

**AISI 316L MALZEMESİNİN DELİNMESİNDE KESME  
PARAMETRELERİNİN KESME SICAKLIĞI, KESME KUVVETLERİ  
VE DELİK KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

**Kemal Nazım ŞEKERCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2012  
ANKARA**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Kemal Nazım ŞEKERCİ

**AISI 316L MALZEMESİNİN DELİNMESİNDE KESME  
PARAMETRELERİNİN KESME SICAKLIĞI, KESME KUVVETLERİ VE  
DELİK KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Kemal Nazım ŞEKERCİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2012**

**ÖZET**

Bu çalışmada, delik delme esnasında farklı kesme parametrelerinin kesme bölgesi sıcaklığı, ilerleme kuvveti, moment, yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda; AISI 316L tipi östenitik paslanmaz çelik malzemesi iki farklı tipte (kaplamasız ve TiN/TiAlN/TiCN çok katmanlı kaplamalı) HSS kesici takımlarla delinmiştir. Deneylerde dört farklı kesme hızı (15 m/dak, 20 m/dak, 25 m/dak ve 30 m/dak) ve dört farklı ilerleme miktarı (0,15 mm/dev, 0,20 mm/dev, 0,25 mm/dev ve 0,30 mm/dev) değeri kullanılmıştır. Deneyler, sabit matkap-dönen iş parçası yöntemi ile, her bir deney için yeni bir kesici takım kullanılarak yapılmıştır. Delme işlemi esnasında oluşan kesme sıcaklıkları kaplamalı ve kaplamasız takımların soğutma kanalları içerisine yerleştirilmiş ısı çiftleri yardımıyla ölçülmüştür. Sıcaklık ve kesme kuvvetleri ölçümleri sırasıyla; K tipi ısı çift uygulaması ve Kistler 9257 B model dinamometre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; kesme bölgesindeki sıcaklığın artan ilerleme miktarı ile azaldığı gözlenmiştir. Kesici takıma kaplama uygulaması neticesinde, kesme bölgesindeki sıcaklıklar önemli ölçüde düşmüştür. Takıma kaplama yapılması değerlendirilen bütün parametreler açısından önemli avantajlar sağlamıştır.

**Bilim Kodu** : 708.3.028  
**Anahtar Kelimeler** : Delme, kesme parametreleri, kesme kuvvetleri, sıcaklık.  
**Sayfa Adedi** : 87  
**Tez Yöneticileri** : Yrd. Doç. Dr. Abdullah DURAN

**THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON CUTTING  
TEMPERATURES, CUTTING FORCES AND HOLE QUALITY IN THE  
DRILLING OF AISI 316L MATERIAL  
(M.Sc. Thesis)**

**Kemal Nazım ŞEKERCI**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2012**

**ABSTRACT**

**In this research, during the drilling process, the effect of different cutting parameters on cutting forces, torque, surface roughness were studied. In this experimental study, austenitic type AISI 316L stainless steel material was drilled with using two different type of (uncoated and TiN/TiAl/TiCN coated solid carbide) HSS cutting tool. Four different cutting speeds (15 m/min, 20 m/min, 25 m/min and 30 m/min) and four different feed rates (0,15 mm/rev, 0,20 mm/rev, 0,25 mm/rev and 0,30 mm/rev) were used in experiments. The experiments were made by using fixed drill-rotating work piece method and a new cutting tool for each one. The cutting temperatures occurred during the drilling process are measured with the help of thermocouples inserted in the cooling channels of the coated and uncoated drills. Temperature and cutting force measurements was performed respectively by using K type thermocouple and Kistler 9257 B model dynamometer. When the results of the experiments are evaluated, it is observed that the cutting feed rate is decreased with the increasing amount of increasing feed rate. As a result of the application to the cutting tool coating, the temperatures in the cutting zone have been significantly reduced. The coating application has provided significant benefits in terms of in all the parameters observed.**

**Science Code : 708.3.028**

**Key Words : Drilling, cutting parameters, cutting forces, temperature.**

**Page Number : 87**

**Adviser : Assist. Prof. Dr. Abdullah DURAN**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca görüş ve yardımlarıyla beni yönlendiren danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdullah DURAN'a,engin tecrübe ve bilgilerinden faydalandığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, deneysel çalışmalarım da bana yardımcı olan Sayın Uzman Selçuk YAĞMUR'a ve maddi, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca 07/2011-19 no'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na da çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER .....	4
2.1. Talaşlı İmalat Yöntemleri.....	4
2.1.1. Delik delme işlemleri .....	5
2.2. Delme Takımları (Matkaplar) ve Sınıflandırılması .....	7
2.3. Delik Delmede Kesme Kuvvetleri, Moment ve Güç .....	10
2.3.1. Kesme gücü ve tezgâh gücü .....	12
2.3.2. Kesme parametrelerinin belirlenmesi ve buna etki eden faktörler .....	13
2.4. Sıcaklık Ölçümünde Kullanılan Veri Kaydediciler ve Isıl Çiftler .....	15
2.4.1. Veri kaydediciler .....	16
2.4.2. Isıl çiftler .....	16
K tipi ısıl çift .....	17
2.5. Delme İşlemlerinde Talaş Oluşumu .....	18
2.6. Delik Delme İşlemlerinde Delik Kalitesinin Belirlenmesi ve Yüzey Pürüzlülüğü .....	20
2.6.1. Bazı yüzey pürüzlülük ölçme yöntemleri.....	21
3. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	24



	<b>Sayfa</b>
3.1. Paslanmaz Çeliklerin Oluşumu .....	24
3.2. Paslanmaz Çelik Çeşitleri.....	26
3.2.1. Martensitik paslanmaz çelikler.....	27
3.2.2. Ferritik paslanmaz çelikler .....	28
3.2.3. Östenitik paslanmaz çelikler .....	29
AISI 316L tipi östenitik paslanmaz çelik .....	30
3.2.4. Östenitik-ferritik (dubleks) paslanmaz çelikler.....	31
3.2.5. Çökellemeyle sertleşebilen paslanmaz çelikler.....	32
3.3. Alaşım Elementlerinin Paslanmaz Çelikler Üzerindeki Etkileri .....	32
3.3.1. Karbonun etkisi .....	32
3.3.2. Kromun etkisi.....	33
3.3.3. Nikelin etkisi .....	35
3.3.4. Minör elementlerin etkisi .....	36
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	37
4.1. Sıcaklık Ölçümü ile İlgili Çalışmalar .....	37
4.2. Delik Delme ile İlgili Diğer Çalışmalar .....	42
4.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi .....	49
5. MALZEME VE METOT .....	51
5.1. Deney Numuneleri .....	51
5.2. Deneylerde Kullanılan Takımların Bağlanması için Bağlama Aparatı.....	52
5.3. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı .....	52
5.4. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri .....	53
5.4.1. Kesici takımlar .....	53
5.4.2. Kesme parametreleri .....	54

**Sayfa**

5.5. Talaş Kaldırma Esnasında Oluşan Kesme Bölgesi Sıcaklığının Ölçülmesi ..	55
5.6. Kesme Kuvvetleri ve Momentin Ölçülmesi .....	58
5.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi.....	59
5.8. Çalışmada Kullanılan Makine ve Teçhizatlar .....	61
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	62
6.1. Deneysel Çalışma Değerlendirme Esasları .....	62
6.2. Delme Sırasında Oluşan Kesme Bölgesi Sıcaklıklarının Değerlendirilmesi .	65
6.3. Delme Sırasında Oluşan İlerleme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi .....	68
6.4. Delme Sırasında Oluşan Momentlerin Değerlendirilmesi .....	71
6.5. Delme Sırasında Oluşan Yüzey Kalitelerinin Değerlendirilmesi .....	74
7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	77
KAYNAKLAR .....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
ÖZGEÇMİŞ .....	87

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Malzeme tiplerine göre kullanılan matkaplar ve uç açıları .....	8
Çizelge 2.1. (devamı) Malzeme tiplerine göre kullanılan matkaplar ve uç açıları .....	9
Çizelge 2.2. Bazı ısıl çift çeşitleri .....	17
Çizelge 2.3. Yüzey pürüzlülük ölçme yöntemleri ve özellikleri .....	22
Çizelge 2.3. (devamı) Yüzey pürüzlülük ölçme yöntemleri ve özellikleri .....	23
Çizelge 3.1. Martensitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları .....	28
Çizelge 3.2. Ferritik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları .....	29
Çizelge 3.3. Östenitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları .....	30
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan 316L çeliğinin kimyasal kompozisyonu .....	30
Çizelge 5.1. Deneyleerde kullanılan tezgâhın teknik özellikleri .....	52
Çizelge 5.2. Deneyleerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri .....	54
Çizelge 5.3. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri .....	55
Çizelge 5.4. KISTLER 9272 dinamometrenin teknik özellikleri .....	58
Çizelge 5.5. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri .....	60
Çizelge 5.6. Çalışmalarda kullanılan makine ve teçhizatlar .....	61
Çizelge 6.1. Kaplamasız matkaplarla elde edilen deney sonuçları .....	63
Çizelge 6.2. Kaplamalı matkaplarla elde edilen deney sonuçları .....	64

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Takım tezgâhı-kesici-iş parçası malzemesi üçgeni .....	4
Şekil 2.2. Çap-uzunluk ilişkisi .....	5
Şekil 2.3. Delil delme işlemleri	
a) Tek seferde delme işlemi	
b) Çevreden kesme metodu ile delme işlemi .....	6
Şekil 2.4. Delik genişletme işlemi ve takımın eğilmesi .....	6
Şekil 2.5 Matkapla delmede kesme kuvvetleri .....	10
Şekil 2.6. Isıl çiftlerde sıcak ve soğuk nokta sıcaklığının önemi .....	17
Şekil 2.7. Talaş oluşumuna etki eden faktörler .....	18
Şekil 2.8. Kesici kenarın talaş kaldırması .....	19
Şekil 3.1. AISI 316L' nin oluşumu .....	31
Şekil 3.2. Ferritik paslanmaz çeliğin çekme dayanımına karbonun etkisi .....	32
Şekil 3.3. Krom yüzdesine bağlı olarak çeliğin çekme dayanımı değişimi .....	33
Şekil 3.4. Krom katkısının alaşımın yüksek sıcaklıktaki oksidasyonuna etkisi .....	33
Şekil 3.5. Krom katkısının korozyon hızı üzerindeki etkisi .....	33
Şekil 3.6. Pasifleşmiş bir yüzeyde küçük bir bölgenin bozulması sonucu korozyon olayının oluşumu .....	35
Şekil 5.1. Deneylede kullanılan numunelere ait teknik resim .....	51
Şekil 5.2. Rijit ve güvenli takım bağlama aparatı .....	52
Şekil 5.3. Deneylede kullanılan yekpare karbür helisel matkap .....	53
Şekil 5.4. PicoLog recorder programı grafik görüntüsü .....	57
Şekil 5.5. DynoWare programındaki grafik görüntüsü .....	59
Şekil 5.6. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi .....	60
Şekil 6.1. Kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıkların kaplamalı ve kaplamasız takımlarda, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimi .....	65

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.2. Her bir kesme hızı için kaplamasız ve kaplamalı takımlarda ilerlemeye bağlı olarak oluşan kesme bölgesi sıcaklıklarının değişimi a) $V= 60$ m/dak, b) $V= 75$ m/dak, c) $V= 90$ m/dak, d) $V= 108$ m/dak .....66	
Şekil 6.3. İlerleme kuvvetlerinin, kaplamalı ve kaplamasız takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi .....68	
Şekil 6.4. Her bir kesme hızı için kaplamasız ve kaplamalı takımlarda ilerlemeye bağlı olarak oluşan ilerleme kuvvetlerinin değişimi a) $V= 60$ m/dak, b) $V= 75$ m/dak, c) $V= 90$ m/dak, d) $V= 108$ m/dak .....69	
Şekil 6.5. Moment değerlerinin, kaplamalı ve kaplamasız takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi .....71	
Şekil 6.6. Her bir kesme hızı için kaplamasız ve kaplamalı takımlarda ilerlemeye bağlı olarak oluşan moment değerlerinin değişimi a) $V= 60$ m/dak, b) $V= 75$ m/dak, c) $V= 90$ m/dak, d) $V= 108$ m/dak .....72	
Şekil 6.7. Yüzey pürüzlülük değerlerinin, kaplamalı ve kaplamasız takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi .....74	
Şekil 6.8. Her bir kesme hızı için kaplamasız ve kaplamalı takımlarda ilerlemeye bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi a) $V= 60$ m/dak, b) $V= 75$ m/dak, c) $V= 90$ m/dak, d) $V= 108$ m/dak .....75	

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.1. Sıcaklık ölçüm için kullanılan K tipi ısıl çift (thermocouple) .....	55
Resim 5.2. Soğutma delikleri boyunca ısıl çift yerleştirilmiş matkap .....	56
Resim 5.3. PICO marka 8 kanallı data logger .....	56
Resim 5.4. Matkabin tutucudan mesafesinin ayarlanması .....	57
Resim 5.5. a) KISTLER 9272 tipi dinamometre b) KISTLER 5070 tipi amplifier .....	58
Resim 5.6. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı .....	59

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada, kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\omega$	Açısal hız (mm/dev)
$\phi$	Kesici uç açısı ( $^{\circ}$ )
$r$	Matkap uç yarı çapı (mm)
$\lambda$	Örnekleme uzunluğu (mm)
$\gamma$	Talaş açısı ( $^{\circ}$ )
$\eta$	Verim
$a_p$	Kesme derinliği (mm)
$D$	Delik çapı (mm)
$d$	Matkap çapı (mm)
$F$	İlerleme (mm/dev)
$F_a$	Eksenel kuvvet (N)
$F_{nz}$	Bileşke kuvvet (N)
$F_{rz}$	Radyal kuvvet (N)
$F_s$	Toplam kesme kuvveti (N)
$F_{sz}$	Bir ağızdaki kesme kuvveti (N)
$F_v$	Toplam ilerleme kuvveti (N)
$F_{vz}$	Bir ağızdaki ilerleme kuvveti (N)
$h_1$	Teorik talaş kalınlığı (mm)
$h_2$	Deformasyona uğramış talaş kalınlığı (mm)
$K_s$	Özgül kesme kuvveti (N/mm <sup>2</sup> )
$L$	İşleme kurs boyu (mm)
$M_s$	Toplam kesme momenti (Nm)
$M_{sz}$	Bir ağızdaki kesme momenti (Nm)
$n$	Devir sayısı (dev/dak)

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>P</b>	Güç (Kw)
<b>P<sub>m</sub></b>	Tezgâh gücü (Kw)
<b>P<sub>s</sub></b>	Kesme gücü (Kw)
<b>P<sub>v</sub></b>	İlerleme gücü (Kw)
<b>R<sub>a</sub></b>	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (µm)
<b>S</b>	İlerleme miktarı (mm/dev)
<b>T</b>	Esas işleme zamanı (dak)
<b>V</b>	Kesme hızı (m/dak)
<b>V<sub>f</sub></b>	Dakikadaki ilerleme hızı (m/dak)
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AISI</b>	American Iron and Steel Industries (Amerikan Demir ve Çelik Endüstrisi)
<b>Al</b>	Alüminyum
<b>Be</b>	Berilyum
<b>BUE</b>	Built Up Edge (Yığılma Kenar Oluşumu)
<b>CMM</b>	Coordinate Measuring Machine (Koordinat Ölçme Cihazı)
<b>CNC</b>	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
<b>Cr</b>	Krom
<b>CT</b>	Cutting Tool (Kesici Takım)
<b>DIN</b>	Deutsche Industrie Norm (Alman Standartları)
<b>DLC</b>	Diamond Like Carbon (Karbon Benzeri Elmas)
<b>FEM</b>	Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu)
<b>FMS</b>	Flexible Manufacturing System (Esnek Üretim Sistemleri)
<b>HRc</b>	Brinell Hardness (Brinell Sertlik)
<b>HSS (YHÇ)</b>	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)



<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Mn</b>	Magnezyum
<b>Mo</b>	Molibden
<b>MPa</b>	Basma Dayanımı
<b>MT</b>	Machine Tool (Takım Tezgâhı)
<b>MQL</b>	Minimum Quantity Lubrication (Minimum Yağlama Miktarı)
<b>N</b>	Azot
<b>Nb</b>	Niobyum
<b>NC</b>	Numerical Control (Sayısal denetim)
<b>Ni</b>	Nikel
<b>PVD</b>	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Ti</b>	Titanyum
<b>TiAlN</b>	Titanyum Alüminyum Nitrit
<b>TiN</b>	Titanyum Nitrit
<b>V</b>	Vanadyum
<b>W</b>	Wolfram
<b>WP</b>	Work Piece (İş Parçası)

## 1. GİRİŞ

Demir esaslı malzemeler arasında yer alan paslanmaz çelikler, son yıllarda kullanımı hızla yaygınlaşan önemli bir malzeme grubudur. Paslanmaz çeliklerin mükemmel korozyon dayanımları, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir olmaları, kolay şekillendirilebilmeleri ve estetik görünümleri, bu malzeme grubuna geniş bir kullanım alanı açmaktadır. Bu nedenle paslanmaz çelik malzemeler birçok çalışmaya konu olmuştur. Paslanmaz çelik malzemeler arasında, çalışmalara en çok konu olanları ise AISI 304 ve 316'dır [1].

Kesici takımın daha uzun süre kullanılabilmesi ve iş parçasının istenilen kalitede üretilerek hammadde israfının önlenmesi için, kesme parametrelerinin ve şartlarının optimize edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu amaca ulaşmak için, kesici takımların ömrüne etki eden faktörler ile iş parçasının kalitesinin belirlenmesinde etkili olan faktörler halen bilim adamları tarafından araştırılmaktadır.

İş parçasından talaş kaldıran bir takımla silindirik delik açma metodlarının tümü delik delme olarak adlandırılmaktadır. Delme terimi, kısa ve derin delik delme işlemleri için olduğu kadar broşlama, raybalama, havşa başı açma ve ovalama (veya parlatma) gibi çeşitli işlemler için de kullanılmaktadır. Bütün bu işlemlerin ortak noktası, ana dönme hareketinin doğrusal bir ilerleme hareketiyle beraber yapılmasıdır.

Delik delme işlemi, en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir ve genellikle talaş kaldırma işlemlerinde son işlem olarak kullanılır. İmalat endüstrisinde modern talaşlı imalat yöntemleri geliştirilmesine rağmen; geleneksel delik delme yöntemi, ekonomikliği ve basit uygulanabilirliği gibi sebeplerden dolayı hala en yaygın kullanılan işleme yöntemidir. Talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık üçte birini delik delme işlemleri oluşturmaktadır.

Delik delme işlemleri birçok yönden tornalama ve frezeleme işlemleriyle mukayese edilse de, bu işlemde talaşın kırılması ve boşaltılması diğerlerine göre çok daha büyük önem taşımaktadır.

Delme işlemi esnasında meydana gelen talaş oluşumu kesme kuvvetlerini, kesme sıcaklığını, buna bağlı olarak da deliğin yüzey kalitesini ve ölçü tamlığını etkilemektedir. Ayrıca, talaşın boşaltılabilirliği ve delik kalitesini doğrudan etkilemekte olup, kesme parametrelerine göre değişim göstermektedir. Kesme hızı ve ilerleme, delik delme işlemlerinde en etkin parametrelerdir. Bu parametreler kesme işlemi sırasında meydana gelen sıcaklık ve kesme kuvvetlerini doğrudan etkilemekte ve buna bağlı olarak kesici takımın (matkabın) performansını belirlemektedir.

Her kesici takımda olduğu gibi matkabın da bir ömrü vardır ve ömrünü tamamlayan bir matkapla yapılan bir delme işlemi, delik kalitesini ve ölçü tamlığını da etkileyecektir. Kesici takım teknolojisinin gelişmesiyle kullanımı yaygın hale gelen kaplamalı matkaplar sayesinde, delme esnasında oluşabilecek sorunlar indirgenmekte ve daha uzun bir takım ömrü sağlanmaktadır. Fakat kaplamalı matkapların fiyatlarının kaplamasızlara göre daha yüksek olması, takım maliyetlerini arttırmaktadır. Bu nedenle, delik delme işlemi sırasında karşılaşılabilecek sıcaklık ve kesme kuvveti değerlerinin önceden biliniyor olması, bize daha uzun bir takım ömrü sağlayacağı gibi, buna bağlı olarak daha iyi delik kaliteleri elde etmemiz de mümkün olacaktır. Ayrıca önceden tahmin edilecek olan kesici takım ömrü, ürün kalitesini artıracacağı gibi üretim maliyetlerinin de düşürebilecektir.

Tüm bu etmenler, delik delme işlemlerinde ideal kesme parametrelerinin tespit edilmesinin ve kesme işlemlerinin bu parametreler dâhilinde gerçekleştirilmesinin önemini açıkça ortaya koymaktadır. İyi şekillendirilebilme, mükemmel tokluk ve kaynaklanabilme gibi üstün özellikleriyle yaygın kullanım alanına sahip olan AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin delinebilmesi için en ideal kesme parametrelerinin ve kesme şartlarının tespit edilmesi önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Paslanmaz çelikler için çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen AISI 316L'nin kaplamalı ve kaplamasız takımlarla en uygun kesme şartları ve

parametrelerinin belirlenmesine, özellikle de işlemten sonra oluşan iş parçasının delik kalitesi ve takım aşınmasına yönelik literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple çalışmada; AISI 316L malzemesinin, delik delme operasyonlarındaki işleme durumları, sıcaklık ve kesme kuvvetleri ölçümü açısından değerlendirilerek, en uygun kesme parametrelerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca, delme işlemleri sonunda delik kalitelerinin belirlenmesi için delik yüzeylerinin pürüzlülük değerleri de ölçülmüştür.

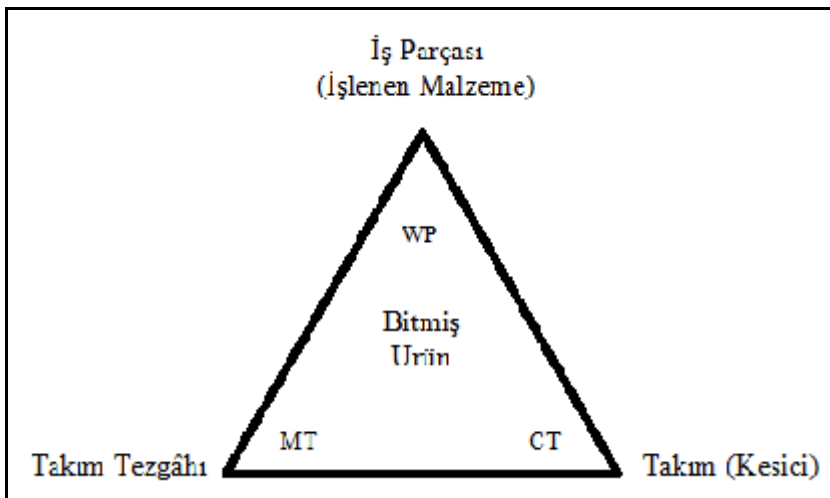
Elde edilen sonuçlarla, daha kaliteli delme işlemleri gerçekleştirmek ve kesici takım performansını arttırmak için en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. Delme sırasında oluşan kesme sıcaklıklarındaki değişimde gözlenmiştir. Böylece, kesici takımların endüstri alanında ideal kullanımıyla ilgili önemli fikirler de elde edilmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Talaşlı İmalat Yöntemleri

Takım tezgâhına bağlanan kesici takımlar yardımıyla iş parçası üzerinden talaş kaldırmak suretiyle, istenilen boyut ve nitelikte ürünler elde etmek için, kullanılan yöntemlerin tümüne birden *talaşlı imalat yöntemleri* denilmektedir. İmalatın ana amacı, ham madde halinde bulunan bir malzemeyi, belirli bir şekle dönüştürmektir. İmalatın hedefi olan ürünün elde edilebilmesi için bazı üretim araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Metal, plastik, ahşap gibi malzemeleri işleyerek belirli bir şekil veren tüm üretim araçlarına *takım tezgâhı* denilmektedir. Takım tezgâhlarındaki işleme biçimlerinden olan talaşlı imalat yöntemleri ise tornalama, delik delme, delik işleme, kesme ve kanal açma, vida çekme, frezeleme gibi işlemleri kapsamaktadır.

Malzemedan talaş kaldırılma işlemi, takım kesici ucunun (kenarının) iş parçası yüzeyine temas etmesi ve bu etki bölgesinde ki talaş kaldırma enerjisinin, talaşın kaldırıldığı tezgâhtan iş parçasına iletilmesi ile sağlanmaktadır. Bu sebeple Şekil 1'deki takım tezgâhı–kesici (takım)-iş parçası (işlenen malzeme) üçgeni arasındaki ilişki çok iyi kurulmalı ve kesme parametreleri olarak adlandırılan değişkenlerin iyi belirlenmelidir.



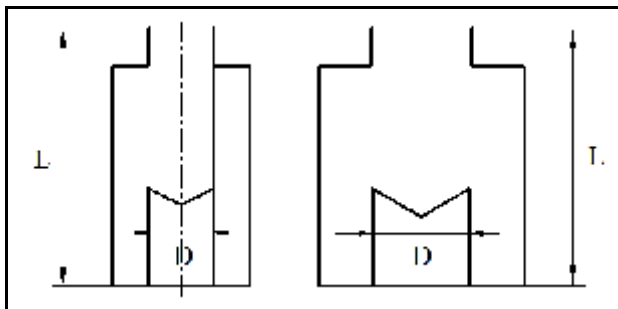
Şekil 2.1. Takım tezgâhı-kesici-iş parçası malzemesi üçgeni [2].

### 2.1.1. Delik delme işlemleri

Delik delme, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik işleme) ve raybalama gibi birbirini takip eden talaş kaldırma işlemlerini içermektedir. Bütün bu işlemlerde ortak olan, doğrusal bir ilerleme hareketi ile birlikte ana bir dönme hareketinin olmasıdır.

Kısa delik delme ve derin delik delme işlemleri birbirinden farklıdır. Derin delik delme, çapın birçok katı derinliğe sahip deliklerin açıldığı, uzmanlık gerektiren bir yöntemdir ve derinlik çapın 150 katına kadar çıkabilmektedir [3].

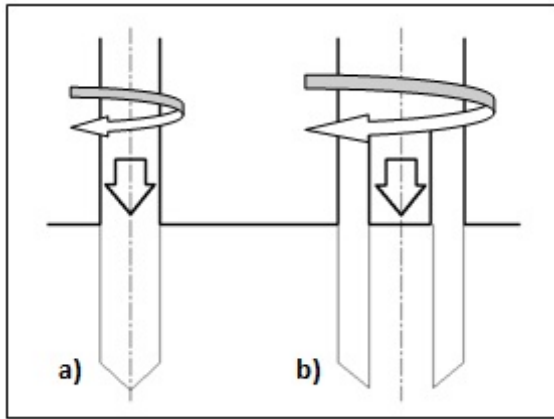
Delik derinleştikçe, işlemin kontrolü ve talaşın boşaltılması zorlaşmaktadır. Derin delik delme işleminde yüzey ve delik kalitesi daha büyük bir öneme sahipken, kısa deliklerde daha ekonomik bir işlem için daha yüksek talaş debilerinde çalışma önem kazanmaktadır. Kısa delik delme işlemi ile derin delik delme işlemi arasındaki fark, sadece çap ve delik derinliği ilişkisiyle sınırlandırılmamıştır. Talaş boşaltma, kalite ve talaş debisi ile ilgili parametreler de derin delik delme ile kısa delik delme işlemlerini ayıran temel özelliklerden olduğu bilinmektedir [4]. Delik boyu, delik çapının 10 katından daha büyük ise bu deliklere uzun delik, delik boyu ile delik çapı oranı 4-10 arasında olan deliklere normal delik, delik boyu çap oranı 3 ve daha küçük olan delikler ise kısa delik olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Çap-uzunluk ilişkisi [5].

En yaygın delik delme metodu, dolu bir malzemenin yekpare bir takım kullanılarak belirli bir çapta, tek operasyonda delinmesi ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.3.a). Hem içten, hem de dıştan kesen bir takımın kullanıldığı çevreden kesme metodu, bir

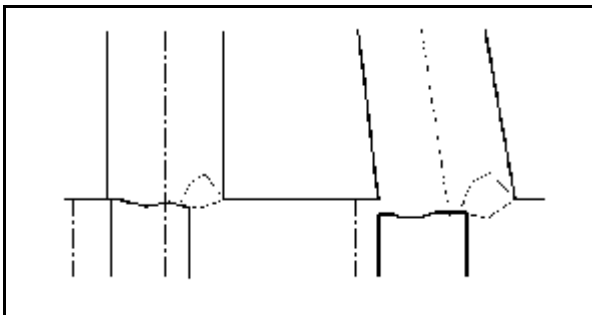
önceki delik delme işlemi kadar güç gerektirmeyen ve prensipte büyük çaplı deliklerin delinmesi için kullanılmaktadır (Şekil 2.3.b). Bazı işlemlerde delinecek deliğin yüzey kalitesinin ve delik toleransının iyileştirilmesi istenildiğinde, delme işlemini takiben bir delik genişletme işleminin uygulanması tavsiye edilmektedir. Bu üçüncü delme metodu, kısa delik delme matkaplarıyla gerçekleştirilen bir metot olup, yeterli hassasiyetin sağlanması için oldukça önemli olduğu bilinmektedir.



Şekil 2.3. Delik delme işlemleri [5].

- a) Tek seferde delme işlemi
- b) Çevreden kesme metodu ile delme işlemi

Kısa delik delme işleminde kullanılan matkapların birçoğu kendi kendini merkezleyebilmektedirler. Önceden delinmiş bir delikte, takım merkezi aranırken kesici kenarlarda düzensiz yüklemeler oluşabilmektedir. Bu durum, takımın eğri bir yol izlemesine ve oval bir delik delmesine yol açabilmektedir (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Delik genişletme işlemi ve takımın eğilmesi [5].

Kısa delik delme işlemi için geliştirilen kesici takımlar sayesinde delme işlemi öncesindeki ve sonrasındaki işlemlere olan gereksinim önemli ölçüde azalmıştır. Modern takımlar, delme işlemi herhangi bir merkezleme deliğine veya kılavuz deliğine gereksinim olmaksızın tek pasoda gerçekleştirebilmektedirler. Bu sayede delinmiş olan delik; gerek boyut, gerekse yüzey kalitesi açısından ek bir işlem yapılmasını gerektirmez. Bununla beraber önceleri delikler klasik, dikey tezgâhlarda delinirken, günümüzde bu tezgâhların birçoğu yerlerini daha modern FMS sistemlerine, işleme merkezlerine ve NC/CNC tornalara ve frezelere devretmişlerdir [5].

## 2.2. Delme Takımları (Matkaplar) ve Sınıflandırılması

Delme işlemlerinde kullanılan kesici takımlara genel olarak *matkap* denilmektedir. Matkaplar, talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici gruplarından birini oluşturmaktadır. Bir matkap kendi ekseni etrafında dönerek ve aynı zamanda ekseni doğrultusunda ilerleyerek, iki kesici ağzı ile iş parçası üzerinden kesme işlemi yapmaktadır. Metallerin işlenmesinde çok çeşitli matkap türleri kullanılmaktadır. Her matkap türü belirli bir ihtiyaç sonucu doğmuştur [6].

Tüm delme takımları için ortak olan problemler; kesme hızının merkezde sıfır, çevrede maksimum olmasından kaynaklanan problemler olarak bilinmektedir. Takım seçimi; delik çapı, delik derinliği, sağlanması gereken toleranslar, iş parçası malzemesi, üretim hacmi ve mevcut tezgâh gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak belirlenmektedir. Matkapların sivri ucu merkezde olacak şekilde tasarlanması sayesinde, takımın bir simetriye sahip olması ve kesme kuvvetlerinin birbirini dengelenmesini sağlamaktadır [5].

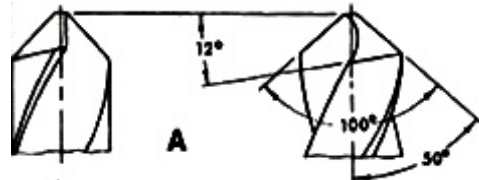
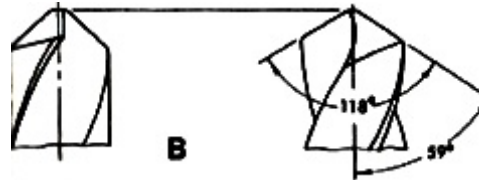
Kısa delik delme işleminde kullanılan matkaplar iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlar: bilenebilir matkaplar ve değiştirilebilir uçlu matkaplar olarak adlandırılmaktadır. 2,5 mm'den, 17 mm'ye kadar değişen çaplar için yaygın olarak bilenebilir matkaplar kullanılmaktadır. Özellikle kısa delik matkapları için tasarlanmış takım geometrisinin, merkezleme deliklerinin ve delme burçlarının



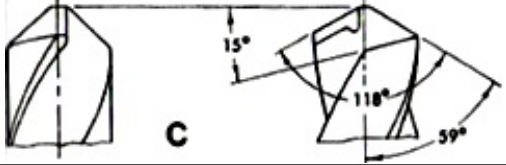
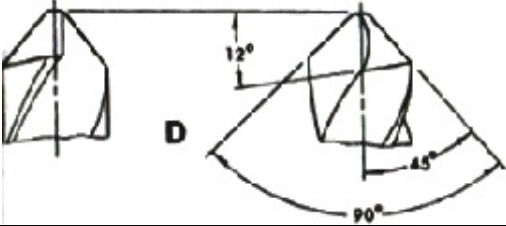

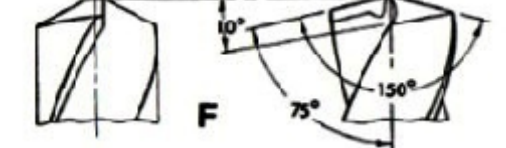
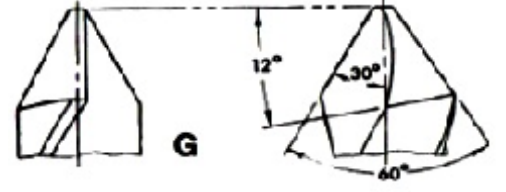
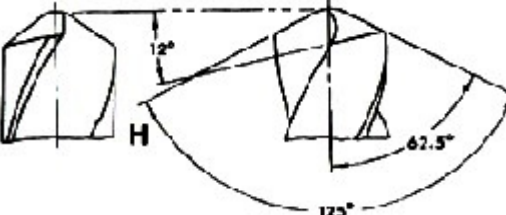
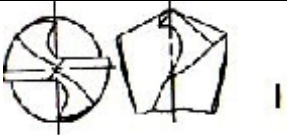
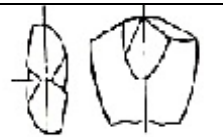
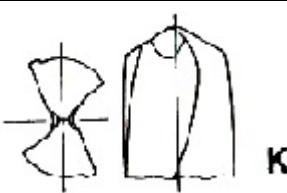
kullanımını ortadan kaldıran kendi kendini merkezleme özelliğine sahip oldukları bilinmektedir. Bu durum, oldukça yüksek talaş debilerinin elde edilmesi ve işleme zamanlarının klasik spiral matkaplara göre 3-4 kat azalması anlamına gelmektedir. Bu durum kesici ucun matkabın ömrü boyunca 30-40 defa değiştirilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, pek çok yaygın delik çapı için değiştirilebilir uçlu matkap bulunmamaktadır. Bu nedenle klasik hız çelikleri, delme takımları arasında küçük çaplı delikler için en fazla kullanılan takımlardır [5].

Parça malzemesine bağlı olarak kesme açlarına göre DIN standardında (DIN 1414) N, H ve W ile simgelenen üç çeşit matkap bulunmaktadır (Çizelge 2.1.). Bunlara plastik malzemeler için geçerli olan değiştirilmiş tip de ilave edilebilmektedir. Bu matkapların her birinin kesme açıları farklı olup, her tip için kesme açıları matkabın d çapına bağlı olarak değişmektedir. Çelik ve dökme demir için geçerli olan N tipi matkabın uç açısı  $118^\circ$ 'dir. Bu açı standart bir açı olarak kabul edilmektedir. Uç açıları  $118^\circ$ 'den daha küçük olan matkaplara uzun açılı, daha büyük olanlara ise düz denilmektedir. Uç açısı büyüdükçe köşe açısı azalmakta ve aşınma hızlanmaktadır. Bu menfi etkiyi gidermek için büyük uç açılı matkaplar ve ikinci açı  $70^\circ$  olmak üzere çift açılı şeklinde oluşturulmaktadır [7]. Bu matkaplar, uç açıları ve kullandıkları malzemelerle birlikte Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Malzeme tiplerine göre kullanılan matkaplar ve uç açıları [7].

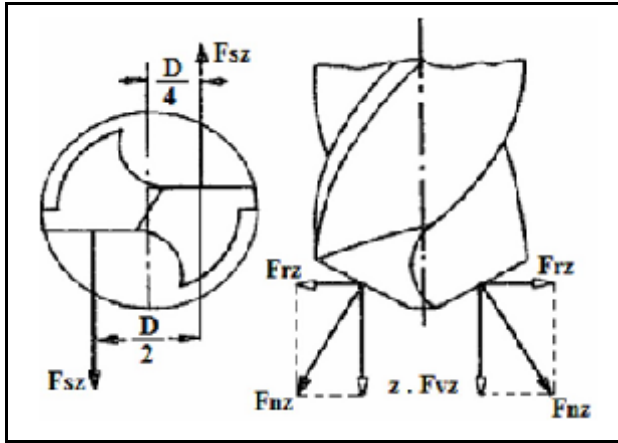
Malzemenin Tipi		Uç Açısı	Kullanılabilen Matkap Tipi
Bakır ve orta yumuşak bakır alaşımları	A	$100^\circ$	
Kalıplanmış plastik, bakalit, vb	B	$118^\circ$	

Çizelge 2.1. (devamı) Malzeme tiplerine göre kullanılan matkaplar ve uç açıları [7].

Pirinç ve yumuşak bronz	C	118°	
Dökme demir, alternatif kalıp dökümleri ve alüminyum	D	90°	
Krank milleri ve derin delik	E	70°	
Manganlı çelik ve sert alaşımlı çelikler (uç açısı 125° - 135°)	F	100°	
Ahşap, fiber, sert kauçuk, alüminyum	G	100°	
Isıl çelikler ve dövülmüş çelikler	H	100°	
Uç açısı 118° ya da 135° olan, kendi kendini merkezleyebilen	I	100°	
Doğru derin delikler ve yüksek hızda kesme için parabolik oluklu	J	100°	
Öz inceltme (özün inceltmesi, uygun boyda keski ucu etkisi oluşturur.)	K	100°	

### 2.3. Delik Delmede Kesme Kuvvetleri, Moment ve Güç

Delme sırasında bir ağza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri, yani kesme kuvveti ( $F_{sz}$ ), ilerleme kuvveti ( $F_{vz}$ ) ve radyal kuvvet ( $F_{rz}$ ) Şekil 2.5.'de gösterilmiştir. Ağzuların konumu itibariyle her ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece  $F_s$  ve  $F_v$  kuvvetleri etki göstermektedir [9].



Şekil 2.5 Matkapla delmede kesme kuvvetleri [10].

Bir ağza karşılık gelen kesme kuvveti;

$$F_{sz} = A_{sz} k_s = \frac{dS_z}{2} k_s = \frac{ds}{4} k_s \quad [N] \quad (2.1)$$

ve toplam kesme kuvveti;

$$F_s = zF_{sz} = 2F_{sz} = ds_z k_s = \frac{ds}{2} k_s \quad [N] \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir.

Kesme kuvvetine bağlı bir ağza etki eden kesme momenti,

$$M_{sz} = F_{sz} \cdot d / 4 \quad [Nm] \quad (2.3)$$

ve iki ağza karşılık gelen toplam kesme momenti,

$F_s = 2.F_{sz}$  olduğundan,

$$M_s = z.F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = 2.F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = F_s \cdot \frac{d}{4} \quad [\text{Nm}] \quad (2.4)$$

şeklinde yazılır.

Bu bağıntıdan verilen bir  $M_s$  (Nm) değerine delinebilecek delik çapı;

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^3 \cdot M_s}{s \cdot k_s}} \quad [\text{mm}] \quad (2.5)$$

formülü ile bulunur.

Toplam ilerleme kuvveti;

$$F_v = 2.F_{vz} = 2.F_{sz} \cdot \sin \gamma = F_s \cdot \sin \gamma \quad [\text{N}] \quad (2.6)$$

bağıntısı ile tayin edilir.

İlerleme kuvveti  $F_v$  aksenal kuvvet niteliğindedir. Delik açmada, ana kesme ağızlarında meydana gelen bu kuvvetin yanı sıra, radyal kesme ağzında da, aksenal nitelikte  $F_1$  ilerleme kuvveti oluşmaktadır. Şöyle ki, delik açma sırasında matkabı etkileyen ve yenilmesi gereken aksenal kuvvet;

$$F_a = 2.F_{vz} + F_1 = F_v + F_1 \quad [\text{N}] \quad (2.7)$$

olarak ifade edilir.

Yapılan deneylere göre aksenal kuvvetin %40'ı  $F_v$ ; %57'si  $F_1$  ve geri kalanı (% 3) sürtünme kuvvetidir. Aksenal kuvvet  $F_a$  ilerlemeyi sağlayan elemanları ve özellikle yatakları (rulmanları) zorlamaktadır. Tezgâhın programlanması sırasında bu elemanlar, belirli bir aksenal kuvvete ( $F_{a \max}$ ) göre hesaplanır. Çalışma sırasında  $F_a > F_{a \max}$  olursa, ilerlemeyi sağlayan elemanlar ve özellikle rulmanlar çabuk bozulur. Ayrıca  $F_a$  kuvveti takımı burkulmaya zorlar.  $F_{a \max}$ 'ın değeri tezgâh katalogunda verilir [8].

### 2.3.1. Kesme gücü ve tezgâh gücü

Delme sırasında harcanan güç, kesme ve ilerleme için gereken güçtür. Kesme gücü,  $\omega = \pi.n/30$  olmak üzere  $M = P/\omega$  bağıntısından hareket edilirse;

$$P_s = M_s \cdot \omega = \frac{\pi}{30} \cdot M_s \cdot n = \frac{M_s \cdot n}{9550} \quad [\text{kW}] \quad (2.8)$$

şeklinde yazılır.

İlerleme gücü;

$$P_v = F_v \cdot u = \frac{F_v \cdot s \cdot n}{60 \cdot 1000 \cdot 1000} \quad [\text{kW}] \quad (2.9)$$

olur. Toplam güç;

$$P_{top} = P_s + P_v \quad [\text{kW}] \quad (2.10)$$

denklemleriyle hesaplanır. Yapılan incelemelere göre, ilerleme gücü toplam gücün %0,5 ile %1,5 arasındadır. Dolayısıyla pratik bakımından bu güç ihmal edilebilir ve delme için gereken güç (2.14) kesme gücü bağıntısı ile hesaplanabilir.

Tezgâh Gücü; ( $M_s - N.m$ )

$$P_m = \frac{P_s}{\eta_m} = \frac{M_s \cdot n}{9550 \cdot \eta_m} \quad [\text{kW}] \quad (2.11)$$

$$P_s = \frac{M_s \cdot n}{9550 \cdot \eta_m} \quad [\text{kW}] \quad (2.12)$$

bağıntısı ile tayin edilir. Burada  $\eta_m$  tezgâhın verimidir.

Verilen bir  $P_m$  için delinebilecek maksimum delik çapı;

$$d = \sqrt{\frac{764 \cdot 10^5 \cdot P_m \cdot \eta_m}{s \cdot k_s \cdot n}} \quad [\text{mm}] \quad (2.13)$$

bulunur [7].

### 2.3.2. Kesme parametrelerinin belirlenmesi ve buna etki eden faktörler

Kesme hızı ve ilerleme takım ömrünün belirlenmesinde temel faktörlerdir ve güç tüketimi üzerinde de oldukça etkili oldukları bilinmektedir. Parametrelerin işlemin ve malzemenin özellikleri göz önüne alınmadan belirlenmesi (gerekenden yüksek ya da düşük); hem kesici takımında, hem de malzeme de ciddi sorunlara sebep olmaktadır. Kesme hızı tercihleriyle ilgili öngörülen durumlar şöyle sıralanabilir:

Aşırı yüksek kesme hızlarının;

- Matkap üzerinde hızlı serbest yüzey aşınmasına,
- Kesme kenarlarında plastik deformasyona,
- Düşük delik kalitesine,
- Tolerans dışı sonuçlara

yol açabildiği bilinmektedir [3].

Çok düşük kesme hızlarının ise;

- Matkap üzerinde talaş yığılması oluşumuna,
- Talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine,
- Düşük verimlilik/delik başına yüksek maliyete

sebeplenebileceđi belirtilmektedir [3].

İlerleme hızı talaş oluşumu için belirleyici bir faktördür ve ayrıca mekanik ve ısı gerilmelere yol açabilmektedir. İlerleme hızı tercihleri (düşük ya da yüksek) sonucu beklenen durumlar aşağıda sıralanmıştır:

Yüksek ilerleme hızları;

- İyi talaş kontrolü,
- Daha düşük kesme süresi,
- Daha yüksek matkap kırılma riski,
- Daha kötü delik kalitesi

anlamı taşımaktadır [3].

Düşük ilerleme hızları ise;

- Daha uzun talaş,
- Kalitede iyileşme,
- Takım aşınmasında daha hızlı artış,
- Daha uzun kesme süresi/delik başına daha yüksek maliyet

anlamına gelmektedir [3].

Kesme parametreleri belirlenirken en önemli etkenler işlenen ve işleyen malzeme (malzeme çifti) özellikleridir. Bu sebeple, kesme parametreleri belirlenirken;

- i)** İşlenecek malzeme için, seçilen AISI 316L malzeme üreticileri tarafından kesici takım cinsine göre önerilen değerler,
- ii)** Kesici takım malzemesi için ise kullanılacak kesici takım üretici firmanın işlenecek bu malzeme için önerdiği değerler,

dikkate alınmıştır.

Kesme hızı ve ilerleme değerleri direkt olarak cetvellerden seçilebilir veya rasyonel ve optimizasyon ilkelerine göre tayin edilebilir.

Rasyonel yöntemle göre kesme hızının ve ilerlemenin değerleri, Taylor veya genişletilmiş Taylor bağıntısına dayanarak tayin edilir. Delik delmede de Taylor bağıntısı;

$$V = \frac{C_t}{T^n} \text{ veya } \frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^k \quad [\text{m/dak}] \quad (2.14)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada; hız çeliği takımları ve parça malzemesi;

- ✓ Çelik için  $n = 0,2 - (k=5)$ ,
- ✓ Dökme demir için  $n = 0,125 - (k=8)$ ;
- ✓ Sert metal takımlar için  $n = 0,2 - (k=5)$  alınabilir.

Delmede paso kalınlığı;

$$a_p = d / 2 \quad [\text{mm}] \quad (2.15)$$

olduğu dikkate alınır, rasyonel yöntemde  $d$  değeri hesaplanır ve belirli bir ömür için kesme hızı  $V$  tayin edilir [8].

#### 2.4. Sıcaklık Ölçümünde Kullanılan Veri Kaydediciler ve Isıl Çiftler

Talaş kaldırma işlemlerinde kesme yapılırken, kesici ile iş parçası ara yüzeyinde sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Sağlıklı bir kesme işlemi gerçekleştirebilmek için meydana gelen bu sıcaklığın kontrol edilebilmesi büyük önem arz etmektedir. Sıcaklığın kontrol edilememesi kesici takım ömrünü azaltıp iş parçasının da kimyasal yapısında istenmeyen değişikliklere sebep olmaktadır. Söz konusu durumlar tüm talaş kaldırma işlemlerinde olduğu gibi delik delme işlemi içinde geçerlidir.



Kesme esnasında oluşan sıcaklığın ölçülmesi için ısı çiftleri ve ısı çiftlerinin bağlandığı veri kaydediciler (Data logger) yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

#### **2.4.1. Veri kaydediciler**

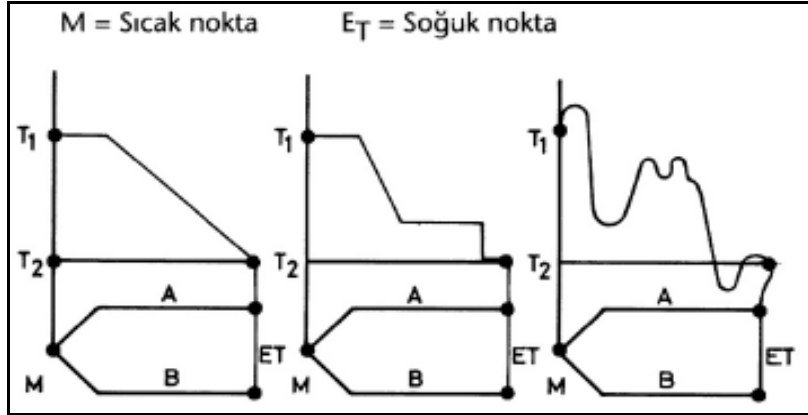
Veri kaydediciler, belirli zaman aralıkları ile yapılan sıcaklık, nem, akım, gibi değerlerin ölçümlerini kaydeden cihazlardır.

Standart bir termometre ile veri kaydediciler arasındaki temel fark zaman içerisinde karşılaşılan koşulların kaydedilerek gözden kaçmasının engellenebilmesidir. Bu da kullanıcıya raporlama ve geriye dönük olarak koşullardaki değişimlerin analiz edilebilmesi imkânı sağlamaktadır. Böylece, bir problem oluştuğunda kaynağının bulunması ve düzeltilmesi çok daha kolaylaşmaktadır [9].

#### **2.4.2. Isıl çiftler**

Talaşlı imalat işlemlerinde sıcaklık ölçümleri gün geçtikçe önemli bir konu haline gelmiştir. Sıcaklık, çok çeşitli fiziksel özellikleri etkileyen bir parametre olması nedeniyle ölçülmesi gereken, önemli bir değişkendir. Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler içerisinde en çok kullanılanlardan biri ısı çiftleridir. Isıl çiftlerle -200 °C ila 1200 °C arasında ölçüm yapılabilmektedir [9].

Isıl çiftler iki farklı alaşım ucunun kaynaklanması ile oluşturulan basit bir sıcaklık ölçüm elemanı olarak bilinmektedir. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak adlandırılır. Isıl çiftlerle ölçme, sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğmaktadır. Bu sıcaklık farkına orantılı olarak, soğuk nokta uçlarında gerilim üretilir. Isıl çiftlerin sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orantılıdır (Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. Isıl çiftlerde sıcak ve soğuk nokta sıcaklığının önemi [9].

-200 °C'den 2320 °C'ye kadar çeşitli sıcaklık aralıklarında en çok kullanılan DIN 43710 ve IEC 584 standart ısı çift telinin bazı çeşitleri Çizelge 2.4.'de verilmiştir:

Çizelge 2.2. Bazı ısı çift çeşitleri [9].

Cu-Const (CuNi)	Bakır-Konstantan
Fe-Const (CuNi)	Demir-Konstantan
Cr-Al	Kromel-Alümel
NiCr-Ni	Nikelkrom-Nikel
Nikrosil-Nisil	NikelkromSilikon-Nikelsilikonmagnezyum
Pt%13Rh-Pt	Platin Radium-Platin (%13)
Tn-Tn%26Re	Tungsten-Tungsten %26 Renyum

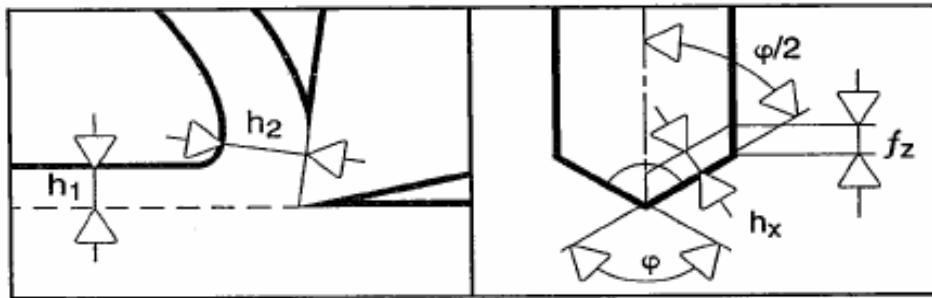
*K tipi ısı çifti:* Bu ısı çiftin, sıcaklık hissedici teller ile dış koruyucu kılıf içerisine yüksek saflıkta MgO tozu ile sıkıştırılarak izole edilmiştir. Küçük çapları nedeniyle bükülebiliyor olması ürüne portatif uygulamalarda geniş kullanım imkanı sağlamaktadır. K tipi ısı çiftler -200 °C ile 1200 °C arasındaki sıcaklıkları ölçebilmektedirler. Bu tip ısı çiftler; tavlama fırınlarında, Teflon fırınlarında, pişirme fırınlarında, tünel fırınlarında, ark ocaklarında ve laboratuvar test ekipmanlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [11].

## 2.5. Delme İşlemlerinde Talaş Oluşumu

Normal delik delme işleminde kullanılan matkapların birçoğunda iki talaş kanalı ve iki kesici kenar vardır. Talaşlar, delik içerisinden helis kanalları yardımıyla boşaltılırlar. Bu işlem, modern tezgâhlarda ve matkaplarda ise kesme sıvısının takım içerisinde bulunan kanallar vasıtasıyla kesme bölgesine aktarılması şeklinde gerçekleştirilir. Talaş oluşumu iş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kesme sıvısı seçiminden etkilenir. Genellikle artan ilerleme ve/veya azalan kesme hızı değerleri kısa talaş oluşumuna neden olurlar. Talaşların matkabın kesici kenarlarından problemsiz uzaklaştırılması, elde edilen talaşın kabul edilebilir bir uzunlukta olduğunu gösterir. Talaş kırma aralığının etüdü sonrasında doğru kesme verilerinin saptanması mümkündür. Talaş kırma alanı, söz konusu malzeme üzerinde çeşitli kesme hızı-ilerleme değerlerinin denenmesi ve belirlenen değerlerden talaş kırma açısından tatmin edici sonuçlar veren değerlerin seçilmesiyle oluşturulur [5].

Kesme hızı, matkabın çevresinden merkeze yaklaştıkça azalır. Bu nedenle kesme hızının azalması sonucunda ortaya çıkabilecek BUE (yığılma kenar oluşumu) riskinin göze alınması gerekir.

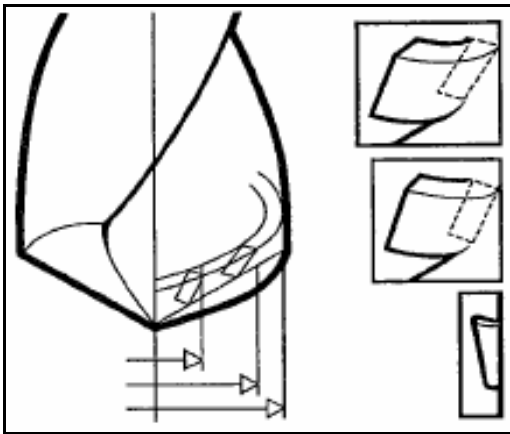
Talaş kaldırma işlemi esnasında talaşın plastik deformasyona uğraması nedeniyle, deformasyona uğramış talaş kalınlığı ( $h_2$ ), teorik talaş kalınlığından ( $h_1$ ) farklıdır. Delme işleminde teorik talaş kalınlığı artan kenar başına ilerleme ve uç açısı ( $\phi$ ) ile artar (Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. Talaş oluşumuna etki eden faktörler [5].

Artan ilerleme değeri ile helis açısı artar ve boşluk açısı azalır. Azalma merkeze en yakın noktada en yüksek seviyeye ulaşır. Bu ise, takım ile delik yüzeyleri arasındaki aşınmanın önlenmesi için boşluk açısının çevreden merkeze doğru artırılmasını zorunlu kılar. Talaş açısı, kesici kenar boyunca değişir ve matkabın çevresinden merkeze doğru azalır. Matkabın hızının da çevreden merkeze doğru azalması nedeniyle kesme hızının sıfır olduğu merkez noktasında matkabın ucu son derece verimsiz çalışacaktır. Matkap, merkezdeki malzemeyi kesmek yerine bastırıp ezerken talaş açısının negatif olduğu ve kesme hızının sıfıra yaklaştığı noktada bir plastik deformasyon oluşur (Şekil 2.8.). Bu basınç oldukça yüksek bir aksel kuvvet bileşeninin ortaya çıkmasına neden olur. Tezgâhın gücü delinecek deliğin boyutlarına göre düşükse, ilerleme kuvvetinin büyük olmasından dolayı tezgâh ana milinin esnemesi söz konusu olacak ve bunun sonucunda oval delikler elde edilecektir.

Radyal ağız nedeniyle ortaya çıkan elverişsiz çalışma koşullarının giderilmesi için takımlarda önemli değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Radyal ağız çok inceltmiş veya tamamen ortadan kaldırılmış ve kesici kenara matkap merkezine doğru bir yarıçap verilmiştir [5].



Şekil 2.8. Kesici kenarın talaş kaldırması [5].

Klasik helisel matkaplarda çekirdek kısmının inceltilmesi işlemi, matkabın ucundaki helis kanalın taşlanması ile gerçekleştirilir. Bu sayede çapraz kesici kenarın uzunluğu azaltılır ve ana kesici kenar kırık bir hat oluşturur. Çekirdeğin inceltmesini takiben

kesici kenarlara doğrusal bir profil kazandırabilmek amacıyla bir son taşlama işlemi uygulanır. Son taşlama ana kesici kenarın tamamına veya bir kısmına uygulanır ve böylelikle işlem süresince sabit bir talaş açısının elde edilmesi sağlanır. Örneğin, kırılğan malzemelerin delinmesi işleminde, tüm kesici kenar boyunca küçük bir talaş açısına sahip bir matkabın kullanılması tavsiye edilir [5].

## **2.6. Delik Delme İşlemlerinde Delik Kalitesinin Belirlenmesi ve Yüzey Pürüzlülüğü**

Günümüzde gelişen teknolojiye bağlı olarak, üretimden beklenen yüksek hassasiyet oranı da giderek artmaktadır. Dolayısıyla delik delme işlemini içeren çalışmalar için de aynı yüksek hassasiyet ve yüksek kalitede ürün beklentisi oluşmaktadır.

Delik kalitesini belirleyen en önemli özellikler;

- Ölçü tamlığı (toleranslar dahilinde),
- Dairesellik,
- Eksenden sapma (silindiriklik) ve
- Delinmiş yüzeylerin kalitesi

olarak sıralanabilir.

Deliklerde bu özellikleri sağlamak için ikincil bir işlem olarak *raybalama* işleminin uygulanması yaygındır. Ancak günümüzde modern takım tezgâhları ve modern delme takımları ile ilave bir işlem ve önemli bir maliyet getiren bu uygulama yapılmadan da arzu edilen delik kalitesinin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Doğru seçilmiş kesme parametrelerinin, istenilen delik kalitesinin elde edilmesi için en önemli etkenler oldukları bilinmektedir.

Sanayiye dönük uygulamalarda delik geometrisine sahip parçaların kullanımı önemli yer tutmaktadır. Birbiri üzerinde hareket eden parçaların iç yüzey kalitesi ve pürüzlülüğü bu parçaların performansında önemli rol oynar. Delik iç yüzeyleri bitirme işlemlerinde birçok problemle karşılaşıldığından, üretimde zaman olarak

büyük yer tutmaktadırlar. Bu yüzden delik delme işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün ölçümü önemli yer tutmaktadır [12].

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler;

- Kesici takımdaki titreşimler,
- Kesici takım geometrisi,
- İşlenen iş parçasında medyana gelen titreşim ve balans,
- İlerleme miktarı,
- Kesme hızı,
- Talaş derinliği,
- Kesici uçun üzerine talaşın yapışması (BUE),
- İşlenen malzemenin süreksiz talaş vermesi

şeklinde sıralanabilir [13-14].

### **2.6.1. Bazı yüzey pürüzlülük ölçme yöntemleri**

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü; talaşlı imalatta hem zaman, hem de maliyet açısından tasarruf sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla çeşitli yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri geliştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri, ölçüm yapılacak iş parçasının ve uygulanan işlemin özelliklerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

Bu ölçme yöntemleri, ölçme hızı ve uygulama şekli bakımından;

- Tahribatlı veya tahribatsız ölçme,
- Temaslı veya temassız ölçme,

Hassasiyeti bakımından ise;

- Kaba,
- Orta veya hassas

olmak üzere Çizelge 2.3.'de gruplandırılmıştır [15].

Çizelge 2.3. Yüzey pürüzlülük ölçme yöntemleri ve özellikleri [15].

Ölçme Yöntemi		Uygulama Şekli				Ölçme Hassasiyeti		
		Tahribatlı	Tahribatsız	Temaslı	Temassız	Kaba	Orta	Hassas
1.	Dokuma Yöntemi		◆	◆		◆		
2.	Mekanik Çalışma Yöntemi	◆		◆		◆		
3.	Hidrolik Yöntem		◆	◆		◆		
4.	Pnömatik Yöntem		◆		◆			◆
5.	Yüzey Dinamometresi	◆		◆		◆		
6.	Kapasitans Yöntemi		◆		◆		◆	
7.	X Işını Yöntemi		◆		◆			◆
8.	Elektron Mikroskobu Yöntemi		◆	◆				◆
9.	Optik Mikroskop Yöntemi		◆		◆	◆		
10.	Kesit Alma Yöntemi	◆		◆		◆		
11.	Karşılaştırma Mikroskobu Yöntemi		◆		◆	◆		
12.	Optik Yansıma Yöntemi		◆		◆			◆
13.	Optik Parazit Alerti Yöntemi		◆	◆			◆	
14.	Işık Yansıması (İnterferometri) Yöntemi		◆		◆			◆
15.	Replika (Mask ) Yöntemi		◆	◆		◆		
16.	Standart Örnek Yüzeyle Yöntemi		◆		◆	◆		
17.	Işık Bantlı Miköntemirokop Yöntemi		◆		◆			◆
18.	Elektro-Fiber Optik Sistem Yöntemi		◆		◆			◆
19.	İnterferans Mikroskop Yöntemi		◆		◆			◆
20.	Kisilev Profilometresi Yöntemi		◆	◆				◆
21.	Yaylı Tip Profilometreler Yöntemi		◆	◆				◆
22.	Elektrikle Çalışan Profilometreler Yöntemi		◆	◆				◆
23.	Levin Profilografı Yöntemi		◆		◆		◆	
24.	Linnik İkili Mikroskobu Yöntemi		◆		◆	◆		

Çizelge 2.3. (devamı) Yüzey pürüzlülük ölçme yöntemleri ve özellikleri [15].

25.	Hava Mastarı Hava Mastarı yöntemi		◆		◆	◆		
26.	Fotoğraf Yöntemi		◆		◆		◆	
27.	Görsel Komperatörler Yöntemi		◆		◆	◆		
28.	Çok Sayıda Yüksekliğin Masterla Okunması Yöntemi		◆		◆	◆		
29.	Kaydedici İndikatör Yöntemi		◆	◆			◆	
30.	İzleyici Uçlu Cihazlar Yöntemi		◆	◆				◆

Bu metotlardan, deneylerde kullanılan izleyici uçlu cihazlar metodu aşağıda tanımlanmıştır.

*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 arz ettiğinden 0,00004 mm çapında iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemlerinden birisidir [15].



### 3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Bütün paslanmaz çelikler esas olarak demir alaşımlarıdır ve pasifleşme özelliği gösterirler. Bunu ifade etmek üzere İngilizce’de lekesiz anlamına gelen *stainless* kelimesi kullanılmıştır. Bu çeliklerde pasifleşmeyi sağlayan asıl metal *kromdur*. Alaşımı oluşturan diğer bileşenler paslanmaz çeliğin diğer yapısal özelliklerini geliştirmek içindir [16].

Basit karbonlu çeliklerde karbon yüzdesi arttıkça sertlik ve mukavemet artar. Fakat metalin sünekliği azalır ve gevrekleşir. Sünekliği koruyarak mukavemeti arttırmak için çelik içine alaşım elementleri eklenir. Özellikle krom ve nikel katılarak çeliğe paslanmazlık özelliği kazandırılır. Bu şekilde elde edilen alaşımlı çeliklerin türü 2000’e yaklaşmıştır. Çeliğe katılan her elementin metal özellikleri üzerine etkisi değişiktir. En çok kullanılan elementleri Cr, Ni, Mo, Mn, Si, Co, W, V, N dur. Bu elementler alaşım içinde ya katı çözelti halinde, ya da karbür bileşiği şeklinde bulunurlar [16].

Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımlarının yanında, farklı mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmeleri, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere de sahiptirler [16].

Kullanımları giderek yaygınlaşan paslanmaz çeliklerin tüketimi, artık toplumlarda refah seviyesinin bir göstergesi sayılmaktadır. Dünya genelinde yılda 20 milyon ton civarında paslanmaz çelik tüketilmektedir [17].

#### 3.1. Paslanmaz Çeliklerin Oluşumu

Bir metal yüzeyinde korozyon sonucu oluşan ürünler eğer metal yüzeyinde birikerek koruyucu bir katman oluşturursa, korozyon hızında azalma olur. Bu koruyucu katmanın etkili olması; korozyon ürünlerinin çözünürlüğüne, ürünlerin metal yüzeyine yapışma yeteneğine, oluşan tabakanın geçirgenliğine, elektriksel direncine

ve mekanik sağlamlığına bağlıdır. Çözünebilen veya yüzeye sağlam yapışmayan korozyon ürünlerinin koruyucu özellikleri yoktur.

Oksit tabakası ile metal arasında en sağlam bağ, ikisinin de birbiriyle uyuşabilen kristal yapıda olması ile mümkün olur. Metaller genellikle kübik sistemde kristalleştiği için, kübik sistemde kristal veren oksit tabakaları metal yüzeyine daha iyi yapışır. Oksit kristal kafesi parametreleri, metalinkinden daha küçük olduğu zaman, oluşan tabakada boşluklar görülür ve koruyucu özelliği azalır.

Hangi oksit tabakasının koruyucu özellik gösterdiği ancak deneysel olarak belirlenebilir. Bu özelliklere ayrıca erozyona karşı dayanıklılığın da eklenmesi gerekir. En önemli koruyucu oksit tabakaları olarak  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  ve  $Fe_3O_4$  gösterilebilir. Bu tabakalar hazırlanırken kazanlarda bir film (katman) oluşur. Oluşan kübik kristal filmler korozyon açısından faydalı bir olaydır. Çünkü metal yüzeyine iyi yapışma özelliğine sahiptir. Hem çözünürlüğü, hem de elektriksel direnci azdır. Koruyucu oksitler içinde  $(RO.R'_2O_3)$  genel formülü ile ifade edilen *spinel oksit* yapısının özel bir önemi vardır. Biri iki, diğeri üç değerli metal oksitlerden oluşan spinel oksitler, kristal yapıları itibarıyla yüzeye sağlamca yapışırlar.  $Fe_3O_4$  spinel oksitlerin en basitidir. Burada R ve  $R'$  sembolü ile gösterilen metallerin her ikisi de demirdir. Buna benzer olarak bazı oksitlerde R, nikel veya kobalt olabilir. Üç değerli  $R'$  alüminyum, krom veya demir -3 olabilir.

Kromlu paslanmaz çeliklerde R,  $Fe^{2+}$  ve  $R'$ ,  $Cr^{3+}$  şeklindedir. 300 serisi krom-nikel paslanmaz çeliklerinde, oluşan oksit tabakası içinde RO oksidi, FeO+NiO'den,  $R'$  oksidi ise,  $Cr_2O_3$ ' den meydana gelir. Birçok çelik alaşımlarında daima  $R'$  daima  $Cr^{3+}$  şeklindedir.

Tek bir metalin oksidi de iyi koruyucu özellik gösterebilir. Bunlardan  $Al_2O_3$  ve BeO mükemmel özellikte koruyucu tabakalar oluşturur. Bakır, gümüş gibi metallere az miktarda alüminyum katılması ile korozyona dayanıklılık arttırılabilir. Örneğin

gümüş, önceden basınca dayanıklı kap (otoklav) içinde buhar ile muamele edilerek yüzeyde sağlam bir koruyucu film oluşması sağlanabilir. Böylece paslanmaz gümüş elde edilerek sonradan parlatılmasına gerek kalmaz.

Koruyucu korozyon ürünlerinin başka bir uygulama şekli de, düşük alaşımlı çeliklerin yüzeyinde koruyucu oksit tabakası oluşması için, fazla korozif olmayan bir atmosferde bir süre bekletmektir. Örneğin, bir yıl atmosferde bekletilmiş olan çelik yüzeyinde dayanıklı ve hoş renkli bir katman oluşur.

Demirin nitrik asit içindeki reaksiyonunda tipik bir pasifleşme olayı gözlenir. Eğer bir çelik parçası önce nitrik asit içine, daha sonra da bakır sülfat çözeltisi içine daldırılırsa, bakırın pasifleşmiş olan çelik üzerinde toparlanmadığı görülür. Ancak bu pasif tabaka dayanıksızdır. Çelik yüzeyi bir cam çubuk ile çizilecek olursa, pasiflik bozulur ve bakır, çelik üzerinde toparlanmaya başlar. Buna benzer dayanıksız pasiflik tabakaları teknikte koruyucu olarak kullanılamaz.

Daha önce açıklanmış olduğu üzere, çelik içinde yeteri miktarda krom ve nikelin bulunması halinde pasiflik tabakası oldukça kuvvetlidir. Bu durumda  $RO.R'_2O_3$  tipi bir oksit filmi oluşur. Bütün paslanmaz çeliklerde  $R'$  krom, R ise demir veya nikelidir. Bu oksit tabaka metalin oksidan bir madde ile teması veya uygun bir anodik akım ile kolayca oluşabilir. Eğer çelik içinde yüzeyi tam olarak oksit tabakası ile örtmeye yetecek oranda krom bulunuyorsa, bu çelikler *paslanmaz çelik* adını alırlar.

Paslanmaz çelikler atmosfer ve diğer oksitleyici ortamlara karşı çok dayanıklıdır. Buna rağmen az miktarda klorür iyonu taşıyan elektrolitler içinde koruyucu oksit filmi bozulabilir. Bu nedenle oksijensiz ortamlarda, örneğin buhar kazanlarında paslanmaz çelik kullanılması tehlikeli olabilir [16].

### 3.2. Paslanmaz Çelik Çeşitleri

Paslanmaz çelikler kristal yapıları göz önüne alınarak beş grup altında toplanabilirler:

- Martensitik Paslanmaz Çelikler,
- Ferritler Paslanmaz Çelikler,
- Östenitik Paslanmaz Çelikler,
- Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler,
- Çökeltme ile Sertleşen Paslanmaz Çelikler.

İlk paslanmaz çelikler demir içine %10-18 krom katılarak elde edilmiştir. Başlangıçta üretilen paslanmaz çelikler içinde karbon yüzdesi oldukça yüksekti. Demir içinde bulunan karbon yüzdesinin %0,2'nin altına düşürülmesi tekniği henüz bilinmiyordu. O zamanlar çelik oluşumunda östenit-martensit dönüşümlerinin kinetiği de henüz açıklığa kavuşmamıştı. Günümüzde karbon yüzdesi düşürülerek paslanmaz çelik teknolojisinde büyük gelişmeler olmuş ve üstün mekanik özelliklerde çelikler elde edilmiştir. Ayrıca üretilen paslanmaz çelikler aynı krom yüzdelерinde olmalarına rağmen içindeki karbon miktarı % 0,1'den azdır. Böylece ferritik paslanmaz çelik oluşumu sağlanabilmektedir. Ferritik ve martensitik paslanmaz çeliklerin her ikisi de manyetik özelliktedir ve 400 serisi içindedirler. Bu iki çelik yapısı arasındaki en önemli fark karbon yüzdesidir.

Son zamanlarda daha düşük yüzdelerde karbon içeren L tipi (Extra Low Carbon) çelik üretim tekniği geliştirilmiştir. Argon-oksijen karbon giderme yöntemi ve vakum oksijen karbon giderme yöntemleri artık rutin hale gelmiştir. Bu yöntemlerle karbon miktarı veya karbon ile azot toplamı 150 ppm değerinin altına düşürülebilmektedir. Böylece elde edilen ferritik paslanmaz çelik için "süperferrit" terimi kullanılmaktadır [16].

### **3.2.1. Martensitik paslanmaz çelikler**

% 12-20 oranında krom ve % 0,1-1,2 oranında karbon içeren demir karbon alaşımlarıdır. Martensitik paslanmaz çelikleri, diğer paslanmaz çelik türlerinden ayıran en önemli özellikleri, bunların karbon yüzdesi yüksek olduğundan, ısı

işlemler ile sertleştirilebilmelerinin mümkün olmasıdır. Bu çelikler aynen karbon çelikleri gibi su verme sonucu faz dönüşümü yaparak, çok sert bir yapı oluştururlar. Korozyon dirençleri, yumuşak çeliklere oranla çok yüksek olmasına rağmen, östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri, yumuşak çeliklere oranla çok yüksek olmasına rağmen, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha azdır. Şiddetli korozif olmayan ortamlarda, örneğin atmosfer içinde korozyona karşı daha dayanıklıdır. Martensitik paslanmaz çelikler 650 °C'ye kadar sıcak ortamlara da dayanıklı bir alaşımdır. Çok kullanılan bazı martensitik paslanmaz çeliklerin özellikleri ve kullanım yerleri Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Martensitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve kullanım yerleri [16].

Tip (AISI)	Karakteristik Özellikleri	Tipik Kullanım Alanları
403-410	Mekanik mukavemeti yüksek ve korozyona dayanıklı.	Türbünler, mutfak eşyaları, yaylar, somun ve perçinler.
414	Çok iyi tokluk.	Ütü tabanı gibi 750° C civarı sıcaklıkta çalışan cihazlarda.
416	Kolay işlenebilir.	Perçinler, vidalar ve somunlar.
420	Aşınma direnci yüksek ve çok iyi tokluk.	Kesici aletleri, dişçilik ve tıbbi cihazlar, subap yatakları.
431	Korozyon direnci yüksek.	Pompa parçaları, pervane şaftları.
440	Çok iyi sertlik.	Kesici takımlar..

### 3.2.2. Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler martensitik paslanmaz çeliklerden daha fazla krom içerirler. Ferritik paslanmaz çelikler %11,5-30,5 Cr (krom), %0,20'ye kadar C (karbon) ve düşük miktarda Al (alüminyum), Nb (niobyum), Ti (titanyum) ve Mo

(molibden) gibi ferrit dengeleyici elementler içerir. Bunlar her sıcaklıkta ferritik yapıdadırlar ve bu nedenle östenit oluşturmazlar ve ısı ile sertleştirilemezler. Bu grupta yer alan ürünlerin başında 405, 409, 430, 442 ve 446 gelmektedir. Bu tür çeliklerin krom içeriklerinin yüksek oluşu korozyona karşı daha dayanıklı olmalarını sağlar. Bu nedenle normal atmosferik koşullardan ve oksitleyici kimyasal bileşiklerden etkilenmezler. Endüstride daha çok kimyasal ekipmanlar, depolama tankları ve özellikle fırın yapımında kullanılırlar.

Bu çeliklerin en karakteristik özelliği; kaynakta ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesidir. Ferritik paslanmaz çeliklerin karbon içeriğinin belli bir limit değerinin altına düşürülmesi gerekir. Aksi halde kaynak yapabilme ve soğuk şekillendirme gibi bazı fiziksel özellikleri olumsuz yönde etkilenir. Çok kullanılan bazı ferritik paslanmaz çelikler karakteristik özellikleri ve tipik kullanım alanları Çizelge 3.2.'de verilmektedir [16].

Çizelge 3.2. Ferritik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları [16].

Tip (AISI)	Karakteristik Özellikleri	Kullanım Alanları
405	Kaynak yapılabilir, korozyona dayanıklı.	Türbin kanatları, ısı değiştiriciler, kazan boruları, petrol tankları.
430	Korozyona dayanıklı ve ucuz.	Kuleler, destilasyon rafları, tanklar, depolar, elektrikli ev eşyaları.
446	Çok iyi oksidasyon direnci.	Fırın parçaları ve ısı değiştiriciler gibi sıcaklığa duyarlı cihazlar.

### 3.2.3. Östenitik paslanmaz çelikler

Bunlar esas itibarıyla demir-karbon-nikel alaşımlarıdır. 300 serisi östenitik paslanmaz çeliklerin bileşimlerinde %16-26 krom ve %7-22 oranında nikel bulunur. Karbon yüzdesi %0,2'den azdır. Bu tip çelikler kolay şekillendirilebilir ve kaynak yapılabilir. Bunun yanında korozyona dayanıklılıkları da çok yüksektir. Çok

kullanılan AISI 304 18-8 paslanmaz çeliği bu grupta bulunur. Bu çeliğin diğer bileşenleri değiştirilerek 300 serisi özel paslanmaz çelikler üretilmiştir. Bileşimindeki karbon yüzdesi %0,03'ün altına düşürülerek Çok kullanılan bazı östenitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları Çizelge 3.3.'de verilmektedir [16].

Çizelge 3.3. Östenitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve kullanım alanları [16].

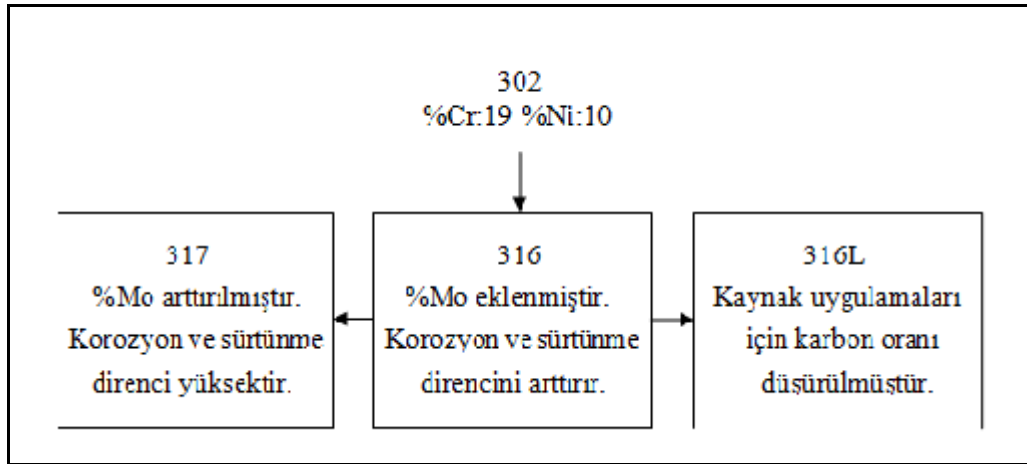
Tip (AISI)	Karakteristik Özellikleri	Kullanım Alanları
301	Çok yüksek mukavemet.	Uçak endüstrisi, motor parçaları.
302	İşlenebilme özelliği yüksek.	Kimya endüstrisi, paneller, raylar.
304	Çok iyi korozyon direnci.	Gıda endüstrisi, mutfak eşyaları, ilaç, tekstil ve otomotiv endüstrisi.
305	Maksimum şekillenebilirlik.	Tel çekme ve benzeri soğuk işlemi gerektiren yerlerde.
309	1100° C 'ye kadar dayanıklı.	Fırın parçaları, rotartlar, kimyasal proses kapları.
316	Çukur korozyona dayanıklı.	Kuleler, borular, asit kapları ve depolama tankları.
321	Kaynaklama özelliği yüksek.	304 çeliği ile aynı fakat kaynak özelliği daha iyi.

*AISI 316L tipi östenitik paslanmaz çelik:* AISI 316L çeliği, kombi ve şofben gibi Doğalgaz-LPG ile çalışan cihazların atık gaz bacalarında, şömine havalandırmalarında, baca bağlantılarında, baca kılıfı olarak bina içinde ve dışında kullanılabilir. Bunun yanında tuzlu suya dayanıklı olduğundan gemi sanayisinde de geniş kullanıma sahip olduğu bilinmektedir [18]. Bu malzemeye ait kimyasal yapı değerleri Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan 316L çeliğinin kimyasal kompozisyonu [18].

C	Cr	Mo	Ni	Si	Mn	P	S
0,03	16,82	2,44	11,5	1,00	2,00	0,045	0,03

AISI 316'ya molibden eklenerek korozyon direnci AISI 302 ve 304'e göre daha da yükseltilmiştir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. AISI 316L'nin oluşumu [18].

Molibden katılması, özellikle denizcilik uygulamaları için korozyon direncini arttırmaktadır. AISI 316L, AISI 316 çeliğine göre düşük olan karbon oranından dolayı, kaynak uygulamalarında da kullanımı mevcuttur. Korozyon direncinin AISI 316 çeliğiyle aynı olduğu bilinmektedir. Kaynak ve gerilim giderme sonrası tanecik arası korozyon direnci 400 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Oksitlenme direnci 860 °C'ye kadar iyi bir performans gösterdiği belirtilmektedir. İyi şekil verilme, iyi tokluk özelliğini ve kaynaklanma özelliğini -196 °C'ye kadar sağlayabilmektedir [18].

#### 3.2.4. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Bu çeliklerin bileşiminde %28 civarında krom ve %6 civarında nikel bulunur. Çift faz içerirler. Fazlardan biri östenit, diğeri ferrit yapıdadır. Korozyon ve mekanik özellikler açısından, faz yapıları gereği ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler arasında yer alırlar [16].



### 3.2.5. Çökmeyle sertleşebilen paslanmaz çelikler

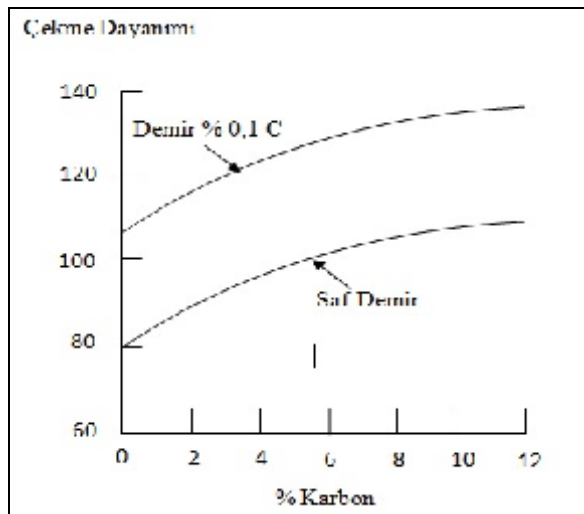
Bu tip paslanmaz çeliklerin hem korozyona karşı dayanıklılıkları iyi, hem de mukavemet/ağırlık oranı yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle uçak ve uzay endüstrisinde tercih edilirler. Çökmeyle sertleşebilen paslanmaz çelikler, martensitik, yarı östenitik ve östenitik olmak üzere üç ayrı tipte üretilmektedir [16].

### 3.3. Alaşım Elementlerinin Paslanmaz Çelikler Üzerindeki Etkileri

Çeşitli alaşımlar pratik olarak denenmek suretiyle metal özelliklerinin nasıl değiştiği gözlenmiştir. Paslanmaz çelikler içine katılan elementlerin alaşım üzerine etkileri aşağıda açıklanmaktadır [16].

#### 3.3.1. Karbonun etkisi

Normal karbon çeliklerinde, çelik içindeki karbon miktarı çeliğin mekanik özelliklerinde büyük değişiklik yapar. Paslanmaz çeliklerde karbon miktarının çok az değişimi bile çeliğin yumuşak ferritik halden, sert martensitik çelik haline dönüşmesine neden olur. Karbon çeliğin mukavemetini de artırıcı olarak rol oynar. Ferritik paslanmaz çeliğin çekme mukavemeti karbon ilavesi ile artar (Şekil 3.2.).

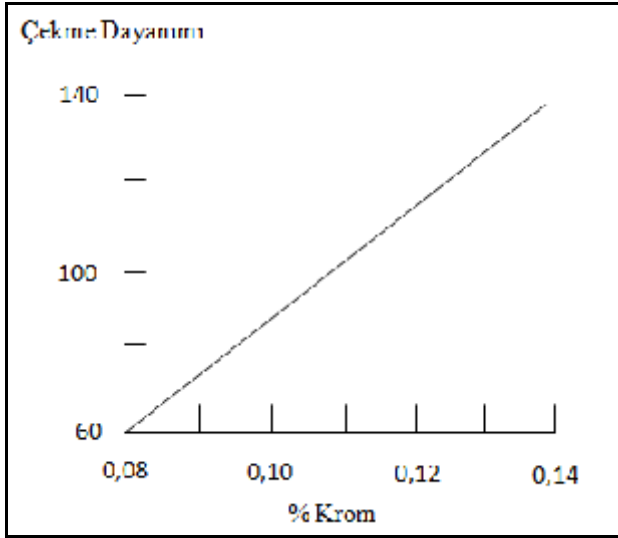


Şekil 3.2. Ferritik paslanmaz çeliğin çekme dayanımına karbonun etkisi [16].

Fakat karbon, çeliğin sünekliğini arttırıcı etki yapar. Çoğu kez korozyon dayanıklılığını da azaltır.

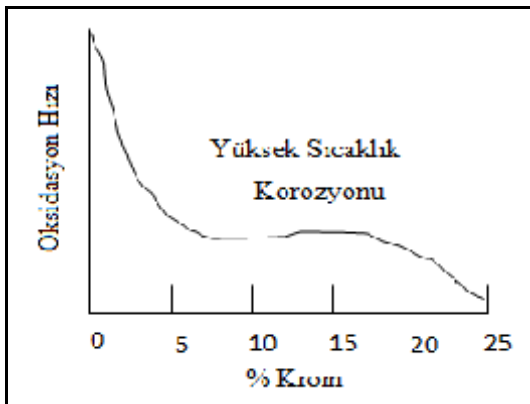
### 3.3.2. Kromun etkisi

Paslanmaz çeliğin en önemli katkı elementi kromdur. Hatta %0,5-1,0 oranında katılmış olması halinde bile, çeliğin mekanik özelliklerinde etkisi görülür (Şekil 3.3.).



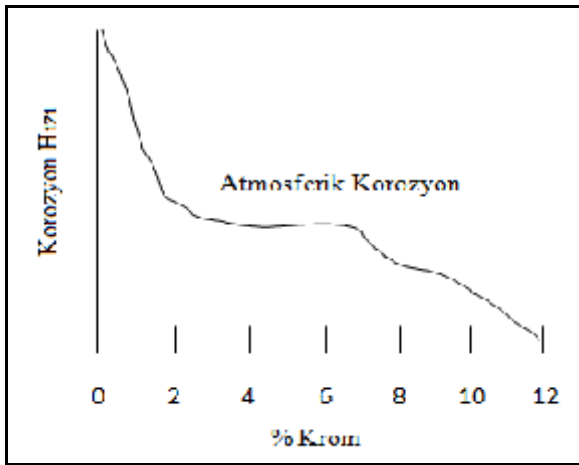
Şekil 3.3. Krom yüzdesine bağlı olarak çeliğin çekme dayanımı değişimi [16].

Krom aynı zamanda alaşımın yüksek sıcaklıktaki oksidasyonuna karşı dayanıklılığını da arttırıcı rol oynar (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Krom katkısının alaşımın yüksek sıcaklıktaki oksidasyonuna etkisi [16].

Bütün bunların ötesinde krom, çeliğin korozif ortamlara karşı dayanımını artırır. Kromlu çeliklerin korozyon dayanımları konusunda pek çok çalışma yapılmıştır. Çok az miktarda krom katılması halinde bile, endüstriyel atmosferde bırakılan çeliğin korozyon hızı önemli ölçüde azalır (Şekil 3.5.).



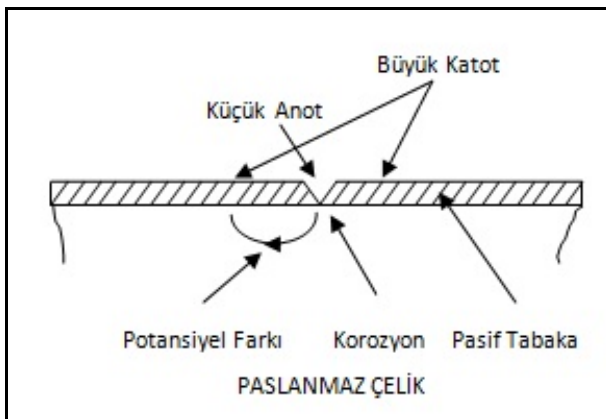
Şekil 3.5. Krom katkısının korozyon hızı üzerindeki etkisi [16].

Yeterli miktarda krom katılmak suretiyle en şiddetli korozif ortamlarda bile korozyonu tam olarak önleyebilmek mümkün olur. Yani çeliği paslanmaz hale getiren esas element kromdur. Normal bir çelik endüstriyel olarak kirlenmiş bir atmosfer içinde bırakılırsa, kısa sürede paslanır. Eğer çelik içine %12 oranında krom katılacak olursa korozyon tam olarak önlenir. Krom yüzdesi ile korozyon hızı arasındaki bağıntı şekil de görülmektedir. Krom yüzdesi %12'ye eriştiğinde korozyon hızı hemen hemen sıfıra inmektedir. Bunun nedeni metal yüzeyinde üç değerlikli oksidi kromun oluşturduğu bir spinel oksit  $RO.R'_2O_3$  tabakasının oluşmasıdır. Bu geçirimsiz oksit tabakası alaşım yüzeyinde kendiliğinden oluşur [16].

Pasifleşmenin tam olarak gerçekleşmesi için katı çözelti içindeki krom yüzdesinin mutlaka %12'den büyük olması gerekir. Ne var ki, çelik içinde bulunan karbonla kromun ( $Cr_{23}C_6$ ) halinde krom karbür oluşturulması nedeniyle 1 g karbon 16,6 g kromu bağlar ve krom yüzdesinde azalma meydana gelir. Çelik yüzeyinde oluşan demir-krom tabakası çok ince bir oksit tabakası oluşturur. Bu tabaka oksitleyici

ortamlar içinde sabit olduğu halde indirgeyici ortamlarda dayanıklı değildir. Hidroklorik asit gibi indirgeyici özelliği olan bileşikler bu oksit tabakasının parçalanmasına neden olur. İndirgeyici ortamlarda bu oksit tabakası yeniden oluşamaz. Bunun sonucu olarak korozyon başlar.

Paslanmaz çelikler, deniz suyu içindeki elektrot potansiyelini ifade eden galvanik seride iki ayrı yerde bulunur. Bunlardan biri pasif haldir ve oldukça soy bölgede yer alır. Aktif hal ise, normal çeliğin potansiyeline yakındır. Buradan kolayca anlaşılacağı üzere, paslanmaz çelik yüzeyinde herhangi bir noktada pasiflik bozulacak olursa, o bölgede anot olacak ve çok geniş bir katot bölgesinin etkisiyle şiddetli korozyon olayı meydana gelecektir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Pasifleşmiş bir yüzeyde küçük bir bölgenin bozulması sonucu korozyon olayının oluşumu [16].

### 3.3.3. Nikelin etkisi

Demir içine nikel katılınca karbonun oluşturduğu karmaşık bileşikler oluşmaz. Karbon hem ferrit, hem de östenit içinde kolayca çözünür. Nikel ve karbon yüzdeleri düşük ise, düşük sıcaklıklarda östenit oluşur. %8'den daha fazla nikel katılırsa, demir-krom alaşımının  $\gamma \rightarrow \alpha$  dönüşümü meydana gelir. Eğer çabuk soğuma sağlanırsa, çelik östenitik olarak kalır. %8 oranında nikel katılması halinde östenitik tam kararlı halde değildir. %25'e kadar nikel katılarak tam dayanıklı alaşım elde edilebilir. Bu alaşım östenitik formundadır, hem korozyona dayanıklı, hem de mukavemet özelliği oldukça iyidir [16].

### 3.3.4. Minör elementlerin etkisi

Molibden ferrit yapıcı olarak bilinir. Östenitik paslanmaz çelik içine %2-3 oranında katılır. Molibden klorürlü ortamlarda alaşımın çukur korozyonuna karşı dayanıklılığını artırır. Titanyum-321 ve Niobyum-347 östenitik paslanmaz çeliklerine ilave edilerek bu alaşımların duyarlılığı azaltılabilir. Paslanmaz çelikler içine bakır katılarak arttırılabilir. Bakır katılması ile oksitleyici asitlere karşı korozyon direnci de artar. Selenyum ve kükürt paslanmaz çelik alaşımlarının işlenebilme özelliklerini arttırıcı rol oynarlar. Silisyum katılması ile alaşımın yüksek sıcaklık oksidasyonu azaltılabilir [16].

## 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, literatürde yer alan östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği ile ilgili yapılan çalışmalar irdelenerek bu çalışmalar hakkında özet bilgiler verilmiştir.

### 4.1. Sıcaklık Ölçümü ile İlgili Çalışmalar

Wan, çalışmasında, yüksek kesme hızlarında talaş kaldırırken oluşan sıcaklığı ölçmüş ve sıcaklık ölçüm metotlarını incelemiştir. Wan'a göre sıcaklık ölçüm metodları:

- Isıl çift (kesici takım iş parçası ısıl çift, gömme ısıl çift, kombinasyon ısıl çift),
- Kızılötesi (optik pirometre),
- Fotoğrametri (kızılötesi fotoğraf),
- Termal boya,
- Mikroyapısal veya mikrosertlik gözlem

olarak guruplandırmıştır. Çalışmada bu yöntemlerin avantajlarının yanı sıra, bazı eksikliklerinin de olduğu belirtilmektedir [19].

Q' Sullivan, işlenebilirlikte oluşan takım talaş arasındaki sıcaklığın, takım malzemesi ve iş parçasının niteliklerine bağlı olarak sonuçlandığını ve takım aşınmasında önemli bir rol oynadığını deneysel olarak gözlemiştir. Çalışmasında kesici takım kuvvet bileşenlerini tanımlayarak, kuvvet sonucu oluşan enerjinin, takım-talaş ve iş parçası malzemesine bağlı olarak ısıya dönüştüğü ve takım aşınmasının kesme kuvvetleri ile bağlantılı olduğunu belirtmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar için kuvvet ve sıcaklık ölçümü simülasyonu yapılmıştır. Deneyselerde gömme ısıl çift ve kızıl ötesi termal kamera yöntemleri kullanılmıştır [20].

Nedelik ve Lux, kesme işlemi sırasında kaplama yapılmış çeşitli takımlarda oluşan sıcaklık dağılımı için, FEM/ANSYS programını kullanarak termal bir model geliştirmişlerdir. Araştırmacılar kaplama yapılmış kesici takımlarının kullanımının, yüzey sıcaklıklarında etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Soğutma sıvısı kullanmadan kesme hızını artırmayı başarmışlardır. Genel olarak ısı artışının, takım-

talaş yüzeyi ve talaş kayma bölgesinde olduğu, oluşan sıcaklıkla aşınmanın arttığı ve takım ömrünün azaldığını gözlemişlerdir [21].

Ay ve Yang, dik kesmede iş parçası-takım arasında oluşan sıcaklığı hem ısı çift, hem de kızıl ötesi kamera kullanarak deneysel bir çalışma ile gözlemlemişlerdir. Kesme anında oluşan sıcaklığın takım-talaş ve takım-iş parçası yüzeyinde aşınmaya neden olduğu ve ayrıca iş parçası üzerinde istenen yüzey kalitesinin elde edilemediği sonucuna ulaşmışlardır [22].

Kalidas, farklı matkap kaplamalarının, kuru ve ıslak delme şartları altında gösterdiği performansı ve delinen deliğin yapısı ve kalitesi üzerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Kalidas da ısı çift yöntemini tercih eden araştırmacılardandır. Isıl çifti silindirik iş parçası üzerinde değişik noktalara açtığı deliklere yerleştirmek suretiyle değişik noktalarda matkap uç noktasına 1,27-2,54 mm'ye kadar yaklaşmayı başarmıştır. Böylece kesme esnasında oluşan sıcaklığı ölçebilmiştir [23].

Li ve Shih, çalışmalarında titanyumun yüksek hızda boydan boya, helisel matkapla delinmesi esnasında oluşan sıcaklık ve gerilim dağılımlarını incelemişlerdir. Yaygın kullanılan Ti-6Al-4V alaşımının delinmesi sırasında oluşan sıcaklık ve gerilim dağılımlarını araştırmışlardır. Ters ısı transferi prensibine dayanan bir sonlu elemanlar ısı modeli uygulayarak takım-talaş temas alanındaki ısı dağılımını ve kesme sıvısının konveksiyon ısı iletim katsayısını bulmaya çalışmışlardır. Deneysel olarak ölçülen verilerle sayısal olarak tahmin edilen matkap sıcaklığı karşılaştırılmak suretiyle, oldukça yüksek bir uyumla ısı modelin gerçekliğini ortaya koymuşlardır. Matkap gerilim dağılımını çözümlmek için Termo-Mekanik Sonlu Elemanlar Analizi uygulamışlardır. Model sonuçları, kesme sıvısı uygulamanın, matkabın kesici ve kanal kenarları çevresindeki sıcaklığı düşürmede önemli olduğunu göstermişlerdir. 183 m/dk'lık çevresel bir hızla, 0,05 mm/dev ilerleme ile 10,2 mm derinliğindeki bir deliğin kuru şartlarda delinmesinde 1210 °C'ye çıkan sıcaklığı, kesme sıvısı uygulamasıyla 651 °C'ye kadar düşürmüşlerdir. [24].

Kelly, çalışmasında değişik kesme sıvılarını minimum seviyede kullanarak, kuru delme yapmıştır. Çalışmasında iş parçası olarak alüminyum alaşım kullanan Kelly, sıcaklık ölçme metodu olarak ise ısı çifti kullanmıştır. Isıl çifti alüminyum malzemeye gömerek, kesici takımın dış çapına ~0,2 mm kadar yaklaşmış ve delme esnasında kesici takım dış çapında oluşan sıcaklığı ve iş parçası sıcaklığını değerlendirmiştir. Ayrıca bitirme yüzeyini ve delinmiş deliğin doğruluğunu da incelemiştir [25].

Agapiou ve Stephenson, birlikte yeni bir model geliştirmiş olup, bu modelde geçici ve sürekli sıcaklık dağılımını gelişigüzel nokta geometrisinde hesaplamışlardır. Burada genel olarak; takımı, yarı sonsuz yapı davranışı olarak kabul ederek, ısı akışı ve sıcaklık dağılımını analitik olarak modellemişlerdir. Bu modeller farklı matkap uçlarındaki sıcaklığın hesaplanmasında kullanılmış ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır [26].

Bono ve Ni, kuru delmede, matkap ve iş parçasının çap ve silindirikliğine ısı yayılımının etkisini tespit etmek için yeni bir model oluşturmuşlardır. Bu çalışmada iki tane FEM kullanmışlardır. Birincide, silindirik iş parçası için iki boyutlu asimetric FEM modeldir. İkincide ise; 4 düğümlü bilinear sıcaklık ve yer değişim elementlerini kullanmışlardır. Bu modellerini doğrulamak için deneysel çalışma da yapan Bono ve Ni deneysel çalışmada, ısı çifti metodunu kullanarak sıcaklığı ölçmüşlerdir ve ısı yayılımının oldukça etkili bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır [27].

Usta, çalışmasında AISI 1050 ve 3G40 malzemelerinin CNC ve Universal torna tezgâhlarında delinmesi esnasında oluşan sıcaklık ve kesme kuvvetlerini ölçmüştür. Sıcaklık ölçümü için K tipi esnek ısı çifti kullanmıştır. Isıl çiftleri matkap soğutma kanallarına yerleştirmiştir. Kuvvet ölçümü için ise KISTLER 9272 Dinamometre kullanmıştır. Sonuç olarak kesme parametrelerinin hem sıcaklık, hem de kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemiştir [28].



Bağcı ve Özçelik, AISI 1040 ve Al 7075-651 malzemelerinin dik işleme merkezinde delinmesi esnasında oluşan kesme sıcaklığını ve kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir, bunun için bir deney düzeneği oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, sabit matkap/dönen iş parçası yöntemini kullanmışlardır. Sıcaklık ölçümü için yaygın olarak kullanılan ısı çifti metodunu tercih etmişlerdir. Matkap soğutma kanalları içerisine yerleştirilmiş ısı çiftleri yardımıyla üç farklı devir sayısı ve üç farklı ilerleme miktarı kullanarak 10 mm çapındaki TiN/TiAlN kaplamalı matkaplarla 35 mm boyunda aynı parametrelerle üç delik delmişlerdir. Deneysel çalışma dışında FEM kullanılarak termal bir model geliştirmişlerdir. Deney sonuçlarıyla, FEM kullanılarak elde edilen verileri karşılaştırmışlardır. Kesme parametrelerinin değiştirilmesinin her iki numunede de ölçülen sıcaklığın ve kesme kuvvetlerinin değişmesine yol açtığı sonucuna varmışlardır. FEM kullanılarak elde edilen sonuçların da deney sonuçlarıyla paralellik gösterdiğini görmüşlerdir [29].

Dörr'ün, infrared tekniğini (temassız sıcaklık ölçme) ve yüksek çözünürlükteki termografik kamera kullanarak kesici takım ile iş parçası arasındaki temas noktasının ve talaş akışının sıcaklığını ölçmüştür. Dörr bu çalışmayla değişik kaplama türlerinin sıcaklığa etkisini araştırmıştır ve sıcaklığa karşı mukavemeti en yüksek olan kaplamanın TiAlN+ZrO<sub>2</sub> olduğu sonucuna varmıştır [30].

Kaynak, çalışmasında 10 mm çapında değişik kaplamalı matkaplarla, farklı kesme hızlarında ve ilerleme değerlerinde kuru delme şartlarında Al 2024 malzemenin delinmesi esnasında oluşan sıcaklığı ısı çifti yöntemiyle, kesme kuvvetlerini ise dinamometre ile ölçmüştür. 2 mm çapındaki üç ısı çifti aralarında 10 mm ve her ısı çifti çıkışa 0,2 mm mesafe olacak şekilde numunelere gömmüştür. Ayrıca kesme sıcaklığı ve kuvveti tahmin edebilmek için lagrangian temeline dayanan ThirdWave AdvantEdge TM'in 3D delik delme versiyonu kullanılmıştır. Sonuç olarak üç ısı çiftten alınan sıcaklıkların birbirine yakın olduğu ve deneysel çalışma ile sonlu elemanlar analizi arasında çok ciddi bir farklılık olmadığını gözlemiştir [31].

Zeilmann, Ti6Al4V iş parçasının delinmesi esnasında karbür matkabın ulaşabileceği maksimum sıcaklığı ısı çifti yöntemini kullanarak araştırmıştır. Zeilmann

deneylerinde TiAlN, CrCN ve TiCN karbür matkapları kullanmıştır. Isıl çifti deney numunelerine kesici takımla aralarında 0,2 mm mesafe kalacak şekilde gömmüştür. Minimum yağlama miktarı (MQL, Minimum Quantity Lubrication) şartlarında değişik kaplamaların sıcaklığını değerlendirdiği bu çalışmada elde edilen sonuçların kaplama özelliklerine göre farklılık gösterdiği sonucuna varmıştır [32].

DeVries, kesici ağız boyunca oluşan sıcaklığın tahmini için bir analitik model geliştirmiştir. DeVries'in yaptığı bu çalışma Agapiou ve DeVries tarafından birlikte irdelenerek helisel matkap ucunda (kesici ağız ve talaş yüzeyindeki) geçici sıcaklık dağılımının analitik modelini geliştirmişlerdir. Bu model, takım talaş ara yüzeyindeki talaşın sıcaklığının hesaplanması temeline dayanmaktadır. Elde ettiği sonuçları deneysel çalışmalarında elde ettikleri verilerle karşılaştırmışlardır. Analitik yöntemle hesaplanan sıcaklıkların, deney yöntemiyle elde edilen sıcaklıklara oldukça yakın olduğu sonucuna ulaşmışlardır [33].

Ceschini ve Minak, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğe düşük sıcaklıkta karbürleme uygulamış ve bu karbürlemenin mikro yapı ve yorulma davranışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Düşük sıcaklıkta karbürleme işlemi, çeliğin korozyon direncini azaltmaksızın yüzey sertliğini ve aşınma direncini artırmaktadır. Deneyler boyunca düşük sıcaklıkta karbürlenen numuneleri hava ile soğutarak, işlem uygulanmamış malzemeye göre %70 yorulma mukavemeti artışı sağlanmıştır. Yüzey işlemlili numunelerde oluşan yorulma çatlaklarının daima karbürlenen kabuk ve çekirdek arasındaki sınıra yakın olduğu görülmüştür [34].

Gennari ve arkadaşları, AISI 316 paslanmaz çeliğin tornalanmasında konvansiyonel sıvı uygulaması (~150 lt/sa) ile püskürterek sıvı uygulamasını (~60 ml/sa) karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonuçları, konvansiyonel sıvı uygulamanın yalnızca birkaç ağır ısıl şartlarda biraz daha iyi takım ömrü sunduğunu, araştırılan şartların çoğu için ise püskürterek sıvı uygulanmasının takım-iş parçası ara yüzeyinde iyi yağlama ve yeterli soğutma gerçekleştirerek mükemmel bir takım ömrü ve kesici kenar bütünlüğü sağladığını göstermiştir [35].

Otero ve arkadaşları, Organik Asit Ortamında Toz Metalürjisi İle Hazırlanan AISI 304L ve 316L Paslanmaz Çeliklerin Korozyon Davranışı isimli çalışmalarında, farklı birleşim oranlarında organik asit çözeltileri kullanarak (asetik, formik, laktik ve oksalik) sürekli güncel elektro-kimyasal metotlarla toz metalürjisi ile hazırlanan AISI 304L ve 316L paslanmaz çeliklerin korozyon hızlarını incelemişlerdir. Karşılaştırma amaçlı eş zamanlı bir çalışma da benzer kompozisyonda dökme AISI 304L ve AISI 316L çelikleri için yapılmıştır. Sinterlenmiş AISI 304L ve AISI 316L çelikleri en yüksek korozyon hızlarına sahiptirler. Organik asit içerisinde test edilen malzemeler için çatlak korozyon mekanizmasının toz metalürjisi ile üretilen malzemeler için elde edilen sonuçlarla uygun olduğu ileri sürülmüştür. Çatlak büyümesinin, toz parçacık temas bölgesine yakın gözenekli alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu çalışmayla verimlilik, yanak aşınması, iş parçası üzerindeki yüzey pürüzlülüğü, oluşan kesme kuvvetleri, takım-talaş ara yüzünde oluşan sıcaklık, gibi parametrelerin değerlendirilebileceği görülmüştür [36].

#### **4.2. Delik Delme ile İlgili Diğer Çalışmalar**

Gaitonde ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, AISI 316L paslanmaz çeliğin delinmesi esnasında çapak boyu ve kalınlığını minimize etmek amacıyla farklı kesme hızı, uç açısı ve kenar boşluk açısı için çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu minimizasyon işlemi için Taguchi Optimizasyon Tekniği tercih edilmiştir. Bu araştırma sonucunda ilerlemenin en uygun değerleri düşük ile orta seviyede iken, kesme hızları ve kenar boşluk açısı için ideal değerlerin test edilen matkap çapından bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çapak miktarını minimize etmek için daha büyük uç açısı ve daha büyük matkap çaplarının gerektiği belirlenmiştir. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar şunlardır:

- 4, 10, 28 mm matkap çapı için uç açısının optimal çapak boyutu üzerine uç açısının büyük etkisi vardır.
- Kenar boşluk açısının 20 mm matkap çapı için çapak miktarını azaltmada önemli derecede etkisi vardır.
- İlerleme hızı miktarı düşük ve orta seviyede iken kesme hızları ve kenar boşluk açısı optimal değerleri test edilen matkap çapından bağımsızdır.

- Daha büyük uç açısı, daha büyük matkap çaplarında çapak miktarını minimize etmek için gereklidir [37].

Lin, Paslanmaz Çeliğin Yüksek Hızda İşlenmesi Esnasında Tin Kaplanmış Karbür Matkapların Kesme Davranışı isimli çalışmasında, paslanmaz çelik plakaları, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve çapak oluşumunu araştırmak için yüksek hızda delmiştir. Delme işlemi TiN kaplamalı karbür takımlar kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda minimum yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği için en verimli kesme hızı 75 m/dak olarak belirlenmiştir. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü 1  $\mu\text{m}$ 'den daha azdır. Helisel kanalların ve dış köşelerin aşınması ile yapılan talaş kaldırma işlemi matkap başarısızlığının asıl nedenidir [38].

Çiftçi İ., Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının Ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi isimli çalışmasında, iki farklı kalitede östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla soğutma sıvısı kullanılmadan tornalama metoduyla işlenebilirlik deneylerini yapmıştır. Çalışmada, TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneylerde ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak dört farklı kesme hızı kullanılmıştır. İlerleme hızı 0,16 mm/dev ve talaş derinliği de 1,6 mm olarak alınmıştır. Deney sonucunda kesme hızının, kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığı ancak işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür [39].

Karnik ve çalışma arkadaşları, yapay sinir ağları kullanan bir çapak boyutu modeli geliştirerek AISI 316L paslanmaz çeliğin delinmesi esnasında genetik algoritma optimizasyonu ile Taguchi prensibini birleştirerek orijinal bir kavram tanıtmaktadır. Amaç, çapak yüksekliği ve çapak kalınlığı gibi çapak boyutlarını eş zamanlı olarak minimize eden belirlenmiş bir matkap çapı için ilerleme ve uç açısının en iyi kombinasyon değerlerini saptamaktır. Sonuçlar, delmede çapak boyutunu minimize

etmede daha büyük matkap çapı değerleri için daha büyük bir uç açısına ihtiyaç olduğunu açıkça göstermiştir [40].

Kılıçkap ve Hüseyinoğlu, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde minimum çapak yüksekliğini belirlemede en ideal delme parametrelerini belirlemek için Tepki Yüzey Modeli ve Genetik Algoritma kullanarak sistematik bir yöntem ortaya koymuşlardır. Delme işlemleri üç ilerleme hızı (0,1, 0,2 ve 0,3 mm/dev), üç kesme hızı (4, 8 ve 12 m/dak) ve farklı uç açısına (90°, 118° ve 135°) sahip HSS matkap takımları kullanılarak yapılmıştır. Deneylede Box Behnken tasarımı dikkate alınmıştır. Tepki Yüzey Metodolojisi kullanılarak çapak yüksekliği için bir matematiksel tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu matematiksel tahmin modelinden faydalanılarak minimum çapak yüksekliği için en uygun delme parametrelerini belirlemede Genetik Algoritma kullanılmıştır. Yapılan genetik algoritma optimizasyon sonuçlarında minimum çapak yüksekliğinin 4 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 135° uç açısında olduğu görülmüştür [41].

Abdullah ve çalışma arkadaşları, tıbbi uygulamada kullanılan paslanmaz çeliğin yüzey kalitesi üzerine takım uç radyüsü, kesme hızı ve ilerleme oranlarının etkilerini araştırmışlardır. AISI 316L östenitik paslanmaz çeliği, kesme derinliği sabit tutularak (0,4 mm) üç farklı uç radyüsü (0,4, 0,8 ve 1,2 mm), üç farklı kesme hızı (100, 130, ve 170 m/dak) ve üç farklı ilerleme oranı (0,10; 0,125 ve 0,16 mm/dev) ile işlenmiştir. Deney sonuçlarında takım uç radyüsü, ilerleme oranı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine farklı etkilere sahip olduğu görülmüştür. [42].

Son yıllarda endüstrideki uygulamalardan dolayı paslanmaz çeliğin kullanımı artmıştır, ancak bu malzemelerin özellikle de östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesi oldukça zordur. Bu sebeple, Reiter ve arkadaşları, çeşitli sert kaplamalarla kaplanmış (CrN, CrC, TiN, TiAlN, AlCrN), yağlayıcı kaplamalarla kaplanmış (WC/C ve DLC) ve çift katmanlı kaplanmış (TiCN+WC/C) HSS takımlarla AISI 316Ti östenitik paslanmaz çelik üzerine açılan kör deliklere kılavuz çekmişlerdir. Çalışmada; sertlik, sürtünme katsayısı, yüzey pürüzlülüğü ve abrasiv aşınma direnci ölçülmüştür. En iyi

performans TiCN ve AlCrN (70/30) kaplı takımlardan, en kötü performans ise CrC, CrN ve AlCrN (20/80) kaplı takımlardan elde edilmiştir [43].

Hossein ve Yahya, TiN/TiCN/TiN kaplı karbür takımın AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesindeki davranışlarını incelemiştir. Östenitik paslanmaz çeliklerde sık görülen yığıntı talaş bu çalışmada çoğunlukla 190 m/dak kesme hızı ve 0,075 mm/dev ilerleme hızı değerlerinde oluşmuştur. Çalışma sonucunda maksimum takım ömrü için optimum kesme şartları  $V_c=150$  m/dak ve  $f=0,075$  mm/dev olarak belirlenmiştir [44].

Korkut ve çalışma arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sementit karbür takımlarla tornalamasında ideal kesme parametrelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Deneysel olarak 120 m/dak, 150 m/dak ve 180 m/dak olmak üzere üç farklı kesme hızı kullanılarak takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme hızının etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda kesme hızının 180 m/dak'ya kadar artmasıyla takım aşınmasının azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalmıştır [45].

Endo ve arkadaşları, yumuşak çelik sacların delinmesinde işleme hassasiyeti ve delme parametrelerinin etkisi ile küçük çaplı deliklerin hassasiyet tahmini üzerinde çalışmışlardır. Delik hassasiyetinin tespiti için Fourier Serisi Analizi kullanan bir metod önermişler ve bu metod makine imalat sektöründe kullanılan yumuşak çeliklerde 1 mm çapında delinmiş delikler için uygulamışlardır. Sonuç olarak, delik hassasiyetinde matkabın eğilmeye karşı rijitliğinin ve matkabın uç noktasının inceliğinin önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir [46].

Kıvak, çalışmasında süper alaşım Inconel 718'in kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla delinmesi esnasında kesme parametrelerinin; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve talaş oluşumu üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplamalı karbür matkaplar kullanılarak kuru kesme şartlarında CNC dik işleme merkezinde talaş kaldırmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı 10; 12,5; 15; 17,5 m/dak ve üç farklı ilerleme 0,05;

0,075; 0,1 mm/dev kullanmıştır. Sonuç olarak, yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında takım performansı ve delik kalitesinin düştüğü belirlenmiştir [47].

Çakır, Al 7075 ve Al 6013 alüminyum malzemelerin delme operasyonları esnasındaki kesme parametrelerini incelemiştir. HSS ve karbür matkaplar kullanılarak yaptığı bu çalışmada; sıcaklık, titreşim, kesme kuvvetleri ve momentlerini incelemiştir. Çalışma tam faktöriyel tertibinde yapılmış ve sonuçları varyans analizi ile yorumlamıştır. Sonuç olarak, kesme kuvvetlerinin iş parçası malzemesi üzerinde, kesme hızı ve ilerleme kadar etkili olmadığı belirlemiştir. Ayrıca moment değerlerinin de kesme hızı ve ilerleme kadar etkili olmadığını belirlemiştir [48].

Meral, delme işlemlerinde kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, delik çapındaki değişim, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma gibi konuları deneysel olarak araştırmıştır. Deneylerde, işlenebilirlik özellikleri iyi bilinen AISI 1050 çelik malzemeyi referans almıştır. Deneylerde 6, 8, 10 mm çaplarında kaplamasız ve PVD metodu ile TiAlN kaplanmış kaplamalı HSS matkapları kullanmıştır. Deneylerde üç farklı kesme hızı (20, 30, 40 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,05; 0,1; 0,15 mm/dev) kullanmıştır. Ölçü tamlığı, delik dairesellikleri, delik giriş ve çıkış ağızları arasındaki aksel kaçıklık, delik boyunca oluşan yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini ölçmüştür. Sonuç olarak, kaplamalı matkapların, kaplamasız matkaplara göre; tüm değerlendirme kriterleri için olumlu sonuçlar sergilediği, ilerleme kuvveti üzerinde ilerleme hızının kesme hızına göre daha etkili bir parametre olduğu, yüzey pürüzlülük değerleri artan kesme hızı değerlerine bağlı olarak azalırken, ilerleme hızındaki artışla arttığı belirlenmiştir [49].

Kaplan, dik işleme merkezinde delik delme süreci esnasında farklı parametrelerin ilerleme kuvveti, moment, titreşim, aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumuna etkisini incelemiştir. Çalışmalarında; iki farklı sertlikteki (20 HRC ve 28 HRC) soğuk iş takım çeliğini (AISI D2 ve AISI D3) iki farklı çaptaki (Ø8 mm ve Ø10 mm) ve iki farklı uzunluktaki HSS kesici takımları kullanmıştır. Deneylerde üç farklı kesme hızı

(5 m/dak, 10 m/dak, 15 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,04 mm/dev, 0,05 mm/dev, 0,06 mm/dev) değeri kullanmıştır. Deneyle tam faktöryel tertibinde yapmış, sonuçları MATLAB-R2008 paket programında çizilen grafikler ve SAS 9.0 programında yapılan varyans ve regresyon analizleriyle yorumlamıştır. Ayrıca SEM analizi yaparak deney sonrası matkap aşınmalarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, malzeme sertliğinin, matkap çapının, matkap boyunun, kesme hızının, ilerlemenin ve delik sayısının ilerleme kuvveti, moment ve titreşime etkili olduğu, ayrıca matkap çapı haricindeki diğer deney parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve çıkış çapağı oluşumuna etkili olduğunu görmüştür [50].

Ertunç ve arkadaşı, delik delme operasyonu sırasında oluşan kesme kuvveti ve moment değerlerini ölçmüşlerdir. Bunun için; İki bileşenli bir dinamometre kullanmışlardır. Anlık olarak ölçülen kesme ve moment değerlerinin değerlendirilmesine yönelik bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistem; delik delme anında zamana bağlı olarak değişen kesme kuvveti, moment gibi şartları daha önceden oluşturulmuş olan değerler tablosu ile karşılaştırarak yorumlamaktadır. Kıyas için kullanılan değerler tablosu; kesicinin kör (kullanılmış) ve keskin (yeni kullanılacak) olması durumuna göre elde edilen kesme kuvveti, moment, vb. değerlerden oluşturulmuştur. Sistem; kesicinin zamana bağlı olarak aşınmasını (körelmesini) tahmin yoluna gittiğinden delik delme hassasiyetinin korunmasını sağlamaktadır [51].

Hashmi ve Graham, delik delme operasyonları için en uygun kesme şartlarını (kesme hızı, ilerleme, vb.) belirlenmesine yönelik olarak bulanık mantık (Fuzzy Logic) yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemde; üç tip malzeme (orta karbonlu, düşük karbonlu ve imalat çeliği) değişik çap ve kalitedeki HSS matkaplarını kullanmışlardır. Geliştirilen bulanık mantık yöntemi; delinecek malzeme sertliği ile kesme hızı arasında kurulan ilişkiye yönelik çıkarımlar yapmaktadır. Sistem bilinenden hareketle bilinmeyeni tahmin etme şeklinde çalışmaktadır. Sistemin kullandığı ilk değerler; imalata yönelik hazırlanmış olan el kitaplarından derlenmiştir. Sistem üç farklı malzeme ve kullanılacak olan kesiciler için en uygun kesme hızı ve ilerleme değerlerini tahmin edebilmektedir. Sistem; sertliği artan



malzeme için düşük kesme hızı ve ilerleme önerirken sertliği düşen malzeme için de yüksek kesme hızı ve ilerleme önermektedir [52].

Heinemanna ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, derin delik delme işlem sırasında oluşan çok düşük seviyedeki yağlamanın (MQL) takım ömrüne olan etkisini araştırmışlardır. Bu işlem için iş parçası malzemesi olarak adi karbonlu çelik, kesici olarak 1,5 mm çapında helisel iki ağızlı matkap kullanmıştır. Yaptıkları deneyde; kesici uçta yeteri kadar yağlama yapılamaması durumunda oluşan ısı ile birlikte matkap ucunda ani bozulmaların oluştuğunu tespit etmişlerdir [53].

Mohan, çalışmasında cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin delinmesi esnasında kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri ve momente etkisini araştırmıştır. Taguchi optimizasyon metodolojisini kullanarak cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler için kesme parametrelerini uygun kesme parametrelerini belirlemeyi amaçlamıştır. Modan çalışmasında verileri toplamak ve analiz etmek için MINITAB 14 yazılımını kullanmıştır. Çalışmadan elde ettiği verilere dayanarak; delmede momenti etkileyen en önemli parametrelerin talaş derinliği ve matkap çapı olduğunu ifade etmiştir [54].

Soylu, yaptığı çalışmada delme işlemi esnasında meydana gelen itme kuvveti ve döndürme momentini ölçebilecek, uzama ölçer esaslı bir dinamometre tasarımı ve imalatı gerçekleştirmiş ve dinamometreden alınan kuvvet, moment sinyalleri sinyal yükselticiler ve veri toplama kartı aracılığı ile bilgisayara transfer etmiştir. Deney numuneleri, farklı matkap uç geometrisi ( $100^\circ$ ,  $118^\circ$ ,  $130^\circ$ ) ve helis açısı ( $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ) ile birlikte farklı kesme hızı (18, 22 ve 28 m/dak) ve ilerleme (0,1; 0,2 ve 0,3 mm/dev) parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde çapı 10 mm TS 95/1, HSS %10 Co alaşımlı yüksek hız çeliğinden özel olarak imal edilmiş matkaplar kullanılmıştır. Deney numunesi malzemesi olarak makine imalatında yaygın kullanılan AISI 1040 çeliği seçilmiştir. Deneyler sonucunda; optimum takım geometrisi ve kesme parametreleri için helis açısı  $30^\circ$ , uç açısı  $118^\circ$ , kesme hızı 28 m/dak ve ilerleme 0,2 mm/dev olarak tespit edilmiştir [55].

Zaquini, delme işleminde kaplamasız ve DLC (Elmas benzeri karbon) kaplamalı matkaplar kullanarak %7 Si içeren alüminyum ve pirinç (Cu-Zn38Pb2) malzeme üzerinde delme işlemleri gerçekleştirmiştir. Bu çalışmaya göre araştırmacılar DLC kaplamalı takımın aksenel kuvvetlerinin ortalamasının kaplamasız matkaptan ortalama 2,5 kat daha düşük olduğunu gözlemlemiştir [56].

Yağmur, çalışmasında kullanımı en yaygın çeliklerden biri olan AISI 1050 malzemelerin delinebilirliğini kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme miktarı) ve kesici takım tipi (kaplamasız ve TiN/TiAl/TiCN kaplamalı solid karbür) girdilerini baz alarak; kesme kuvvetleri, moment, talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık ve delik kalitesi (ölçü tamlığı, yüzey kalitesi) açısından değerlendirmiş ve sonuç olarak kesme bölgesindeki sıcaklığın artan ilerleme miktarı ile azaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca takıma kaplama yapılmasının değerlendirilen bütün parametreler açısından önemli avantajlar sağladığını ortaya koymuştur [57].

### **4.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi**

Yapılmış olan tüm bu çalışmalarda da görüldüğü gibi, iş parçasının işlenmesi esnasında oluşan sıcaklık ve kesme kuvvetleri, talaşlı imalatta oldukça etkili bir konuma sahiptir. Delme işlemi esnasında meydana gelen sıcaklığın kontrol edilememesi, hem kesici takımın, hem de iş parçasının olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. Ayrıca kesici takımını değişik aşınma tiplerine maruz bırakarak, takımın ömrünü daha kısa sürede tamamlamasına da yol açmaktadır. İş parçasında ise, yüzey kalitesinin olumsuz yönde etkilenmesine, aynı zamanda kimyasal yapısında da istenmeyen değişikliklere neden olduğu görülmektedir.

Tüm bu sebepler, pek çok araştırmacının da ilgisini çekmiş ve bu parametrelerin ölçümünü, etkilerini tam olarak ortaya koyabilmek için pek çok yöntem düşünülmüş, geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Özellikle günümüzde kullanımı yaygın olan malzemelerde kesme parametreleri ve meydana gelen sıcaklık değerlerini saptanmış ve ideal kesme şartları belirlenmiştir.

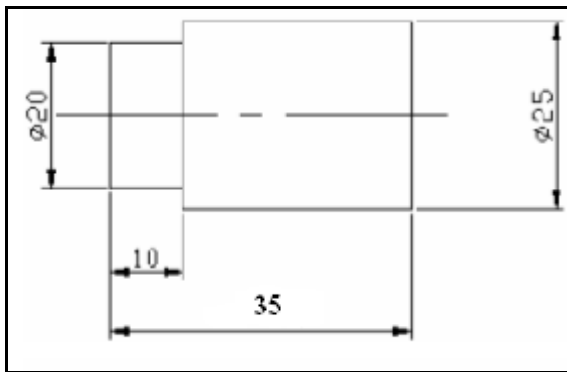
Gerçekleştirilen literatür araştırmaları ışığında, Yağmur S.'nin çalışmasından yola çıkılarak, yapılacak çalışmaya uygun bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Çalışmalarda AISI 316L östenitik paslanmaz çelik malzemesinin dik işleme merkezinde sabit matkap/dönen iş parçası yöntemiyle kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinmesi esnasında oluşan kesme sıcaklığını ve kesme kuvvetlerini incelenmiştir. Sıcaklık ölçümü için ısı çift yöntemi, kuvvet ölçümü için ise dinamometre kullanılmıştır. Ayrıca parametrelerdeki değişime bağlı olarak delik yüzey kalitesinde meydana gelen farklılıklar da üç farklı noktadan alınan pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

## 5. MALZEME VE METOT

### 5.1. Deney Numuneleri

Bu çalışmada paslanmaz çelikler arasında önemli bir yere sahip olan AISI 316L kullanılmıştır. Deneyler sabit takım-dönen iş parçası yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Sıcaklık ölçmek için kullanılan ısı çiftlerin, matkap soğutma kanallarına yerleştirilmesi sebebiyle bu yöntem tercih edilmiştir.

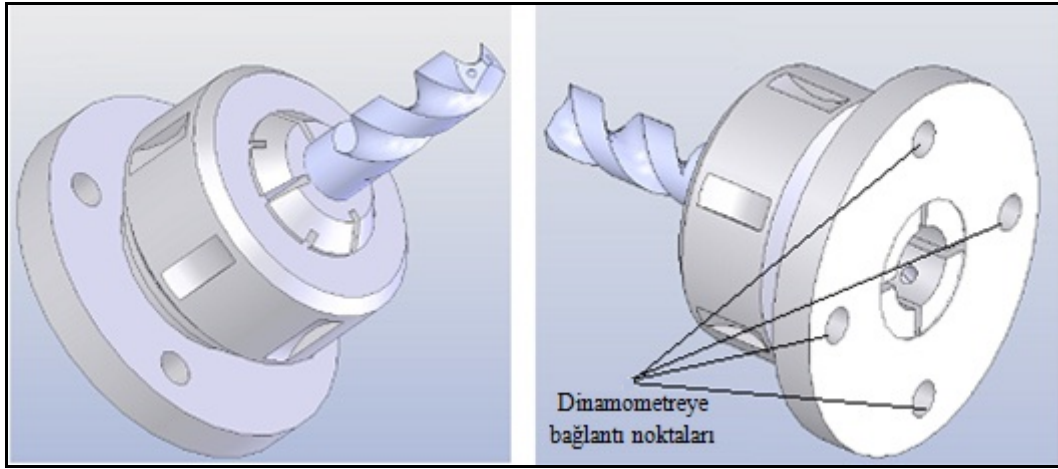
Matkabın dinamometreye bağlanabilmesi için bir bağlama kalıbı tasarlanmış ve imal edilmiştir. Numunelerin dış çapları 25 mm olacak şekilde tormalanmıştır. Boyları ise 3D standartlarında delik delilemek için 42 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Fakat mevcut kaplamasız takımlarla 42 mm boyunda delikler delinemediği için bütün numunelerin boyu 35 mm'ye düşürülmüştür. Daha güvenli bir bağlama için, bağlama aparatına tutturulacak kısım 20 mm çapında 10 mm boyunda tormalanarak kademeli bir kısım oluşturulmuştur (Şekil 5.1.). Delik delinecek yüzeyler, tormalama sonrası kalabilecek memeleri ortadan kaldırarak, matkabın delme esnasında olası merkezden kaçma eğilimi ve ani kuvvet yüklenmeleri sonucu kırılması gibi durumlar engellenmiştir.



Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan numunelere ait teknik resim.

### 5.2. DeneYlerde Kullanılan Takımların Bağlanması için Bağlama Aparatı

DeneYlerde kullanılan matkapların dinamometre üzerine güvenli bir şekilde bağlanabilmesi amacıyla, pens düzeneğinden yola çıkılarak rijit ve güvenli bir takım bağlama aparatı tasarlanmış ve imal edilmiştir (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. Rijit ve güvenli takım bağlama aparatı [57].

### 5.3. DeneYlerde Kullanılan Takım Tezgâhı

DeneYler, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı'nda bulunan *Johnford VMC-550* marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Bu tezgâhın özellikleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. DeneYlerde kullanılan tezgâhın teknik özellikleri.

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

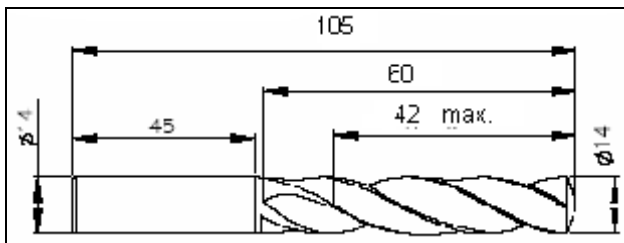
## 5.4. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri

### 5.4.1. Kesici takımlar

Modern sinterlenmiş karbür delik delme takımlarının çok verimli olduğu bilinmektedir. Günümüzde birçok uygulamada kullanılan yüksek hız çeliği (HSS), helis matkaplardan bu yana büyük gelişim göstermiştir. Bu gelişim sayesinde, delik başına düşen işleme maliyeti önemli derecede azalmıştır. Yekpare (solid) sinterlenmiş karbür matkaplar için takım ömrü, HSS matkaplara göre 20 kata kadar daha iyidir ve kesme hızı kapasitesi aynı ilerleme oranı için çok daha yüksek değerlere çıkabilmektedir. Bugün kullandığımız matkapların uç geometrileri, geleneksel kesme kenarının kesme hareketini büyük miktarda geliştirirken, takım malzemeleri de performansı ve takım ömrünü de önemli ölçüde arttırmıştır.

Yekpare karbür helis matkaplar, işlem ve tezgâha bağlı olarak, daha düşük kesme hızlarında, daha yüksek ilerlemelerde çalışabilmektedirler. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplar ise daha çok yüksek kesme hızları, düşük ilerlemeler için tercih edilmektedir.

Bütün bu hususlar göz önünde bulundurularak, bu araştırmada yekpare (solid) helisel karbür matkaplar kullanılmıştır. Matkapların çapı 14 mm olarak seçilmiştir (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Deneyde kullanılan yekpare karbür helisel matkap [29].

Karar verilen Ø14 mm matkap, kesici ucundaki sıcaklığın ısı çifti ile ölçülebilmesi için ısı çiftinin soğutma kanallarından geçebilecek minimum şartları sağlamaktadır. Kullanılan matkapların standardı DIN 6537 K'dır. Matkapların delme derinliği

3D'dir. Deneyleerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deneyleerde kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri [57].

Mekanik ve Termal Özellikler	K25 grade (Kaplamasız)	P25 grade (Kaplmalı)
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	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 genişleme katsayısı (10 <sup>6</sup> /K)	5,6	6,7

Kesici takım üzerine uygulanan kaplamaların takım performansını artırdığı bilinmektedir. Kaplama uygulamasının işleme çıktıları üzerindeki etkilerini de değerlendirmek amacıyla, kaplamasız karbür matkaplarla beraber TiN/TiAlN/TiCN multilayer (çok katmanlı) kaplamalı karbür takımlarla AISI 316L paslanmaz çeliğinin delinebilirliği üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

#### 5.4.2. Kesme parametreleri

Bütün bu bilgiler ışığında çalışma için kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (60, 75, 90 ve 108 m/dak) ve dört farklı ilerleme miktarı (0,15; 0,20; 0,25 ve 0,30 mm/dev) seçilmiştir (Çizelge 5.3.). Delme işlemlerinde birim zamanda kaldırılan malzeme miktarı (talaş debisi) sabit olduğundan kesme derinliği ( $a_p$ , mm) otomatik olarak sabit seçilmiş olacaktır.

Çizelge 5.3. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri.

Kesme Hızı (V-m/dak)	İlerleme (f -mm/dev )
60 m/dk	0,15 mm/dev 0,20 mm/dev 0,25 mm/dev 0,30 mm/dev
75 m/dk	0,15 mm/dev 0,20 mm/dev 0,25 mm/dev 0,30 mm/dev
90 m/dk	0,15 mm/dev 0,20 mm/dev 0,25 mm/dev 0,30 mm/dev
108 m/dk	0,15 mm/dev 0,20 mm/dev 0,25 mm/dev 0,30 mm/dev

### 5.5. Kesme Bölgesi Sıcaklığının Ölçülmesi

Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme bölgesi sıcaklığının, talaş derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızının yanı sıra, kesici takım geometrisine ve işlenen malzemenin özelliklerine göre de değiştiği bilinmektedir. Buna bağlı olarak kesme sırasında oluşan sıcaklık değerlerinin, kesme parametrelerine olan etkisini ortaya koyan literatürde yapılmış pek çok akademik çalışma mevcuttur.

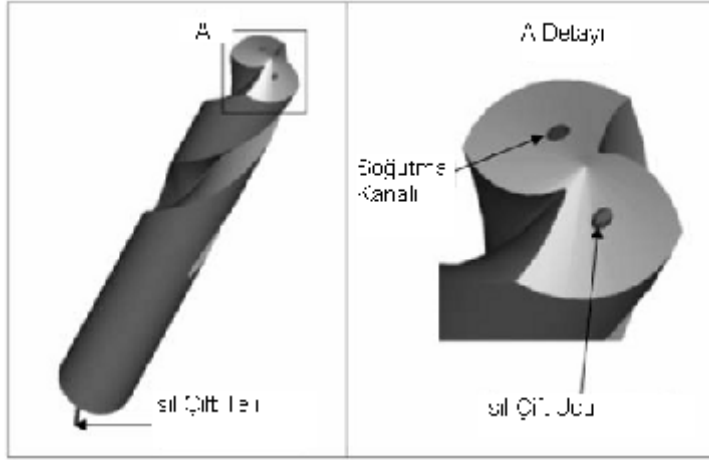
Matkapta oluşan sıcaklığın ölçülmesi için -200 °C ile 1200 °C sıcaklık aralığına sahip K tipi bir ısıl-çift kullanılmıştır (Resim 5.1.).



Resim 5.1. Sıcaklık ölçüm için kullanılan K tipi ısıl çift (thermocouple)



Bu ısıt çiftin asıl kullanım amacı 1 mm çapında ve bükülebilir olmasıdır. Bu özellikleriyle ısıt çift, matkabın soğutma kanallarının içinden rahatlıkla takılmasına olanak sağlamıştır. Yerleştirilen ısıt çift delme işlemi süresince oluşan sıcaklıkları ölçmüştür (Resim 5.3.).



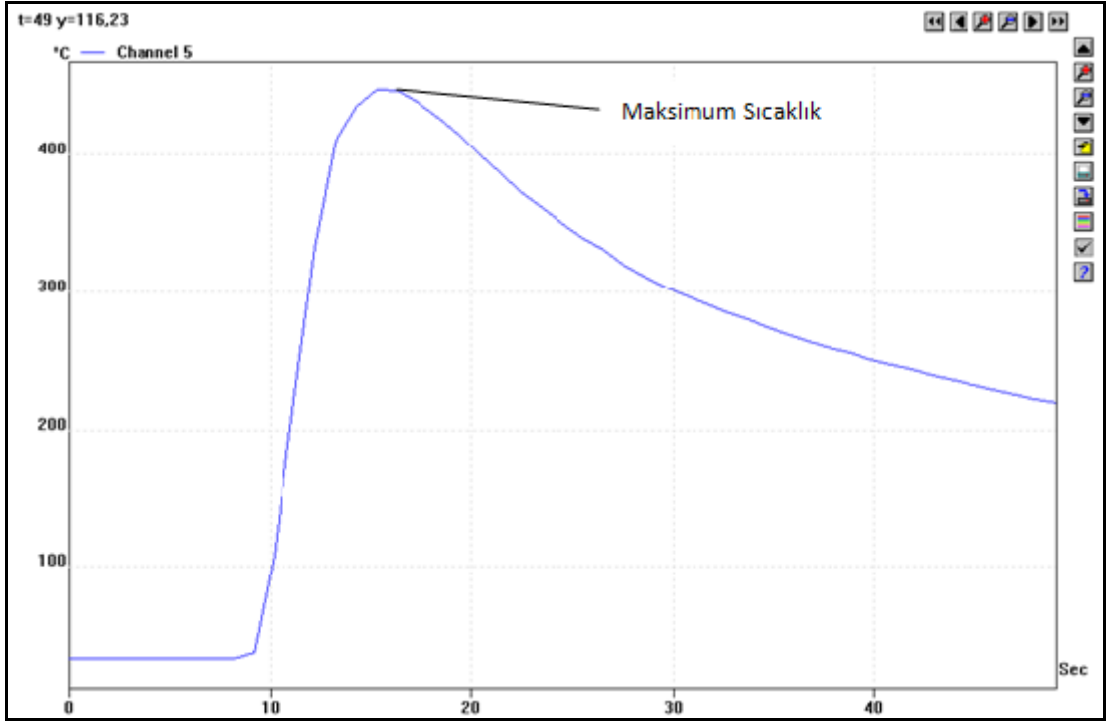
Resim 5.2. Soğutma delikleri boyunca ısıt çift yerleştirilmiş matkap [57].

Sıcaklık ölçümlerini görebilmek için, daha önceki araştırmalarda da kullanılmış olan PICO marka 8 kanallı data logger kullanılmıştır (Resim 5.3.).



Resim 5.3. PICO marka 8 kanallı data logger [58].

Cihaz USB veri kablosu ile bir dizüstü bilgisayara bağlanarak verilerin bilgisayar ortamında PicoLog Recorder yazılımı ile değerlendirilmesi ve grafiklere dönüştürülmesi sağlanmıştır (Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. PicoLog recorder programı grafik görüntüsü [57].

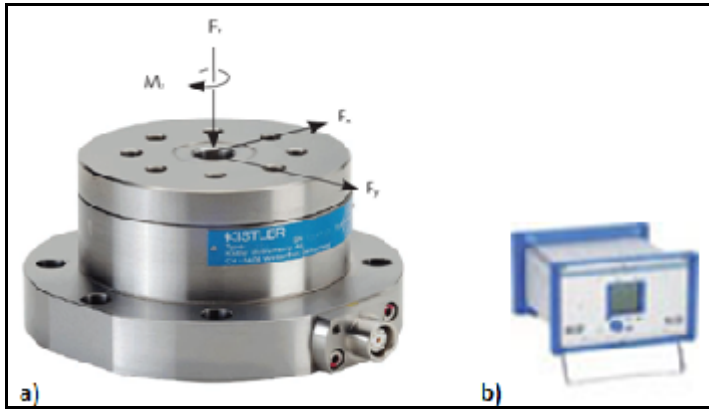
Soğutma delikleri boyunca ısıl çift yerleştirilmiş matkap özel olarak tasarlanmış tutucuya yerleştirilmiştir. Delme işlemi süresince kesme kuvvetleri ve sıcaklık ölçümleri eş zamanlı olarak yapılmıştır. Isıl çiftten alınan sinyaller veri toplama kartı yardımıyla bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Tutucuya yerleştirilen her yeni matkabin tutucudan sapma boyu her seferinde 72 mm'yi sağlayacak şekilde bağlama yapılmıştır (Resim 5.4.).



Resim 5.4. Matkabin tutucudan mesafesinin ayarlanması.

### 5.5. Kesme Kuvvetleri ve Momentin Ölçülmesi

Kesme kuvvetlerinin ve momentin deneysel olarak belirlenmesi için üç kesme kuvveti bileşenini ( $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$ ) ve momentini ( $M_z$ ) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, kuartz kristal esasıyla çalışan *KISTLER 9272* tipi dinamometre ve *Kistler 5070* tipi amplifier kullanılmıştır (Resim 5.5.a,b).



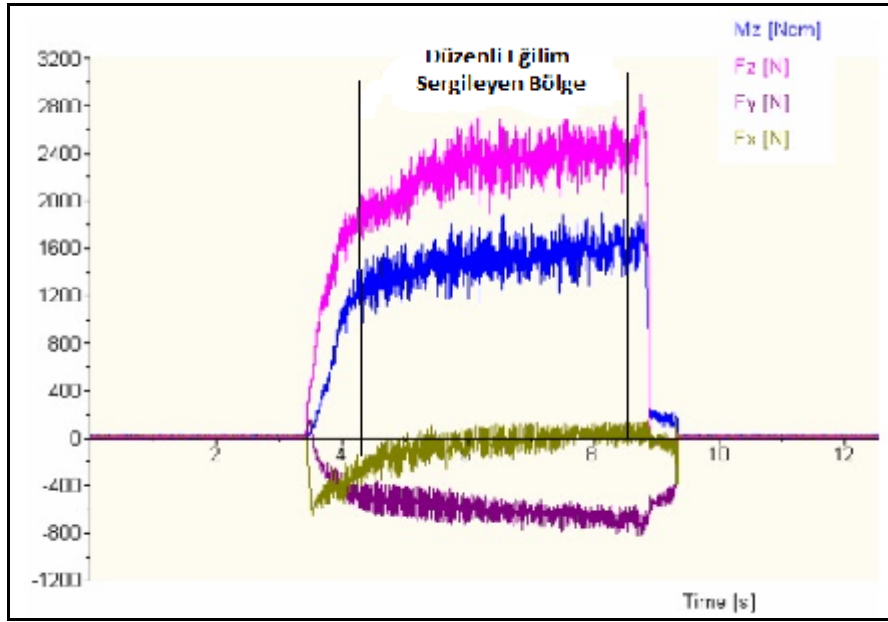
Resim 5.5. a) KISTLER 9272 tipi dinamometre  
b) KISTLER 5070 tipi amplifier [57-59].

Dinamometre tezgâh tablasına bağlanmış ve takımları bağlamak için özel tasarlanan bağlama aparatı da dinamometreye bağlanmıştır. Bu dinamometre ve teknik özellikleri Çizelge 5.4.'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. KISTLER 9272 dinamometrenin teknik özellikleri [57].

Ölçme Aralığı	$F_x, F_y$	-5 – 5 kN
Ölçme Aralığı	$F_z$	-5 – 20 kN
Ölçme Aralığı	$M_z$	-200 – 200 Nm
Hassasiyet	$F_x, F_y$	-7,8 pC/N
Hassasiyet	$F_z$	-3,5 pC/N
Hassasiyet	$M_z$	-160 pC/Nm
Doğrusallık		% $\leq \pm 1$ FSO
Histezis		% $\leq 1$ FSO
Kapasitans	$F, F_y$	185 pF
Kapasitans	$M_z$	420 pF

Ölçülen değerler DynoWare programı yardımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür. DynoWare programında elde edilen, ilerleme kuvveti ve moment ölçümünü gösteren grafik Şekil 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.5. DynoWare programındaki grafik görüntüsü (57).

### 5.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Bu çalışmada kesme parametrelerinin, delik kalitesi üzerindeki etkilerinin ve uygun parametrelerin tespiti esas alınmıştır. Bu amaçla, girdi parametrelerine bağlı olarak elde edilen deliklerin kalitesini belirlemek amacıyla, işlenen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) incelenmiştir. Yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerlerini ölçmek için portatif bir yüzey pürüzlülük cihazı olan *Mahr Perthometer M1* cihazı kullanılmıştır (Resim 5.6.).



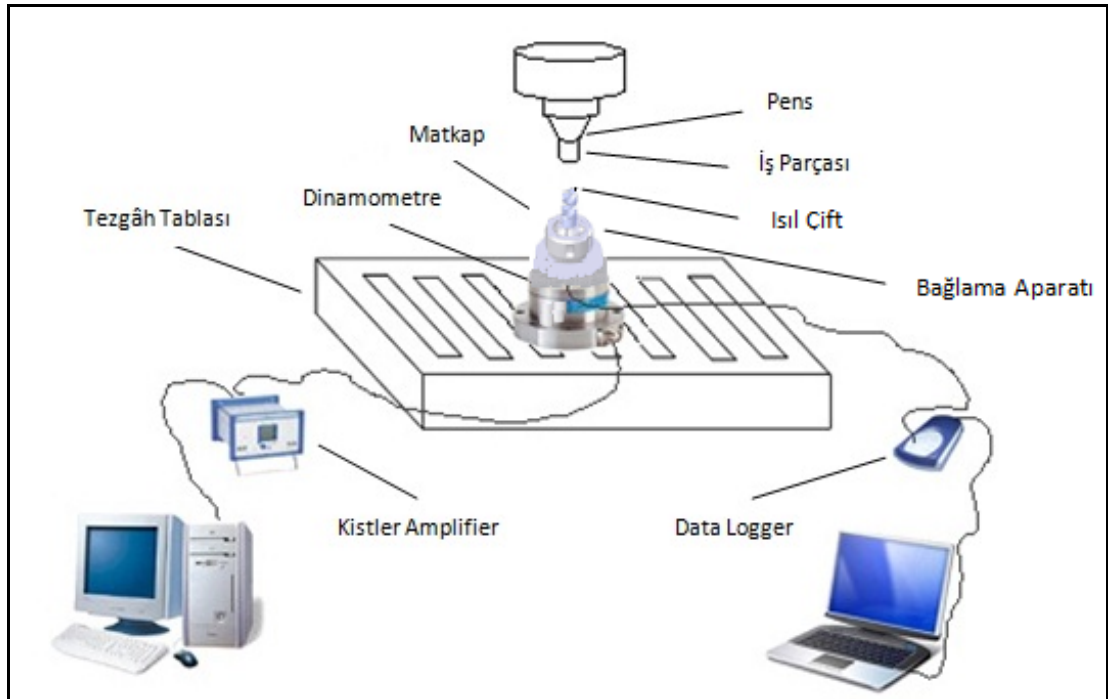
Resim 5.6. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı [60].

Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 5.5.'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Tarama hızı	0,5 mm/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
İğne uç yarı çapı	2 $\mu$ m
Ölçüm aralıkları	100-150 $\mu$ m
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Örnekleme uzunluğu ( $\lambda$ )	0,25 – 0,8 – 2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 – 5,6 – 17,5 (mm)
Ölçülebilen parametreler	$R_a$ , $R_z$ , $R_{max}$

Kesme kuvvetlerinin ve sıcaklığın eş zamanlı ölçülebilmesi için oluşturulan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 5.6.'de verilmiştir.



Şekil 5.6. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.

### 5.8. Çalışmada Kullanılan Makine ve Teçhizatlar

Çalışma esnasında deney numunelerinin hazırlanmasından deney sonuçlarının grafiklere aktarılmasına kadar yapılan çalışmalarda birçok makine ve teçhizat kullanılmıştır. Çizelge 5.7.'de bu makine ve teçhizatlar ve kullanım amaçları verilmiştir.

Çizelge 5.7. Çalışmalarda kullanılan makine ve teçhizatlar.

<b>Çalışmada Kullanılan Makine ve Teçhizat Listesi</b>	
<b>Adı / Modeli</b>	<b>Çalışmadaki Kullanım Amacı</b>
Universal Torna Tezgâhı Tezsan SN 45 A	Deney numunelerinin hazırlanması. (Tornalama ve ön delik delme işlemleri)
Düzlem Taşlama Tezgâhı Taksan TYT 400	Deney numunelerinin hazırlanması. (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 ( $F_c$ ), ilerleme kuvveti ( $F_t$ ), ve burulma momenti (torkun, $M_c$ ) 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 ( $R_a$ ) ölçülmesi).
Ölçü aleti: Kumpas	Deney numunelerinin hazırlanması sırasındaki ölçümler ve deneyler öncesi yapılacak ayarlar.

## 6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 6.1. Deneysel Çalışma Esasları ve Elde Edilen Çıktılar

Delme işlemlerinde, kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı), kesici takım tipinin (kaplamalı ve kaplamasız) delme esnasında oluşan sıcaklığı, kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, deney numunesi olarak AISI 316L paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (60 m/dak, 75 m/dak, 90 m/dak ve 108 m/dak) ve dört farklı ilerleme miktarı (0,15 mm/dev; 0,20 mm/dev; 0,25 mm/dev ve 0,30 mm/dev) belirlenmiştir. Kesici takım olarak da iki farklı tipte (kaplamasız ve TiN/TiAlN/TiCN çok katmanlı kaplamalı) helisel yekpare karbür matkaplar kullanılmıştır. Kullanılan matkapların uç açıları 140° dir. Karbür matkaplar için önerilen uç açısı budur.

Bu parametreler doğrultusunda 16'sı kaplamalı, 16'sı da kaplamasız matkap kullanılarak toplamda 32 deney yapılmıştır. Matkap tipi, ilerleme miktarı ve kesme hızı parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı bu çalışmada, kesme kuvvetleri arasında büyük öneme sahip olan ilerleme kuvveti ve moment, kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık ve yüzey pürüzlülüğü çıktı olarak değerlendirilmiştir. Hangi parametrenin neye, neden, hangi kesme şartlarında ve ne derece etkili olduğunun analizi yapılmıştır. Bununla birlikte kaplamalı ve kaplamasız matkapların da bu etkilerin oluşumunda ne derece payının olduğu da ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Kaplamasız matkaplar ile yapılan deneylerden elde edilen çıktılar, Çizelge 6.1.'de (Deney No: 1-16), kaplamalı matkaplar ile yapılan deneylerden elde edilen çıktılar ise Çizelge 6.2.'de verilmiştir (Deney No: 17-32). Elde edilen çıktılar çizelgelerdeki değerlerin grafiklere aktarılarak ayrı ayrı yorumlanmıştır.

Çizelge 6.1. Kaplamasız matkaplarla elde edilen deney sonuçları.

Deney No	Kesme Hızı (V) (m/dk)	İlerleme (f) (mm/dev)	İlerleme Kuvveti ( $F_s$ ) (N)	Moment ( $M_s$ ) (Nm)	Sıcaklık (T) (°C)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü ( $R_{ort}$ ) ( $\mu\text{m}$ )
1	60	0,15	2126	1598	526	3,297
2		0,20	2539	1857	491	3,537
3		0,25	3219	2160	488	3,609
4		0,30	3877	2237	463	3,777
5	75	0,15	2213	1622	513	2,627
6		0,20	3026	1926	478	2,724
7		0,25	3589	2363	457	3,016
8		0,30	4017	2546	449	3,152
9	90	0,15	2463	1657	505	1,640
10		0,20	3488	2273	470	1,729
11		0,25	4255	2384	436	1,795
12		0,30	4413	2535	422	2,357
13	108	0,15	2836	1686	451	1,164
14		0,20	3766	2268	436	1,252
15		0,25	4614	2450	412	1,283
16		0,30	5100	2633	401	2,269

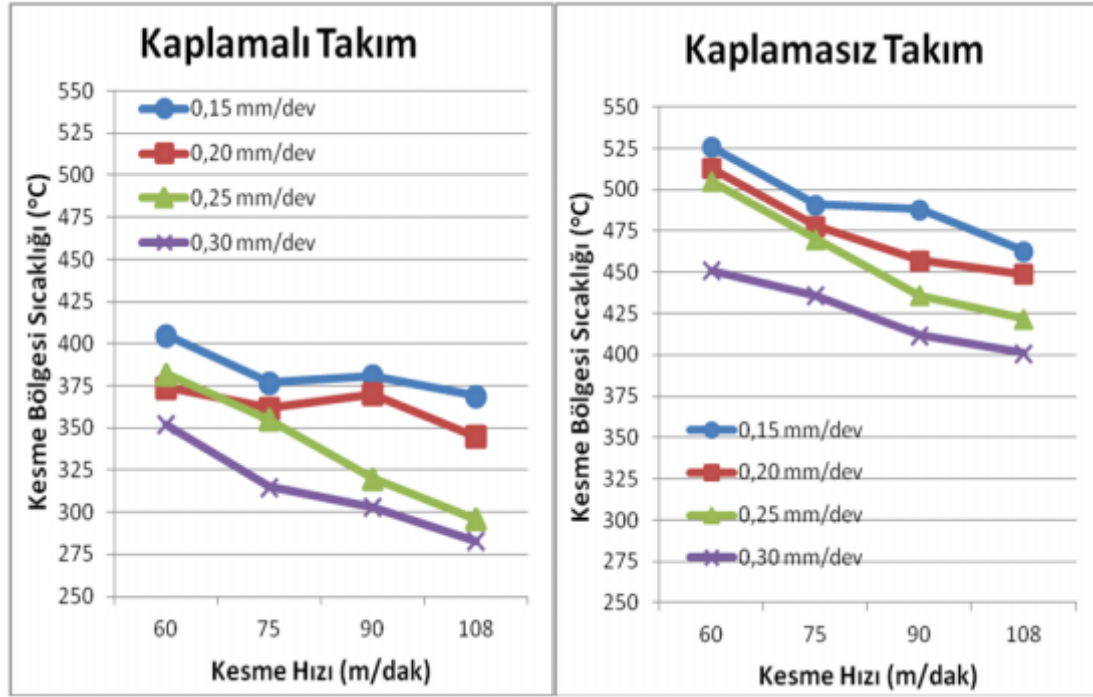


Çizelge 6.2. Kaplamalı matkaplarla elde edilen deney sonuçları.

Deney No	Kesme Hızı (V) (m/dk)	İlerleme (f) (mm/dev)	İlerleme Kuvveti ( $F_s$ ) (N)	Moment ( $M_s$ ) (Nm)	Sıcaklık (T) (°C)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ ) $R_{ort}$
17	60	0,15	2326	1155	405	2,280
18		0,20	2630	1384	377	2,520
19		0,25	3101	1661	381	2,805
20		0,30	3652	1736	369	3,514
21	75	0,15	2509	1231	374	1,994
22		0,20	2869	1510	362	2,261
23		0,25	3540	1812	370	2,576
24		0,30	3948	1970	345	2,965
25	90	0,15	2707	1305	382	1,497
26		0,20	2908	1731	355	1,892
27		0,25	3733	1940	320	2,030
28		0,30	4036	2083	296	2,192
29	108	0,15	2813	1418	352	0,935
30		0,20	3322	2021	315	1,117
31		0,25	3798	2039	303	1,265
32		0,30	4304	2367	283	1,332

## 6.2. Delme Sırasında Oluşan Kesme Bölgesi Sıcaklıklarının Değerlendirilmesi

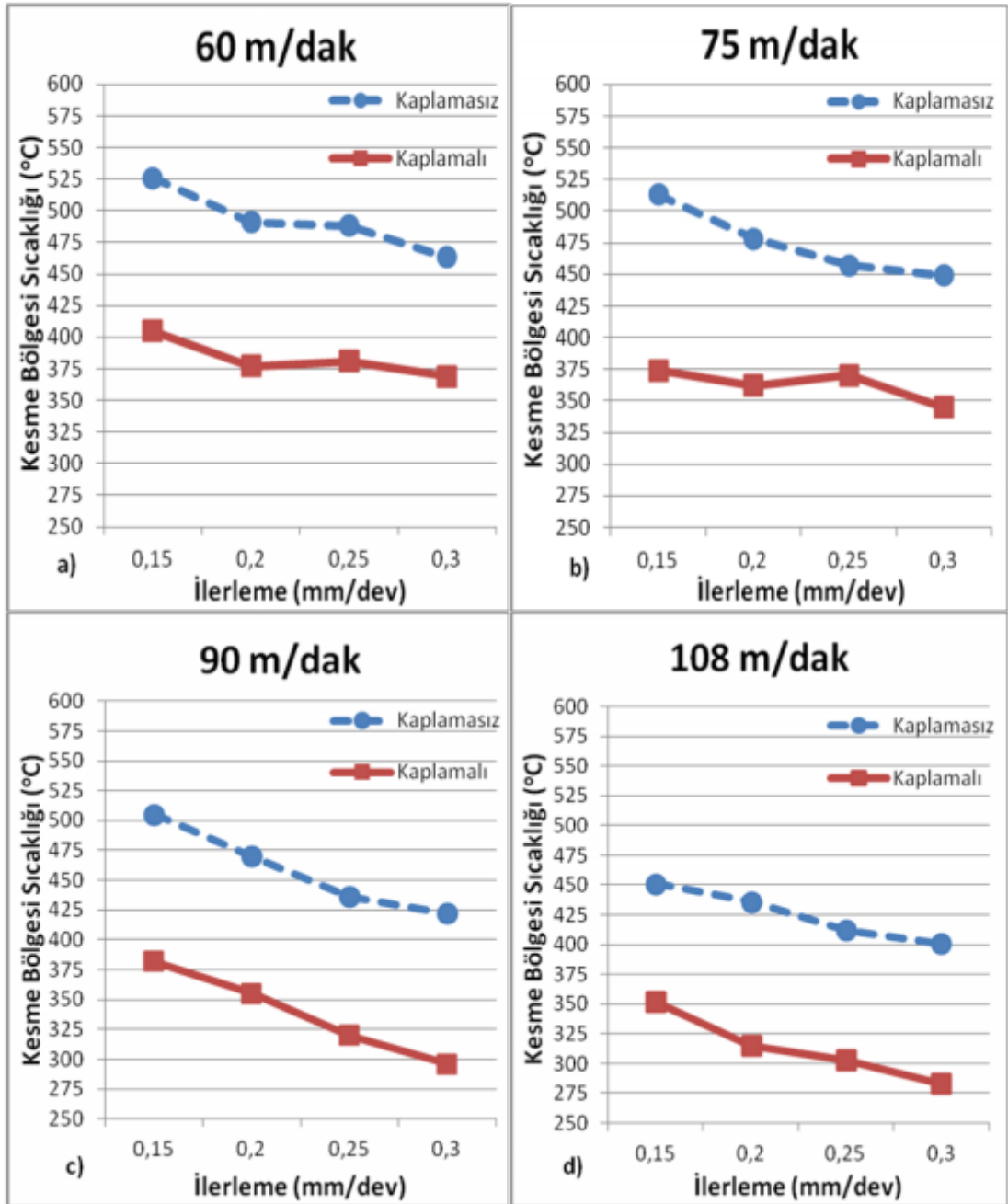
Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici takım tipine göre meydana gelen kesme bölgesi sıcaklık değerleri kaplamalı ve kaplamasız olarak Şekil 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıkların kaplamalı ve kaplamasız takımlarda, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi.

Grafiklerde de görüldüğü gibi ilerleme miktarı arttıkça, kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık değerleri azalmaktadır (Şekil 6.1.). Meydana gelen bu düşüş, talaş akışı ve talaş tahliyesinin daha kolay olmasına bağlanabilir [29, 57, 61]. Kesme esnasında oluşan sıcaklığın %80'inin talaşla atıldığı göz önünde bulundurulduğunda talaş tahliyesinin kolaylaşması ve dolayısıyla kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıkta bir düşüş olması beklenen bir durumdur [3].

Düşük ilerleme miktarlarında talaş tahliyesinin zorlaşmasıyla birlikte, bazı deneyler esnasında talaş sıkışması problemleri de yaşanmıştır. Bu durum; talaş ile birlikte uzaklaştırılabilecek ısının kesme bölgesinde kalmasına sebep olmakta ve kesme bölgesinde ki sıcaklığın artmasına yol açmıştır (Şekil 6.2.).



Şekil 6.2. Her bir kesme hızı için kaplamasız ve kaplamalı takımlarda ilerlemeye bağlı olarak kesme bölgesi sıcaklıklarının değişimi  
a) V= 60 m/dak, b) V= 75 m/dak, c) V= 90 m/dak, d) V= 108 m/dak.

Kesme hızının artması, kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıklarda ~%10'lara varan bir düşüşe sebep olmuştur. 75 m/dak kesme hızında kaplamasız takımlarla elde edilen deney sonuçları incelendiğinde 0,25 mm/dev ilerleme miktarında kesme bölgesi sıcaklığı 457 °C iken, ilerleme miktarının 0,30 mm/dev'e çıkarılması sonucunda oluşan sıcaklık 449 °C'ye düşmüştür. Aynı deneyler

kaplamalı takımlarla yapıldığında ise ilk durumda 370 °C iken, ikinci durumda ~%7'lik bir düşüşle 345 °C'ye inmiştir (Şekil 6.2.b).

İlerleme miktarının artması, kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıklarda ~%8'e varan bir düşüşe sebep olmuştur. 90 m/dak kesme hızında kaplamasız takımlarla elde edilen deney sonuçları incelendiğinde; 0,20 mm/dev ilerleme miktarında kesme bölgesi sıcaklığı 470 °C iken, ilerleme miktarının 0,25 mm/dev'e yükseltilmesi sonucu 436 °C'ye kadar düşmüştür. Bu da ~%8'lik bir orana karşılık gelmektedir. Aynı deneyler kaplamalı takımlarla yapıldığında ise ilk durumda 355 °C iken, ikinci durumda da ~%10'luk bir düşüşle 320 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 6.2.c).

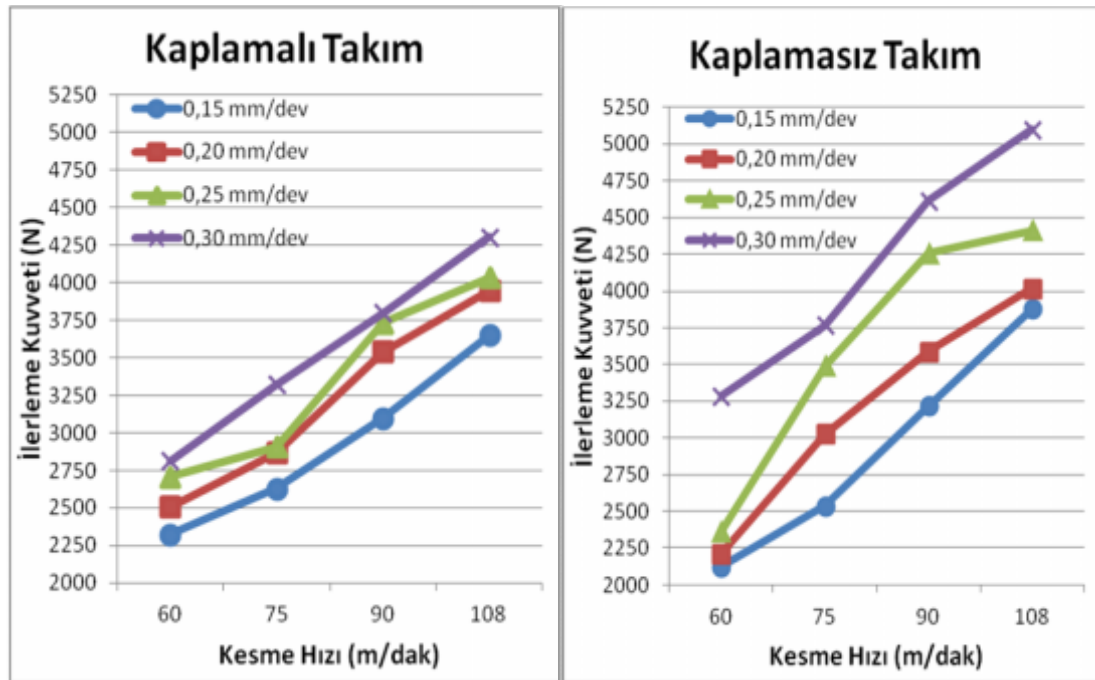
Delik delme işlemi dışındaki diğer imalat işlemleri ele alındığında (daha çok tornalama ve frezeleme işlemleri); kesme hızının artması ile takım talaş ara yüzeyindeki sıcaklığın arttığı bilinmektedir [62-63]. Bu durum ise; kesme işlemi süresince harcanan enerjinin neredeyse tamamına yakın bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesine atfedilebilmektedir [62-64]. Fakat deneyler sonucu elde edilen sıcaklık değerleri incelendiğinde bu durumun tam tersi bir şekilde; kesme hızı değerlerinin yükselmesi, kesme bölgesi sıcaklıklarının düşmesine sebep olmuştur (Şekil 6.2.). Bu farklılık tamamen çıkan talaşın tahliyesinin zor olmasından kaynaklanmaktadır [57]. Tornalama ve frezeleme işlemlerinde genellikle serbest formdaki talaş havayla temas etmekte ve buna bağlı olarak talaşla tahliye edilen %80'lik ısı miktarı kesme bölgesinden rahatlıkla uzaklaştırılabilmektedir.

Delme işlemlerinde ise; talaş havayla temas etmeden önce delik içerisinde iş parçasıyla ve kesici takımla uzun süre temasta kaldığı için hem kesici takıma, hem de iş parçasına daha fazla ısı transferine sebep olabilmektedir. Talaş tahliyesinin kolaylaşması ısı transferini de kolaylaştırdığından, ilerlemede olduğu gibi artan kesme hızları da talaş tahliyesini hızlandırabilmektedir. Dolayısıyla kesme bölgesinde sıcaklık artsa bile, uzaklaştırılan talaş ile kesme bölgesindeki ısının uzaklaştırılması da hızlanacağı için artan kesme hızlarıyla sıcaklıkların düştüğü görülmüştür. Bu çalışma da ilerleme miktarının ve kesme hızının artması sonucu sıcaklığın düşmesinin talaş tahliyesinin kolaylaşmasına atfedilebilir.

Tüm deneylerde kaplamalı takımlarla elde edilen kesme bölgesi sıcaklıkları, kaplamasız takımlara göre daha düşük çıkmıştır. Kaplamalı takım kullanımının kesme bölgesi sıcaklıklarını ~%25 oranında düşürdüğü görülmüştür. Bu durum kaplamalı takımların, kaplama malzemeleri sayesinde sürtünme katsayılarının düşmesine ve bunun sonucunda kesme bölgesi sıcaklıklarının da düşmesine atfedilebilir [57].

### 6.3. Delme Sırasında Oluşan İlerleme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

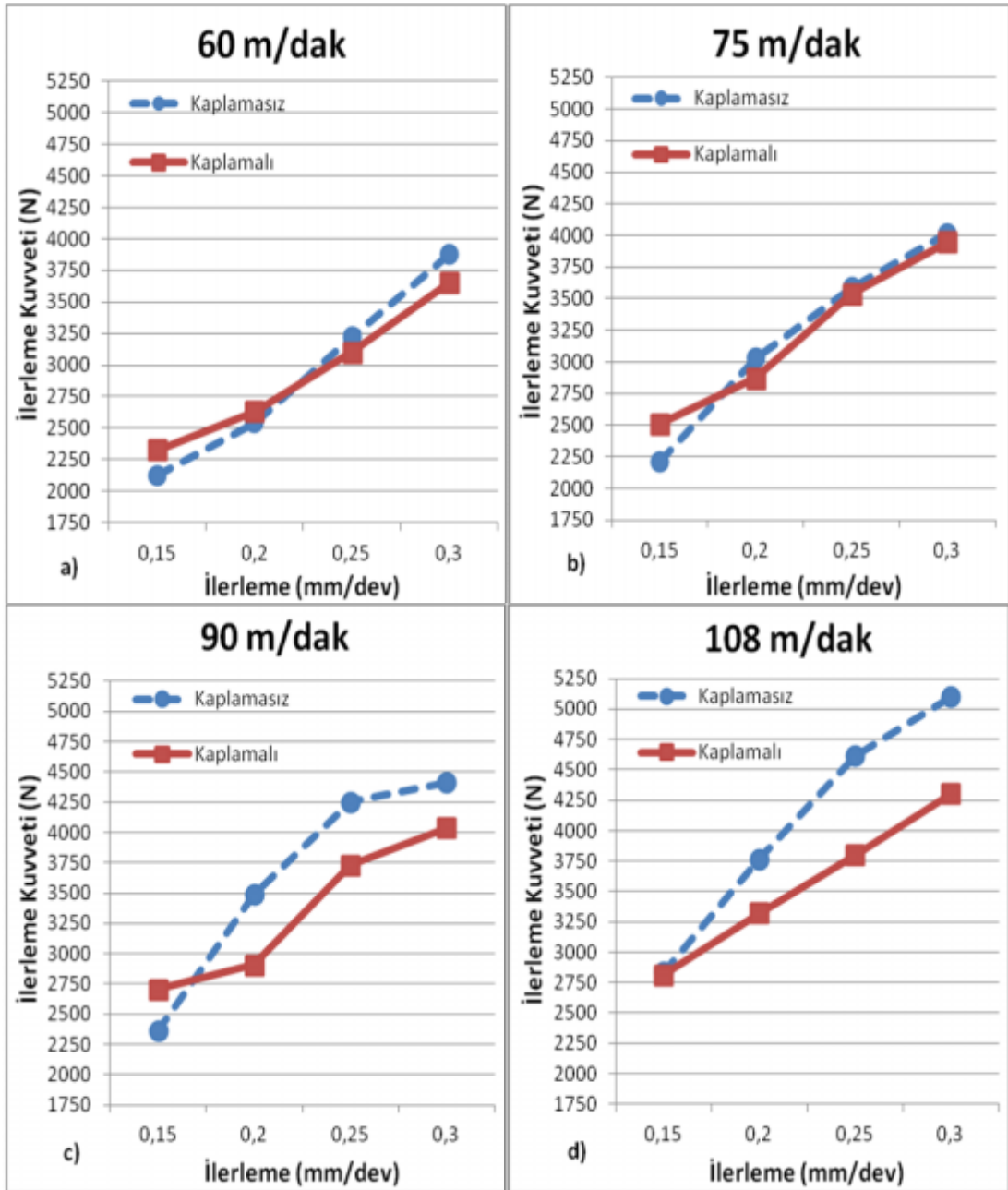
Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici takım tipine göre oluşan ilerleme kuvvetlerindeki dağılım kaplamalı ve kaplamasız olarak Şekil 6.3.'de verilmiştir.



Şekil 6.3. İlerleme kuvvetlerinin, kaplamalı ve kaplamasız takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi

Grafiklerde de görüldüğü gibi ilerleme miktarı arttıkça, oluşan ilerleme kuvvetlerinin ~%40-70 oranında arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde, ilerleme miktarının ilerleme kuvvetleri üzerindeki etkisinin yüksek olduğu söylenebilir (Şekil 6.4.). İlerleme miktarlarının artmasıyla, ilerleme kuvvetlerinin artması talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu durum; ilerleme miktarındaki artış sonucu artan talaş

kesitine atfedilebilir. Talaş kesitinin artması sonucu talaş kaldırmak için ihtiyaç duyulan enerji artacak ve artan enerji de ilerleme kuvvetlerin artmasına sebep olacaktır [2, 57].



Şekil 6.4. Her bir kesme hızı için kaplamasız ve kaplamalı takımlarda ilerlemeye bağlı olarak oluşan ilerleme kuvvetlerinin değişimi

a)  $V= 60$  m/dak, b)  $V= 75$  m/dak, c)  $V= 90$  m/dak, d)  $V= 108$  m/dak.

Şekil 6.4.'de görüldüğü gibi tüm deneylerde kesme hızındaki artış, ilerleme kuvvetinin de ~%4-%15 oranlarında artmasına sebep olmuştur. 75 m/dak kesme hızında kaplamasız takımlarla elde edilen deney sonuçları incelendiğinde 0,25 mm/dev ilerleme miktarında ölçülen ilerleme kuvveti 3589 N iken, ilerleme miktarının 0,30 mm/dev'e yükseltilmesi sonucu 4017 N'a çıkmıştır. Bu da ~% 12'lik bir orana tekabül etmektedir. Aynı değerler kaplamalı takımlarla yapılan deneyler incelendiğinde ise ilk durumda ilerleme kuvveti 3540 N iken, ikinci durumda kuvvet ~%11'lik benzer bir artışla 3948 N'a kadar yükselmiştir (Şekil 6.4.b).

0,25 mm/dev ilerleme miktarında kaplamasız takımlarla 90 m/dak kesme hızının kullanılmasıyla yapılan deney sonucunda, oluşan ilerleme kuvveti 4255 N iken, kesme hızı 108 m/dak olarak değiştirildiğinde ~%8'lik bir artışla 4614 N'a yükseldiği görülmüştür (Şekil 6.4.c, d).

Kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde 60 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarı seçildiğinde; ilerleme kuvveti 2326 N ölçülürken, ilerleme miktarı %33'lük bir artış ile 0,20 mm/dev yapıldığında, ilerleme kuvveti ~%17 oranında artarak 2630 N olarak ölçülmüştür. İlerleme miktarının %66 artması sonucu ilerleme miktarı 0,25 mm/dev olduğunda ise, ilerleme kuvveti ~%29 artarak 1661 N'a kadar yükselmiştir (Şekil 6.4.a).

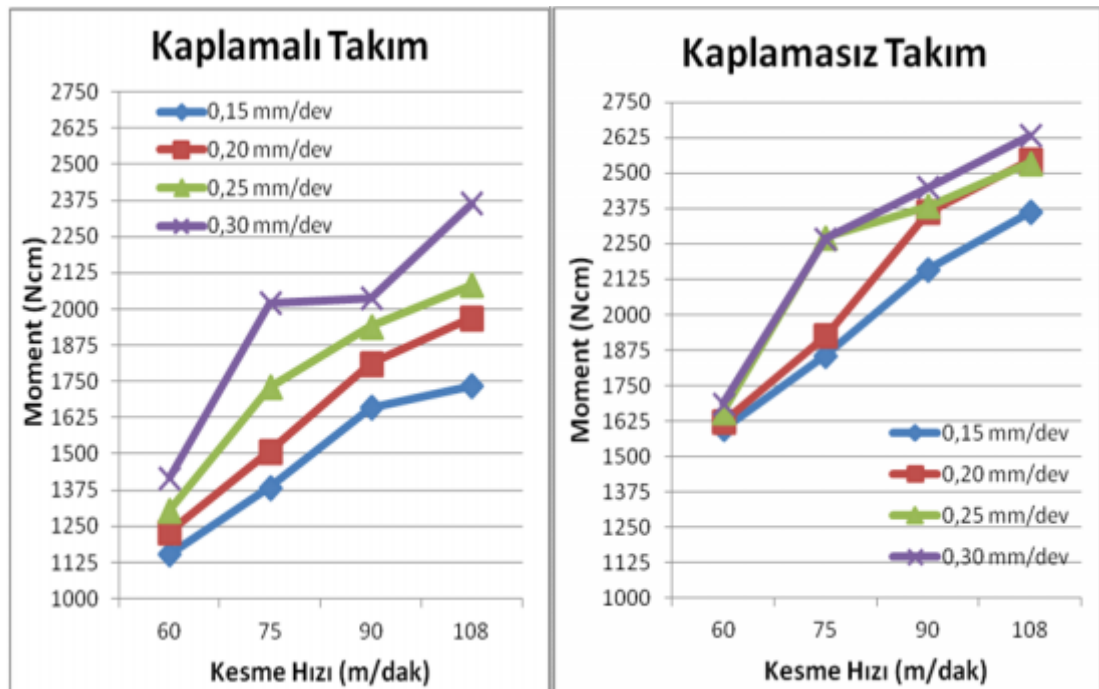
Şekil 6.4.'deki grafikler incelendiğinde, kaplamasız matkapla yapılan deneylerde elde edilen ilerleme kuvvetlerinin, kaplamalı takımlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Kaplamasız matkaplarda ilerleme kuvvetleri 2126-5100 N arasında değişirken, kaplamalı takımlarda ise 2326-4304 N arasında değişmektedir. İki matkap tipi arasında ~%15 oranında farklar oluştuğu görülmüştür.

Kaplamasız ve kaplamalı takımlar arasındaki en büyük ilerleme kuvveti farkı 0,30 mm/dev ilerleme miktarı ve 108 m/dak kesme hızında meydana gelmiştir (Şekil 6.4.d). Bu durum; kesme şartlarının nispeten daha zorlaşması halinde kaplamalı takımların, kaplamasız takımlara göre daha iyi bir performans sergilemesine atfedilebilir [57].

#### 6.4. Delme Sırasında Oluşan Momentlerin Değerlendirilmesi

İlerleme miktarı, kesme hızı ve kesici takım tipine göre oluşan moment değerlerindeki dağılım kaplamalı ve kaplamasız olarak Şekil 6.5.'de verilmiştir.

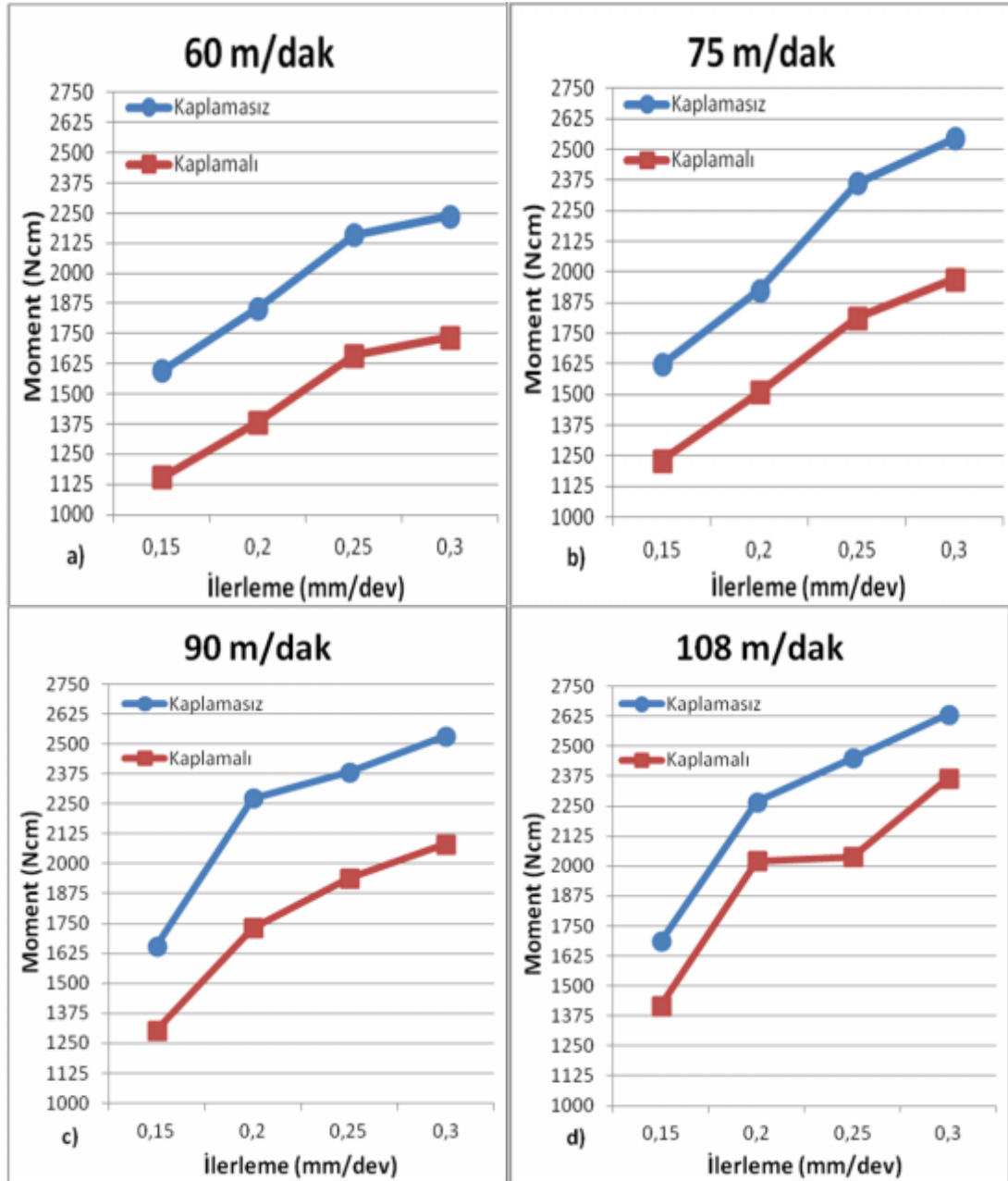
Grafikler incelendiğinde, kesme hızının artması sonucunda beklendiği gibi moment değerlerinin de aynı paralellikte artmış olmasıdır. Sabit kesme hızlarında ilerleme miktarının artması da, moment değerlerinde ~%8'lik bir oranda artışa sebep olmuştur. Bu durum; ilerleme miktarındaki artışa bağlı olarak talaş kalınlığının artmasına ve bu sayede küçük bir özgül kesme kuvvetinin oluşmasına neden olmuştur. Ancak ilerleme miktarının artmasıyla birlikte, artan talaş alanı toplamda daha büyük bir moment oluşumuna yol açmıştır.



Şekil 6.5. Moment değerlerinin, kaplamalı ve kaplamasız takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi

Yapılan bütün deneylerde ilerleme miktarlarının artması, moment değerlerinin de artmasına sebep olmuştur (Şekil 6.6.).





Şekil 6.6. Her bir kesme hızı için kaplamasız ve kaplamalı takımlarda ilerlemeye bağlı olarak oluşan moment değerlerinin değişimi  
a) V= 60 m/dak, b) V= 75 m/dak, c) V= 90 m/dak, d) V= 108 m/dak.

Şekil 6.6.'daki grafiklerde de görülebilen bu artışın ~%20-40 seviyesinde gerçekleştiği ve ilerleme kuvvetlerindeki artışla kıyaslandığında daha düşük oranlarda olduğu söylenilebilir. İlerleme miktarlarının artmasına bağlı olarak, moment değerinin de artması talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu durum; ilerleme miktarındaki artış sonucu artan talaş kesitine atfedilebilir. Talaş kesitinin artması

sonucu, talaş kaldırmak için ihtiyaç duyulan enerji artacak ve artan enerji de ilerleme kuvvetlerin artmasına sebep olacaktır [2, 57].

Şekil 6.6.'daki grafiklerin hemen hemen tamamında kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde elde edilen momet değerlerinin, bütün ilerleme miktarlarında kaplamalı takımlardan daha fazla olduğu görülmektedir. Kaplamasız takımlarda ölçülen momet değerleri 1598-2633 N arasında değişirken, kaplamalı takımlarda ise bu değerlerin ~%15'lik bir düşüşle 1155-2367 N arasında değiştiği görülmüştür.

75 m/dak kesme hızında kaplamasız takımlarla elde edilen deney sonuçları incelendiğinde; 0,25 mm/dev ilerleme miktarında ölçülen ilerleme kuvveti 2363 N iken, ilerleme miktarının 0,30 mm/dev'e yükseltilmesi sonucu kuvvet 2546 N'a çıkmıştır. Bu da ~%8'lik bir orana tekabül etmektedir. Aynı deneyler kaplamalı takımlarla yapıldığında ise ölçülen kuvvet ilk durumda 1812 N iken, ikinci durumda yaklaşık olarak yine aynı oranda artarak 1970 N'a kadar yükselmiştir.

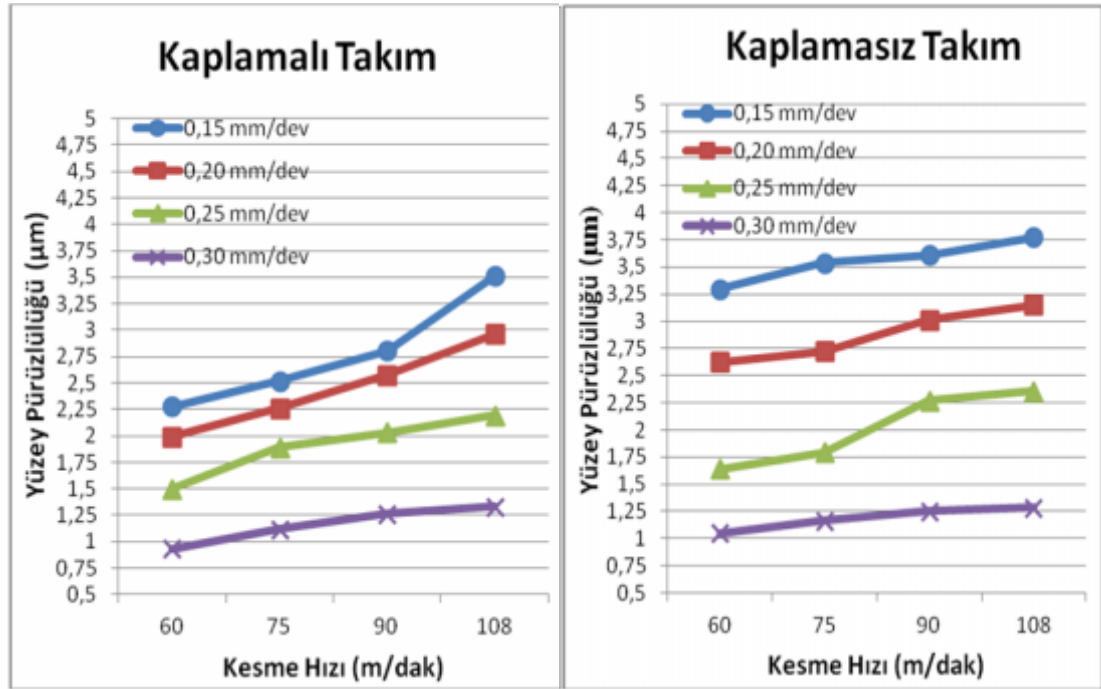
0,25 mm/dev ilerleme miktarı ve 90 m/dak kesme hızı kullanılarak kaplamasız takımlarla yapılan deney sonucunda, oluşan momet değeri 2384 N iken, kesme hızı 108 m/dak olarak değiştirildiğinde, kuvvet ~% 3'lük bir artışla 2450 N'a kadar ulaşmıştır.

En yüksek moment değeri, tıpkı ilerleme kuvvetinde olduğu gibi kaplamasız takımla yapılan deneyde 0,30 mm/dev ilerleme miktarı ve 108 m/dak kesme hızında meydana gelmiştir. Bunu da; kesme şartlarının nispeten daha zorlaşması halinde kaplamalı takımların, kaplamasız takımlara göre daha iyi bir performans sergilemesine atfetmek mümkündür [57].

Yapılan tüm deneylerde; kaplamalı takımların, kaplamasız takımlara oranla çok daha üstün performans sergilediği ve momet değerinin arttığında kesme hızının, ilerleme kuvvetinden daha az etkili olduğunu görülmüştür.

### 6.5. Delme Sırasında Oluşan Yüzey Kalitelerinin Değerlendirilmesi

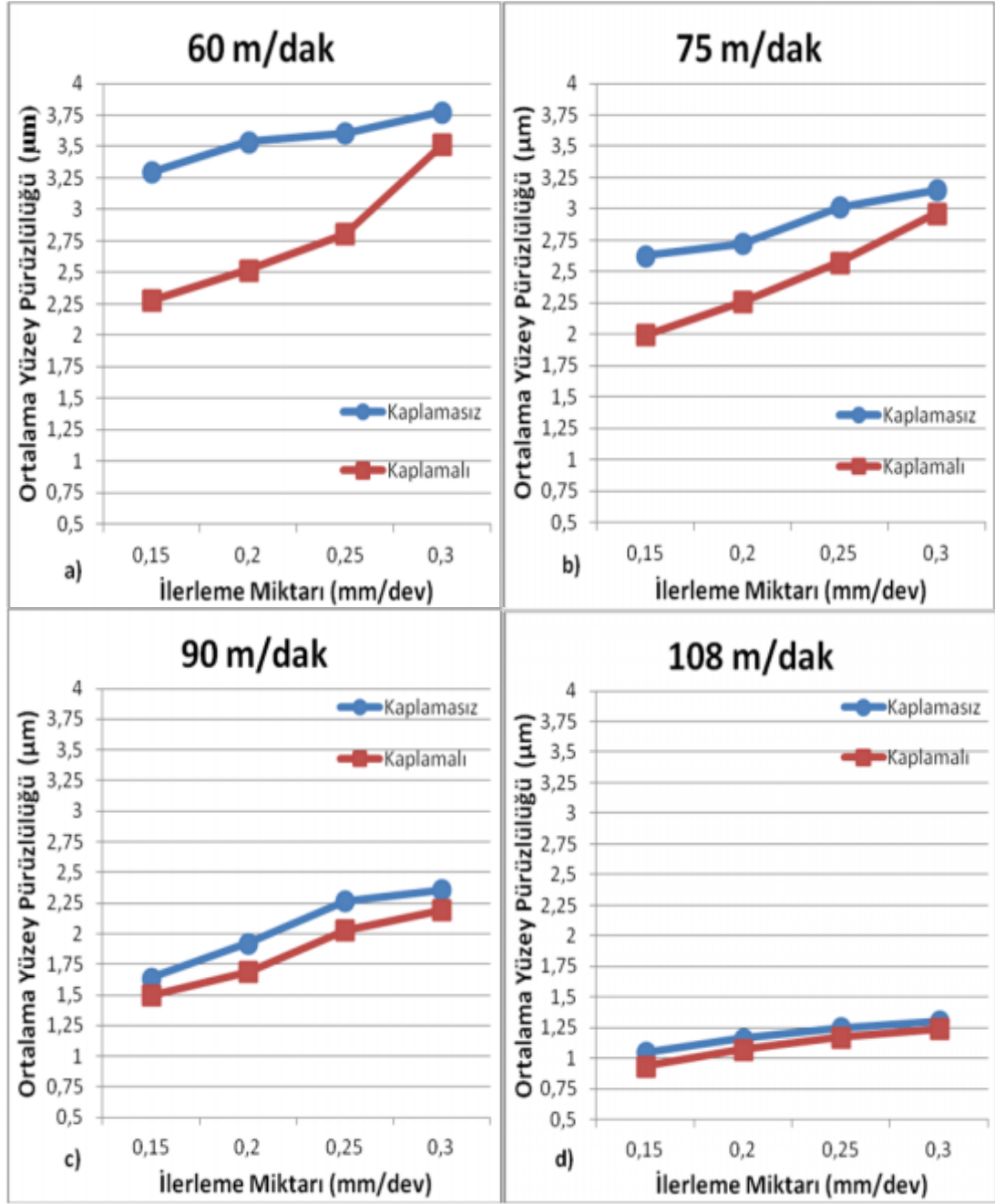
Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici takım tipine bağlı olarak değişim gösteren ortalama yüzey pürüzlülük değerleri kaplamalı ve kaplamasız olarak Şekil 6.7.'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Yüzey pürüzlülük değerlerinin, kaplamalı ve kaplamasız takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi

Grafikler incelendiğinde göze çarpan en önemli eğilim, kesme hızının artması sonucu, yüzey pürüzlülük değerlerinde de artmış olmasıdır. Aynı şekilde ilerleme miktarındaki artış da yüzey pürüzlülük oranlarının artmasına sebep olmuştur. Bu iki durumda; geleneksel talaş kaldırma işlemlerinde beklenen tarzda gerçekleşmiş olup, kesme şartlarının nispeten daha zorlaşmasına atfedilebilmektedir.

İlerleme miktarındaki artış, birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına ve buna bağlı olarak da kesme kuvvetlerinin büyümesine sebep olacaktır [3]. Takım üzerinde artan bu kuvvet yüklerinin yüzey kalitesini olumsuz etkilediği Şekil 6.8.'deki grafiklerde görülmektedir.



Şekil 6.8. Her bir kesme hızı için kaplamasız ve kaplamalı takımlarda ilerlemeye bağlı olarak oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi

a)  $V= 60$  m/dak, b)  $V= 75$  m/dak, c)  $V= 90$  m/dak, d)  $V= 108$  m/dak.

Delme işlemlerinde en önemli problem olan delme boyuna bağlı olarak zorlaşan talaş tahliyesi, talaşın delik içerisinde sıkışmasına ve dolayısıyla da yüzey kalitesinin bozulmasına, hatta takımın kırılmasına sebep olmaktadır [2, 62, 64]. Malzeme çifti (iş parçası-kesici takım malzemeleri) için önerilen değerler çok aşılmamak kaydıyla,

kesme hızındaki artışla kolaylaşan deformasyon, talaş tahliyesinin de daha rahat gerçekleşmesine sebep olacaktır. Deneysel çalışmalarda elde edilen veriler bunu doğrular niteliktedir. Seçilen kesme hızı değerleri, imalatçı firma verileri ve literatür ışığında seçilmiş olup, artan kesme hızı ile birlikte yüzey kalitesinde önemli bir gelişme gözlenmiştir.

İlerleme miktarlarının azalması ve kesme hızlarının artması sonucunda ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde % 70'lere varan oranlarda bir iyileşme görülmüştür. Deneysel elde edilen en iyi yüzey kalitesi 108 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 0,935 µm ile gerçekleşmiştir. Yani yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarı kombinasyonunda gerçekleşmiştir.

Kaplamalı takımlarda görülen en bariz sonuç, kaplamasız takımlara göre ~%10'dan %70'lere varan daha iyi yüzey kalitelerinin elde edilmesidir. Yapılan benzer çalışmalarda da elde edilen sonuçlar bunu doğrular niteliktedir [58]. Bu durum, kaplama malzemesinin takımın aşınma direncine sağladığı katkının yanında, yüzey kalitesine de olumlu etki yaptığını göstermektedir. Bunun sebebi ise kullanılan kaplama malzemesinin düşük sürtünme katsayısının, talaş akışını kolaylaştırarak yüzey kalitesini olumlu yönde etkilemesine atfedilebilir [47, 63].

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

AISI 316L paslanmaz çelik malzeme üzerinde yapılan delme deneyleri ile kesici takım kaplaması, kesme hızı ve ilerlemenin kesme bölgesinde oluşan sıcaklık, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmayla elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerleri ilerleme arttıkça azalma göstermektedir. İlerleme miktarının artması sonucunda; talaş tahliye hızının arttığı ve matkabın malzeme ile temasta olacağı sürenin azalması ile de sürtünmeden doğacak sıcaklığın azaldığı düşünülmektedir
- Kaplamalı kesici takımlarla yapılan hemen hemen bütün deneylerde, kesme bölgesi sıcaklıklarında kayda değer bir düşüş görülmüştür. Bu duruma kaplama malzemesinin düşük sürtünme ve ısı iletim katsayısına sahip olmasının sebep olduğu düşünülmektedir.
- Yapılan deneyler ışığında; sabit kesme hızında, ilerleme miktarı arttıkça ilerleme kuvvetlerinin de arttığı görülmüştür.
- İlerleme miktarının; ilerleme kuvvetleri üzerindeki etkisinin, kesme hızına göre daha yüksek olması sebebiyle, düşük ilerleme miktarlarında düşük ilerleme kuvveti değerleri elde edilmiştir.
- Kaplamasız ve kaplamalı takımların her ikisinde de ilerleme hızındaki değişim ile ilerleme kuvvetindeki değişim birbiriyle paralellik arz etmektedir. Bütün kesme parametreleri kombinasyonlarında kaplamalı takımlardan elde edilen ilerleme kuvveti değerleri kaplamasız takımlarla elde edilenlerden daha düşük olmuştur.
- Kaplamalı takımlarla elde edilen ilerleme kuvveti değerleri kaplamasız takımlarla elde edilenlere göre ortalama ~%2-%15 oranlarında daha düşük çıkmıştır.

- Kesme hızı ve ilerleme miktarının, ilerleme kuvveti ve moment değeri üzerinde oldukça benzer bir etkisi olduğu görülmüştür. Artan ilerleme miktarları ve kesme hızlarıyla birlikte, moment ve kesme kuvveti değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Görülen bu durum; kesme şartlarının nispeten daha fazla zorlaşmasına ve bu nedenle daha yüksek bir kuvvete ihtiyaç duyulmasına atfedilmiştir.
- Tüm deney sonuçlarında, kaplamalı takım kullanımının moment değerlerinde de kayda değer bir düşüşe sebep olduğu söylenebilir. Düşük sürtünme katsayısı sebebiyle ilerleme kuvvetleri düşmüş, dolayısıyla bu durumun moment değerlerine de yansımış olacağı düşünülmektedir.
- İlerleme miktarlarının azalması ve kesme hızlarının artması sonucunda ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde % 70'lere varan oranlarda bir iyileşme görülmüştür.
- Kaplamalı takımlar için söylenebilecek en önemli sonuç, kaplamasız takımlarla kıyaslandığında, daha iyi yüzey kalitelerinin elde edilmiş olmasıdır. Bu durum; kaplama malzemesinin takımın aşınma direncine sağladığı katkının yanında, yüzey kalitesine de olumlu etki yaptığını göstermektedir. Oluşan bu durum; kaplama malzemesinin düşük sürtünme katsayısının talaş akışını kolaylaştırmasına ve ısı iletim katsayısının düşük olmasıyla birlikte yüzey kalitesini olumlu yönde etkilemesine atfedilmiştir.

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

- Takıma kaplama uygulanması, kesme hızı ve ilerleme miktarının kesme bölgesi sıcaklığı, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, iş parçası malzemesi olarak AISI 316L paslanmaz çelik malzemesi kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen

bulguların doğruluğunu sınamak için aynı şartlarda benzer özellikler taşıyan iş parçası malzemeleri kullanılarak başka bir çalışma yapılabilir.

- Bu çalışmada tek bir kaplama uygulaması ele alınmış olup, deneyler de sadece tek çap değeri için gerçekleştirilmiştir. Kaplamanın çıktılar üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu gözlemlendiğinden, farklı kaplama tiplerinin kullanılması ve bulunan değerlerin birbiriyle karşılaştırılmaları ayrı bir konu olarak araştırılabilir. Seçilen matkap çapı ve tipleri çoğaltılarak çalışma zenginleştirilebilir.
- Bu çalışmada delik kalitesinin değerlendirilmesinde sadece yüzey pürüzlülüğü ele alınmıştır. Buna ölçü tamlığı, çaptan sapma, ovalite (dairesellikten sapma) ve çapak oluşumu gibi değerlendirmeler de dahil edilebilir.
- Takımın tutucuya bağlanma uzunluğunun etkileri, farklı bağlama uzunlukları kullanılarak araştırılabilir.
- Delme sırasında oluşan kesme bölgesi sıcaklığın ölçülmesi farklı sıcaklık ölçme yöntemleriyle yapılarak, bu çalışmada elde edilen değerlerle karşılaştırılabilir.
- Bu çalışmada araştırılan parametrelere ilaveten kesme kuvvetleri ve kesme bölgesi sıcaklığına bağlı olarak takım ömrü ve kesici takımında meydana gelen aşınmalar da çalışılabilir.
- Deneyler sonucu elde edilen veriler ile matematiksel formüller sonucu elde edilen değerler kıyaslanarak, elde edilen verilerdeki sapmalar karşılaştırılabilir.
- Sayısal analiz ve modelleme yöntemlerinden faydalanarak daha kapsamlı çalışmalar yapılabilir ve sonuçlar, deneysel sonuçlarla mukayese edilerek farklılıklar ortaya konulabilir.



- Deneyle esnasında soğutma sıvısı kullanımının kesme bölgesi sıcaklıklara ne derece etki ettiği ayrı bir çalışma olarak araştırılabilir.
- Deneylede kullanılan sabit matkap-dönen iş parçası yönteminin yerine, sabit iş parçası-dönen matkap yöntemi kullanılarak elde edilen ilerleme kuvveti ve moment değerleri kıyaslanabilir.

## KAYNAKLAR

1. Kara, F., Aslantaş, K., Çiçek, A.; “Ortogonal kesme işleminde kaplama malzemesinin talaş morfolojisi üzerinde etkisinin araştırılması”, **2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi**, Balıkesir, 1-2 (2010).
2. Şeker, U., “Kesici Takım Tasarımı Ders Notları”, **Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Ankara, 5-11 (1997).
3. Sandvik Coromant, “Modern Metal Cutting”, **Sandvikens Tryckeri**, Sweden, 2-61 (1994).
4. Goetsch, L. D., ”Modern Manufacturing Processes”, **Delmar Publishers Inc.**, U.S.A 550-554 (1991).
5. Çakır, M. C., ”Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, **VİPAŞ A.Ş.**, Bursa, 350-390 (2000).
6. Şahin, N., ”Tesviyecilik Meslek Teknolojisi I”, **Bayt Ltd. Şti**, Ankara, 35-45 (2001).
7. Donaldson, C, LeCain, G. H., Goold, V. C.; ”Tool Design” **McGraw-Hill Book Company**, New York, 342-344 (1973).
8. Mendi, F., “Takım Tezgahları Teori ve Hesapları” **Gazi Kitabevi**, Ankara, 109-123 (1996).
9. Avuncan, G., ”Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar”, **Makine Takım Endüstrisi A.Ş.**, İstanbul, 34-41 (1998).
10. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 56-72 (1998)
11. İnternet: Kontak Noktası “Mineral İzoleli Mantel Termokupl”  
[http://www.kontaknoktasi.com.tr/default.asp?page=urun\\_icerik&sayi=302&ad=Mineral%20DDzoleli%20%28Mantel%29%20Termokupl,%20K-Tip%20%28N%20DDCr-Ni%29%20Model%20No%20:%20MI-MTTC-K076%20,%20Seramik%20G%F6vdeli%20Minyat%FCr%20Tip%20Termokupl%20Fi%FEli](http://www.kontaknoktasi.com.tr/default.asp?page=urun_icerik&sayi=302&ad=Mineral%20DDzoleli%20%28Mantel%29%20Termokupl,%20K-Tip%20%28N%20DDCr-Ni%29%20Model%20No%20:%20MI-MTTC-K076%20,%20Seramik%20G%F6vdeli%20Minyat%FCr%20Tip%20Termokupl%20Fi%FEli), (2012).
12. Akkurt, A., “Delik yüzeylerine uygulanan yüzey iyileştirme işlemlerinin alüminyum alaşımı malzemeler üzerinde araştırılması”, **Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu** 1-3, Konya, (2009).
13. Bayrak, M., “Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-35 (2002).

14. Kaplan, Y., “Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 38-51 (2010).
15. Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 6-25 (2002).
16. Yalçın, H., Gürü, M.; “Malzeme Bilgisi”, **Palme Yayıncılık**, Ankara, 95-113 (2006).
17. Aran, A., Temel, M. A.; “Paslanmaz Çelik”, Sarıtaş Teknik Yayın No:1, **Acar Matbaacılık**, 2. Baskı, İstanbul, (2004).
18. Töre C., “Mekanik Tasarımda Çelik ve Özellikleri”, **Makine Mühendisleri Odası**, Ankara, (2007).
19. Wan, Y., Tang, Z. T., Liu, Z.Q., Ai, X.; “The Assessment of cutting temperature measurements in high speed machining”, **Materials Science Forum**, 162-166 (2004).
20. Q’Sullivan, D., Cotterell, M.; “Temperature measurement in single point turning”, **Journal of materials Processing Technology**, 118: 301-308, (2001).
21. Nedelik, J., 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).
22. Ay, H., Yang, W. J.; “Heat transfer and life of metal cutting tools in turning”, **International Journal Heat Mass Transfer**, 41-3, 613-623 (1999).
23. Kalidas, S., DeVor, R.E., Kapoor, S. G.; ”Experimental investigation of the effect of drill coatings on hole quality under dry and wet drilling conditions” **Surface and Coatings Technology**, 148: 117-128 (2001).
24. Li, R., S.; “Spiral Point Temperature and Stress in High-Throughput Drilling of Titanium”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Article in press (2007).
25. Kelly, J. F., Cotterell, M. G.; ”Minimal lubrication machining of aluminium alloys” **Journal of Materials Processing Technology**, 120: 327-334 (2002).
26. Agapiou, J. S., Stephenson, D. A.; ”Analytical and experimental studies of drill temperatures”, **Journal of Engineering for Industry**, 54-60, 116 (1994).

27. Bono, M., Ni, J.; “The effects of thermal distortions on the diameter and cylindricity of dry drilled holes”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41: 2261-2270 (2001).
28. Usta, M., “Tornalama takım tezgahlarında delik delme operasyonları sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri ve ısı etkisinin araştırılması“, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 100-145 (2010).
29. Bağcı, E., Özçelik, B.; “Finite element and experimental investigation of temperature changes on a twist drill in sequential dry drilling” *International Journal Manufacturing Technology*, 28: 680-687 (2006).
30. Dörr, J., Mertens, T.H., Engering, G., Lahres, M.; “In-situ’temperature measurement to determine the machining potential of different tool coating” *Surface and Coatings Technology*, 174-175, 389-392 (2003).
31. Kaynak, Y., “Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 60-66 (2006).
32. Zeilmann, R. P., Weingaertner, W. L.; ”Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant”, *Journal of Materials Processing Technology*, 18-23 (2006).
33. Agapiou, J. S., DeVries, M. F.; “On the determination of thermal phenomena during drilling - part i-analytical models of twist drill temperature distributins”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 30: 203-215 (1990).
34. Ceschini, L., Minak, G.; “Fatigue behaviour of low temperature carburised aisi 316l austenitic stainless steel”, *Surface and Coatings Technology*, 202: 1778-1784 (2008).
35. Gennari, W., Pereira, A. A., Santos, H. L. A.; “Application of minimum amount of fluid by spray in turning of AISI 316 stainless steels”, *International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE 2005)*, Orlando, Florida, USA, (2001).
36. Otero, E., Pardo, A., Utrilla, M. V., Pérez, F. J., Merino, C.; “The corrosion behaviour of AISI 304L and 316L stainless steels prepared by powder metallurgy in the presence of organic acids”, *Corrosion Science*, 39: 453-463 (1997).
37. Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Achyutha, B. T., Siddeswarappa, B.; “Taguchi optimization in drilling of AISI 316L stainless steel to minimize burr size using multi-performance objective based on membership function”, *Journal of Materials Processing Technology*, 202: 374-379 (2008).

38. Lin, T. R., "Cutting behavior of a TiN-coated carbide drill with curved cutting edges during the high-speed machining of stainless steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 127: 8-16 (2002).
39. Çiftçi, İ., "Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20: 205-209 (2005).
40. Karnik, S., R., Gaitonde, V. Davim, J. P.; "Integrating taguchi principle with genetic algorithm to minimize burr size in drilling of AISI 316L stainless steel using an artificial neural network model", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221: 1695-1704 (2007).
41. Kılıçkap, E., ve Hüseyinoğlu, M.; "Tepki yüzey modeli ve genetik algoritma kullanılarak AISI 316'nın delinmesinde oluşan çapak yüksekliğinin modellenmesi ve optimizasyonu", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, Cilt:1, Sayı:1*, (2010).
42. Abdullah, M. F., Sulong, A. B., Chua, I. H., Che Haron, C. H., Ghani, J. A.; "Effect of insert nose radius and machining parameters on the surface roughness of stainless steel 316L", *Key Engineering Materials*, (2010).
43. Reiter, A. E., Brunner, B., Ante, M., Rechberger, J.; "Investigation of several PVD coatings for blind hole tapping in austenitic stainless steel", *Surface and Coatings Technology*, Cilt 200, (2006).
44. Hossein, El-Abou, K. A., Yahya, Z.; "High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts", *Journal of Materials Processing Technology* (2005).
45. Korkut, İ, Kasap, M., Çiftçi, İ., Şeker, İ.; "Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel", *Materials and Design*, 25 (2003).
46. Endo, H., Murahashi, T., Marui, E.; "Accuracy estimation of drilled holes with small diameter and influence of drill parameter on the machining accuracy when drilling in mild steel sheet", *Internatioanl Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47: 175-181 (2007).
47. Kıvak, T., "Inconel 718'in delinebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 21-34 (2007).
48. Çakır, A., "Al 7075 ve Al 6013 alüminyum malzemelerin delme operasyonları esnasındaki kesme parametrelerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 67-85 (2009).

49. Meral, G., "AISI 1050 malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 15-55 (2009).
50. Kaplan, Y., "Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 38-51 (2010).
51. Ertunc, H. M., Loparo, K. A.; "A Decision fusion algorithm for tool wear condition monitoring in drilling", *Internatioanl Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41: 1347-1362 (2001).
52. Hashmi, K., Graham, I. D., Mill, B., "Fuzzy logic based data selection for the drilling process", *Journal of Materials Processing Technology*, 55-62 (2000).
53. Heinemanna, R., Hinduja, S., Barrowa, G., Petuelli, G.; "Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling", *Internatioanl Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44: 1-6 (2006).
54. Mohan, N. S., Ramachandra, A., Kulkarni, S., M.; "Influence of process parameters on cutting force and torque during drilling of glass-fiber polyester reinforced composites", *Composite Structures*, 71: 407-413 (2005).
55. Soylu, A., "Bir delme dinamometresi tasarım ve imalatı ile HSS-1040 malzeme çiftinde ilerleme kuvveti ve döndürme momentinden analiz", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 46-54 (2007).
56. Zaquini, L., "Expert system for the definition of the cutting parameters and machining strategies", *Caravelcut*, Switzerland, 12-15 (2006).
57. Yağmur, S., "Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara iv-v (2011).
58. İnternet: "Saelig" PICO USB TC-08 8-channel thermocouple data logger <http://www.saelig.com/miva/graphics/00000001/pp222725.jpg>, (2012).
59. İnternet: "Kistler" KISTLER 5070 [http://www.kistler.com/mediaaccess/Img\\_L\\_5070A.jpg](http://www.kistler.com/mediaaccess/Img_L_5070A.jpg), (2012).
60. İnternet: "Surface Finish Equipment" Mahr Perthometer M1 <http://surfacefinishequipment.com/images/mahr%20M18.jpg>, (2012).
61. Ertunc, H.M., Loparo, K.A., "A decision fusion algorithm for tool wear condition monitoring in drilling", *Internatioanl Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41: 1347-1362 (2001).

62. Boy, M., “Kesme parametrelerine bağlı olarak talaş arka yüzey sıcaklığının deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 67-76 (2004).
63. Yalçın, Ü., Talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık ve termal yorulma faktörlerinin takım aşınması davranışlarına etkisi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 45-61 (2008).
64. Özçatalbaş Y., “Talaş Kaldırmanın Esasları Ders Notları”, **Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Ankara, 22-34 (2006).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞEKERCİ, Kemal Nazım  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 27.02.1989 Osmangazi  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (544) 332 11 89  
E-mail : k.nzm.sekerci@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Bölümü	2010
Lise	Bursa Tophane Endüstri Meslek.Lisesi	2006

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2012	Gazi Üniversitesi	Asistan Öğrenci

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Basketbol, Yüzme, Müzik, Sinema, Bilgisayar Teknolojileri