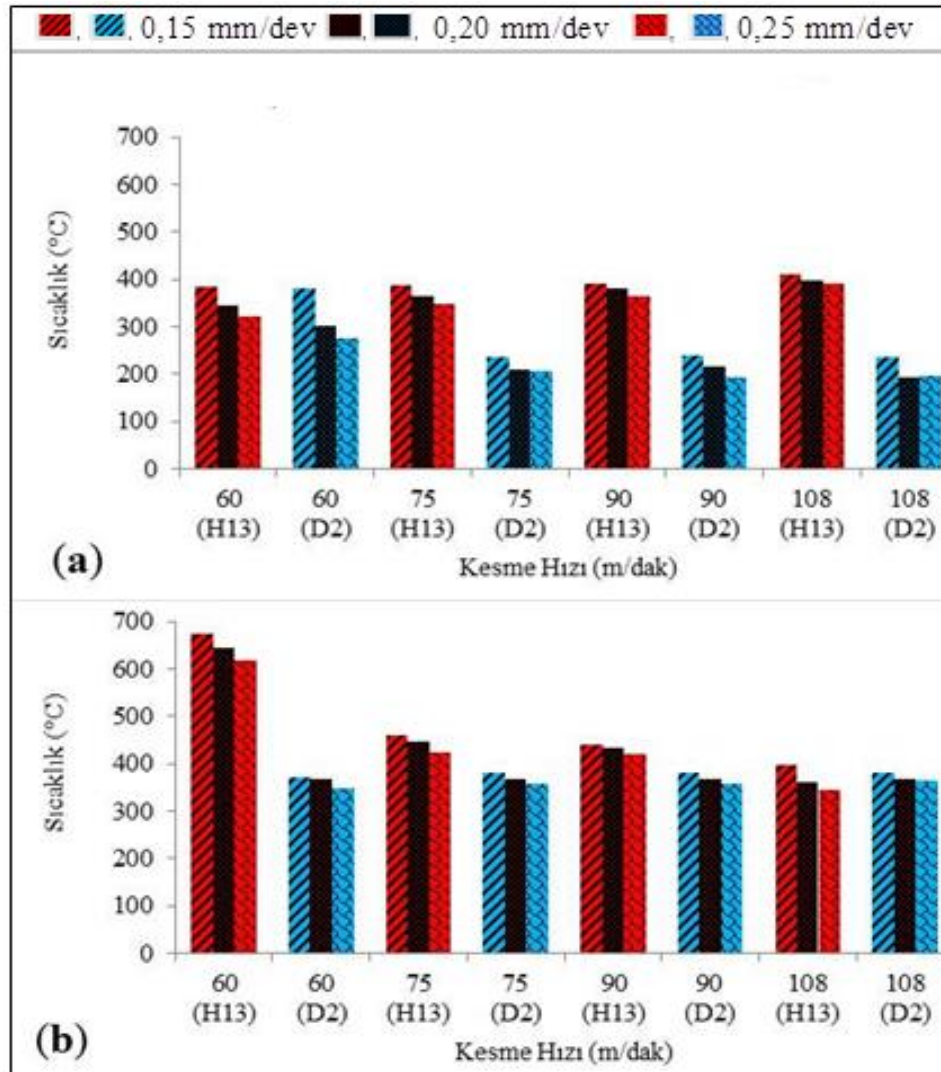
Şekil 5.5. AISI D2- Kaplamalı takım ve oluşan talaş.

Şekil 5.1'den matkap malzemesinin sıcaklık üzerine etkisi incelenecek olunursa, kaplamsız matkaplarla delinen deliklerde sıcaklık değerleri kaplamsız matkaplarla delinenlere göre daha az olmuştur. Bu durum; kaplamalı matkapların kaplama malzemesinin özelliğinden dolayı ısı iletim katsayısının kaplamsız matkaplara göre % 55 oranında daha az olmasıyla açıklanabilir (Bkz. Çizelge 4.3). Çünkü kesme

bölgesinde oluşan sıcaklığın iş parçası (% 13), matkap (% 17) ve talaş (% 70) [54,75] arasında paylaşılması gerekirken, kaplamalı matkabin bünyesine transfer olması gereken ısının kapalı olan delik ortamına yayılarak sıcaklık artışına neden olduğu düşünülmektedir.

5.2.3. Malzeme Özelliklerine Bağlı Olarak Sıcaklık Değişimleri

AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla işlenmesi esnasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar Şekil 5.6'da verilmiştir. Grafiklerde AISI H13 çeliği "H13", AISI D2 çeliği ise "D2" notasyonu ile gösterilmiştir.



Şekil 5.6. AISI H13 ile AISI D2 çeliklerinin sıcaklık karşılaştırılması. a) Kaplamasız matkaplarla, b) Kaplamalı matkaplarla.

Şekil 5.6'daki grafikler incelendiğinde, AISI H13 çeliğinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesinde, kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerleri, AISI D2 çeliğinin delinmesinde oluşan sıcaklık değerlerinden fazla çıkmıştır. Bu durum; AISI H13 ile AISI D2 çeliklerinin metalürjik yapısına atfedilebilir. Çünkü farklı mikroyapı ve farklı kimyasal bileşim oranlarına sahip bu malzemelerin içerisinde bulunan alaşım elementleri oranları farklı olup, bu elementlere bağlı ortaya çıkan farklı metalürjik özellikler söz konusudur [3]. AISI H13 çeliğinin AISI D2 çeliğine göre mikroyapısının küçük boyutlu tanelerden oluşması ve karbürlerin homojen dağılımı, malzemenin deformasyon kabiliyetini azaltmaktadır (Bkz. Şekil 4.1) [42]. Ayrıca çeliklerin yapısında bulunan oksit, sülfür veya nitrür gibi kalıntılar işlenebilirliği belirleyen önemli unsurlar olduğu bilinmektedir. Örneğin, talaş oluşumu esnasında plastik deformasyona uğrayan MnS (mangan sülfat) kalıntıları düşük mukavemetli atom düzlemleri oluşturdukları için daha az enerji harcanarak deforme edilirler. Bu durum birincil kayma bölgesinde ki deformasyonu kolaylaştırdığı için daha az sürtünme gerçekleşecek ve buna bağlı olarak da daha az sıcaklık oluşacaktır [4]. Tüm bu bilgiler ışığında, AISI H13 çeliğinin kimyasal kompozisyonunda bulunan kükürt ile mangan oranı (Bkz. Çizelge 4.1) ve sertliğinin, AISI D2'den daha az olması, AISI H13'den elde edilen talaşın AISI D2'den elde edilene göre daha sünek talaş olmasına neden olmuştur [17]. Dolayısıyla daha sünek olan talaşın (yapışmalı sürekli talaş) matkap ucuna ve helis kanallarına yapışarak sıcaklığı artırdığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, yapışmalı sürekli talaş kaldırmak için daha fazla enerji harcanması ve tahliyesinde yaşanan güçlükler, AISI H13 çeliğinin delinmesinde oluşan sıcaklığın AISI D2 çeliğinde oluşan sıcaklıktan fazla olmasına yol açmıştır.

5.3. İLERLEME KUVVETLERİ VE MOMENTLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Delik delme sürecinde matkaba etki eden üç kuvvet vardır. Bu kuvvetlerden birincisi radyal kuvvettir (F_r). Bu kuvvet, her bir kesici ağızda oluşur ve birbirlerinin zıt yönlerin de oluştuğundan birbirini dengelerler. İkinci kuvvet olan ilerleme kuvveti (F_a), matkabın ekseni doğrultusunda olup, matkabın iş parçası içerisine dalmasını ve delik ekseni boyunca ilerlemesini sağlar. Asıl kesme kuvveti (F_c) olan üçüncü kuvvet

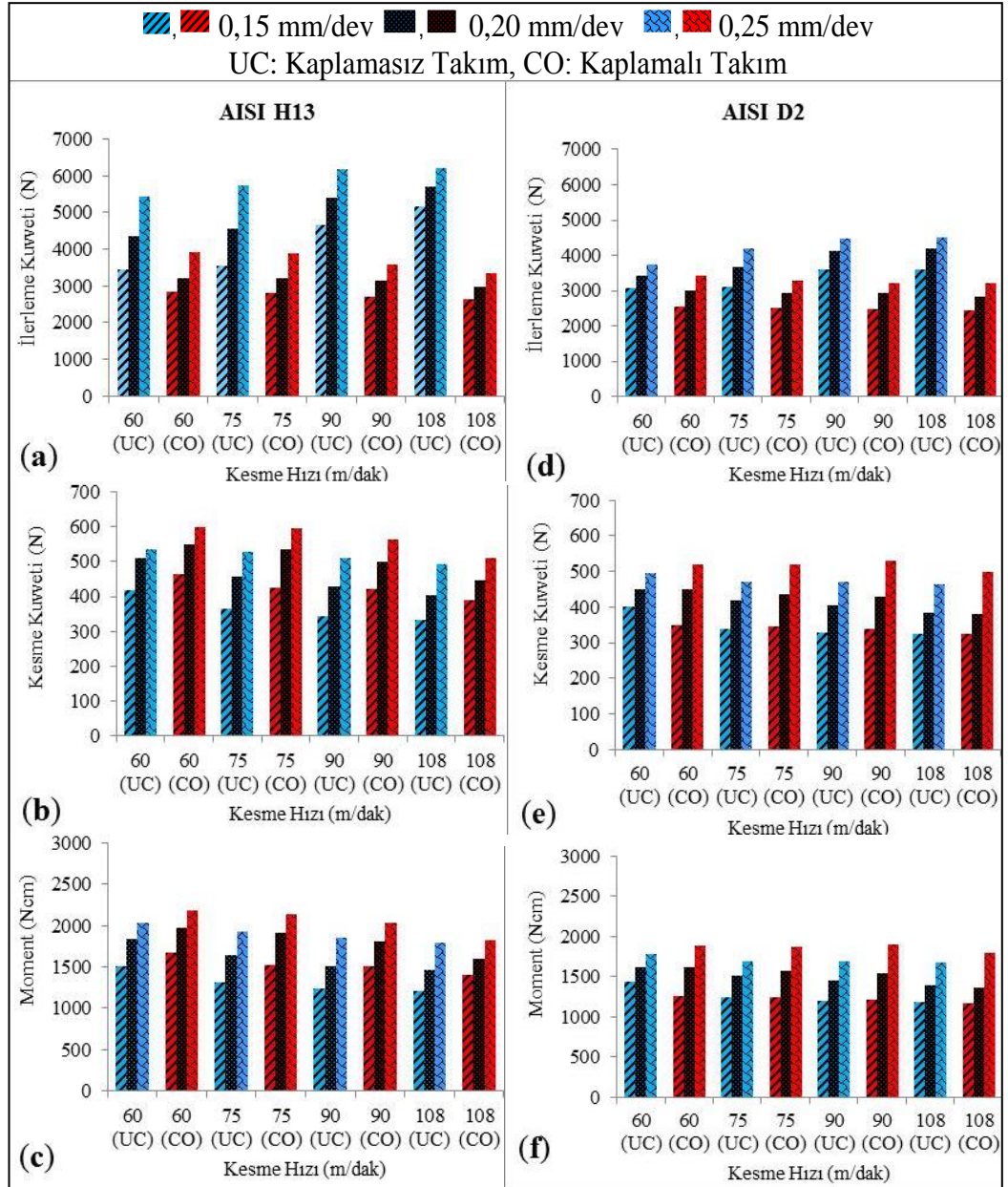
ise; iş parçasından talaş koparmak için matkap kesici kenarlarının iş parçasına uyguladığı kuvvettir. Kesme kuvveti, matkabın delik eksenini boyunca ilerlemesini sağlayan ilerleme kuvveti ve talaş kaldırmak için matkabın eksenini etrafında dönmesini sağlayan teğetsel kuvvet bileşeninden oluşur. Bu nedenle ilerleme kuvveti ile kesme kuvveti birbiri ile bağımlıdır. Fakat pratikte kesme kuvveti talaş kaldırma işlemini gerçekleştiren teğetsel kuvvete (F_t) eşit kabul edilir. Teğetsel kuvvet momenti oluşturan kuvvettir. Matkapta oluşan moment artışında teğetsel kuvvet ve matkap çapı büyüklüğü etkilidir. Ayrıca matkapta oluşan moment artışında talaşın helis kanallarından tahliyesi esnasında meydana gelen matkabın delik duvarlarıyla temasta olması, talaşın delik duvarına sürtünerek tahliye olması ve talaşın delik duvarı ile matkap arasında sıkışması da moment artışında etkilidir. Delik delmede moment hesaplanırken kesme kuvvetinin oluşturduğu moment ile matkap kesici kenarlarının iş parçası ile aralarında oluşan sürtünme momenti hesaba katılır [15].

Bu bilgiler ışığında, ilerleme kuvveti, kesme kuvveti (teğetsel kuvvet) ve toplam moment (M_{top}) verilerinin bir arada değerlendirilmesinin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Matkabın delik delme sürecinde talaş kaldırmak için uyguladığı kesme kuvveti (F_c), yani momenti oluşturan teğetsel kuvvet Eşitlik 2.13 yardımıyla teorik olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada, AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin değişik kesme parametreleri kombinasyonlarında kaplamasız ve kaplamalı karbür matkaplarla delinmesi esnasında elde edilen ilerleme kuvveti, kesme kuvveti ve moment değerleri grafiklere dönüştürülerek Şekil 5.7’de toplu halde verilmiştir.

5.3.1. İlerleme Miktarına Bağlı İlerleme Kuvveti, Moment ve Kesme Kuvveti

Şekil 5.7’deki grafikler incelendiğinde, AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla yapılan delime deneylerinin tamamında ilerleme miktarının artışı hem ilerleme kuvvetlerinde hem de moment değerlerinde artışa sebep olmuştur. Bu durum; ilerleme miktarının artışıyla birlikte matkap kesici kenarları birim zamanda delik eksenini boyunca daha hızlı ilerlemesi ve birim zamanda kaldırılan talaş hacminde meydana gelen artışa atfedilir. Matkap, delik eksenini boyunca hızlı ilerlemek için daha fazla enerji harcamış ve artan talaş hacmini kaldırmak için daha fazla ilerleme kuvveti oluşturmuştur. Ayrıca ilerleme miktarında

artışın talaş hacmini artırması, matkabin artan talaş hacmini malzemeden koparmak için daha fazla kesme kuvveti harcamasına yol açarak daha büyük kuvvetlerin oluşturduğu büyük momentlere neden olmuştur (Şekil 5.7.a-Şekil 5.7.f). Dolayısıyla ilerleme miktarındaki artışın ilerleme kuvveti ve moment değerlerinde artışa sebep olması beklenen bir durumdur [5,6,12,15].



Şekil 5.7. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin delinmesi esnasında oluşan ilerleme kuvveti kesme kuvveti ve moment değişiminin karşılaştırılması. a) AISI H13-İlerleme kuvveti, b) AISI H13-Kesme kuvveti, c) AISI H13-Moment, d) AISI D2-İlerleme kuvveti, e) AISI D2-Kesme kuvveti, f) AISI D2- Moment.

AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamalı matkaplarla delinmesi esnasında elde edilen ilerleme kuvvetleri kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen ilerleme kuvvetlerinden daha az çıkmıştır (Şekil 5.7.a ve Şekil 5.7.d). Fakat moment değerleri ise kaplamasız matkaplarla yapılan delik delme işleminde elde edilen değerlerden daha fazla olmuştur (Şekil 5.7.c ve Şekil 5.7.f). Bu durum; kaplamalı matkapların kaplama özeliğinden dolayı, hem aşınma dirençlerinin yüksek olmasına hem de sürtünme katsayılarının düşük olmalarına atfedilebilir. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde matkapların enine kesici kenarlarında aşınma olamamasından dolayı (Bkz. Şekil 5.3 ve Bkz. Şekil 5.5), talaş kaldırma işlemi delik boyunca normal seyrinde gerçekleşmiştir. Artan talaş hacmini parçadan koparmak için gerekli olan kesme kuvveti artmış ve artan kesme kuvveti de moment değerlerini artırmıştır. Fakat kaplamasız matkaplarda ilerleme miktarının artışıyla birlikte matkapların enine kesici kenarlarında oluşan aşınma (Bkz. Şekil 5.2 ve Şekil 5.4), matkapların delik eksenini boyunca birim zamanda aldığı yolu kısaltmıştır. Matkap delik eksenini boyunca ilerlemek için daha fazla kuvvet harcarken, birim zamanda aldığı yolun kısalması kaldırılan talaş hacminde azalmaya yol açmıştır. Kaldırılan talaş hacmindeki azalma da kesme kuvvetinin (teğetsel kuvvetin) (Bkz. Şekil 5.7.b ve Şekil 5.7.e) azalmasına ve buna bağlı olarak ta moment değerlerinin daha az olmasına yol açmıştır.

5.3.2. Kesme Hızına Bağlı İlerleme Kuvveti, Moment ve Kesme Kuvveti

Şekil 5.7'deki grafikler kesme hızı açısından değerlendirildiğinde, AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız matkaplarla delinmesinde kesme hızındaki artışın ilerleme kuvvetlerinde artışa, moment değerlerinde ise azalmaya neden olduğu görülmektedir. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde ise kesme hızı artışı hem ilerleme kuvvetlerinde hem de moment değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Bu durum; kesme hızının artmasıyla birlikte kaplamasız matkaplarda artan aşınmaya, kaplamalı matkaplarda ise kaplama malzemesi özelliğinden dolayı yüksek performans sergilemelerine atfedilebilir. Normal şartlarda, delik delme işlemlerinde kesme hızı artışı kesme kuvvetlerinde azalmaya yol açmaktadır. Çünkü kesme hızındaki artışla harcanan enerjinin tamamına yakın bir bölümü ısı enerjisine dönüşerek sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Artan sıcaklık iş parçası

malzemesinin daha az kuvvetle deforme edilmesini sağlarken, aynı zamanda kesme hızı artışı talaşın daha hızlı tahliye olmasına neden olmaktadır [4,77]. Bu nedenle kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde artan kesme hızı sıcaklığı artırmış ve matkap kaplama malzemesinin düşük ısı iletim katsayısı nedeniyle artan sıcaklığın iş parçası ile talaş arasında paylaşılması sonucu malzemenin daha az kuvvetle deformasyonuna neden olmuştur. Kaplamalı matkapların aşınmaya karşı yüksek dirençli olmaları talaş kaldırma işleminin normal seyrinde gerçekleşmesini sağlamış, sürtünme katsayısının düşük olması sayesinde de kesme hızı artışıyla birlikte kolaylaşan talaş tahliyesi ilerleme kuvvetlerinin azalmasına yol açmıştır. Kesme hızındaki artışla birlikte ilerleme kuvvetleri ve kesme kuvvetlerindeki azalma moment değerlerinin de azalmasıyla sonuçlanmıştır. Örneğin kaplamalı matkaplarla AISI H13 çeliğinin 0.15 mm/dev ilerleme miktarı ile 60, 75, 90 ve 108 m/dak kesme hızı kombinasyonlarında; kesme hızının 60 m/dak olduğunda ilerleme kuvveti 2825 N, 75 m/dak kesme hızında ise 2805 N olmuştur. Kesme hızının 90 m/dak olduğunda 2694 N olan ilerleme kuvveti, kesme hızının 108 m/dak'ya çıktığında ise ilerleme kuvveti 2633 N seviyesine inmiştir. Kesme hızının % 25'lik artışına karşılık ilerleme kuvvetleri ~% 1-4 oranında azalmıştır. Aynı kesme kombinasyonları için momentler de kesme hızı artışıyla birlikte azalma göstermiştir. İlerleme miktarının 0,15 mm/dev olduğu ve kesme hızının 60 m/dak olduğu kesme kombinasyonunda moment 1675 Ncm iken, 75 m/dak kesme hızında ise moment 1528 Ncm olmuştur. Kesme hızının 90 m/dak olduğunda 1510 Ncm olan moment, kesme hızı 108 m/dak'ya çıktığında 1402 Ncm seviyesine inmiştir. Kesme hızının % 25'lik artışına karşılık moment ~% 2-9 oranında azalmıştır. Bu durum diğer ilerleme miktarları ve kesme hızı kombinasyonları için de benzer eğilimler göstermektedir.

AISI D2 çeliğinin kaplamalı matkaplarla işlenmesinde de AISI H13'e benzer durumla karşılaşılmıştır. AISI D2 malzemesinin 0.15 mm/dev ilerleme miktarı ile 60, 75, 90 ve 108 m/dak kesme hızı kombinasyonlarında; kesme hızının 60 m/dak olduğunda ilerleme kuvveti 2537 N, 75 m/dak kesme hızında ise 2518 N olmuştur. Kesme hızının 90 m/dak'ya yükselmesiyle 2489 N'a düşen ilerleme kuvveti, kesme hızının 108 m/dak'ya çıkmasıyla 2440 N seviyesine inmiştir. Kesme hızının % 25'lik artışına karşılık ilerleme kuvvetleri ~% 1-2 oranında azalmıştır. Aynı kesme kombinasyonları için momentlerde kesme hızı artışıyla birlikte azalma göstermiştir.

İlerleme miktarının 0,15 mm/dev olduğu ve kesme hızının 60 m/dak olduğu kesme kombinasyonunda moment 1252 Ncm iken, 75 m/dak kesme hızında ise moment 1248 Ncm olmuştur. Kesme hızının 90 m/dak olduğunda 1219 Ncm olan moment, kesme hızının 108 m/dak'ya çıktığında ise 1172 Ncm seviyesine inmiştir. Kesme hızlarında % 25'lik artışa karşılık moment ~% 1-4 oranında azalmıştır. Bu durum diğer ilerleme miktarları ve kesme hızı kombinasyonları için de benzerdir.

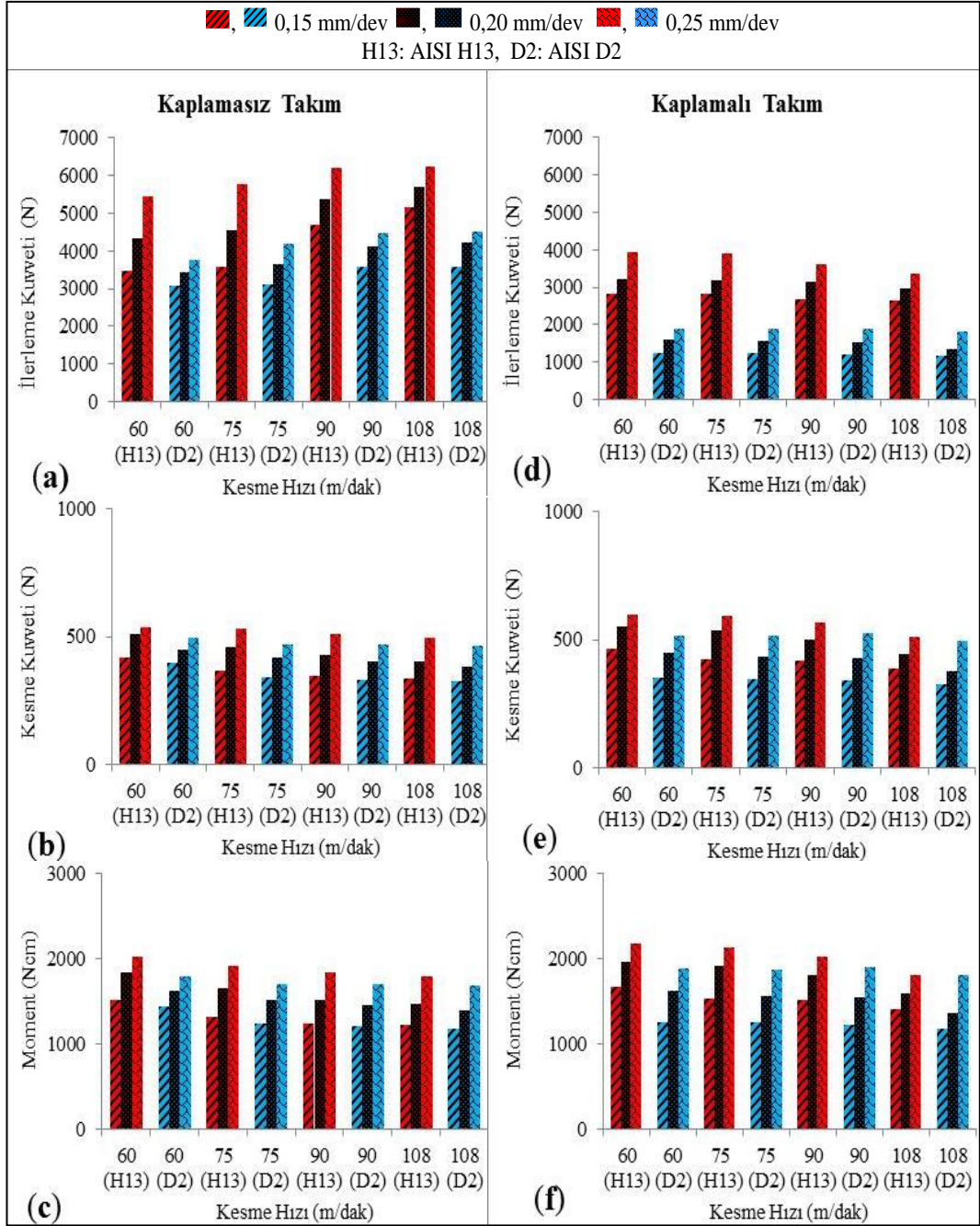
Kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde ise kesme hızı artışıyla birlikte kesme kuvveti ile moment değerleri azalırken, kesme hızının artışıyla azalması gereken ilerleme kuvvetinin tam aksine artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum; kaplamasız matkapların talaşı ezerek kaldırmaya çalışan ve çevresel hızın en az olduğu enine kesici kenarında ve enine kesici kenar çevresine yakın bölgelerde oluşan aşınmaların artmasıyla açıklanabilir. Çünkü kesme hızındaki artışla kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde matkaptaki aşınma artmıştır. Artan aşınma sebebiyle matkap delik eksenini boyunca ilerlemek için daha fazla ilerleme kuvveti harcamış ve bu kuvvetin artışına neden olmuştur. Kesme hızı artışıyla birlikte artan aşınma, kaplamasız matkabın delik eksenini boyunca ilerlemesini zorlaştırmış ve matkabın birim zamanda delik eksenini boyunca alacağı mesafeyi daha da kısaltmıştır. Matkabın birim zamanda alacağı yolun kısaltılması kaldırması gereken talaş hacminde azalmaya neden olmuştur. Talaş hacmindeki azalma ilerleme kuvvetlerinin tersine kesme kuvvetlerinde ve buna bağlı moment değerlerinde azalmaya sebep olmuştur (Bkz. Şekil 5.7). Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde kesme hızı artışıyla birlikte azalan ilerleme kuvvetinin kaplamasız matkaplara göre daha az olması ve azalma eğilimi göstermesi, tersi bir eğilimle kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen kesme kuvveti ile momentin kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilenlerden daha fazla olması bu durumu ispatlar niteliktedir. Örneğin AISI H13 çeliğinin kaplamasız matkapla 0.15 mm/dev ve 60 m/dak kesme hızı kesme şartlarında delinmesi esnasında ölçülen ilerleme kuvveti 3473 N iken, aynı ilerleme miktarı için kesme hızının 75 m/dak olmasıyla 3565 N çıkmıştır. Kesme hızının 90 m/dak olduğunda 4684 N, kesme hızının 108 m/dak olduğunda ise 5163 N seviyesine yükselmiştir. Kesme hızının % 25'lik artışına karşılık ilerleme kuvveti ~% 2-10 oranında artmıştır. Aynı kesme kombinasyonlarında oluşan moment değerleri ise; 60 m/dak kesme hızında 1519 Ncm iken, kesme hızının 75 m/dak olduğunda 1313 Ncm'ye

düşmüştür. Kesme hızının 90 m/dak olduğunda moment 1247 Ncm, kesme hızının 108 m/dak olduğunda ise 1219 Ncm seviyesine inmiştir. Kesme hızının % 25'lik artışına karşılık moment ~% 3-14 oranında azalmıştır.

AISI D2 çeliğinin kaplamasız matkaplarla 0.15 mm/dev ilerleme miktarı ile 60, 75, 90 ve 108 m/dak kesme hızı kombinasyonlarında işlenmesi esnasında da benzer durumla karşılaşılmıştır. 0.15 mm/dev ilerleme miktarı ile 60 m/dak kesme hızı kesme şartlarında 3060 N olan ilerleme kuvveti, 75 m/dak kesme hızında 3110 N'a, 90 m/dak kesme hızında 3582 N'a, 108 m/dak kesme hızında ise 3593 N'a yükselmiştir. Kesme hızının % 25'lik artışına karşılık ilerleme kuvvetleri ~% 2-15 oranında artmıştır. Aynı kesme kombinasyonları için moment ise; kesme hızının 60 m/dak olduğunda 1442 Ncm, 75 m/dak kesme hızında 1237 Ncm, kesme hızının 90 m/dak olduğunda 1205 Ncm, 108 m/dak olduğunda ise 1985 Ncm seviyesine düşmüştür. Kesme hızının % 25'lik artışına karşılık moment ~% 2-15 oranında azalmıştır.

5.3.3. Malzeme Özelliklerine Bağlı Olarak İlerleme Kuvvetleri ve Momentler

Bir çeliğin mikroyapıdaki kalıntılar, karbür oluşumları ve bu karbürlerin büyüklükleri ile dağılımları çeliklerin işlenebilirliği üzerinde önemli etkiye sahiptir. Çeliklerin işlenebilirliğin de karbon elementi miktarı ve sülfür kalıntısı etkilidir. Karbon elementi sertliği artırır. Artan karbon elementinin sünekliliği azaltması ve MnS gibi kalıntıların düşük mukavemetli düzlemeler oluşturması talaşın daha az kuvvetle deforme olmasını sağlar. Fakat malzemenin yapısında karbür dağılımlarının homojen, sık ve ince taneli olması malzemenin gevrekliğini düşürürken mukavemetini de artırmaktadır. Bu nedenle ince, homojen ve sık karbür yapılı malzemeleri işlemek için daha fazla kuvvet harcanır [4, 37, 42]. Bu bilgiler ışığında Şekil 5.8'deki AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi esnasında ölçülen ilerleme kuvvetleri, momentler ve kesme kuvvetleri grafikleri malzeme cinsine göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.8. AISI H13 ve AISI D2 malzemelerinin karşılaştırılması. a) Kaplamasız-İlerleme kuvveti, b) Kaplamasız-Kesme kuvveti, c) Kaplamasız-Moment, d) Kaplamalı-İlerleme kuvveti, e) Kaplamalı-Kesme kuvveti, f) Kaplamalı- Moment.

Şekil 5.8'deki grafikler incelendiğinde, AISI H13 çeliğinin hem kaplamasız hem de kaplamalı matkaplarla delinmesi esnasında elde edilen ilerleme kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve momentler AISI D2 çeliğinin delinmesi esnasında elde edilenlerden daha fazla olmuştur. Bu durum; çeliklerin yapısal farklılıklarıyla açıklanabilir. AISI

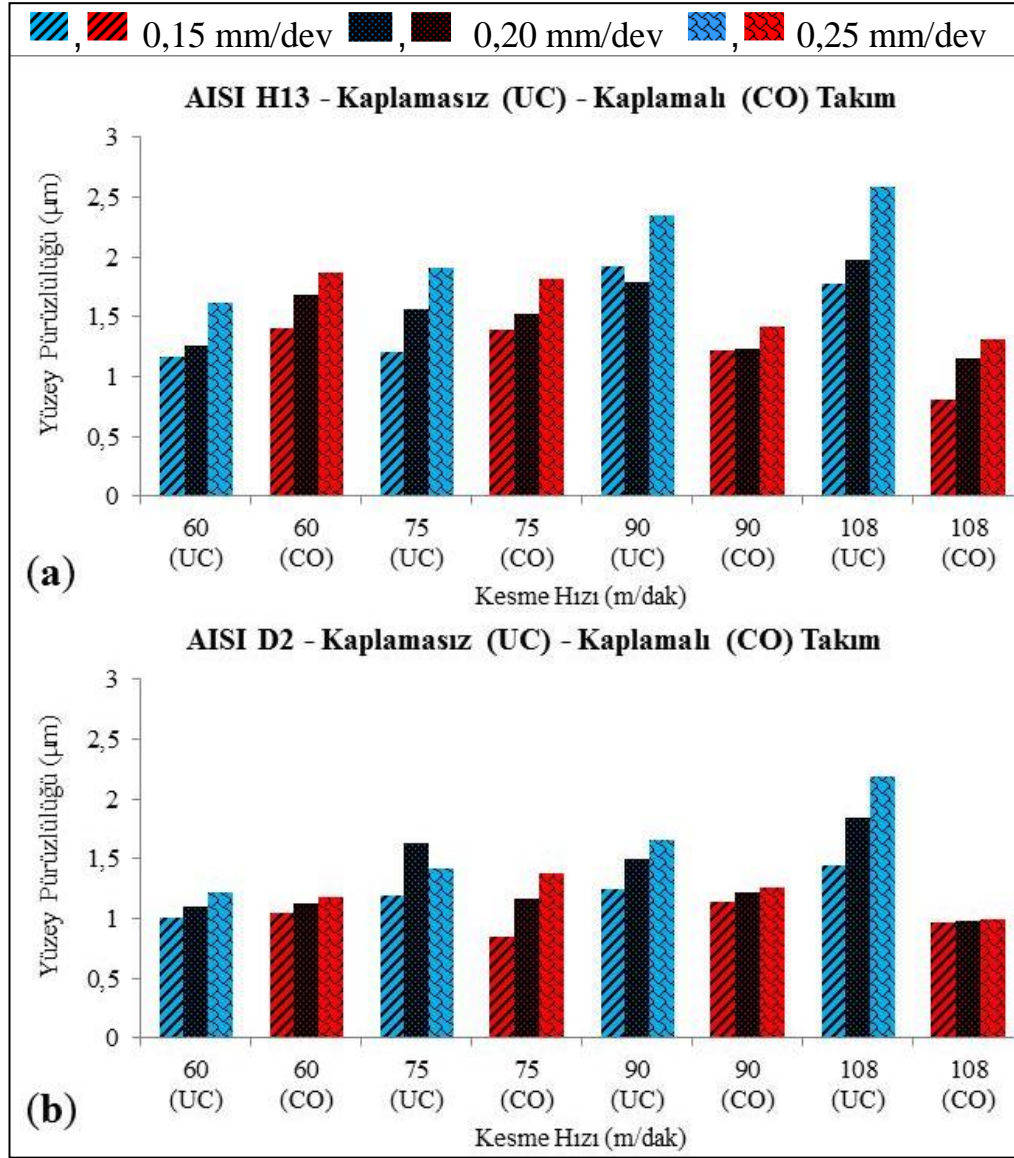
H13 ve AISI D2 çeliklerinin yapısal farklılıkları, yapılarında bulunan alaşım elementleri miktarı oranları ile üretim esnasında bu çeliklere uygulanan ısı işlem farklılığının oluşturduğu karbür oluşumu ve dağılımından kaynaklanmaktadır [3]. AISI H13 çeliğinin yapısında bulunan karbon, kükürt ve magnezyum miktarlarının AISI D2 çeliğinin yapısında bulunan miktardan daha az olması (Bkz Çizelge 4.1) ve karbür dağılımlarının AISI D2 çeliğine göre hem homojen hem de sık ve ince taneli yapıdan oluşması (Bkz. Şekil 4.1), çeliğin plastik deformasyonu için daha fazla kuvvet ihtiyacını doğurmaktadır [4]. Bu nedenle AISI H13 çeliğinin işlenmesinde oluşan ilerleme kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve momentlerin AISI D2 çeliğinin işlenmesinde oluşan ilerleme kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve momentlerden daha fazla olması beklenen bir durumdur.

5.4. YÜZEY KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Talaşlı imalat işlemleri arasında işlem sürecinin takip edilmesi hemen hemen imkansız olan işlem delik delme işlemidir. Çünkü delik delme işlemi kapalı ve matkap çapı genişliğinde dar bir alanda gerçekleşmektedir. Halbuki diğer talaş kaldırma yöntemlerinde oluşan talaşın kesme bölgesinden nasıl uzaklaşacağı ve nasıl bir talaş oluşacağı önceden tahmin edilebilir. Ayrıca kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın iş parçası, talaş ve matkap arasında dağılımı ve buna bağlı olarak işlem sonrası nasıl bir yüzey kalitesi oluşacağı tahmin edilebilir. Fakat delik delme işleminin karmaşıklığı tahminlerde yanılmalara neden olmaktadır. Bu işlemde en büyük problem talaş tahliyesidir. Talaş tahliyesini etkileyen kesme hızlarının yanında talaş sıkışmaları ve bu sıkışmanın neticesinde talaşın delik yüzeyine sürterek delik yüzeyinde oluşturduğu pürüzlülük tahminini güçleştirmektedir. Literatürde incelenen çalışmalarda; ilerleme miktarının artmasıyla yüzey kalitesinin kötüleştiği, kesme hızının artmasıyla yüzey kalitesinin iyileştiği vurgulanmıştır [46,55]. Fakat bu problemsiz bir delik delme işlemi için geçerli olan durumdur.

5.4.1. İlerleme Miktarına Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü

AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delindikten sonra delik yüzeyinde oluşan pürüzlülük değerleri grafiklere dönüştürülerek Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi. a) AISI H13 için yüzey pürüzlülüğü, b) AISI D2 içi yüzey pürüzlülüğü.

Şekil 5.9'daki grafikler incelendiğinde, hem AISI H13 hem de AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi esnasında ilerleme miktarı artışı

yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmuştur. Bu durum; ilerleme miktarının artmasıyla birlikte artan talaş hacmine bağlı ilerleme kuvvetlerindeki artışa atfedilebilir. İlerleme miktarındaki artış birim zamanda kaldırılan talaş hacmini artırmış ve artan talaş hacmini de parçadan koparmak için gerekli olan kesme kuvveti artmıştır. Artan kesme kuvvetlerinin yüzey kalitesi üzerinde olumsuz etkisi dikkate alındığında, ilerleme miktarı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırması beklenen bir durumdur. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde bazı kesme şartlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin beklenen değerlerden farklı olması talaş tahliyesi esnasında talaşın delik duvarına teması sonucu delik duvarının çizildiğine veya talaş sıkışmalarının olduğuna işaret etmektedir.

5.4.2. Kesme Hızına Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü

Şekil 5.9'daki grafikler incelendiğinde, AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin delinmesi esnasında kesme hızı artışı kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen delik yüzey kalitesinde kötüleşmeye neden olurken, kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen delik yüzey kalitelerinde iyileşmeye yol açmıştır. Bu durum; kesme hızı artışının kaplamsız matkaplarda aşınmayı hızlandırmasıyla, kaplamalı matkaplarda ise kaplamalı matkabın yüksek performans sergilemesi ve kaplama malzemesinin düşük sürtünme katsayısıyla açıklanabilir. Normal şartlarda kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesi gerekirken, kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde tersine bir durumla karşılaşmıştır. Bu durumu, kesme hızındaki artış neticesinde kaplamasız matkapta oluşan aşınmanın artmasıyla açıklanabilir. Matkapta artan aşınma talaş kaldırılan yüzeyin daha pürüzlü olmasına neden olmuştur. Örneğin AISI H13 çeliğinin kaplamasız matkaplarla işlenmesi sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri; 0,20 mm/dev ilerleme miktarı ile 60 m/dak kesme kombinasyonunda yüzey pürüzlülüğü 1,256 μm , 75 m/dak kesme hızında ise yüzey pürüzlülüğü artarak 1,566 μm olmuştur. Kesme hızının 90 m/dak olduğunda 1,791 μm 'ye çıkan yüzey pürüzlülüğü kesme hızının 108 m/dak olmasıyla 1,980 μm 'ye yükselmiştir. AISI D2 malzemesinin de kaplamasız matkaplarla işlenmesinde aynı durumla karşılaşmıştır. Aynı ilerleme miktarı ve kesme hızı şartları için kesme hızının 60 m/dak olduğunda 1,096 μm olan yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının 75 m/dak olduğunda 1,625 μm , kesme hızının 90 m/dak olduğunda

1.497 μm , kesme hızının 108 m/dak olduğunda ise 1,842 μm 'ye yükselmiştir. Her iki çeliğinde kaplamasız matkaplarla işlenmesinde elde edilen delik kalitesi kesme hızının artmasıyla kötüleşmiştir.

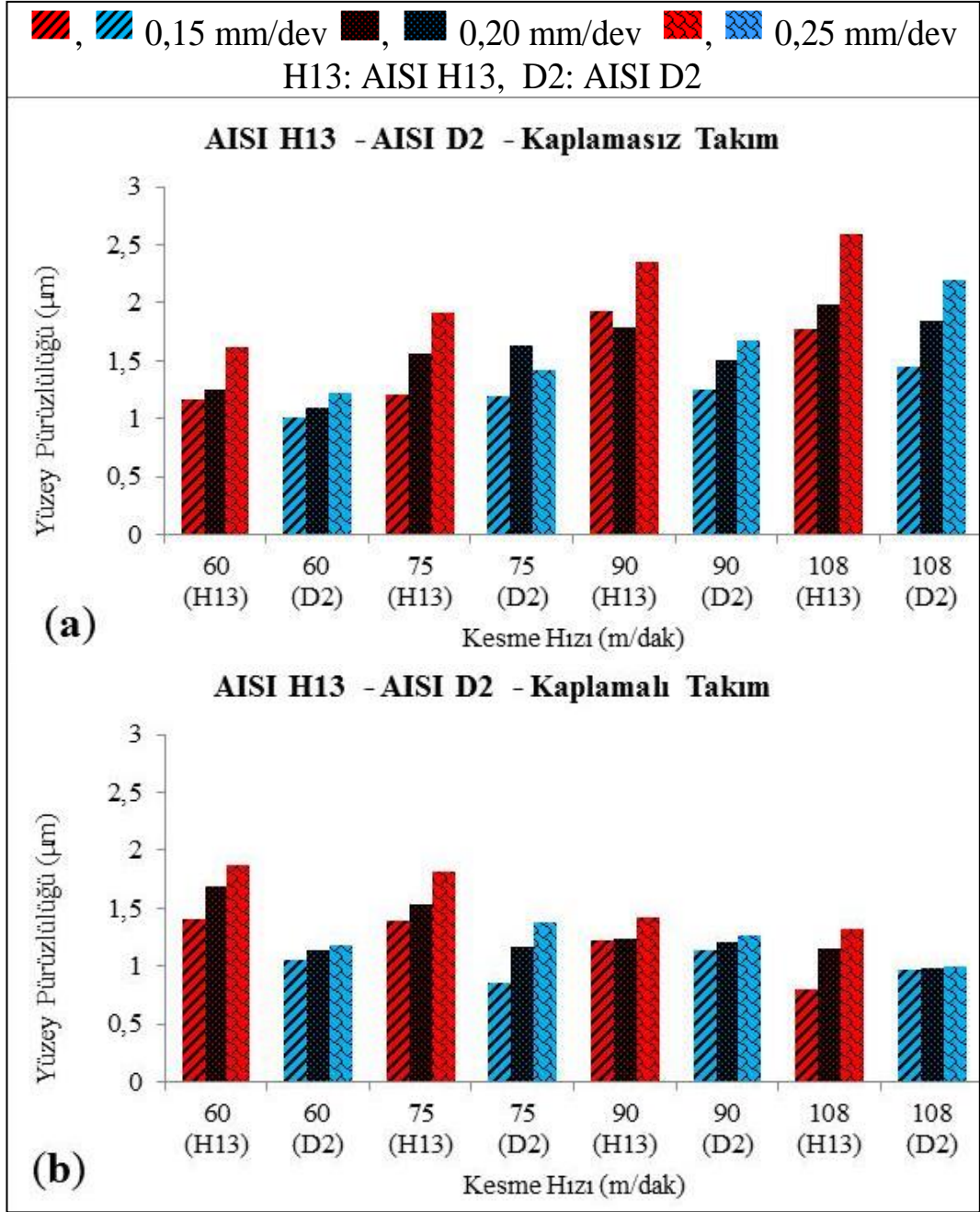
AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamalı matkaplarla delinmesi sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının artmasıyla birlikte AISI H13 çeliği için net bir azalma gösterirken, AISI D2 çeliği için bu eğilimler daha az olmuştur. Bu durum; kesme hızı artışının kesme kuvvetlerinde azalmaya neden olması ve kesme hızı artışının matkap kesici kenarlarında oluşan BUE (yığıntı talaş) oluşumunu azaltmasına atfedilebilir [77]. Düşük kesme hızında matkap kesici kenarında oluşan BUE kararsız bir yapıda olduğu için yüzey pürüzlülük değerini artırmıştır. Fakat kesme hızının artmasıyla birlikte artan sıcaklık BUE oluşumunu yumuşatarak talaşla birlikte matkap kesici kenarından uzaklaşmasını sağlamıştır. BUE oluşumunun olmadığı veya çok az olduğu matkap kesici kenarlarının daha iyi bir yüzey oluşturacağı dikkate alındığında kesme hızının artmasıyla birlikte daha iyi yüzey kalitesinin elde edilmesi beklenen bir durumdur. Ayrıca kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen delik kalitesinin kaplamasız matkaplarla elde edilen delik kalitesinden daha iyi olması, kaplamalı matkabın talaş kaldırma sürecinde kararlı bir şekilde talaş kaldırarak, talaşın delik cidarlarına daha düşük sürtünmeyle daha hızlı tahliyesi ve buna bağlı olarak da talaşın delik cidarına daha az süre temas etmesiyle açıklanabilir. Örneğin AISI H13 malzemesinin kaplama matkaplarla delinmesi sonrası 0,25 mm/dev ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğü 1,872 μm iken, kesme hızının 75 m/dak olmasıyla 1,817 μm olmuştur. Kesme hızının 90 m/dak olduğunda 1,424 μm olan yüzey pürüzlülüğü kesme hızının 108 m/dak çıktığında ise 1,318 μm olmuştur. Kesme hızının artışıyla birlikte genelde daha iyi delik kalitesi elde edilmiştir.

AISI D2 malzemesi için de benzer durum söz konusudur (Bkz. Şekil 5.9). AISI D2 malzemesinin kaplamalı matkaplarla delinmesi sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğü; yine aynı ilerleme miktarı için kesme hızı 60 m/dak olduğunda yüzey pürüzlülüğü 1,184 μm iken kesme hızının 75 m/dak olmasıyla yüzey pürüzlülük değeri 1,376 μm çıkmıştır. Fakat kesme hızının 90 m/dak olduğunda yüzey pürüzlülüğü 1,261 μm 'ye, kesme hızının 108 m/dak olduğunda ise 0,990 μm 'ye

inmiştir. Kesme hızı artışıyla birlikte yüzey kalitesinde genelde, az da olsa, iyileşme olmuştur. Bu durum; kesme hızının artmasıyla birlikte delik kalitesindeki iyileşmenin az olması kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde talaş yapışmalarının olmasıyla açıklanabilir (Bkz. Şekil 5.5). Çünkü kesme hızı artışının sıcaklığı artırması ve malzemenin 200 °C'den sonra sertliğini kaybetmesi nedeniyle sünekliğinin artması ve oluşan talaşın yapışmalı talaş olması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir.

5.4.3. Malzeme Özelliklerine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü

AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 5.10'daki grafiklerde verilmiştir. Şekil 5.10.a ve Şekil 5.10.b'deki grafikler incelendiğinde, AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi sonrası elde edilen delik kalitesinin genelde AISI H13 çeliğinde daha kötü olduğu görülmektedir. Bu durum; AISI H13 çeliğinin delinmesi esnasında elde edilen kesme kuvvetlerinin AISI D2 çeliğinin delinmesi esnasında elde edilenlerden daha fazla olmasıyla açıklanabilir. AISI H13 çeliğinin AISI D2 çeliğine göre daha yumuşak ve daha sünek olması, AISI H13 çeliğinin yapısında AISI D2 çeliğine göre daha az miktarlarda karbon ve sülfür bulunması (Bkz. Çizelge 4.1) talaş kaldırma esnasında AISI H13 çeliğinin BUE oluşumuna daha çok meyilli olduğuna işaret etmektedir. Bu nedenle hem kesme kuvvetlerinin büyüklüğü hem de oluşan talaş formlarından dolayı AISI H13 çeliğinin delik yüzey kalitesinin AISI D2 çeliğinden daha kötü olması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5.10. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin karşılaştırılması. a) Kaplamasız takımların oluşturduğu yüzey pürüzlülüğü, b) Kaplamalı takımların oluşturduğu yüzey pürüzlülüğü.

5.5. ÖLÇÜ TAMLIĞI VE DAİRESELLİKTEN SAPMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

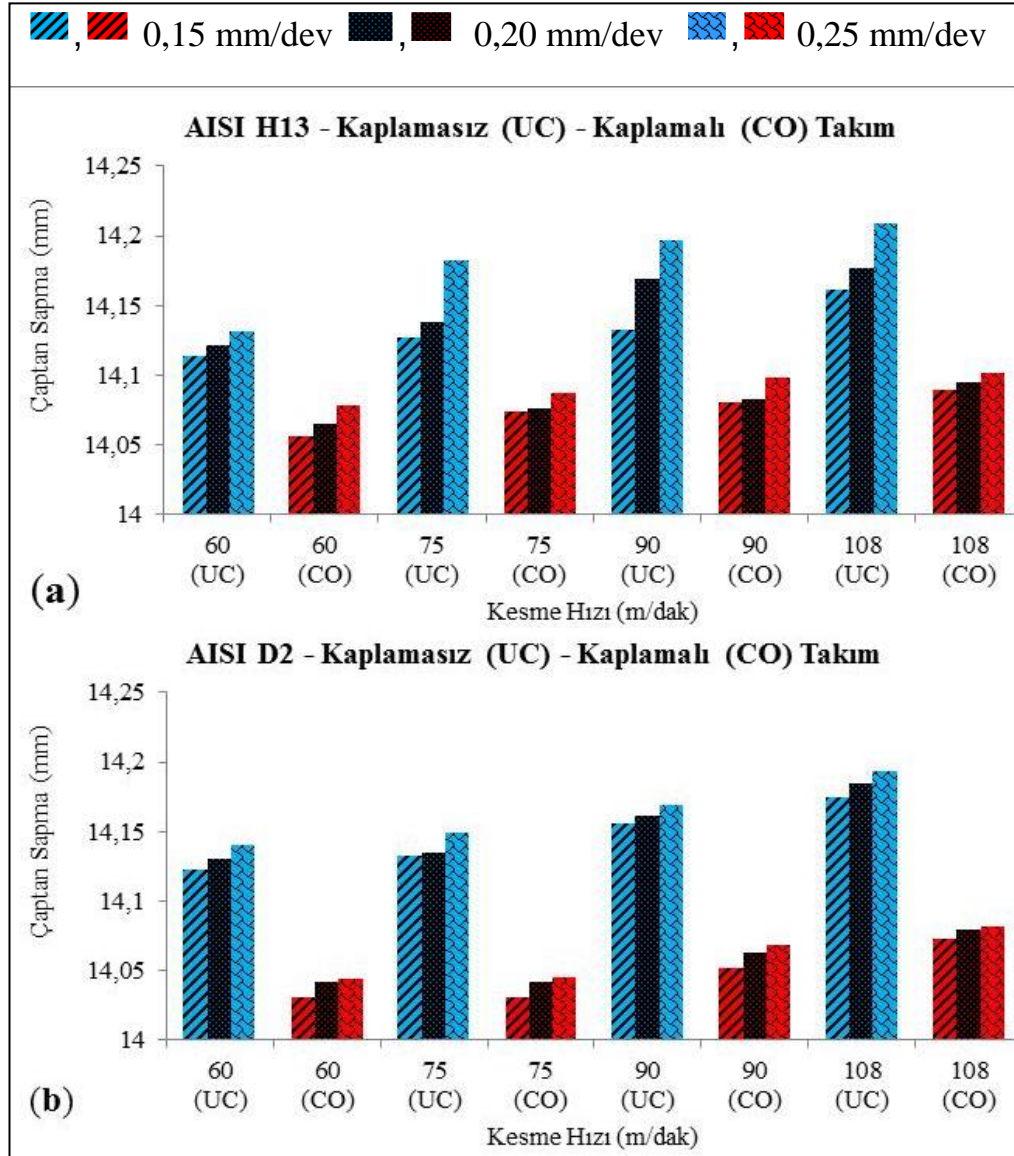
Delik delme işleminde genellikle ikinci bir işleme gereksinim duyulmadan istenilen tolerans değerleri arasında delik kalitesini yakalamak zordur. Çoğunlukla delik

büyütme ve raybalama işlemi olarak uygulanan bu ikinci işlemler zaman ve maliyet kayıplarına sebep olmaktadır. Bu nedenle ikinci bir işleme gerek kalmaksızın tek seferde istenilen kalitede delik üretmek çok önemlidir. Bunun için işlenecek malzemeye göre matkap ve matkap uç açısı iyi tespit edilmelidir. Örneğin çok büyük seçilen uç açısı, matkabın eksenden kaçmasına ve delinecek deliğin matkap çapından daha büyük olmasına yol açar. Uç açısının küçük seçilmesi durumunda ise; iyi merkezleme ve ölçü hassasiyeti sağlanır, fakat delik çevresinde yüksek sürtünmeden dolayı matkapta hızlı aşınma olur [10].

Yekpare matkaplarla delinen deliklerde elde edilen çap, genellikle anma çapından büyük olmaktadır. İşlem sonrası delik anma çapının büyük olması genelde delik delme işleminin uygulama biçimi (dönen matkap-sabit iş parçası veya sabit matkap-dönen iş parçası), kullanılan bağlama araçlarının kararlılığı, rijitliği, takım tezgahının genel durumu ve özellikle de matkap kesici ağızlarının durumu (doğru takım geometrisinin temini) deliğin ölçü tamlığı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Tüm bu faktörlerin yanında kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi parametreler de deliğin ölçü tamlığının sağlanmasında etkili faktörlerdir. Aşırı yüksek kesme hızları; matkabın hızlı aşınmasına ve kesme kenarlarında plastik deformasyona neden olduğundan, düşük delik kalitesi ve tolerans dışı ölçülere sebebiyet vermektedir. Çok düşük kesme hızları ise; matkap üzerinde yığıntı talaş oluşumuna ve talaş tahliyesi esnasında problemlerin yaşanmasına yol açar. İlerleme miktarı talaş oluşumu için belirleyici faktördür ve matkapta mekanik ve ısı gerilmelere yol açar. Yüksek ilerleme miktarı; kontrollü talaş tahliyesi ve daha düşük kesme süresi gibi avantajlarının yanında, daha yüksek matkap kırılma riski, kötü delik kalitesi gibi olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Düşük ilerleme miktarı ise; daha uzun talaş oluşumu, daha iyi delik kalitesi sağlarken, takım aşınmasında daha hızlı artışa ve kesme süresinin uzamasına neden olur. Dolayısıyla kesme parametrelerinin doğru seçilmesi daha iyi delik kalitesini yakalamak için oldukça önemlidir.

5.5.1. Ölçü Tamlığı (Çaptan Sapma)

AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi sonrasında elde edilen çaptan sapma verileri grafiklere dönüştürülerek Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Malzeme cinsi, kaplama uygulaması ve kesme parametrelerine bağlı olarak değişen çapta sapma. a) AISI H13 için çaptan sapma, b) AISI D2 için çaptan sapma.

Şekil 5.11.a ve Şekil 5.11.b’deki grafikler incelendiğinde, bütün deney sonuçlarında ilerleme miktarının artışıyla birlikte çaptan sapma değerleri de artmıştır. Bu durumu;

ilerleme miktarının artmasıyla birlikte kaldırılan talaş hacminin artarak kesme kuvvetlerinin de artışına yol açmasıyla açıklanabilir. İlerleme miktarındaki artışla birlikte matkap, delik eksenini boyunca daha hızlı ilerleyerek birim zamanda daha fazla hacimde talaş kaldırmıştır. Birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasıyla talaşı iş parçasından koparmak için daha fazla kuvvet harcanmıştır. İlerleme miktarı artışıyla matkaba etki eden kesme kuvvetlerinin artması delik delme sürecinde matkap ekseninin delik ekseninden daha fazla sapmasına yol açmıştır.

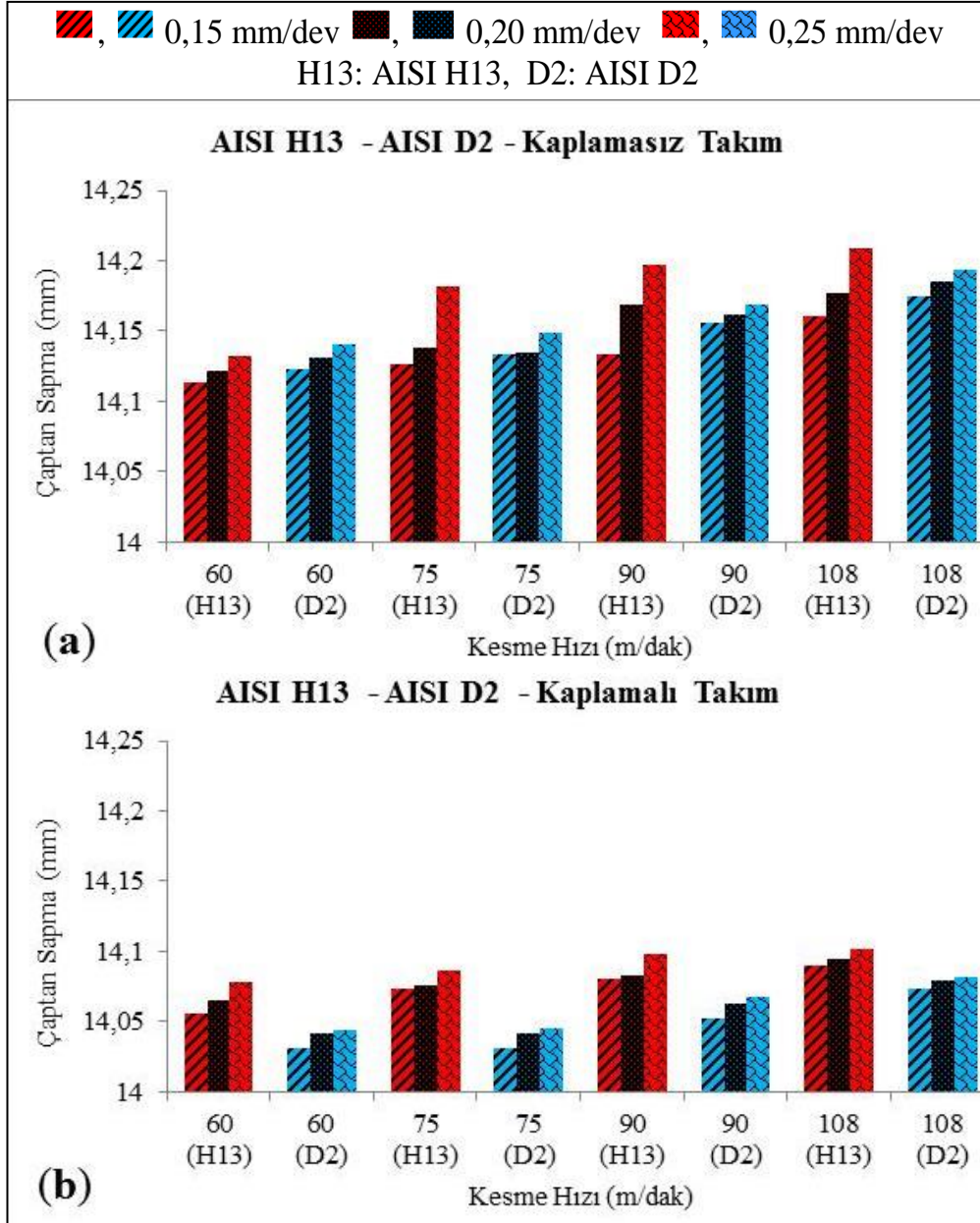
AISI H13 ve AISI D2 çelikleri, kaplamasız ve kaplamalı matkapların her ikisiyle de yapılan işlemlerde kesme hızı artışı çaptan sapma değerlerinin artışına yol açmıştır. Bu durum; kesme hızının artışıyla birlikte tezgah-takım titreşiminin artması sonucu matkap ekseninin delik ekseninden daha çok sapmasıyla açıklanabilir. Bu nedenle kesme hızı artışıyla birlikte hem kaplamasız hem de kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde çaptan sapma değerlerindeki artış beklenen bir durumdur.

Kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen çaptan sapma değerleri kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen değerlerden daha fazla olmuştur. Bu durum; kesme hızı artışıyla birlikte kaplamasız matkaplarda aşınmanın hızlanması sonucu kaplamasız matkabın merkezleme özelliğinin daha da kötüleşmesine atfedilebilir. Kesme hızı artışına paralel matkap enine kesici kenarı ve çevresinde artan aşınmadan dolayı ilerleme kuvveti artışına neden olmuş ve matkabın merkezleme özelliği azalmıştır. Matkabın merkezleme özelliğinin azalması kesme hızıyla birlikte hem artan ilerleme kuvveti hem de artan tezgah-takım titreşimi matkap ekseninin delik ekseninden daha çok sapmasına yol açmıştır. Kaplamalı matkaplarda ise matkabın kaplama malzemesi özelliğinden dolayı matkabın merkezleme özelliğinin kaplamasız matkaplara göre kesme hızı artsa bile azalmaması ve daha az ilerleme kuvveti ile talaş kaldırması kaplamalı matkabın sadece kesme hızı artışıyla birlikte artan titreşimden etkilenmesini sağlamıştır. Ayrıca kaplamalı matkabın daha az sürtünme kuvvetiyle talaş tahliyesi ve kesme kuvvetlerinin kararlı seyri tezgah-takım titreşim genliğinin küçülmesine katkı sağlamıştır. Daha küçük titreşim genliğinin daha az çaptan sapma anlamı taşıdığı düşünülecek olursa, kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde çaptan sapma değerlerinin kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen değerlerden daha az olması beklenen bir

durumdur. Örneğin AISI H13 çeliğinin 0,15 mm/dev ilerleme miktarları ve 60 m/dak kesme hızı kombinasyonunda kaplamasız matkaplarla delinmesi sonrası çaptan sapma değerleri 0,114 mm, 75 m/dak kesme hızında 0,127 mm, 90 m/dak kesme hızında 0,133 mm olurken 108 m/dak kesme hızında ise 0,161 mm olmuştur. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde ise aynı ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızında çaptan sapma değerleri 0,056 mm, 75 m/dak kesme hızında 0,074 mm, 90 m/dak kesme hızında 0,081 mm olurken 108 m/dak kesme hızında ise 0,090 mm olmuştur. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen çaptan sapma değerleri aynı kesme koşullarında kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen çaptan sapma değerlerinden ~% 40-50 oranında daha az olmuştur.

AISI D2 çeliğinin de işlenmesinde benzer durum söz konusudur. Kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde ilerleme miktarının 0,15 mm/dev ve kesme hızının 60 m/dak olduğu kesme kombinasyonunda çaptan sapma değeri 0,123 mm, iken kesme hızının 75 m/dak olduğunda 0,133 mm olmuştur. Kesme hızının 90 m/dak olduğunda 0,156 mm olan çaptan sapma değeri kesme hızının 108 m/dak olmasıyla 0,175 mm'ye çıkmıştır. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde ise yine aynı ilerleme miktarı için kesme hızının 60 m/dak olduğunda 0,031 mm olan çaptan sapma değeri, kesme hızının 75 m/dak olduğunda da 0,031 mm olmuştur. Kesme hızının 90 m/dak olmasıyla 0,052 mm olan çaptan sapma değeri, kesme hızının 108 m/dak olduğunda ise 0,073 mm olmuştur. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen çaptan sapma değerleri, aynı kesme koşullarında kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen çaptan sapma değerlerinden ~ % 50-75 oranında daha az olmuştur.

AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla işlenmesi sonrası elde edilen çaptan sapma değerleri grafiklere dönüştürülerek Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin çaptan sapma açısından karşılaştırılması. a) Kaplamasız takım için çaptan sapma, b) Kaplamalı takım için çaptan sapma.

Şekil 5.12'deki grafikler incelenirse, genelde AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız matkaplarla işlenmesi sonrası ölçülen çaptan sapma değerleri AISI H13 çeliğinin işlenmesinde daha fazla olsa da birbirlerine benzerlik arz etmektedir (Şekil 5.12.a). Bu durum; kaplamasız matkapların aşınmalarıyla açıklanabilir. Aşınan matkabın merkezleme özelliğinin kaybolması her iki çelik malzemenin işlenmesinde de bir birine yakın sonuçların ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Bazı kesme kombinasyonlarında AISI H13 çeliğinde çaptan sapma değerlerinin yüksek çıkması kesme kuvvetlerinin daha yüksek olmasıyla açıklanabilir. Bazı kesme kombinasyonlarında AISI D2 çeliğinden elde edilen çaptan sapma değerlerinin yüksek olması ise matkapta oluşan aşınma oranları ve biçimleri ile açıklanabilir. Çünkü AISI H13 çeliğinin kaplamasız matkapla delinmesi esnasında oluşan aşınma enine kesici kenar ve çevresine hemen hemen orantısal olarak dağılmıştır (Bkz. Şekil 5.2). Dolayısıyla matkabın merkezleme özelliği kaybolmuş, fakat kesici kenarlar aşağı yukarı birim zamanda eşit oranda talaş hacmini kaldırdığından her bir kesici kenarı etkileyen kesme kuvvetleri arasında fazla bir fark olmamıştır. Kesici kuvvetler arasında fazla fark olmamasından dolayı, matkap tezgah-takım titreşimi ile artan ilerleme kuvvetinden etkilenerek delik ekseninden daha az sapma yapmıştır. AISI H13 çeliğinin işlenmesinde elde edilen çaptan sapma değerleri AISI D2 çeliğin işlenmesinde elde edilenlerden daha fazla olması gerekirken (aşınma büyüklüğüne bağlı olarak), genelde AISI D2 çeliğinin işlenmesinde elde edilen çaptan sapma değerleri AISI H13 çeliğinin işlenmesinde elde edilenlerden daha fazla olmuştur (Şekil 5.12.a). Örneğin kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde de AISI H13 çeliği için çaptan sapma değerleri 0,114 ila 0,209 mm arasında değişirken, AISI D2 malzemesinin kaplamasız matkaplarla işlenmesi sonrası çaptan sapma değerleri 0,123 ila 0,194 mm arasında değişmiştir.

AISI D2 çeliğinin kaplamasız matkapla delinmesi esnasında enine kesici kenar ve kesici kenarlarda farklı oranlarda aşınma olması (Bkz. Şekil 5.4) kesici kenarların farklı kesme kuvvetlerde talaş kaldırmasına yol açmıştır. Bu kesme kuvveti farklılığı tezgah-takım titreşimi genliğinin daha da büyümesini sağlamış ve genelde çaptan sapma değerleri AISI H13 çeliğinde elde edilenlerden daha fazla olmuştur. AISI H13 çeliğinin 0,25 mm/dev ilerleme miktarlarında AISI D2 çeliğinde elde edilenlerde daha fazla olması ise artan ilerleme miktarıyla birlikte artan aşınmadan dolayı matkabın delik eksenini boyunca ilerlemek için aşırı zorlanması ve buna bağlı olarak matkabın delik ekseninden daha fazla saptmasıyla açıklanabilir.

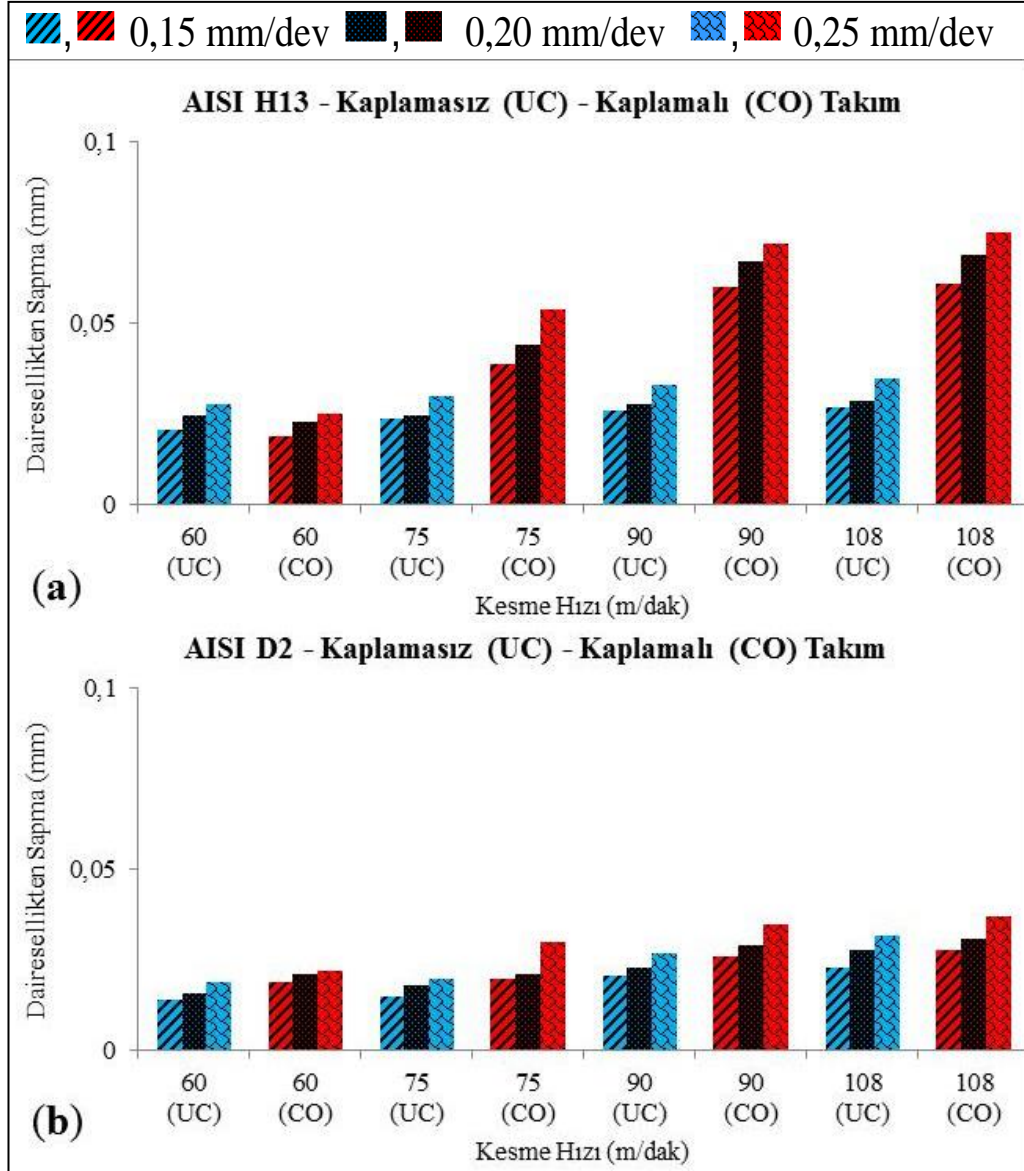
AISI H13 ve AISI D2 çeliğinin kaplamalı matkaplarla işlenmesinde ise çaptan sapma değerleri AISI H13 çeliğinin işlenmesinde daha fazla olmuştur (Bkz. Şekil 5.12.b). Bu durum; kaplamalı matkapta aşınma olmaması ve AISI H13 çeliğinin işlenmesi

esnasında oluşan kuvvetlerin AISI D2 çeliğine göre daha fazla olmasıyla açıklanabilir. Çünkü kesme kuvvetleri büyüklüğünün takım-tezgaah titreşimini artırdığı göz önüne alınırsa, AISI H13 çeliğinin işlenmesinde elde edilen çaptan sapma değerlerinin AISI D2 çeliğinden elde edilenlerden daha fazla olması normal bir sonuçtur. Örneğin AISI H13 çeliğinin kaplamalı matkapla işlenmesinde elde edilen çaptan sapma değerleri 0,056 ile 0,090 mm arasında değişirken, AISI D2 malzemesinin kaplamalı matkaplarla işlenmesi sonrası elde edilen çaptan sapma değerleri 0,031 ila 0,073 mm arasında değişmektedir. AISI D2 çeliğinin delinmesi sonrası elde edilen çaptan sapma değerleri AISI H13 çeliğine göre ~% 20-45 oranında daha az olmuştur.

5.5.2. Dairesellikten Sapma (Ovalite)

Matkaplarla delik delme işleminde dairesellikten sapma, matkabın kesici ağızlarına etki eden kuvvetlerin büyüklüğünden etkilenir. Bunun için delikler istenilen delik kalitesinin yakalanması için daha küçük talaş yüküne sahip olan raybalama işlemine tabi tutulur. Raybalama işlemi çevreye farklı açılarda dağıtılmış çok sayıdaki kesici ağza yüklerin dağılması nedeniyle daha iyi yüzey oluşturur. Bu işlem esnasında raybanın kesici ağızlarının çok küçük talaş hacmi kaldırmasından dolayı dairesellikten sapma oldukça sınırlı olur. Bu nedenle geometrik olarak daireselliğin önemli olduğu işlemlerde, matkapla elde edilmiş deliklere raybalama gibi ikincil işlemlerin uygulanması zaruri bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır [5].

AISI H13 ile AISI D2 çeliklerinin kaplamsız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi sonrasında elde edilen dairesellikten sapma değerleri grafiklere dönüştürülerek Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. AISI H13 ve AISI D2 malzemeleri için dairesellikten sapmalar. a) AISI H13 için dairesellikten sapma, b) AISI D2 için dairesellikten sapma.

Şekil 5.13.a ve Şekil 5.13.b'deki grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarı artışı bütün deney sonuçlarında dairesellikten sapma değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu durum; ilerleme miktarının artması sonucu artan talaş hacmine atfedilebilir. Çünkü delik delme işlemi esnasında takım-tezgah arasında meydana gelen titreşim matkabı da etkilemiş ve talaş kaldırma esnasında matkaba etki eden kesme kuvvetlerinin daha fazla olması takım-tezgah titreşiminin de etkisiyle matkabın eksenden sapma genliğinin (delik eksenine ile matkap eksenine arasındaki uzaklık) daha büyük olmasına yol açmıştır. Titreşim genliğinin de büyümesi matkap ekseninin

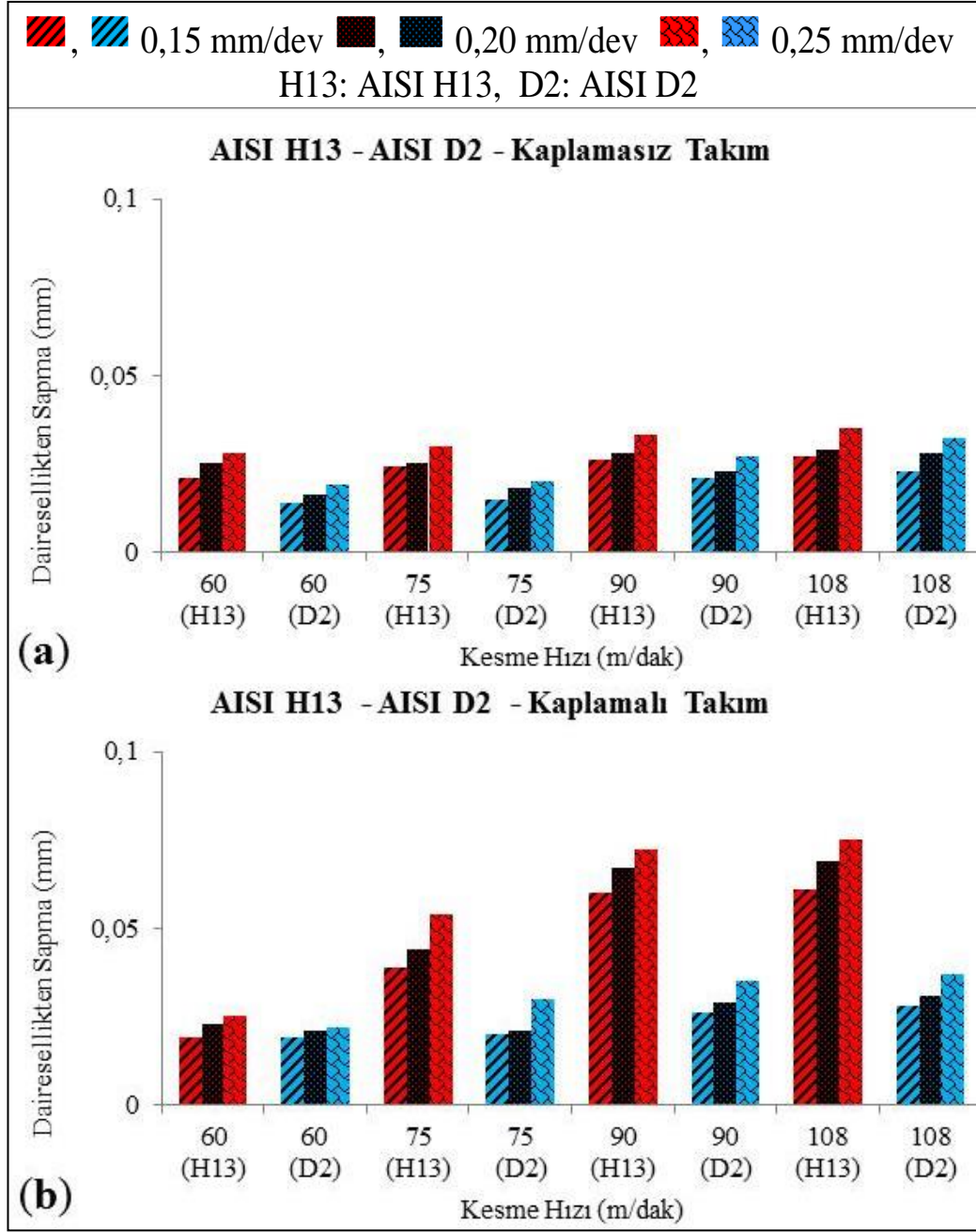
delik ekseninden daha da fazla uzaklaşmasına yol açarak çaptan sapmayla birlikte ovalitenin artmasına neden olmuştur. Tüm deney sonuçlarında kesme hızındaki artış dairesellikten sapma değerlerinde artışa sebep olmuştur. Çünkü hareketli sistemlerde dönme hızı artıkça sistem titreşiminin de arttığı bilinen bir sonuçtur. Tezgah-matkap arasında oluşan bu titreşimin kesme hızının artışına paralel arttığı düşünülecek olursa, kesme hızının artışıyla birlikte dairesellikten sapma değerlerinin artışı beklenen bir durumdur.

Kaplamsız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen deliklerin dairesellikten sapma değerlerinin kaplamalı matkaplara göre daha düşük olması, kaplamalı matkapların kesme kuvvetlerinin (teğetsel kuvvet) kaplamsız matkaplardan daha fazla olmasıyla açıklanabilir (Bkz. Şekil 5.8.b ve Şekil 5.8.e). Çünkü kaplamalı matkaplarda gözlenen yüksek teğetsel kuvvetlerin talaş kaldırma esnasında matkap-tezgah titreşimine zorlayıcı kuvvet olarak katkı sağlamasından dolayı matkap titreşim genliği artmıştır. Kesme hızı artışıyla birlikte kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde oluşan sıcaklığın çeliğin sertliğini düşürmesi ve titreşim genliğinin artmasıyla birlikte matkap ekseninin delik ekseninden kaçıklığı bu saptmaları daha da artırmıştır. Örneğin AISI H13 çeliğinin kaplamasız matkaplarla 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızı kombinasyonunda dairesellikten sapma 0,021 mm, 75 m/dak kesme hızında 0,024 mm, 90 m/dak kesme hızında 0,026 mm, kesme hızının 108 m/dak olduğunda ise dairesellikten sapma 0,027 mm olarak elde edilmiştir. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde ise yine aynı 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızında 0,019 mm olan dairesellikten sapma, kesme hızının 75 m/dak olduğunda 0,039 mm, 90 m/dak olduğunda 0,060 mm'ye çıkmıştır. Kesme hızının 108 m/dak olduğunda ise 0,061 mm çıkmıştır.

Kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen dairesellikten sapma değerleri kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen dairesellikten sapma değerlerinden ~% 40-55 daha az olmuştur. AISI D2 malzemesinin kaplamasız matkaplarda 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızı kombinasyonunda işlenmesi sonrası elde edilen dairesellikten sapma değerleri; 60 m/dak kesme hızında 0,014 mm iken, kesme hızının 75 m/dak olduğunda 0,015 mm olmuştur. Kesme hızının 90 m/dak olmasıyla dairesellikten sapma 0,021 mm, 108

m/dak kesme hızında ise 0,023 mm olmuştur. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde ise yine aynı ilerleme miktarı için kesme hızı 60 m/dak iken dairesellikten sapma 0,019 mm olmuştur. Kesme hızının 75 m/dak olduğunda 0,021 mm olan dairesellikten sapma kesme hızının 90 m/dak olduğunda 0,029 mm, kesme hızının 108 m/dak olduğunda ise 0,037 mm olmuştur. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde kaplamasız matkaplara göre, dairesellikten sapma değerlerinde ~% 35-60 oranında artış gözlenmiştir.

AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla işlenmesi sonrası elde edilen dairesellikten sapma verileri grafiklere dönüştürülerek Şekil 5.14'de bir arada verilmiştir. Şekil 5.14.a ve Şekil 5.14.b'deki grafikler incelendiğinde, AISI H13 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla işlenmesi sonrası elde edilen dairesellikten sapma değerleri AISI D2 çeliklerinin işlenmesinde elde edilen dairesellikten sapma değerlerinden daha fazla olmuştur. Bu durum; AISI H13 çeliğinin delinmesi esnasında elde edilen kesme kuvvetlerinin AISI D2 çeliğinin delinmesi esnasında elde edilen kesme kuvvetlerinden daha fazla olmasıyla açıklanabilir (Bkz. Şekil 5.8). Dolayısıyla AISI H13 çeliğinin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri matkap-tezgah titreşimini daha çok artırarak dairesellikten sapmanın da artmasına yol açmıştır. Bu nedenle AISI H13 çeliğinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi sonrası elde edilen çaptan sapma değerlerinin AISI D2 çeliğinin delinmesi sonrası elde edilen değerlerden fazla olması beklenen bir durumdur.



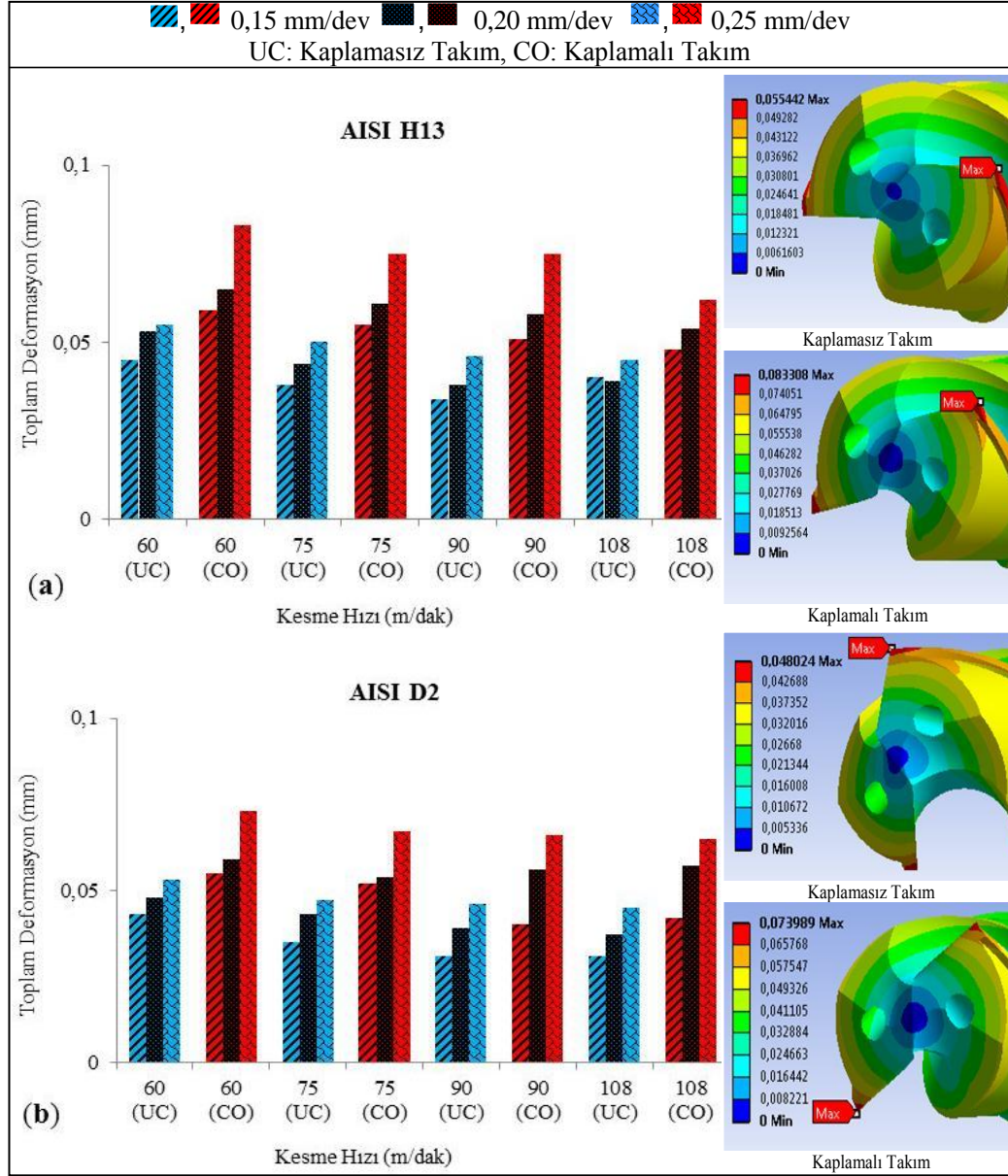
Şekil 5.14. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin dairesellikten sapma değerlerinin karşılaştırılması. a) Kaplamasız takım için dairesellikten sapma, b) Kaplamalı takım için dairesellikten sapma.

5.6. ANALİTİK ÇALIŞMALAR VE ANALİZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kesme parametrelerindeki değişime göre matkapta oluşan ve özellikle talaş yüzeyi, yardımcı yüzeyler, esas kesme kenarı, yardımcı kesme kenarı ve kesici takımdaki aşınma üzerinde etkileri bulunan toplam deformasyon (Δ), eşdeğer gerilme (von-

Mises gerilmesi, S_{EQV}), en büyük ve en küçük asal gerilme (sırasıyla S_1 ve S_3) sonuçları kullanılmıştır. AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi esnasında matkaplarda oluşan gerilme grafikleri ve analiz fotoğrafları hem AISI H13 hem de AISI D2 çelikleri için aynı şekil içerisinde verilmiştir. Grafiklerde kaplamasız matkaplar ‘‘UC’’, kaplamalı matkaplar ise ‘‘CO’’ notasyonu ile gösterilmiştir. Kesme parametrelerindeki değişime göre AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin delinmesi esnasında kaplamasız ve kaplamalı matkapta oluşan toplam deformasyon (Δ) Şekil 5.15’de verilmiştir.

Şekil 5.15.a ve Şekil 5.15.b’deki grafikler incelendiğinde, AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesi işleminde ilerleme miktarının artışı toplam deformasyonda artışa, kesme hızı artışı ise toplam deformasyonda azalmaya neden olmuştur. Hem kaplamasız hem de kaplamalı matkaplar en yüksek ilerleme miktarı ve en düşük kesme hızı kombinasyonlarında en fazla toplam deformasyona maruz kalmıştır. Bu durum; en yüksek ilerleme miktarı ve en düşük kesme hızı kombinasyonunda matkabın en yüksek kesme kuvvetiyle (Bkz. Şekil 5.7.b) malzemeden talaşı kaldırmasına atfedilebilir. Matkaplarda en yüksek deformasyon, çevresel hızının en yüksek olduğu ve momentin en üst seviyede olduğu, kesici kenarların matkap merkezinden en uzak noktasında gerçekleşmiştir. Yapılan analizlerde, toplam deformasyonun hem kaplamasız hem de kaplamalı matkaplarda en yüksek ilerleme miktarı olan 0,25 mm/dev ve en düşük kesme hızı olan 60 m/dak’da gerçekleşmesi, ayrıca ilerleme ve kesme kuvvetleri grafikleri (Bkz. Şekil 5.7) ile benzer olmaları analiz sonuçları ile deneysel sonuçların örtüşüğünü göstermektedir.



Şekil 5.15. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla yapılan toplam deformasyon analizi.

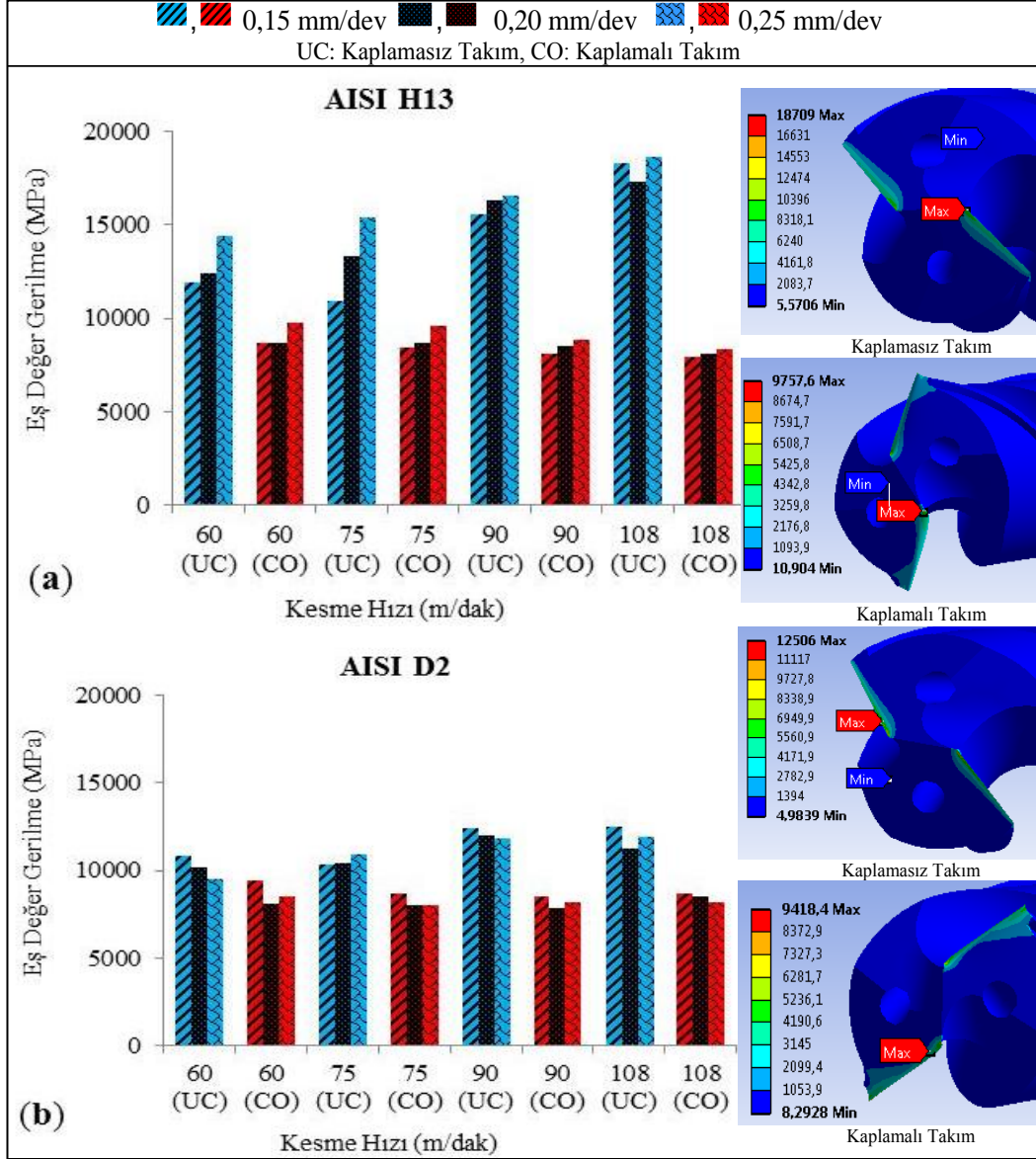
Kaplamalı matkaplarla kaplamasız matkaplar karşılaştırılırsa; AISI H13 çeliğinin delinmesi esnasında kaplamalı matkaplarda oluşan toplam deformasyon 0,25 mm/dak ilerleme miktarı ile 60 m/dak kesme hızı kombinasyonunda 0,083 mm iken, kaplamasız matkapta yine aynı kesme kombinasyonunda toplam deformasyon 0,055 mm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.15.a). Kaplamasız matkaplarda toplam deformasyon ~% 34 daha az olmuştur. Bu durum; kaplamasız matkapta oluşan aşınmaya atfedilebilir. Kaplamasız matkap aşınmadan (Bkz. Şekil 5.2) dolayı delik eksenini boyunca birim zamanda daha az mesafe kat ederek birim zamanda daha az

hacimde talaş kaldırmıştır. Bu talaş hacmini parçadan koparmak için ihtiyaç duyulan kesme kuvvetinde de gerçekleşen azalma, matkapta daha az deformasyona yol açmıştır. Dolayısıyla kaplamsız ve kaplamalı matkaplarla yapılan işlemler esnasında elde edilen kesme kuvvetleri ve moment grafikleri (Bkz. Şekil 5.7) ile analiz sonuçlarının örtüşmesi yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların doğruluğunu ispatlar niteliktedir.

AISI D2 çeliğinin delinmesi işleminde de benzer durum söz konusudur. Kaplamalı matkaplarda oluşan toplam deformasyon 0,25 mm/dak ilerleme miktarı ile 60 m/dak kesme hızı kombinasyonunda 0,073 mm iken, kaplamasız matkapta yine aynı kesme kombinasyonunda toplam deformasyon 0,053 mm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.15.b). Bu durum; kaplamalı matkabın malzemeden kopardığı talaş hacminin kaplamasız matkaba göre daha fazla olmasıyla açıklanabilir. Çünkü aşınmaya karşı yüksek dirençli olan kaplamalı matkap kaplamasız matkaplara göre delik eksenine boyunca birim zamanda daha fazla yol almasından dolayı birim zamanda kaldırılan talaş hacmi artmıştır. Matkabın kesici kenarları artan talaş hacmini iş parçasından koparmak daha fazla kesme kuvveti (Bkz. Şekil 5.7.e) harcamış ve kesme kuvvetinin artması nedeniyle kaplamalı matkap kaplamasız matkaba göre daha fazla deformasyona maruz kalmıştır.

AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin işlenmesinde matkapta oluşan eş değer gerilme (von-Mises gerilmesi) (S_{EQV}) Şekil 5.16'da verilmiştir. Şekil 5.16'daki eş değer gerilme (S_{EQV}) grafikleri ile fotoğraflar incelendiğinde, AISI H13 çeliğinin hem kaplamsız hem de kaplamalı matkaplarla işlemesi esnasında matkaplarda oluşan S_{EQV} gerilme matkapların enine kesici kenarı ve çevresinde gerçekleşmiştir. Bu durum; matkap uç bölgesinin yüksek gerilmelere maruz kalmasına atfedilebilir. Çünkü matkapta ana kesici kenarlarda ağız boyunca talaş açısı değişmektedir. Ana kesici kenarın dış köşesinde maksimum olan talaş açısı matkabın ucuna doğru azalmakta, enine kesme kenarının bulunduğu matkap merkezine yakın bölgede negatif olmaktadır. Dolayısıyla enine kesme kenarında talaş kesilerek değil ezilerek kaldırılmaktadır [12]. Bu nedenle matkap enine kesici kenarı ve çevresinde talaş açısının negatif olmasından dolayı talaşın temas alanı artmakta, çevresel hızın düşmesi sebebiyle de talaş tahliyesinin zorlaşması kesme kuvvetlerinde ve sıcaklıkta

artışa neden olmaktadır. Kesme kuvvetleri ve sıcaklıktaki artış, matkap uç bölgesinde daha fazla gerilmelere neden olmaktadır.



Şekil 5.16. Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarda oluşan eş değer gerilme analizi.

AISI H13 çeliğinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla işlenmesinde matkaplarda oluşan S_{EQV} gerilme, ilerleme miktarı artışıyla birlikte genelde artış göstermiştir. Kesme hızı artışı ise kaplamasız matkaplarda S_{EQV} gerilmenin artışına, kaplamalı matkaplarda azalmaya yol açmıştır (Şekil 5.16.a). Bu durum; artan ilerleme miktarıyla birlikte artan talaş yüküne, artan kesme hızıyla birlikte ise kaplamasız matkabın enine kesici kenarlarda artan aşınmaya atfedilebilir (Bkz. Şekil 5.2).

İlerleme miktarındaki artış, matkabın hem artan talaş hacmini parçadan koparmak için daha fazla kesme kuvveti uygulamasını hem de birim sürede daha hızlı ilerlemesi için daha fazla ilerleme kuvveti harcamasına yol açmıştır. Kesme hızı artışı da matkap enine kesici kenardaki aşınmayı artırmış ve artan bu aşınma matkabın delik eksenini boyunca ilerleyebilmesi için artan ilerleme kuvvetinin daha da artmasını sağlamıştır. Artan bu ilerleme kuvveti matkabın yüksek gerilmelere maruz kalmasına neden olmuştur. En yüksek S_{EQV} gerilmenin, en büyük ilerleme miktarı olan 0,25 mm/dev ile en yüksek kesme hızı olan 108 m/dak kesme şartlarında gerçekleşmesi bu durumu ispatlar niteliktedir.

Aynı çeliğin kaplamalı matkaplarla delinmesinde ise en yüksek S_{EQV} gerilme en büyük ilerleme miktarı olan 0,25 mm/dev ile en düşük kesme hızı olan 60 m/dak kesme şartlarında gerçekleşmiştir. Bu durum; kaplamalı matkabın aşınma direncinin yüksek olmasından dolayı normal kesme işlemini gerçekleştirmesiyle açıklanabilir. Yüksek ilerleme miktarında matkabın birim zamanda kaldırdığı talaş hacminin artması ve düşük kesme hızında talaş tahliyesinin zorlaşması, bu kesme kombinasyonunda en yüksek S_{EQV} gerilmesinin oluşmasına yol açmıştır. Örneğin AISI H13 çeliğinin kaplamasız matkaplarda delinmesinde matkapta oluşan en yüksek S_{EQV} gerilme 0,25 mm/dev ilerleme miktarı ile 108 m/dak kesme hızı kombinasyonlarında 18709 MPa iken, kaplamalı matkapta ise 0,25 mm/de ilerleme miktarı ile 60 m/dak kesme kombinasyonunda 9757 MPa olarak gerçekleşmiştir.

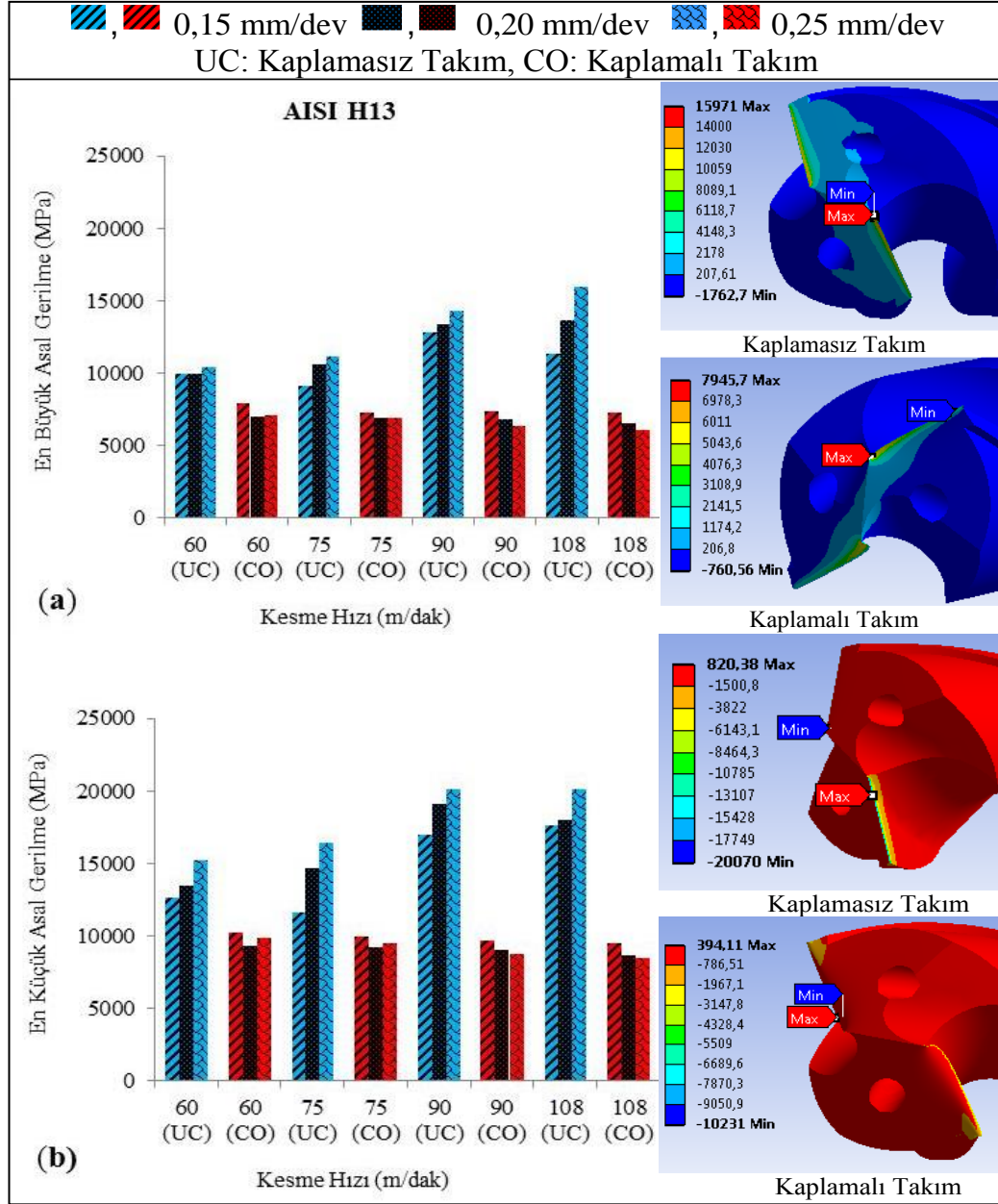
AISI D2 çeliğinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesinde, matkapta oluşan S_{EQV} gerilme, ilerleme miktarının artmasına karşılık azalma göstermiştir. Bu durum; talaş-takım-iş parçası temas süresinin uzamasına atfedilebilir. Kesme hızı artışı kaplamasız matkapta S_{EQV} gerilmenin artmasına neden olurken, kaplamalı matkapta ise azalmaya yol açmıştır (Şekil 5.16.b). Bu durum; kesme hızı artışıyla birlikte kaplamasız matkabın uç bölgesinde ve kesici kenarlarında oluşan aşınma miktarının da arttığını işaret etmektedir (Bkz. Şekil 5.4). Kaplamasız matkap en düşük ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) ve en yüksek kesme hızı (108 m/dak) kombinasyonunda talaş-takım-iş parçası temas süresinin en fazla olmasından dolayı en uzun süre sürtünmeye maruz kalmıştır. Dolayısıyla matkabın eksenine yakın bölgede daha fazla aşınma oluşmuştur. Bu aşınma nedeni ile matkap ilerlemesi için

daha fazla güç harcanmış ve daha az hacimde talaş kaldırıldığı için normalden daha uzun sürede delik delme işlemi tamamlamıştır. Matkabın daha uzun süre iş parçası ve talaşla teması bu bölgeye etki eden S_{EQV} gerilmenin daha yüksek olmasına sebep olmuştur.

Kaplamalı matkaplarda ise kesme hızı artışıyla birlikte, S_{EQV} gerilmenin azalması ve en düşük kesme hızında en yüksek olması, talaş tahliyesinin hızlanmasına bağlı olarak açıklanabilir. Artan kesme hızıyla birlikte talaşın daha hızlı tahliyesi ilerleme kuvvetinin azalmasına neden olmuştur (Bkz. Şekil 5.7). Dolayısıyla en düşük kesme hızında (60 m/dak) en büyük ilerleme kuvvetinin oluşması ve en düşük ilerleme miktarında da (0,15 mm/dev) en uzun talaş-takım-iş parçası teması, matkapta oluşan S_{EQV} gerilmenin en yüksek olmasına sebep olmuştur. S_{EQV} gerilmenin çevresel hızın en düşük olduğu ve talaş tahliyesinin en zor olduğu matkap merkezine yakın bölgede en fazla değerde olması, talaş tahliyesinin önemine işaret etmektedir. Kesme hızı artışıyla birlikte S_{EQV} gerilme de ki azalma, kesme hızının etkili bir parametre olduğunu göstermektedir.

AISI H13 çeliğinin işlenmesinde matkaplarda oluşan S_{EQV} gerilme, AISI D2 çeliğinin işlenmesinde olduğundan daha fazla olmuştur (Bkz Şekil 5.16.a ve Şekil 5.16.b). Bu durum; malzemelerin metalürjik özelliklerine atfedilebilir. Çünkü AISI H13 çeliğinin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin AISI D2 çeliğinin işlenmesinde olduğundan daha büyüktür. Bu kuvvet büyüklüğü AISI H13 çeliğinin işlenmesinde, matkabın daha fazla S_{EQV} gerilmeye maruz kalmasını sağlamıştır.

AISI H13 çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla işlenmesi esnasında matkaplarda oluşan en büyük asal gerilme (çekme gerilmesi (S_1)) ve en küçük asal gerilme (basma gerilmesi (S_3)) grafikleri ve fotoğrafları Şekil 5.17'de verilmiştir.



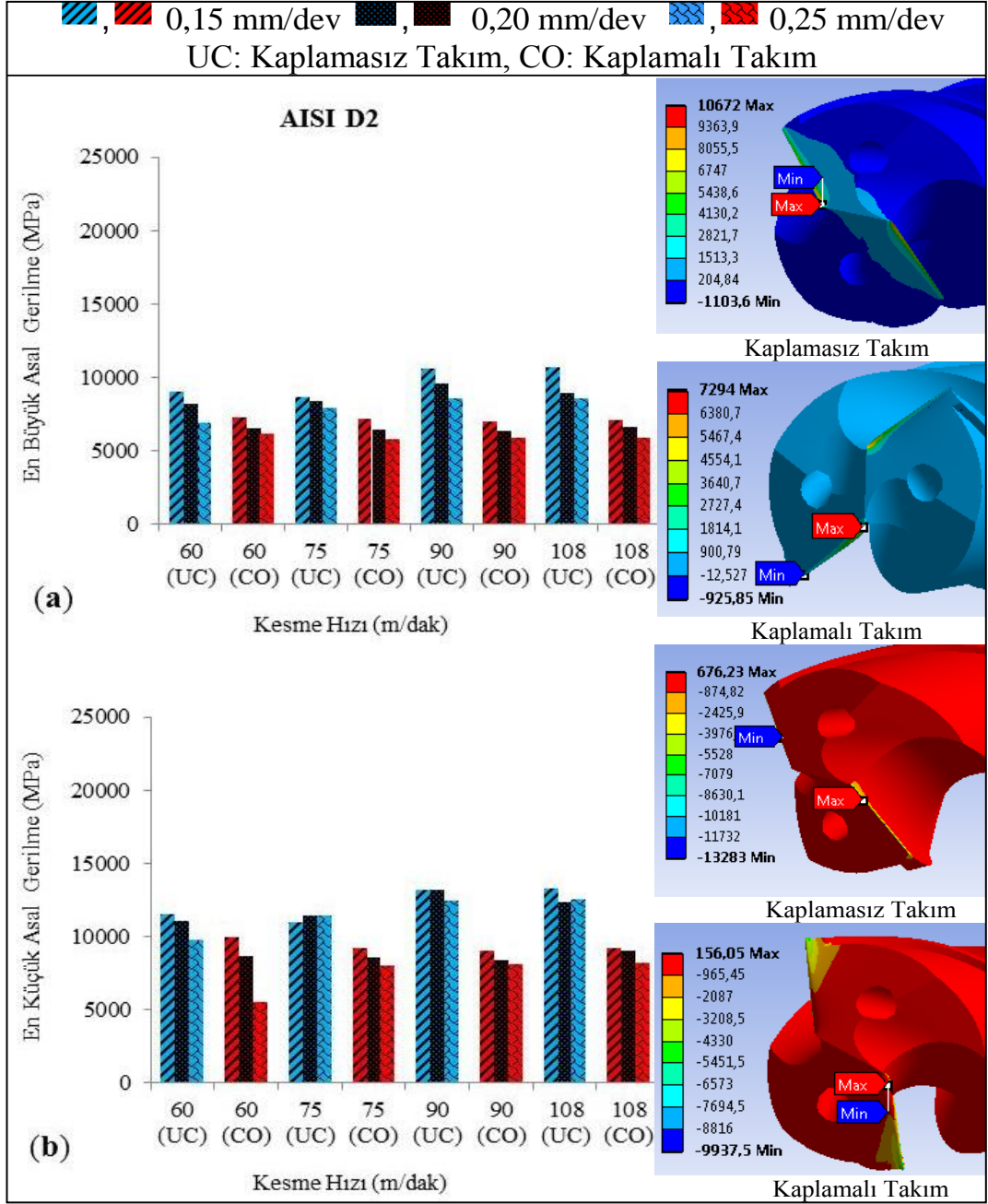
Şekil 5.17. AISI H13 için en büyük ve en küçük asal gerilmelerin karşılaştırılması.

Şekil 5.17'deki grafikler ve fotoğraflar incelendiğinde, AISI H13 çeliğinin kaplamasız matkaplarla delinmesi işleminde S_1 ile S_3 gerilmeleri, ilerleme miktarı ve kesme hızı artışıyla birlikte artış göstermiştir. Bu durum; ilerleme miktarının artmasıyla artan kesme kuvvetlerine, kesme hızı artışıyla birlikte artan aşınmaya atfedilebilir. İlerleme miktarı artışı nedeniyle, matkap daha hızlı ilerlemek için daha fazla ilerleme kuvveti, artan talaş hacmini de koparmak için daha fazla kesme kuvveti uygulamıştır. Kesme hızı artışıyla matkap uç bölgesinde artan aşınma (Bkz. Şekil 5.2) bu ilerleme kuvvetinin daha da artmasına neden olmuştur. Artan bu

kuvvetler matkabın uç bölgesinde S_1 ve S_3 gerilmelerinin artışına neden olmuştur. Deneysel çalışmada elde edilen kesme kuvvetler (Bkz. Şekil 5.7) ile analiz sonuçlarının örtüşmesi ve en yüksek S_1 ve S_3 gerilmelerinin 0,25 mm/dev ilerleme miktarı ve 108 m/dak kesme hızı kombinasyonunda olması bu durumu ispatlar niteliktedir. Analiz sonucu modellerden elde edilen görüntülerde S_1 ve S_3 gerilmelerinin matkap enine kesici kenarı ve çevresinde olması ve deneysel çalışmada matkaplardan alınan görüntülerde (Şekil 5.2) aşınmanın bu bölgede olması deneysel çalışmanın analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca S_3 gerilmesinin (20070 MPa) S_1 gerilmesine (15971 MPa) göre daha fazla olması, matkapta basma gerilmesinin daha etkin rol oynadığına işaret etmektedir. Örneğin 0,25 mm/dev ilerleme miktarı ile 60 m/dak kesme hızı kombinasyonunda S_1 gerilmesi 10392 MPa iken kesme hızının 108 m/dak olduğunda ~% 54 oranında artarak 15971 MPa olmuştur. Aynı kesme şartlarında (0,25 mm/dev ile 60 m/dak) S_3 gerilmesi ise 15177 MPa iken kesme hızının 108 m/dak olduğunda ~% 32 oranında artarak 20070 MPa olmuştur. Kesme hızının artışıyla birlikte S_1 ve S_3 gerilmeleri artmıştır.

AISI H13 çeliğinin kaplamalı matkaplarla delinmesinde S_1 ve S_3 gerilmeleri ilerleme miktarı ve kesme hızı artışına karşılık azalma göstermiştir. Bu durum; düşük ilerleme miktarından dolayı talaş temas süresinin uzamasına, düşük kesme hızından dolayı ise talaş tahliyesinin zorlaşmasına atfedilebilir. Kaplamalı matkabın yüksek aşınma direnci ve düşük sürtünme katsayısı sayesinde talaşın daha az sürtünme kuvvetiyle tahliyesi artan kesme hızıyla birlikte talaş tahliyesini kolaylaştırmıştır. Kesme hız artışına rağmen matkapta aşınma olmaması (Bkz. Şekil 5.3) ve talaş tahliyesinin kolay olması matkaba etki eden kuvvetlerde azalmaya (Bkz. Şekil 5.7) ve buna bağlı olarak ta S_1 ve S_3 gerilmelerinin de azalmasına neden olmuştur.

AISI D2 çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla işlenmesi esnasında matkaplarda oluşan S_1 ve S_3 gerilmeleri grafikleri ve fotoğrafları Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18. AISI D2 için en büyük asal gerilme ile en küçük asal gerilmelerin karşılaştırılması.

Şekil 5.18'deki grafikler incelendiğinde, AISI D2 çeliğinin delinmesinde matkaplarda oluşan S_1 ve S_3 gerilmeleri hem kaplamasız hem de kaplamalı matkaplarda ilerleme miktarının artmasına karşılık azalma göstermiştir. Bu durum; düşük ilerleme miktarı nedeniyle daha uzun süre takım-talaş temasının her iki tür matkapta da oluşan gerilmelerin artırmasına atfedilebilir. Kaplamasız matkaplarda kesme hızı artışıyla birlikte S_1 ve S_3 gerilmelerinin artması ve en yüksek kesme hızı

(108 m/dak) ile en düşük ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) kombinasyonunda gerilmelerinin en yüksek değerde olması, kesme hızıyla birlikte matkaplarda oluşan aşınmayla açıklanabilir (Bkz. Şekil 5.4). Kaplamasız matkabın uç bölgesi artan kesme hızı artışıyla ve düşük ilerlemeden dolayı talaş-takım temas süresini artırmış ve matkap daha çok gerilmelere maruz kalmıştır. Örneğin 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile 60 m/dak kesme hızı kombinasyonunda 8993 MPa olan S_1 gerilmesi, kesme hızının 108 m/dak olduğunda ~% 20 artarak 10672 MPa olmuştur. Yine aynı kesme şartlarında (0,15 mm/dev ve 60 m/dak) S_3 gerilmesi 11491 MPa iken kesme hızının 108 m/dak olduğu kombinasyonda ~% 15 oranında artarak 13283 MPa olmuştur. S_1 ve S_3 gerilmelerinin artışında kesme hızı artışı etkili olmuştur. S_1 ve S_3 gerilmeleri açısından bakıldığında ise; S_3 gerilmesinin S_1 gerilmesine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum; matkapta basma gerilmesinin daha etkin rol oynadığına işaret etmektedir.

Kaplamalı matkaplarda oluşan gerilme analizi neticesinde en yüksek S_1 ve S_3 gerilmeleri, en düşük ilerleme miktarı olan 0,15 mm/dev ile en düşük kesme hızı olan 60 m/dak kesme hızı kombinasyonunda oluşmuştur. Bu durum; düşük ilerleme miktarından dolayı talaş-takım temas süresi uzamasıyla ve en düşük kesme hızında ise talaş tahliyesi zorlaşmasıyla açıklanabilir. Kesme hızı artışıyla birlikte S_1 ve S_3 gerilmelerinde gözlemlenen azalma ise kaplamalı matkabın hem aşınmaya karşı yüksek dirençli olması hem de düşük sürtünme katsayısı sayesinde talaş tahliyesinin daha az sürtünme kuvvetiyle olmasıyla açıklanabilir. Dolayısıyla matkaba etki eden kuvvetlerdeki azalma, S_1 ve S_3 gerilmelerinin de azalmasına yol açmıştır. Örneğin kaplamasız matkaplarda S_1 gerilmesi 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile 60 m/dak kesme hızı kombinasyonunda 7294 MPa iken, kesme hızının 108 m/dak olduğu kombinasyonunda ~% 2,5 oranında azalarak 7105 MPa olmuştur. S_3 gerilmesi de aynı kesme şartlarında (0,15 mm/dev ve 60 m/dak) 9938 MPa iken, kesme hızının 108 m/dak olduğunda ~% 8 oranında azalarak 9182 MPa olmuştur. Bu durum; kesme hızı artışının S_3 gerilmesinin azalmasında daha etkin parametre olduğunu ve S_3 gerilmesinin S_1 gerilmesinden daha fazla olması ise matkapta daha etkili gerilmenin basma gerilmesi olduğunu göstermektedir.

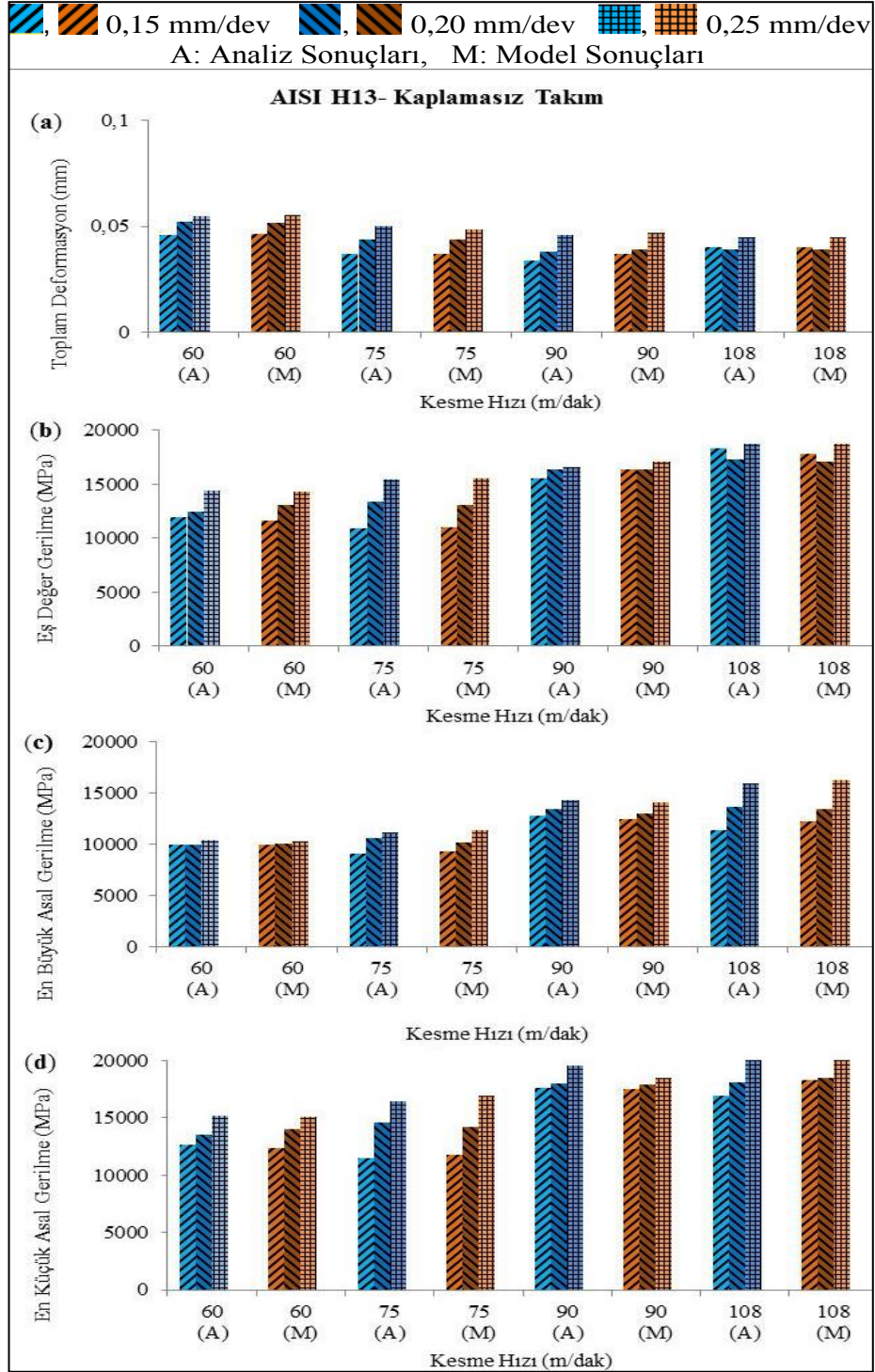
S_1 ve S_3 gerilmeleri genelde kaplamasız matkaplara göre kaplamalı matkaplarda daha az olmuştur. Bu durum; kaplamalı matkapların yüksek performans sergileme özelliğine ve buna bağlı olarak da daha düşük ilerleme kuvvetiyle delik delme işlemini gerçekleştirmesine atfedilebilir (Bkz. Şekil 5.7). AISI H13 ile AISI D2 çeliklerinin işlenmesinde matkaplarda oluşan Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri ise AISI H13 çeliğinin işlenmesinde matkaplarda oluşan gerilmeler (Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3), AISI D2 çeliğinin işlenmesinde oluşanlardan genelde daha fazla çıkmıştır. Bu durum; AISI H13 çeliğinin işlenmesi esnasında matkaba etki eden kesme kuvvetlerinin AISI D2 çeliğinin işlenmesi esnasında matkaba etki edenlerden daha fazla olmasıyla açıklanabilir (Bkz. Şekil 5.8). Sonuç olarak, kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla hem AISI H13 hem de AISI D2 çeliklerinin delinmesi işlemi esnasında elde edilen veriler ile bu matkaplara ait yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırılması neticesinde; deney sonuçları ile analiz sonuçlarının örtüştüğü görülmektedir.

5.7. KESİCİ TAKIM MODEL SONUÇLARI

Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla AISI H13 ile AISI D2 çeliğinin delinmesi esnasında oluşan ilerleme kuvveti, kesme kuvveti, moment ve ilerleme miktarı verileri baz alınarak yapılan analiz çalışması yapılmıştır. Daha sonra matematiksel modelleme yapılmıştır. Modelleme sürecinde Eş. 4.1’de belirtilen m , n , p ve q üs değerleri ile c sabitleri, Eş. 4.5’in her matkap tipi için çözülmesiyle belirlenmiştir. Grafiklerde analiz sonuçları A (analiz) notasyonu ile model sonuçları ise M (model) notasyonu ile gösterilmiştir. Model çalışması sonrası elde edilen RMS değerinin sıfıra yaklaşması modelin uygulanabilirlik başarısını, R^2 değerinin 1’e yaklaşması analiz sonuçları ile model sonuçlarının uyumluluk oranını, $MAPE$ ise oluşturulan modelin yüzde olarak hata payını ifade etmektedir. AISI H13 çeliğinin işlenmesinde elde edilen analiz sonuçları ile model sonuçları, kaplamasız matkaplar için Şekil 5.19’deki grafiklerde, hesaplanan model sabitleri ve üs değerleri ile diğer istatistiksel değerlendirme bilgileri (MSE , RMS , R^2 , $\% e_{max}$, $MAPE$) Çizelge 5.1 verilmiştir.

Şekil 5.19’deki grafikler incelendiğinde, AISI H13 çeliği ile kaplamasız matkaplarda oluşan Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilme analiz grafikleri ile model grafiklerinin birbirlerine yakın benzerlik arz ettiği görülmektedir. Hem analiz sonuçları hem de model

sonuçlarında Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri ilerleme miktarı artışıyla artmıştır. Bu durum; artan ilerleme miktarıyla birlikte artan kesme kuvvetlerine atfedilebilir. Kesme hızı artışı ise Δ 'nın azalışına, S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmelerinin artmasına neden olmuştur.



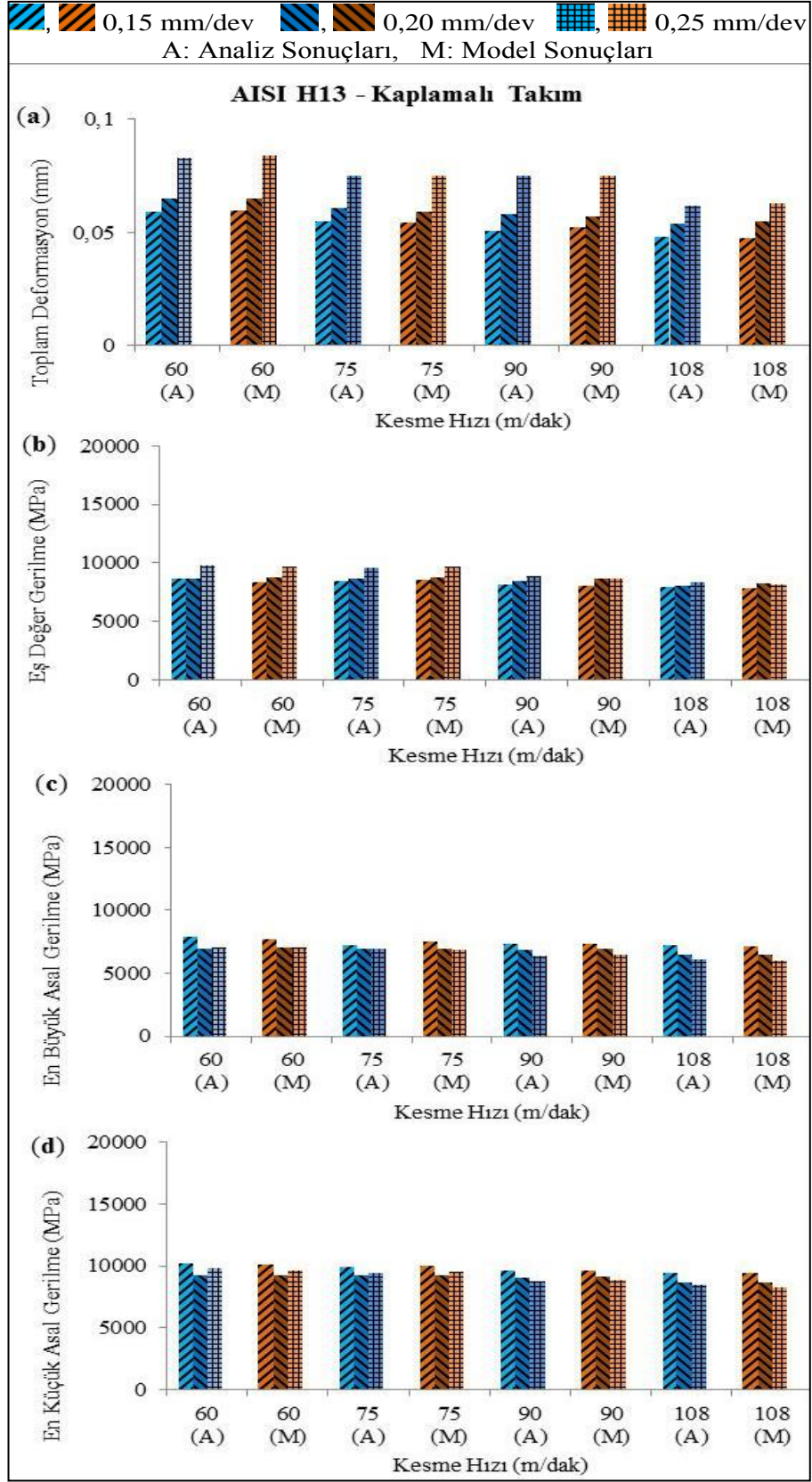
Şekil 5.19. Analiz ve model sonuçlarının karşılaştırılması.

Çizelge 5.1. AISI H13 - kaplamasız matkaplar için hesaplanan model sabitleri ve diğer istatistiksel değerlendirme bilgileri.

$R_i = c \cdot F_z^m \cdot F_c^n \cdot M_z^p \cdot f^q$				
	Δ	S_{EQV}	S_1	S_3
$c =$	1,71096E-12	4,0268E-05	5,561E-06	0,000597506
$m =$	0,274645753	1,598002143	1,700997709	1,604263524
$n =$	-1,44008330	0,697745668	0,947087534	1,340930844
$p =$	2,988161639	-0,25438118	-0,170657965	-0,697763749
$q =$	-0,90033051	-1,307563333	-1,767901237	-1,255542399
$MSE =$	2,369E-06	430112,3679	178314,2434	465864,6525
$RMS =$	0,000153922	255,8295266	422,2727121	282,5427844
$R^2 =$	0,967779099	0,977313104	0,956042616	0,984644811
$\% e_{max} =$	1,065	1,842	2,829	1,624
$MAPE =$	0,997916667	1,770666667	2,599	1,098

Çizelge 5.1'deki AISI H13 çeliğinin işlenmesinde kaplamasız matkaplar için yapılan modelleme sonucu elde edilen veriler incelendiğinde, RMS değerinin Δ için sıfıra yaklaşması ($RMS = 0,000153922$) ve R^2 belirlilik katsayısının 1'e yaklaşması ($R^2=0,96$) model sonuçlarının analiz sonuçlarına uyumlu olduğunu göstermektedir. Model hata payının % 0,99 ($MAPE=0,9979$) olması ise modelin uygulanabilirliğinin oldukça yüksek olduğuna işaret etmektedir. S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri içinde benzer durum söz konusudur. S_{EQV} için R^2 belirlilik katsayısının 0,97 olmuş, model hata payı ($MAPE$) ise 1,77 olmuştur. S_1 için R^2 'nin 0,95, $MAPE$ 'nin 2,59 ve S_3 için R^2 'nin 0,98, $MAPE$ 'nin 1,09 olması; R^2 'nin 1'e yaklaşması modelin analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğunu, $MAPE$ 'nin ise % 0,98-2,59 arasında kalması modelin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

AISI H13 çeliğinin kaplamalı matkaplarla işlenmesi esnasında oluşan gerilmelerin analiz grafikleri ile modelleme grafikleri Şekil 5.20'de, hesaplanan model sabitleri ve üs değerleri ile diğer istatistiksel değerlendirme bilgileri (MSE , RMS , R^2 , $\% e_{max}$, $MAPE$) Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.20. Kaplamalı matkaplar için analiz ve model sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.20'deki grafikler incelendiğinde, Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri analiz grafikleri ile model grafiklerinin benzer oldukları görülmektedir. Hem analiz sonuçları hem de model sonuçlarında Δ ile S_{EQV} gerilme ilerleme miktarı artışıyla birlikte artarken S_1 ve S_3 gerilmeleri azalmıştır. Bu durum; ilerleme miktarının artmasıyla birlikte artan talaş yükünün Δ ile S_{EQV} gerilmesinin artışında daha etkili olduğuyla, S_1 ve S_3 gerilmelerinin azalması ise ilerleme miktarının artışıyla birlikte takım-talaş temas süresinin kısalmasıyla açıklanabilir. Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri kesme hızı artışına karşın azalma göstermiştir. Bu durum; kesme hızı artışının talaş tahliyesini hızlanmasına ve azalan kesme kuvvetlerine atfedilebilir. S_1 gerilmesinden S_3 gerilmesinin daha fazla olması ise matkapta daha çok basma gerilmesinin etkili olduğunu göstermektedir. Kaplamalı matkaplarda oluşan Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri için kesme hızının en önemli parametre olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2. AISI H13 - kaplamalı matkaplar için hesaplanan model sabitleri ve diğer istatistiksel değerlendirme bilgileri.

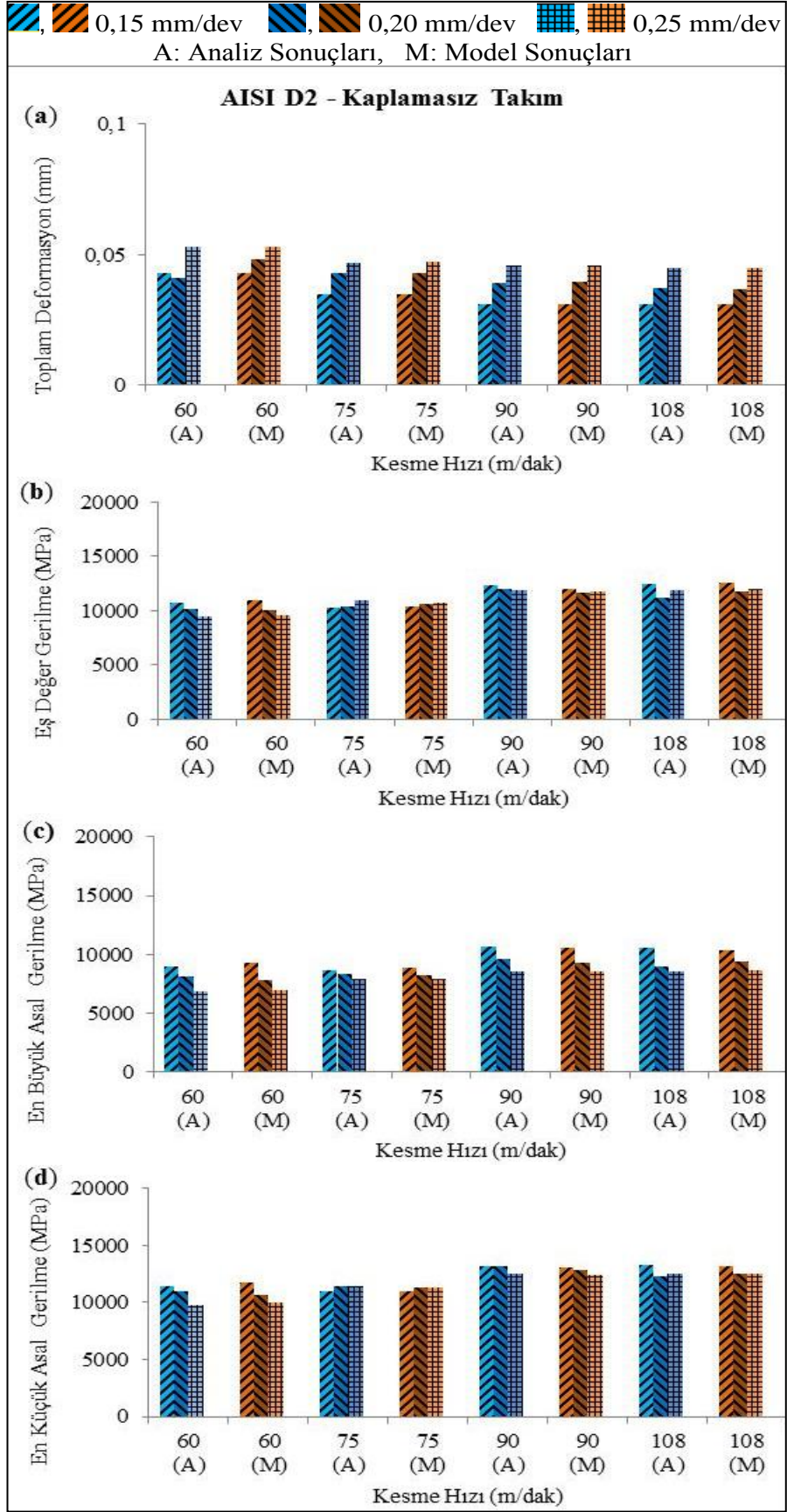
$R_i = c \cdot F_z^m \cdot F_c^n \cdot M_z^p \cdot f^q$				
	Δ	S_{EQV}	S_1	S_3
$c =$	179327,5822	17,25416037	0,008814751	0,781212591
$m =$	3,482466763	1,579398469	0,539293945	0,979618689
$n =$	9,443968382	1,300810462	-1,717051774	-0,20649420
$p =$	-10,50376331	-1,615631621	-1,717051774	-0,16701000
$q =$	-0,779748146	-0,775649081	-0,678543636	-0,69772317
$MSE =$	3,48821E-05	27456,60336	12386,34901	9900,536386
$RMS =$	0,000906109	165,7003421	111,2939756	99,50143911
$R^2 =$	0,959393309	0,980003762	0,965370165	0,963811994
$\%_{max}$	1,401	1,858	2,396	1,694
$MAPE$	0,984333333	0,728083333	1,20225	0,8565

Çizelge 5.2'deki AISI H13-kaplamalı matkaplar için yapılan modelleme sonuç verileri incelendiğinde, RMS değerinin Δ için sıfıra yaklaşması ($RMS = 0,0009061$) ve R^2 belirlilik katsayısının 1'e yaklaşması ($R^2=0,95$) model sonuçlarının analiz sonuçlarına uyumlu olduğunu, model hata payının % 0,98 ($MAPE=0,984$) olması ise modelin uygulanabilirliğinin oldukça yüksek olduğuna göstermektedir. S_{EQV} için R^2 belirlilik katsayısının 0,98, $MAPE$ 'nin ise 1,72 olması, S_1 için R^2 'nin 0,96 $MAPE$ 'nin

2,39 ve S_3 için R^2 'nin 0,96 MAPE'nin 1,6 olması; R^2 'nin 1'e yaklaşması modelin analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğunu, MAPE ise % 0,98-2,59 arasında kalması modelin uygulanabilirliğini göstermektedir.

AISI D2 çeliğinin kaplamasız matkaplarla işlenmesinde oluşan gerilmelerin analiz grafikleri ile modelleme grafikleri Şekil 5.21'de, hesaplanan model sabitleri ve üs değerleri ile diğer istatistiksel değerlendirme bilgileri (MSE , RMS , R^2 , % e_{max} , $MAPE$) Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Şekil 5.21'teki grafikleri incelendiğinde, Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri analiz grafikleri ile model grafiklerinin birbirlerine benzer olduğu görülmektedir. Hem analiz sonuçlarında hem de model sonuçlarında Δ ilerleme miktarı artışıyla artarken, kesme hızı artışına karşın azalma göstermiştir. Bu durum; matkabın merkezinden en uzak bölgesinde en yüksek seviyede olan Δ , ilerleme miktarı artışıyla artan talaş hacmini iş parçasından koparmak için daha fazla kesme kuvveti harcamasıyla, kesme hızı artışıyla azalması ise kesme hızı artışının daha az kesme kuvvetindeki azalma ve talaş tahliyesindeki hızlanmayla açıklanabilir. S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri ise ilerleme miktarı artışına karşın azalma gösterirken, kesme hızının artışıyla birlikte artış göstermiştir. Bu durum; matkap merkezine yakın bölgelerde oluşan S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmelerinin, düşük ilerleme miktarında takım-talaş temas süresinin uzun olmasıyla açıklanabilir. Bütün kesme koşullarında S_3 gerilmesinin S_1 gerilmesinden daha fazla olması ise basma gerilmesinin daha etkili olduğunu işaret etmektedir.



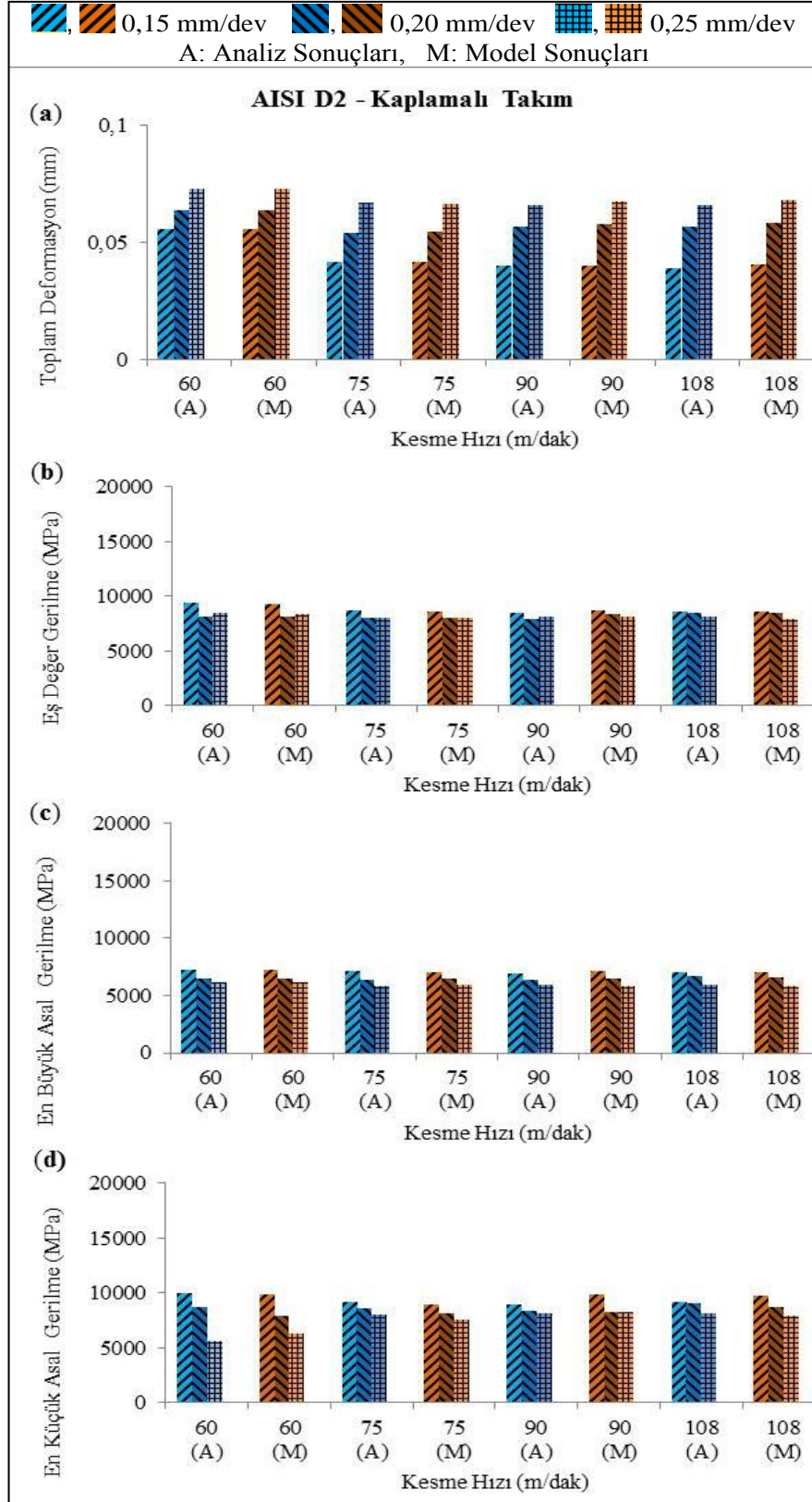
Şekil 5.21. Kaplamasız matkaplar için analiz ve model sonuçlarının karşılaştırılması.

Çizelge 5.3. AISI D2 - kaplamasız matkaplar için hesaplanan model sabitleri ve diğer istatistiksel değerlendirme bilgileri.

$R_i = c \cdot F_z^m \cdot F_c^n \cdot M_z^p \cdot f^q$				
	Δ	S_{EQV}	S_1	S_3
$c =$	3,593586757	2,94958E-14	9,94095E-09	7,29314E-07
$m =$	-0,49139154	1,388181285	1,291457595	1,386643904
$n =$	3,005827426	-5,2930077	-2,537189096	-1,09353727
$p =$	-1,90061017	6,138590117	3,122823871	1,750358489
$q =$	0,155957385	-1,18361915	-1,313205783	-1,14204014
$MSE =$	5,72767E-08	55456,56575	49524,71129	68148,93194
$RMS =$	0,000239326	235,4921777	222,5414822	261,053504
$R^2 =$	0,99870561	0,974000823	0,952301122	0,955883047
$\% e_{max}$	1,09	4,934	5,018	4,654
$MAPE =$	0,5135	1,5815	2,015333333	1,664833333

Çizelge 5.3'teki AISI D2-kaplamasız matkaplar için yapılan modelleme sonuç çıktıları incelendiğinde, RMS değerinin Δ için sıfıra yaklaşması ($RMS = 0,000239$) ve R^2 belirlilik katsayısının 1'e yaklaşması ($R^2=0,99$) model sonuçlarının analiz sonuçlarına uyumlu olduğunu işaret etmektedir. Model hata payının % 0,98 ($MAPE=0,984$) olması ise modelin uygulanabilirliğinin oldukça yüksek olduğuna göstermektedir. S_{EQV} için R^2 belirlilik katsayısının 0,97, $MAPE$ 'nin ise 1,5 olması, S_1 için R^2 'nin 0,95, $MAPE$ 'nin 2,01 ve S_3 için R^2 'nin 0,95 $MAPE$ 'nin 1,6 olması; R^2 'nin 1'e yaklaşması modelin analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğunu, $MAPE$ ise % 0,05-2 arasında kalması modelin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

AISI D2 çeliğinin kaplamalı matkaplarla işlenmesi esnasında oluşan gerilmelerin analiz grafikleri ile modelleme grafikleri Şekil 5.22'de verilmiştir. AISI D2 çeliğinin işlenmesinde kaplamalı matkaplar için hesaplanan model sabitleri ve üs değerleri ile diğer istatistiksel değerlendirme bilgileri (MSE , RMS , R^2 , $\% e_{max}$, $MAPE$) Çizelge 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.22. Kaplamalı matkaplar için analiz ve model sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.22'deki AISI D2- kaplamalı matkaplar için Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri analiz grafikleri ile model grafikleri incelendiğinde, analiz ve model grafiklerinin hemen hemen benzer oldukları görülmektedir. Hem analiz sonuçlarında hem de model sonuçlarında Δ ilerleme miktarı artışıyla artarken, kesme hızı artışına karşın azalma göstermiştir. Bu durum; matkabın merkezinden en uzak bölgesinde gerçekleşen Δ , ilerleme miktarı artışıyla artan talaş hacmini iş parçasından koparmak için daha fazla kesme kuvvetinin harcanmasıyla, kesme hızı artışıyla azalması ise talaş tahliyesindeki kolaylaşmayla açıklanabilir. S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri ilerleme miktarının artışıyla azalırken, kesme hızı artışı ise S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmelerinde kayda değer azalma veya yükselme yol açmadığı görülmektedir. Bu durum; düşük ilerleme miktarında takım-talaş temas süresinin uzamasıyla açıklanabilir. Kesme hızının artmasıyla birlikte gerilmelerde azalma olmaması, aksine çok az iniş ve çıkışların olması, matkabın aşınma bölgelerinin aşırı gerilmelere maruz kaldığını işaret etmektedir. S_3 gerilmesinin S_1 gerilmesinden fazla olması basma gerilmesinin daha etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.4. AISI D2 - Kaplamalı matkaplar için hesaplanan model sabitleri ve diğer istatistiksel değerlendirme bilgileri.

$R_i = c \cdot F_z^m \cdot F_c^n \cdot M_z^p \cdot f^q$				
	Δ	S_{EQV}	S_1	S_3
$c =$	2,04052E+25	994537,6629	2607,071231	8,35935E+27
$m =$	2,634588515	0,730532994	0,89784893	-3,534248286
$n =$	24,02485357	2,524287747	1,086996771	9,096598502
$p =$	-23,7756752	-2,744835862	-1,424127238	-8,383366058
$q =$	-0,93604826	-0,349190117	-0,55261416	0,847076564
$MSE =$	4,39731E-05	83813,66564	5931,777999	302734,1361
$RMS =$	0,000363121	289,5058991	77,01803684	550,2128099
$R^2 =$	0,979499135	0,951928101	0,976312309	0,957210223
$\%_{max} =$	2,009	3,309	2,16	3,932
$MAPE =$	1,081916667	2,862583333	1,02325	2,1065

Çizelge 5.4'deki AISI D2-kaplamalı matkaplar için yapılan modelleme verileri incelendiğinde, RMS değerinin Δ için sıfıra yaklaşması ($RMS = 0,000363$) ve R^2 belirlilik katsayısının 1'e yaklaşması ($R^2=0,97$) model sonuçlarının analiz

sonuçlarıyla uyumlu olduğunu, model hata payının % 1 (MAPE=1,08) olması ise modelin uygulanabilir olduğunu göstermektedir. S_{EQV} için R^2 belirlilik katsayısının 0,98, MAPE'nin ise 2 olması, S_1 için R^2 'nin 0,97 MAPE'nin 1 ve S_3 için R^2 'nin 0,95 MAPE'nin 2 olması; R^2 'nin 1'e yaklaşması modelin analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğunu, MAPE ise % 1-2 arasında kalması modelin uygulanabilir olduğunu işaret etmektedir.

AISI H13 ile AISI D2 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla delinmesinde matkapta oluşan Δ , S_{EQV} , S_1 ve S_3 gerilmeleri AISI H13 çeliklerinin delinmesi esnasında oluşan gerilmelerden daha fazla olmuştur. Bu durum; malzemelerin farklı yapısal özelliklerde olmasıyla açıklanabilir. Çünkü AISI H13 çeliğinin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri AISI D2 çeliğinin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerinden daha fazladır. Daha büyük kuvvetin daha fazla gerilmelere yol açacağı düşünüldüğünde, AISI H13 çeliğinin işlenmesi esnasında matkaplarda daha fazla gerilmelerin olması normal bir durumdur. Model sonuçlarının % 95 ila % 99 arasında uyumlu olması ve hata paylarının % 1-2.8 sınırları arasında kalması modelin yüksek oranda uygulanabilirliğini göstermektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

AISI H13 sıcak iş takım ve AISI D2 soğuk iş takım çeliklerin kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla işlenmesi esnasında oluşan kesme bölgesi sıcaklığına, kesme kuvvetlerine, momentlere, takım aşınmasına ve delik kalitesine (yüzey pürüzlülüğü, ölçü tamlığı, dairesellikten sapma) ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap malzemesinin etkisi araştırılmıştır. Ayrıca deneysel verilerden yararlanılarak matematiksel model geliştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin delinmesi esnasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerlerinde ilerleme miktarındaki artışa karşın azalma eğilimi gözlenmiştir. Bu durum; ilerleme miktarının artmasıyla birlikte talaş tahliye hızının artmasına, matkabın talaş ile temasta olacağı sürenin azalmasına atfedilmiştir.
- Kaplamalı matkaplarla yapılan bütün deneylerde kaplamasız matkaplarla yapılan bütün deneylerden daha yüksek kesme bölgesi sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Bu duruma kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın matkap-iş parçası-talaş arasındaki paylaşıma atfedilmiştir. Kaplamalı matkabın kaplama malzemesi ısı iletim katsayısının düşük olmasından dolayı matkaba transfer olan ısının delik içerisine yayıldığı ve bunun sonucu ortam sıcaklığının arttığı düşünülmektedir.
- Kaplamasız matkaplarla yapılan deneylerde sıcaklık değerleri kesme hızının artmasıyla artmıştır. Bu durum artan kesme hızıyla birlikte artan aşınmaya

bağlı bağlı olarak artan sürtünmenin neden olduğu düşünülmektedir. Kaplamalı matkaplarda ise kesme hızının artmasıyla sıcaklık değerlerinde azalma olmuştur. Bu duruma; artan kesme hızıyla birlikte talaş tahliyesinin kolaylaşmasının yol açtığı düşünülmektedir. .

- Kesme kuvveti bileşenleri içerisinde delme sırasında büyük öneme sahip olan ilerleme kuvveti, kaplamasız ve kaplamalı takımlarla AISI H13 ve AISI D2 malzemelerde yapılan deneylerin tamamında sabit kesme hızında ilerleme miktarının artmasıyla birlikte artış olmuştur. Bu durumun, artan ilerleme miktarının artmasıyla birlikte birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artması sonucu ilerleme kuvvetinin de artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Kaplamalı matkaplarla yapılan bütün deneylerde elde edilen ilerleme kuvvetleri kaplamasız matkaplarla yapılan bütün deneylerden elde edilenlerden daha az olmuştur. Bu durum kaplamalı matkabın sürtünme katsayısını düşüren kaplama malzemesi özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin hem kaplamasız hem de kaplamalı matkaplarla işlenmesi esnasında oluşan moment değerleri ilerleme miktarının artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Artan moment değerlerinin artan talaş hacmiyle artan kesme kuvvetlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Kaplamasız matkaplarla yapılan işlemler esnasında oluşan moment değerleri kesme hızının artışına karşılık azalma göstermiştir. Bu durumun, kesme hızının artmasıyla birlikte matkapta aşınmaların hızlanmasından ve buna bağlı olarak da kaldırılan talaş hacminin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde ise kesme hızının artmasına karşın moment değerlerinde az da olsa azalma olmuştur. Bu durumun nedeni ise talaş tahliyesinin kolaylaşmasına atfedilmiştir.
- Kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla AISI H13 çeliğinin delinmesinde elde edilen ilerleme kuvveti, kesme kuvveti ve moment değerleri AISI D2 çeliğinin işlenmesinde elde edilenden daha fazla olmuştur. Bu durumun çeliklerin farklı yapısal özelliklerine atfedilmiştir.
- Bütün deneylerde ilerleme miktarındaki artış yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artmasına neden olmuştur.

- AISI H13 ve AISI D2 çeliğinin kaplamasız matkaplarla işlenmesinden sonra elde edilen yüzey pürüzlülüğü kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerden elde edilen değerlerden daha büyüktür. Bu durum, kaplama malzemesinin takımın aşınma direncine sağladığı katkının yanında, düşük sürtünme katsayısıyla yüzey kalitesine de olumlu etki yaptığını göstermektedir.
- Kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde, bütün şartlarda delik çapının anma çapından büyük olduğu ve anma çapından sapmanın genel anlamda; ilerleme miktarı ve kesme hızı arttıkça arttığı görülmüştür.
- Bütün deneylerde kaplamasız matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilen çaptan sapma değerleri kaplamalı matkaplarla yapılan işlemlerde elde edilenden daha fazla olmuştur. Bu durum kaplamasız matkapların enine kesici kenarının aşınarak merkezleme özelliğini kaybetmesine atfedilmiştir.
- Delik çaplarında ölçü tamlığını sağlamak için, orta ilerleme değerleri ve düşük kesme hızlarında kaplamalı matkapların kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür.
- AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla işlenmesi sonrası elde edilen dairesellikten sapma değerleri hem ilerleme miktarının artışıyla hem de kesme hızının artışıyla artış göstermiştir. Dairesellikten sapma değerleri için, ilerleme miktarı ve kesme hızının önemli faktör olduğu görülmüştür.
- AISI H13 çeliğinin işlenmesinde elde edilen çaptan sapma değerleri AISI D2 malzemesinin işlenmesinde elde edilen değerlerden daha fazla olmuştur. Bu durumun çeliklerin farklı metalürjik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- AISI H13 ve AISI D2 için kaplamasız ve kaplamalı matkaplarla yapılan sonlu elemanlar analizlerinde en fazla toplam deformasyonun (Δ) en yüksek ilerleme miktarı ve en düşük kesme hızı koşullarında gerçekleştiği görülmüştür..
- Matkapların enine kesici kenarı ve çevresinde eş değer gerilme, en büyük gerilme ve en küçük gerilmenin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma; matkapların enine kesici kenarı ve çevresindeki bölgelerde çevresel hızın

düşük olması ve bu bölgenin talaşı daha çok ezerek kaldırmaya çalışmasının neden olduğu düşünülmektedir.

- AISI H13 çeliği için kaplamasız matkaplarla yapılan analizlerde en fazla eşdeğer gerilme (von-Mises gerilmesi, S_{EQV}), en yüksek ilerleme miktarı ile en yüksek kesme hızında gerçekleşmiştir. Bu durumun talaş yükünün artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaplamalı matkaplarda ise en yüksek ilerleme miktarı ile en düşük kesme hızında gerçekleşmiştir. Bu durum artan talaş yükü ile talaş tahliyesinde yaşanan güçlükler atfedilmektedir.
- AISI D2 çeliği için kaplamasız matkaplarla yapılan analizlerde en fazla eşdeğer gerilme (von-Mises gerilmesi, S_{EQV}), en düşük ilerleme miktarı ile en yüksek kesme hızında gerçekleşmiştir. Bu durum talaş-takım temas süresinin uzamasına atfedilmiştir. Kaplamalı matkaplarda ise en düşük ilerleme miktarı ile en düşük kesme hızı kombinasyonunda gerçekleşmiştir. Bu durumun, artan talaş-takım temas süresinin uzamasından ve talaş tahliyesinde güçleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- AISI H13 çeliği için kaplamasız matkaplarda en büyük ve en küçük asal gerilme (sırasıyla S_1 ve S_3) ilerleme miktarı ve kesme hızı artışıyla artmıştır. Kaplamalı matkaplarda ise en büyük asal gerilme ve en küçük asal gerilme ilerleme miktarı ve kesme hızı artışına karşın azalma göstermiştir.
- AISI D2 çeliği için hem kaplamasız hem de kaplamalı matkaplarda en büyük ve en küçük asal gerilme (sırasıyla S_1 ve S_3) ilerleme miktarındaki artışa karşılık azalma eğilimi göstermiştir. Bu durumun talaş-takım temas süresinin uzamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kesme hızı artışı kaplamasız matkaplarda S_1 ve S_3 'ün artışına, kaplamalı matkaplarda ise azalmaya neden olmuştur.
- AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin işlenmesinde kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için elde edilen RMS değerlerinin 0,0001 ila 0,0009 değerleri arasında olmuştur. Bu durum değerlerin sifıra yaklaşması modelin uygulanabilirlik başarısının olduğunu göstermektedir.
- AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin işlenmesinde kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için elde edilen R^2 değerlerinin 0,98 ila 0,95 değerleri arasında olmuştur. R^2 değerlerinin bire yaklaşmasından dolayı analiz sonuçları ile model sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

- AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin işlenmesinde kaplamasız ve kaplamalı matkaplar için elde edilen MAPE değerlerinin % 0,99 ila % 3,9 değerleri arasında olmuştur. MAPE değerlerinin ~% 1-4 arasında olması hata oranını kabul edilebilir olduğu göstermektedir.
- Analiz sonuçları ile deneysel sonuçlarının yakın olması, aynı kesme koşullarında yapılacak delik delme işlemlerinde kullanılarak tahminler için analiz yapılmasının faydalı olacağını göstermektedir.

6.2. ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen yukarıdaki bulgular ışığında bundan sonra yapılabilecek çalışmalara yön vermek amacıyla aşağıdaki öneriler getirilebilir:

- Kaplamalı takım ve kaplamasız takımlarla farklı özellikteki malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan sıcaklığın matkap-iş parçası-talaş arasında dağılımı araştırılabilir.
- Farklı kaplama uygulamalarının sıcaklık, ilerleme kuvveti, moment ve delik kalitesi üzerine etkileri araştırılabilir.
- Bu çalışmada delik kalitesinin değerlendirilmesi için yüzey pürüzlülüğü, ölçü tamlığı ve dairesellikten sapma parametreleri dikkate alınmış olup özellikle boydan boya deliklerde önemli bir parametre olan delik çıkışında çapak oluşumu da araştırılabilir.
- Farklı çaplarda matkaplarla çalışma yapılarak, matkap çapının etkileri araştırılabilir.
- Yeni matkaplar ile bilenmiş matkaplar arasında (bileme sayısı ve kalitesi de dikkate alınarak) performans açısından karşılaştırmalı araştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Tonshoff H. L., Spintig W., Konig W., and Neises A., “Machining of holes developments in drilling techonolgy”, *Annals of the CIRP*, 43 (2): 551-560 (1994).
2. Smith, W. F., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği”, *Literatür Yayıncılık*, Çeviri Nihat G. Kınıkoğlu, *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 451-547 (2001).
3. Koçak, H., “Takım Çelikleri El Kitabı, 7. Baskı”, *Ofset Matbaacılık Ltd. Şti.*, İstanbul, 32-83 (2006).
4. Çakır, M. C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları, I ’”, *Vipaş A.Ş.*, Bursa, 205-302 (1999).
5. Yağmur, S., “Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 42-100 (2011).
6. Sandvik Coromant, “Modern Metal Cutting”, *Sandvik Endüstriyel Mamüller Sanayi Ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, 2-61 (1994).
7. Yalçın, B., “Ark PVD yüzey kaplama metoduyla Titanyum Nitrür (Tin) kaplanmış matkap takımlarında takım aşınmasının deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 5-31 (2004).
8. Iscar IQ Tanıtım ve Katalog Seti, “Hole Making Tools”, *Iscar Ltd. Manufacturer of Metalworking Tools*, Kocaeli, 4-127(2012).
9. Sandvik Coramant, “Teknik Kılavuz, Delik Delme”, *Sandvik Endüstriyel Mamüller Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, E1-E48 (2010).
10. Makine Takım Endüstrisi A. Ş. “Hassas Kesici Takımlar Kataloğu”, *Makine Takım Endüstrisi A.Ş.*, Kocaeli, 4-59 (2013).
11. Bağcı, M., “Tesviyecilik Teknolojisi”, *Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları*, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 170-175 (1960).
12. Çakır, A., “Al 7075 VE Al 6013 Alüminyum malzemelerin delme operasyonları esnasındaki kesme parametrelerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 22-37 (2009).

13. Palmer, W. B., and Oxley, P. L. B., "Mechanics of orthogonal machining", *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, 173: 623 (1959).
14. Kaynak, Y., "Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 58-69 (2006).
15. Mendi, F., "Takım Tezgahları Teori ve Hesapları, II. Baskı", *Gazi Kitabevi*, Ankara, 155-167 (2006).
16. Altıntaş, Y., "Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics", *Machine Tool Vibrations, and CNC Desing*, Cambridge University Press, 27-33 (2000).
17. Degarmo, E. P., Black, J. T., and Kohser, R. A., "Materials and Processes in Manufacturing", *Prentice-Hall International*, America, 590-649 (1997).
18. Hepyaşar, B., Ensarioğlu, C., ve Çakır, C., "Delik delme işlemlerinde ıslah çeliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi", *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara (2012).
19. MEGEP, "Meslek Resim 2, Şekil ve Konum Toleransları", *M.E.B.*, Ankara, 24-40 (2007).
20. Kaplan, Y., "Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 38-51 (2010).
21. Boy, M., "Kesme parametrelerine bağlı olarak talaş arka yüzey sıcaklığının deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 46-53 (2004).
22. Chung, S. C., "Temperature estimation in drilling processes by using an observer", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1641-1651 (2005).
23. Kim, K. W., and Ahn, T. K., "Force prediction and stress analysis of a twist drill from tool geometry and cutting conditions", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 6 (1) (2005).
24. Guhring, "Temel Bigiler, İşleme Teknolojisi", *Gühring Takım San. Ve Tic. Ltd. Şti.*, Germany, 1537-1548 (2014).
25. Çetin, B., Okumuş, D., ve Çetin, B., "Frezeleme işlemi esnasında takım ve iş parçası sıcaklığı ölçümü için deneysel kurulum çalışması" *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Hitit Üniversitesi, Çorum (2014).
26. İnternet: Çayıroğlu, İ., "Türkiye Bilgisayar Destekli Tasarı ve Analizi (ANSYS)", <http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/BilgisayarDest>

ekliTasarim/BilgisayarDestekliTasarimAnaliz-1-hafta-ibrahimcayiroglu.com.pdf (2014).

27. Arıkan, M. A. S., “Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları”, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 2-13 (2012).
28. İnternet: FEGES Engineering, “ANSYS”, <http://www.figes.com.tr/ansys/ansys-nedir.php> (2013).
29. Kalidas, S., DeVor, R. E., and Kapoor, S. G., “Experimental investigation of the effect of drill coating on hole quality under and wet drilling conditions”, *Surface and Coatings Technology*, 148: 117-128 (2001).
30. Dörr, J., Mertens, T., Engering, G., and Lahres, M., “In-situ’ temperature measurement to determine the machining potential of different tool coatings”, *Surface and Coatings Technology*, 174: 389–392 (2003).
31. Çakıroğlu, R., ve Acır, A., “Al2014 malzemesinin delinmesinde takım talaş ara yüzey sıcaklıkları ve kesme kuvvetinin Taguchi Metodu ile optimizasyonu”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10: 73-86 (2013).
32. Ertunç, H. M., ve Sevim, İ., “Kesici takımların aşınmasını gözlemleme üzerine yapılan çalışmalar”, *P.Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7: 55-62 (2001).
33. Ghani, J. A, Choudhury, I. A, and Masjuki, H. H., “Performance of P10 TiN Coated Carbide Tools When End Milling AISI H13 Tool Steel at High Cutting Speed’”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154 (2004).
34. Bosheh, S.S., Mativenga, P.T., “White layer formation in hard turning of H13 tool steel at high cutting speeds using CBN tooling”, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46: 225-233 (2006).
35. Umbrello, D., Rizzuti, S., Outeiro, J. C., Shivpuri, R., and M’Saoubi, R., “Hardness- based flow stress for numerical simulation of hard machining AISI H13 tool steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 199: 64-73 (2008).
36. Yan, H., Hua, J., and Shivpuri, R., “Stress of AISI H13 die steel in hard machining”, *Materials and Design*, 28: 272-277 (2007).
37. Moon, Y. H, Kim, J. W., Lee, D. W., “Machining characteristics of electrosag cast steel for hot-working tools’”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154: 654-659 (2004).
38. Davim, J. P., and Figueira, L., “Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques”, *Materials and Design*, 28: 1186-1191 (2007).

39. Gaitonde, V. N., Karnik , S. R., Figueira , L., and Davim, J. P., “Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts”, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 27: 754-763 (2009).
40. Poulachon, G., Bandyopadhyay, B. P., Jawahir, I. S., Pheulpin, S., and Seguin, E., “Wear behavior of CBN tools while turning various hardened steels”, *Science Direct*, 256: 302-310 (2004).
41. Ueda, T., Nozaki, R., and Hosokawa, A., “Temperature measurement of cutting edge in drilling (Effect of Oil Mist)”, *Elsevier*, 56: 93-96 (2007).
42. Silva, M. B., and Wallbank, J., “Cutting temperature: Prediction and measurement methods - A review” *Journal of Materials Processing Technology*, 88: 195-202 (1999).
43. Haan, D. M., Batzer, S. A., Olson, W. W., and Sutherland, J. W., “An experimental study of cutting fluid effects in drilling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 71: 305-313 (1997).
44. Kayır, Y., ve Usta, M., “Torna tezgahlarında matkapla delik delme işlemlerinde kesme kuvvetleri ve sıcaklığın ölçülmesi”, *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, 1284-1295 (2012).
45. Bağcı, E., and Özçelik, B., “Finite element and experimental investigation of temperature changes on a twist drill in sequential dry drilling”, *Int J. Adv. Manufacturing Technology*, 28: 680–687 (2006).
46. Brandao, L C., Coelho, R T., and Lauro, C. H., “Contribution to dynamic characteristics of the cutting temperature in the drilling process considering one dimension heat flow”, *Applied Thermal Engineering*, 33: 3806-3813 (2011).
47. Coz, G. L., Marinescu, A. D., Dudzinski, D., and Velnom, L., “Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys”, *Elsevier Science, Applied Thermal Engineering*, 36: 434-441 (2012).
48. Sousa, P. F. B., Borges, V. L., Pereira, I. C., Silva, M. B., and Guimarães, G., “Estimation of heat flux and temperature field during drilling process using dynamic observers based on Green’s Function”, *Applied Thermal Engineering*, 48: 144-154 (2012).
49. Li, R., S., “Spiral point temperature and stress in high-throughput drilling of Titanium”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Article in press (2007).
50. Shen, Q., Lee, T. C., and Lau, W. S., “A Finite-Element analysis of temperature spade drilling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 66: 112-122 (2007).

51. Nedelik, J., and Lux, B., “Improved tool performance by application of head spreading diamond layers within a multi-layer coating”, *International Journal of Refractory Metals and Hard materials*, 17: 275-282 (1999).
52. Şahin, H. M., ve Acır, A., “Talaş kaldırma işleminde kesici takım ve talaş arasında oluşan sıcaklık dağılımının sonlu farklar metodu ile analizi”, *Journal of Polytechnic*, 6: 541-549 (2003).
53. Usta, M., “Tornalama takım tezgahlarında delik delme operasyonları sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri ve ısı etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 100-145 (2010).
54. Herbert, C. R. J., Axinte D. A., Hardy M. C., and Brown, P. D., “Investigation into the characteristics of white layers produced in a nickel-based superalloy from drilling operations”, *Procedia Engineering*, 19: 138-143 (2012).
55. Şekerci, K. N., Duran, A., Şeker, U., ve Yağmur, S., “AISI 316L malzemesinin delinmesinde kesme parametrelerinin kesme bölgesi sıcaklığı üzerindeki etkisi”, *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara (2012).
56. İşbilir, O., and Ghassemieha, E., “Finite element analysis of drilling of titanium alloy”, *Procedia Engineering*, 10: 1877-1882 (2011).
57. Soylu, A., “Bir delme dinometresi tasarımı ve imalatı ile HSS-1040 malzeme çiftinde ilerleme kuvveti ve döndürme momentinin analizi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 66-70 (2007).
58. Almeida, F. A., Carrapichano, J. M., Fernandes, A. J. S., Sacramento, J., Silva, R. F., and Oliveira, F. J., “Nanocrystalline CVD diamond coatings for drilling of WC-Co parts”, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29: 618- 622 (2011).
59. Onwubolu, G. C, and Kumar, S., “Response surface methodology-based approach to CNC drilling operations”, *Journal of Materials Processing Technology*, 171: 41-47 (2006).
60. Hamade, R. F. Seif, C. Y., and Ismail, F., “Extracting cutting force coefficients from drilling experiments”, *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46: 387-96 (2006).
61. Biermann, D., Heilmann, M., and Kirschner, M., “Analysis of the Influence of tool geometry on surface integrity in single-lip deep hole drilling with small diameters”, *Procedia Engineering*, 19:16-21 (2011).
62. Oliveira, V. V., Beltraob, P. A. C., and Pintaude, G., “Effect of tool geometry on the wear of cemented carbide coated with TiAlN during drilling of compacted graphite iron”, *Wear*, 271: 2561-2569 (2011).

63. İnçal, E., “PVD yöntemi ile kaplanan HSS takım çeliklerinin karakterizasyonu ve aşınma dayanımının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Y. T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 50-70 (2007).
64. Kıvak, T., ve Şeker, U., “Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde kaplama malzemesi ve kesme şartlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi”, *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, April 02-04 (2012).
65. Çakır, A., Nalbant, M., Duran, A., ve Ulaş, H. B., “AA 7075 VE AA 6013 alüminyum malzemelerde delik delme operasyonu sürecinde kesme parametrelerinin incelenmesi”, *3. Ulusal Talahlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 04-05 (2012).
66. Batzer, S. A., Haan, D. M., Rao, P. D., Olson, W. W., and Sutherland, J. W., “Chip Morphology and hole surface texture in the drilling of cast aluminum alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 79: 72-78 (1998).
67. Cheung, F. Y., Zhou, Z. F., Geddam, A., and Li, Y., “Cutting edge preparation using magnetic polishing and its influence on the performance of high-speed steel drills”, *Journal of Materials Processing Technology*, 196-204 (2008).
68. Tosun, N., Özek, C., ve Tosun, G., “Delme işleminde yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi” *On Birinci Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi*, Antalya (2004).
69. Özkul, İ., Buldum, B. B., ve Akkurt, A., “Dievar sıcak iş takım çeliğinin delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesine etkisinin regresyon analiziyle modellenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (1): 1-9 (2013).
70. Kıvak, T., Çiçek, A., Turgut, Y., Uygur, İ., ve Ekici, E., “Paslanmaz çeliğin delinmesinde nano kaplamaların kesme kuvveti, delik çapı ve takım ömrü üzerindeki etkileri”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ (2011).
71. Meral, G., Sarıkaya, M., ve Dilipak, H., “Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle optimizasyonu”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27 (4): 332-338 (2011).
72. Afazov, S. M., Ronaldo, R., D. Lonsdale, Zdebski, D., and Ratchev, S. M., “Analysis of Micro-Drilling of glassy ceramic macor nozzles for scanning droplet systems”, *Journal of Materials Processing Technology*, 213: 221-228 (2013).
73. Jayal, A. D., Balaji, A. K., and Sesek, R., “Machining performance and health effects of cutting fluid application in drilling of A390.0 cast aluminum alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, 9 (2) (2007).

74. Aydın, M., Uçar, M., ve Cengiz, A., “AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kuru tornalanabilmesine kesme parametrelerinin etkisi”, **2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi**, Balıkesir, 85-94 (2010).
75. Neugebauer, R., Schubert, A., Reichmann, B., and Dix, M., “Influence exerted by tool properties on the energy efficiency during drilling and turning operations”, **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, 4: 161-169 (2011).
76. Yılmaz, N., “Demir Esaslı Toz Malzemelerin Talaşlı İşlenebilirliği”, Doktora Tezi, **S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 55-63 (2006).
77. Trent E. M., “Metal Cutting”, **Butterworths Pres**, London (1989).
78. Karcan Tanıtım Kataloğu Seti, “Karcan Cutting Tools, Matkap Serisi”, **Karcan A.Ş.**, Eskişehir, 70-81 (2014).
79. Wikgren, T., “Analysis of contact between insert and tip seat”, Msc. Thesis, **Luleå University of Technology**, 13–15 (2001).
80. Kurt, A., “Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve mekanik gerilmelerin deneysel olarak incelenmesi ve matematiksel modellerinin oluşturulması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2006).
81. Öztürk, S., ve Altan, E., “Çift uç açılı spiral matkapta takım ömrü”, **III. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu**, Ankara, 115-122 (2012).
82. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, **Birsan Yayınevi**, İstanbul, 56-72 (1998).

ÖZGEÇMİŞ

Soyadı : TEKAÜT
Adı : İsmail
Doğum Tarihi : 10.03. 1971
Doğum Yeri : Çubuk- ANKARA
Medeni Hali : Evli (iki çocuk babası)

ÖĞRENİM DURUMU

- 2011- 2015 Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, İmalat Mühendisliği,
- 2005-2008 Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans mezunu.
- 1989-1994 Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Makine Resmi ve Konstrüksiyon Programı
- 1985-1988 Ankara Yapı Meslek Lisesi İş Makinaları
- 1978-1985 Çubuk Yıldırım Beyazıt İlköğretim Okulu

İŞ DENEYİMİ

- 2005-2012 Gazi Üniversitesi Çubuk Yerleşkesi Koordinatörü
- 2003-2005 Çubuk Mesleki Eğitim Merkezi Müdürlüğü Meslek dersleri öğretmenliği.
- 2001-2003 Çubuk Gençlik ve Spor İlçe Müdür Vekilliği
- 2000-2001 Çubuk İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü bünyesinde Okuma-Yazma Seferlik Koordinatörlüğü.
- 1995-2000 Çubuk Mesleki Eğitim Merkezi Müdürlüğünde Pedagojik ve Formasyon Kurslarında Eğitimlik.

- 1994-1995 MAN. A.Ş. 'de Araç Tasarımı Bölümün'de Tasarımcı
-1989-1996 Çubuk Özel Akademi Sürücü Kursu'nda Motor dersi öğretmeni.

SOSYAL FALİYETLERİ

- 2011- Devam Çubuk Kent Konseyi Başkanlığı
-1984-1989 Amatör Futbolcu
-1989-1996 Profesyonel Futbolcu
-1995- Devam Çubuk Yıldırım Beyazıt Sosyal Dayanışma ve Yardımlaşma Derneği

YABANCI DİL: İngilizce (ÜDS 63.75)

YÜKSEK LİSANS TEZİ:

'Takım Tezgahlarındaki Kesici Takım Titreşiminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi'
(Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Danışman; Prof. Dr. Ulvi ŞEKER).

YAYINLAR:

-'Tornalama İşlemlerinde Kesici Takım Titreşiminin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi'

(İsmail TEKAÜT, Mustafa GÜNAY, Ulvi ŞEKER, 5. Uluslararası Teknoloji Sempozyumu

13-15 Mayıs 2009 Karabük, TÜRKİYE)

-'Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesici Takım Titreşimlerinin Talaş Kırıcı Formu Açısından Değerlendirilmesi'

(İsmail TEKAÜT, Mustafa GÜNAY, Ulvi ŞEKER, I. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu

2-3 Ekim 2009 Yıldız Teknik Üniversitesi, TÜRKİYE).