

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EKSTRÜZYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075  
ALÜMİNYUM ALAŞIMININ ISIL İŞLEM ÖNCESİNDE VE  
SONRASINDA FARKLI KAPLAMALI MATKAP TAKIMLARI  
İLE DELME PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**ORSAL ÖZGÜR ÖZSAR**

**KOCAELİ 2020**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EKSTRÜZYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075**  
**ALÜMİNYUM ALAŞIMININ ISIL İŞLEM ÖNCESİNDE VE**  
**SONRASINDA FARKLI KAPLAMALI MATKAP TAKIMLARI**  
**İLE DELME PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**ORSAL ÖZGÜR ÖZSAR**

**Prof.Dr. Sedat KARABAY**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**  
**Doç.Dr. Aziz Armağan ARICI**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**  
**Prof.Dr. Şenol YILMAZ**  
**Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 06.02.2020**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, savunma sanayi amaçlı üretilen AA7075 ekstrüzyon profillerinin, talaşlı imalatta en çok tercih edilen üretim yöntemlerinden bir tanesi olan delik delme işlemi ile talaş ve delik performansı incelenmiştir.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında ve tüm aşamalarında büyük emeği geçen değerli danışmanım Prof. Dr. Sedat KARABAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Teknopark İleri Malzemeler Laboratuvarı bünyesinde yaptığım deneysel çalışmalarım için yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Şenol ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen, her konuda destek olan Arş. Gör. Eser YARAR'a ve Arş. Gör. Fahri VATANSEVER'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen ASAŞ ailesine, arkadaşlarım Hakan ŞEKER'e ve Günseli Hilal NEHİR'e teşekkür ederim. Her türlü bilgiyi paylaşmaktan çekinmeyen Osman Halil ÇELİK'e ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamı boyunca bana desteğini esirgemeyen sevgili annem Hatice ÖZSAR'a, ayrıca kardeşlerim Ezgi Özgün ÖZSAR'a ve Barış Egemen ÖZSAR'a ve kız arkadaşım Eda YAŞA'ya teşekkür ederim.

Şubat - 2020

Orsal Özgür ÖZSAR

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
GİRİŞ .....	1
1. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	3
1.1. Alüminyumun Diğer Metalleri Göre Avantajları .....	3
1.2. Alüminyumun Kullanım Alanları .....	4
1.3. Alüminyum Alaşımları.....	4
1.3.1. 1000 serisi alüminyum alaşımları .....	5
1.3.2. 2000 serisi alüminyum alaşımları .....	5
1.3.3. 3000 serisi alüminyum alaşımları .....	5
1.3.4. 4000 serisi alüminyum alaşımları .....	5
1.3.5. 5000 serisi alüminyum alaşımları .....	5
1.3.6. 6000 serisi alüminyum alaşımları .....	5
1.3.7. 7000 serisi alüminyum alaşımları .....	5
1.4. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem ve Çökelme Sertleşmesi .....	6
1.4.1. Çözeltiye alma.....	7
1.4.2. Su verme.....	7
1.4.3. Yaşlandırma .....	8
2. EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİ .....	9
2.1. Ekstrüzyon Yöntemleri.....	9
2.1.1. Direkt ekstrüzyon yöntemi .....	10
2.1.2. İndirekt ekstrüzyon yöntemi .....	11
3. TALAŞLI İMALAT.....	12
3.1. Genel Bilgiler .....	12
3.2. Talaşlı İmalat Avantajları ve Dezavantajları.....	13
3.2.1. Talaşlı imalat yöntemlerinin avantajları.....	13
3.2.2. Talaşlı imalat yönteminin dezavantajları .....	13
3.3. Talaşlı İmalat Yöntemleri.....	14
3.4. Kesici Takım .....	14
3.5. Takım Tezgahları .....	15
4. TALAŞLI İMALATTA KESME KUVVETLERİ VE TALAŞ YAPISI .....	16
4.1. Ortogonal Kesme.....	16
4.2. Talaş Oluşumu.....	17
4.2.1. Talaş türleri .....	18
4.3. Metal Kesme İşleminde Kuvvetler ve Kuvvet Oluşumu.....	19
4.4. Merchant Eşitliği .....	22
5. DELİK DELME İŞLEMİ.....	24

5.1. Genel Bilgiler .....	24
5.2. Delik Delme İşlem Çeşitleri .....	24
5.3. Delik Delme İşleminde Kesme Şartları .....	25
5.4. Delik Delme Mekanığı .....	27
5.4.1. Radyal kesme ağzı.....	28
5.4.2. Kesme ağzı .....	28
5.5. Matkap Tezgahları.....	34
5.6. Delik Delme İşleminin Değişkenleri .....	35
5.6.1. İşleme takımı geometrisi ve malzemesi .....	35
5.6.2. Kesme hızı.....	38
5.6.3. İlerleme hızı .....	38
5.6.4. Kesme sıvısı .....	39
5.6.5. Tezgah ve özellikleri .....	39
5.6.6. İş parçası ve özellikleri.....	39
5.7. İşleme Takımı Ömrü .....	39
6. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	41
7. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	43
7.1. Deney Ekipmanlarının Tanıtımı.....	46
7.2. Deneilerin Yapılması.....	50
7.3. Deney Sonuçları .....	53
7.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	53
7.4.1. AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri.....	53
7.4.2. AA7075F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri.....	54
7.4.3. AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri.....	54
7.4.4. AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri.....	55
7.4.5. AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri.....	55
7.4.6. AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri.....	56
7.4.7. AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri.....	56
7.4.8. AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri.....	57
7.4.9. AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri.....	57
7.4.10. AA7075-T73'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri.....	58
7.4.11. AA7075-T73'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri.....	58
7.4.12. AA7075-T73'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri.....	59
7.4.13. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri.....	59
7.4.14. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri.....	60

7.4.15. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri .....	60
7.4.16. AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri.....	61
7.4.17. AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri .....	61
7.4.18. AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri .....	62
7.4.19. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri.....	62
7.4.20. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri .....	63
7.4.21. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri .....	63
7.4.22. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri.....	64
7.4.23. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri .....	64
7.4.24. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri .....	65
7.4.25. AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri.....	65
7.4.26. AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri .....	66
7.4.27. AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri .....	66
7.4.28. AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri .....	67
7.4.29. AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri.....	67
7.4.30. AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri .....	68
7.4.31. AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri .....	68
7.4.32. AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri.....	69
7.4.33. AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri .....	69
7.4.34. AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri .....	70
7.4.35. AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri.....	70
7.4.36. AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri .....	71
7.4.37. Delme sırasında oluşan talaş yapısının analizi .....	71
7.4.38. Delme işlemi esnasında alınan termal kamera görüntülerinin analizleri.....	75
7.4.39. Delme işlemi esnasında alınan dinamometre ölçümlerinin analizleri.....	84

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	96
8.1 Sonuçlar.....	96
8.2 Öneriler.....	98
KAYNAKLAR .....	99
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	103
ÖZGEÇMİŞ .....	104



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Malzemenin mikro yapı gelişimi şematik gösterim diyagramı. (a) Çözeltiyeye alma işlemi başlangıcı (b) Çözeltiyeye alma orta derecesi (c) Bitişe yakın çözeltiyeye alma.....	7
Şekil 2.1.	Ekstrüzyon yöntemleri (a) direkt ekstrüzyon (b) indirekt ekstrüzyon .....	9
Şekil 2.2.	Ekstrüzyon prensibi.....	10
Şekil 3.1.	Malzeme kaldırma işlemlerinin sınıflandırılması .....	12
Şekil 3.2.	(a) kesme işleminin kesiti (b) negatif talaş açısındaki takım .....	13
Şekil 3.3.	Talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılan imalat işlemleri (a) tornalama işlemi (b) delik delme (c) çevresel frezeleme (d) alın frezeleme .....	14
Şekil 4.1.	Ortogonal kesme (a) Üç boyutlu işleme (b) iki boyuta indirgenmiş görünüm .....	16
Şekil 4.2.	Birincil ve ikincil kesme bölgeleri .....	18
Şekil 4.3.	Metal kesmede oluşan talaş tipleri (a) süreksiz (b) sürekli (c) yapışan köşe (d) tırtıklı.....	18
Şekil 4.4.	Metal kesme işleminde kuvvetler (a) ortogonal kesme işleminde talaşa etkiyen kuvvetler (b) kesici takıma etki eden ölçülebilen kuvvetler.....	20
Şekil 4.5.	Takıma etki eden kuvvetler arasındaki geometrik ilişkileri gösteren kuvvet diyagramı .....	22
Şekil 5.1.	Endüstride kullanılan bazı delik çeşitleri .....	25
Şekil 5.2.	Helisel matkap geometrisi.....	27
Şekil 5.3.	Helisel matkap ucunun mekanik modeli .....	29
Şekil 5.4.	Helisel matkapta oyuk kesme ağız kesişim düzleminin üstten görünüşü.....	30
Şekil 5.5.	Kesme kuvvetinin doğrultuları.....	34
Şekil 5.6.	Dik sütunlu matkap .....	35
Şekil 5.7.	Matkapların genel bölümleri .....	36
Şekil 7.1.	Ø60 mm çubuk profilin ekstrüzyon yöntemi ile üretilmesi .....	43
Şekil 7.2.	Deney numunelerinin kesilmesi.....	43
Şekil 7.3.	Termik işlemi .....	44
Şekil 7.4.	Numunelerin sertliklerine bakılması işlemi .....	45
Şekil 7.5.	Hazırlanan numunelerin matkap ile delik delme işlemi.....	46
Şekil 7.6.	Deneylerde kullanılan matkap uçları .....	48
Şekil 7.7.	Kistler 9272 piezoelektrik dinamometre.....	48
Şekil 7.8.	Kistler 5070 A amplifikatör .....	49
Şekil 7.9.	CMM ölçüm makinesi .....	49
Şekil 7.10.	Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı .....	50
Şekil 7.11.	Matkap tezgahına delme dinamometresi bağlanması .....	50
Şekil 7.12.	Delme dinamometresinin üzerine işleme aparatının bağlanması.....	51
Şekil 7.13.	Deney ekipmanlarının genel görünümü .....	51
Şekil 7.14.	Deney düzeneğinin şematik gösterimi .....	52



Şekil 7.15.	Konvansiyonel delme için sebep sonuç diyagramı .....	52
Şekil 7.16.	Delinen numuneye ait bir görüntü.....	53
Şekil 7.17.	AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği .....	53
Şekil 7.18.	AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	54
Şekil 7.19.	AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği .....	54
Şekil 7.20.	AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği .....	55
Şekil 7.21.	AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	55
Şekil 7.22.	AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği .....	56
Şekil 7.23.	AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği .....	56
Şekil 7.24.	AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	57
Şekil 7.25.	AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği .....	57
Şekil 7.26.	AA7075-T73'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği .....	58
Şekil 7.27.	AA075-T73'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	58
Şekil 7.28.	AA7075-T73'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	59
Şekil 7.29.	AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği .....	59
Şekil 7.30.	AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği .....	60
Şekil 7.31.	AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği.....	60
Şekil 7.32.	AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği.....	61
Şekil 7.33.	AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği .....	61
Şekil 7.34.	AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği.....	62
Şekil 7.35.	AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizi.....	62
Şekil 7.36.	AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği .....	63
Şekil 7.37.	AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği.....	63
Şekil 7.38.	AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği.....	64
Şekil 7.39.	AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği .....	64

Şekil 7.40.	AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği.....	65
Şekil 7.41.	AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği.....	65
Şekil 7.42.	AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	66
Şekil 7.43.	AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği.....	66
Şekil 7.44.	AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği.....	67
Şekil 7.45.	AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	67
Şekil 7.46.	AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği.....	68
Şekil 7.47.	AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği.....	68
Şekil 7.48.	AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	69
Şekil 7.49.	AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği.....	69
Şekil 7.50.	AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği.....	70
Şekil 7.51.	AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği.....	70
Şekil 7.52.	AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği.....	71
Şekil 7.53.	Talaş şekillerinin sınıflandırılması.....	72
Şekil 7.54.	AA7075-F'nin soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde oluşan talaş yapıları.....	72
Şekil 7.55.	AA7075-F'nin soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları.....	73
Şekil 7.56.	AA705-T4'ün soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde oluşan talaş yapıları.....	73
Şekil 7.57.	AA7075-T4'ün soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları.....	73
Şekil 7.58.	AA7075-T6'nın soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde oluşan talaş yapıları.....	74
Şekil 7.59.	AA7075-T6'nın soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları.....	74
Şekil 7.60.	AA7075-T73'ün soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde oluşan talaş yapıları.....	75
Şekil 7.61.	AA7075-T73'ün soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları.....	75
Şekil 7.62.	AA7075-F'nin soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde termal kamera görüntüleri.....	76
Şekil 7.63.	AA7075-F'in soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde termal kamera görüntüleri.....	77
Şekil 7.64.	AA7075-T4'ün soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde termal kamera görüntüleri.....	78

Şekil 7.65.	AA7075-T4'ün soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde termal kamera görüntüleri .....	79
Şekil 7.66.	AA7075-T6'nın soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde termal kamera görüntüleri .....	80
Şekil 7.67.	AA7075-T6'nın soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde termal kamera görüntüleri .....	81
Şekil 7.68.	AA7075-T73'ün soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde termal kamera görüntüleri .....	82
Şekil 7.69.	AA7075-T73'ün soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde termal kamera görüntüleri .....	83
Şekil 7.70.	AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvvet-zaman grafiği .....	84
Şekil 7.71.	AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	84
Şekil 7.72.	AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	85
Şekil 7.73.	AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	85
Şekil 7.74.	AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	86
Şekil 7.75.	AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	86
Şekil 7.76.	AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	87
Şekil 7.77.	AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	87
Şekil 7.78.	AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	88
Şekil 7.79.	AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	88
Şekil 7.80.	AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği .....	89
Şekil 7.81.	AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği .....	89
Şekil 7.82.	AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	90
Şekil 7.83.	AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	90
Şekil 7.84.	AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	91
Şekil 7.85.	AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	91
Şekil 7.86.	AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği .....	92
Şekil 7.87.	AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği .....	92

Şekil 7.88.	AA7075-T73'ün HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	93
Şekil 7.89.	AA7075-T73'ün HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	93
Şekil 7.90.	AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	94
Şekil 7.91.	AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği.....	94
Şekil 7.92.	AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği .....	95
Şekil 7.93.	AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği .....	95



## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi .....	4
Tablo 1.2.	7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi .....	6
Tablo 1.3.	7075 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri.....	6
Tablo 1.4.	7075 Alüminyum alaşımının ekstrüde edilebilirlik kabiliyeti .....	6
Tablo 1.5.	Alüminyum alaşımında ısı işlem sembolleri .....	7
Tablo 5.1.	Kesici takım malzemelerinin uygun kesme hızları ve yaklaşık ilk kullanım tarihleri.....	37
Tablo 7.1.	AA7075 malzemesinin termik bilgileri.....	44
Tablo 7.2.	AA7075 malzemesinin sertlik değerleri.....	45
Tablo 7.3.	62 MN ekstrüzyon presinin teknik özellikleri.....	46
Tablo 7.4.	Matkap tezgahının teknik özellikleri.....	47
Tablo 7.5.	Deneylerde kullanılan kesici takımların özellikleri .....	47

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Yaklaşma mesafesi, (mm)
$A_{ch}$	: Radyal kesme ağzı anlık girinti bölgesi alanı, (mm <sup>2</sup> )
$A_s$	: Kesme yüzeyi alanı, (mm <sup>2</sup> )
b	: Kesilen talaş kalınlığı, (mm)
c	: İlerleme oranı, (mm/dev)
d	: Delik derinliği, (mm)
D	: Matkap çapı, (mm)
f	: İlerleme oranı, (mm/dev)
F	: Sürtünme kuvveti, (N)
$F_c$	: Kesme yönünde oluşan kesme kuvveti, (N)
$F_N$	: Kesme kuvvetine dik normal kuvvet, (N)
$f_r$	: İlerleme hızı, (mm/dk)
$F_S$	: Kesme kuvveti, (N)
$F_t$	: Kesme kuvvetine dik itme kuvveti, (N)
h	: Kesilmemiş talaş kalınlığı
$H_B$	: Malzemenin Brinell cinsinden sertlik değeri
i	: Eğim açısı
$K_{fc}$	: Eksenel kesme kuvvet sabiti, (N/mm <sup>2</sup> )
$K_{rc}$	: Radyal kesme kuvveti sabiti, (N/mm <sup>2</sup> )
$K_{tc}$	: Teğetsel kesme kuvveti sabiti, (N/mm <sup>2</sup> )
$L_p$	: Helisin sabit hatvesi
$l_s$	: Kesme düzlemi uzunluğu, (mm)
N	: Sürtünmeye dik kuvvet, (N)
$N_{im}$	: Milinin dönme hızı, (dev/dk)
$\emptyset$	: Kesme düzlemi açısı
R	: Sürtünme ile sürtünmeye dik kuvvetin bileşkesi olan kuvvet, (N)
R	: Takım yarıçapı, (mm)
$R'$	: Kesme ve kesme kuvvetine dik kuvvetin bileşkesi olan kuvvet, (N)
r	: Talaşın kalınlıklarının oranı (Talaş oranı)
$R_{MR}$	: Malzeme kaldırma debisi, (kg/s)
S	: Kesme mukavemeti, (N/mm <sup>2</sup> )
t	: İşlenecek malzemenin kalınlığı, (mm)
$t_0$	: Talaş oluşumu öncesindeki talaş kalınlığı, (mm)
$t_c$	: Talaş oluşumu sonrasındaki talaş kalınlığı, (mm)
$T_m$	: Delik delme süresi, (dk)
V	: Kesme hızı, (mm/dk)
w	: Ortogonal kesme genişlik boyutu
z	: Kot farkı
$\alpha$	: Talaş açısı
$\alpha_f$	: Efektif talaş açısı
$\beta$	: Sürtünme açısı
$\beta_0$	: Helis açısı
$\mu$	: Sürtünme katsayısı

$\phi$	: Talaş ile talaş çalışma yüzeyi arasındaki açı
$\theta$	: Matkap ucunun açısı
$\kappa t$	: Sivrilme açısı
$\tau$	: Kesme gerilmesi, (N/mm <sup>2</sup> )
$\psi c$	: Radyal kesme ağzının kenar açısı

### Kısaltmalar

AA	: Aluminium Alloy (Alüminyum Alaşımı)
Al	: Aluminium (Alüminyum)
AMS	: Aerospace Material Specification (Havacılık Malzeme Şartnamesi)
BUE	: Build-Up Edge (Kesme Ağzı Kenar Yığılımı)
CMM	: Coordinate Measuring Machine (Koordinat Ölçme Makinesi)
Co	: Cobalt (Kobalt)
Cr	: Chrome (Krom)
Cu	: Copper (Bakır)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
Fe	: Demir
G	: Ground (Taşlanmış)
HSS	: High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
kW	: Kilowatt
Mg	: Magnesium (Magnezyum)
Mn	: Manganese (Mangan)
MN	: Meganewton
MPa	: Megapascal
Si	: Silisium (Silisyum)
Ti	: Titanium (Titanyum)
TiN	: Titanyum Nitrür (Kaplama)
TS	: Türk Standardı
Zn	: Zinc (Çinko)
ZrN	: Zirkonyum Nitrür (Kaplama)

# EKSTRÜZYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEM ÖNCESİNDE VE SONRASINDA FARKLI KAPLAMALI MATKAP TAKIMLARI İLE DELME PERFORMANSININ İNCELENMESİ

## ÖZET

Bu çalışmada, ekstrüzyon yöntemi ile imal edilmiş AA7075 malzemesinin ısıtma işlemi öncesinde ve sonrasında delinmesinde, TiN kaplamalı HSS, kaplamasız karbür ve ZrN kaplamalı karbür matkapların sabit kesme hızı ve ilerleme oranı altında soğutma sıvısı kullanılarak ve kullanılmadan kesme kuvveti, sıcaklık ve yüzey pürüzlülüğü gibi parametrelere etkisi incelenmiştir. İş parçası, dinamometreye bağlanarak, dinamometrenin ölçtüğü veriler anlık olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Delik delme esnasında kullanılan termal kameradan da anlık görüntüler alınmıştır.

Deney sonuçları, soğutma sıvısı kullanımının kesme kuvveti, pürüzlülük ve sıcaklık gibi parametreleri büyük oranda iyileştirdiğini göstermiştir. En yüksek kesme kuvveti TiN kaplamalı HSS matkapta elde edilirken, en iyi pürüzlülük de çoğunlukla yine TiN kaplamalı HSS matkap ile elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AA7075, Delik Delme, Ekstrüzyon, Kesme Kuvveti, Yüzey Pürüzlülüğü.



## **INVESTIGATION OF DRILLING PERFORMANCE OF EXTRUDED AA7075 WITH DIFFERENT COATED DRILL BITS**

### **ABSTRACT**

In this study, the effect of HSS-TiN,uncoated carbide and ZrN coated carbide drill bits to the cutting force, temperature and surface roughness parameters with and without coolant under constant cutting speed and feed ratio were investigated for drilling AA7075 material manufactured by extrusion process before and after heat treatment. By connecting the workpiece to the dynamometer, the data measured by the dynamometer was transferred to the computer instantly. Thermal analysis images has been taken by the thermal camera during drilling.

The experimental results have shown that the use of coolant substantially improves parameters such as cutting force, roughness and temperature. The highest cutting force is obtained in HSS-TiN drill bits, and the best roughness is also mostly achieved with HSS-TiN drill bits.

**Keywords:** AA7075, Drilling, Extrusion, Cutting Force, Surface Roughness.

## GİRİŞ

Alüminyum, yüksek mukavemet ve hafiflik nedeniyle akademik ve endüstriyel alandaki en önemli malzemelerden birisidir [1]. Çelikten sonra en çok kullanılan malzemelerinden birincisidir [1,2]. Özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe ağırlık dolayısıyla artan enerji ihtiyacının yakıt tüketimini etkilemesinden dolayı alüminyum alaşımlarına ihtiyaç artmaktadır [3,4]. Alüminyum alaşımları uzay endüstrisi için de çok önemlidir [5]. Ayrıca inşaat sektöründe de hafiflik ve uzun ömürlü olması dolayısıyla tercih edilmektedir [5].

Bu çalışmada otomotiv, savunma ve havacılık gibi hafiflik ve yanı sıra mukavemet gerektiren sektörlerde kullanılan AA7075 malzemesinin farklı temperlerinin matkapla delme parametreleri incelenmiştir. Ekstrüzyon yöntemi ile imal edilen AA7075 malzemesinin farklı sertlik değerleri ekstrüzyon çıkışında elde edile F kondisyonu, yaşlandırma işlemi ile T4, T6 ve T73 kondisyonları ile elde edilmiştir [6].

Talaşlı imalat malzemelerin işlenmesindeki en önemli yöntemlerdendir [7]. Delik delme talaşlı imalattaki en çok kullanılan imalat yöntemidir [8]. Parçaların yüzey kalitesi, delme sırasındaki çapak oluşumu ve işleme takımlarının ömrü delme işleminin en önemli parametreleridir [2].

Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde istenmeyen çapak oluşumu ve yüzey kalitesinde bozukluklar görülebilir. Bu nedenle kesme kuvvetleri artacağından, takım ömründe azalmalar görülebilir. Alüminyum malzemesinin yumuşak olması dolayısıyla işlenen parçanın matkap yüzeyine yapışmasına neden olabilir. Bu durum da verimliliği düşürecek ve ayrıca takım ömrünün kısalmasına neden olacaktır.

İstenmeyen bu gibi durumlar nedeniyle farklı sertlikteki malzemelerin, aynı şartlar altında ve farklı matkap takımlarıyla işlenmesiyle doğru matkap seçiminin yapılabilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada soğutma sıvısının olması ve olmaması

arasındaki fark da incelenmiştir. Literatürde farklı ısıtılmalı AA7075 malzemesinin farklı matkaplar ile delinmesine yönelik çalışma bulunmamıştır.

Ayrıca bu çalışmada delik delme işlemi esnasındaki matkap sıcaklığı termal kamera ile çalışılmıştır. Hızlı kamera ile işleme sırasında çapak oluşumu gözlemlenmiştir.

Deney sonucunda elde edilen grafikler ve görüntüler yorumlanarak uygun olan matkap seçimi ve işleme sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre belirlenen matkap tipinin aşınmasına bakılmıştır.



## 1. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Alüminyum, doğada bileşikler halinde bulunur. Yaklaşık olarak %8'lik oran ile alüminyum, oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan elementlerden bir tanesidir. Bu kadar yüksek bir orana rağmen, 1808 yılında İngiliz Sir Humphry Davy tarafından keşfedilmiştir. Ancak, ticari olarak üretimi 1886 yılında birbirinden habersiz ve ayrı ayrı çalışan Paul Louis Toussaint Heroult ve Charles Martin Hall tarafından geliştirilmiştir. Hall-Heroult olarak tabir edilen üretim yöntemi günümüzde halen kullanılmaktadır. Bu yöntemde alüminyum, alüminyum oksidin ergimiş elektrolitin içinde çözdürüldükten sonra güçlü bir elektrik akımının üzerinden geçirilmesiyle, alüminyumun elektrolitin altında sıvı halde birikmesi sayesinde elde edilebilmektedir. [9,10]

### 1.1. Alüminyumun Diğer Metalleri Göre Avantajları

Alüminyumun diğer metallere göre sahip olduğu birçok avantaj mevcuttur. Bunlar;

- Hafif olması
- Alaşımlandırıldığında sağlanan yüksek mukavemet sağlaması
- Yeniden kullanılabilirliği
- Yüksek korozyon direnci
- Plastik şekillendirilebilme kabiliyeti
- Dövülebilirliği
- İşlenebilirliği
- Yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği
- Işık ve ısı yansıtıcılığı

Alüminyum, demir esaslı metallere göre yaklaşık olarak 3 kat daha hafiftir. Ayrıca, korozyon direncinin yüksek olması, kolay şekil verilebilmesi ve %100'e yakın geri dönüştürülebilme oranı ile kullanımı artmaktadır [9,11].

## 1.2. Alüminyumun Kullanım Alanları

Alüminyumun kullanım alanları, çevreye verilen zararın ve enerji tüketiminin minimuma indirilmek istenmesi sebebiyle kullanım miktarı hızla artmaktadır. Neredeyse %100 oranında geri dönüşümü yapılabildiğinden, ulaşım sektöründe tercih edilme oranı yükselmektedir.

Yüksek elektrik iletkenliğinin olması sebebiyle, elektrik iletim hatlarında kullanılan malzemelerde kullanılmaya başlanmıştır. Isı ve ışık yansıtıcılığının iyi olması sebebiyle, aydınlatma aksamalarında da kullanılmaktadır.

Mikro parçalar haline getirildiğinde büyük ısı açığa çıkarak yanması sebebiyle, roketlerde yakıt olarak kullanılabilir.

Alaşımlandırılması durumunda demire yakın bir mukavemet sağlayan alüminyum, yanı sıra hafif de olması sebebiyle otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır.

Hafif olması, yüksek korozyon direnci ve geri dönüştürülebilirliği gibi özelliklerinin olması sebebiyle de inşaat sektöründe de kullanılmaktadır [9].

## 1.3. Alüminyum Alaşımları

Farklı kullanım alanları amacıyla farklı mukavemet değerlerini sağlamak için, diğer elementler ile alaşımlandırılmaktadır. Tablo 1.1’de alüminyum alaşımları ve içerikleri verilmiştir [10].

Tablo 1.1. 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi [10]

Seri	İçerik
1XXX	%99 ve üzeri Al
2XXX	Cu
3XXX	Mn
4XXX	Si
5XXX	Mg
6XXX	Mg ve Si
7XXX	Zn
8XXX	Diğer Elementler
9XXX	Kullanılmayan Dizin

### **1.3.1. 1000 serisi alüminyum alaşımları**

Alüminyum oranını %99, diğer alüminyum oranı %1 olması nedeniyle alaşımsız alüminyum da denilmektedir [10].

### **1.3.2. 2000 serisi alüminyum alaşımları**

Ağırlıkça en fazla bakır (Cu) elementi içermektedir. Sertleştirmeye uygun olduğundan, yüksek mukavemet değerleri sağlamaktadır [10].

### **1.3.3. 3000 serisi alüminyum alaşımları**

Ağırlıkça en fazla manganez (Mn) elementi içermektedir ve soğuk işlem için uygundur.

### **1.3.4. 4000 serisi alüminyum alaşımları**

Ağırlıkça en fazla silisyum (Si) elementi içermektedir.

### **1.3.5. 5000 serisi alüminyum alaşımları**

Ağırlıkça en fazla magnezyum (Mg) elementi içermektedir. Soğuk işlem yoluyla sertleştirilerek yüksek mukavemet değerleri sağlamaktadır.

### **1.3.6. 6000 serisi alüminyum alaşımları**

Ağırlıkça en fazla magnezyum (Mg) ve silisyum (Si) elementi içermektedir. Çökelme sertleşmesi yapılabildiğinden yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir.

### **1.3.7. 7000 serisi alüminyum alaşımları**

Ağırlıkça en fazla çinko (Zn) elementi içermektedir. Çökelme sertleşmesi yapılabildiğinden, alüminyum alaşımları arasında en yüksek sertlik ve mukavemet değerlerini sağlayabilir. Bu serinin en yüksek mukavemet ve sertlik değerlerinden birisine sahip olan alaşım 7075 kalite alüminyum alaşımıdır. Yorulma dayanımı yüksektir. ISO normunda AlZn5.5MgCu olarak gösterilmektedir.

7075 alüminyum alaşımının kimyasal bileşim aralığı Tablo 1.2'de verilmiştir [10,11,12]. 7075 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri Tablo 1.3'te verilmiştir.

7075 alüminyum alaşımının bazı alüminyum alaşımlarına göre ekstrüde edilebilirlik kabiliyeti Tablo 1.4'te verilmiştir.

Tablo 1.2. 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi [11]

Element	Kimyasal Bileşim Aralığı
Fe	0,5
Si	0,5
Cu	1,2-2,0
Mn	0,3
Mg	2,1-2,9
Zn	5,1-6,1
Cr	0,18-0,28
Zi+Ti	0,25
Diğer	0,15
Al	Kalan

Tablo 1.3. 7075 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri [12]

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) Min-Max	Çekme Mukavemeti (MPa) Min-Max	Uzama (%50) Min-Max	Sertlik (Brinel) Min-Max
0	165	275	8	60
T6	500	560	5	150
T73	405	475	5	135

Tablo 1.4. 7075 Alüminyum alaşımının ekstrüde edilebilirlik kabiliyeti [12]

Alaşım	Ekstrüzyon Edilebilirlik (Azaldıkça Zorlaşır)
6063	100
6061	60
2014	20
2024	15
7075	9

#### 1.4. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem ve Çökelme Sertleşmesi

Alüminyuma uygulanan ısıl işlem sonucunda, ısıtma ve soğutmanın etkisiyle parçanın fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişime neden olmaktadır. Isıtma ve soğutma işlemleri tavlama, çözeltiye alma, yaşlandırma gibi alaşımların kimyasal bileşenlerine ve ulaşılmak istenen mekanik özelliklere göre değişiklik göstermektedir. Bu ısıl işlemler literatürde, mekanik ve ısıl işlem görmemiş durumda (F), tavllanmış durumda

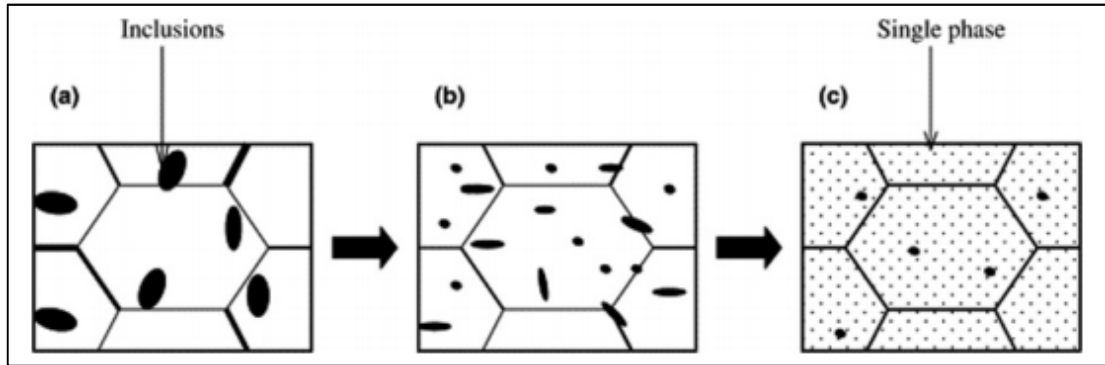
(O), soğuk şekillendirme durumunda (H), çözeltiye alma durumunda (W) ve yaşlandırma işlemi durumunda (T) sembolleri ile gösterilmektedir. Tablo 1.5'te bazı ısıtma işlem sembolleri verilmiştir.

Tablo 1.5. Alüminyum alaşımlarında ısıtma işlem sembolleri [13]

Isıtma İşlem Sembolü	Uygulanan Isıtma İşlem
F	Mekanik veya ısıtma işlem görmemiş halde
T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
T73	Çözeltiye alınmış ve aşırı yaşlanmış

#### 1.4.1. Çözeltiye alma

Isıtma işleminin ilk aşaması, sertliği arttırmak için maksimum alaşım elementlerini katı çözümlerde çözerek parçacıklar halinde çökelmelerini sağlamaktır. Alüminyum alaşımları için, tüm alaşım elementlerini tek fazlı bölgede, katı çözümler içerisinde tutarak çözeltiye alma gerçekleştirilir. Çözeltiye alma işleminin başlamasından önce, çözümlenler Şekil 1.1.a'da gösterildiği gibi, farklı fazlarda veya çözümlerde konsantre edilir. Şekil 1.1.b'de ve Şekil 1.1.c'de gösterildiği gibi ısıtma sırasında, bu fazlar veya parçacıklar, mikro yapı boyunca difüzyonla matris içinde çözülmeye başlar.



Şekil 1.1. Malzemenin mikro yapı gelişimi şematik gösterim diyagramı. (a) Çözeltiye alma işlemi başlangıcı (b) Çözeltiye alma orta derecesi (c) Bitişe yakın çözeltiye alma [14]

#### 1.4.2. Su verme

Su verme işleminin, en kritik termal işlemlerden bir tanesi olarak kabul edilir. İş parçasının belirli bir sıcaklığa ısıtılması ve ardından genellikle oda sıcaklığına hızlı



soğutulmasını içermektedir. Bu işlemin amacı, en az kalıntı gerilmelerini koruyarak, katı çözeltilerde mümkün olan en fazla atomları yakalamaktır [14].

### **1.4.3. Yaşlandırma**

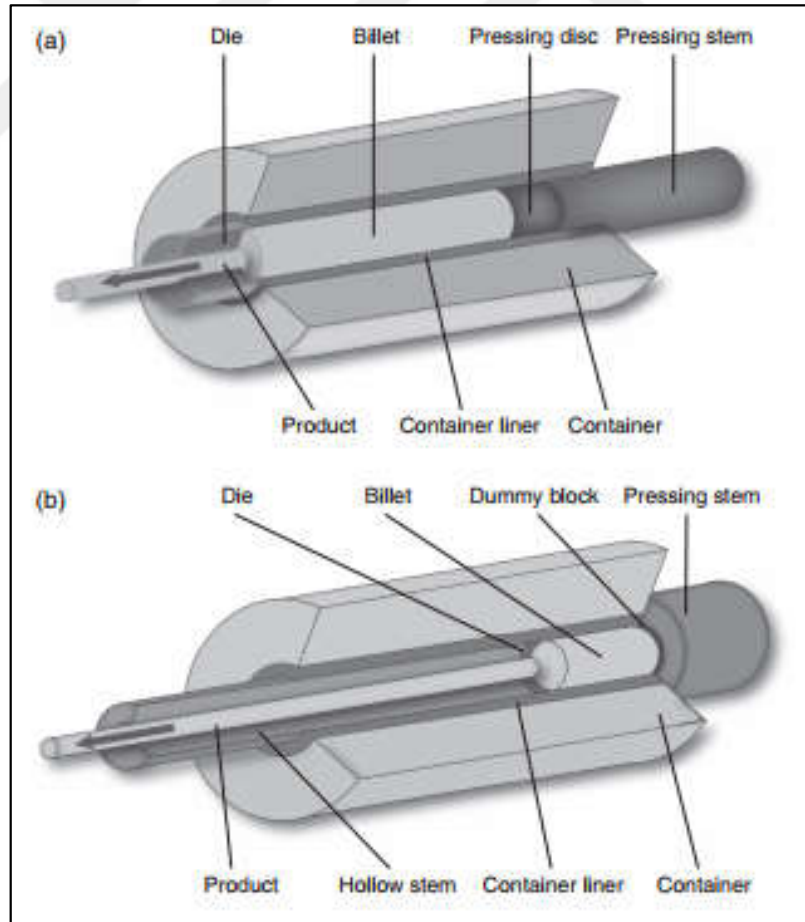
Yaşlandırma işlemi, üç aşamadan oluşan ısıl işlem ile sertleştirme yönteminin sonuncu adımıdır. Yaşlandırma işlemi, oda sıcaklığında doğal yaşlanma ile veya yüksek bir sıcaklıkta önceden belirlenmiş bir sürede yapay yaşlandırma ile sağlanabilir. Yaşlandırma, ısıl işlemin ikinci aşamasında oluşan yarı kararlı aşırı doymuş katı çözeltilerin ayrışmasını içerir. Bu ayrışma, yeni bir fazın çökmesine neden olur. Bu dekompozisyonlar ve dislokasyonlar arasındaki etkileşimler, yaşlanma ile güçlendirmenin anahtar rolünü oynar [14].

## 2. EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİ

Ekstrüzyon, billet adı verilen silindirik metal bir bloğun, pres ile basılarak daha küçük bir kesit alanına sahip kalıptan geçirilmesiyle yeni profilin üretilmesine dayalı plastik deformasyon prosesidir. Ekstrüzyon prosesi ile boru, çubuk ve bara gibi dolu veya boş profillerin üretimi sağlanmaktadır.

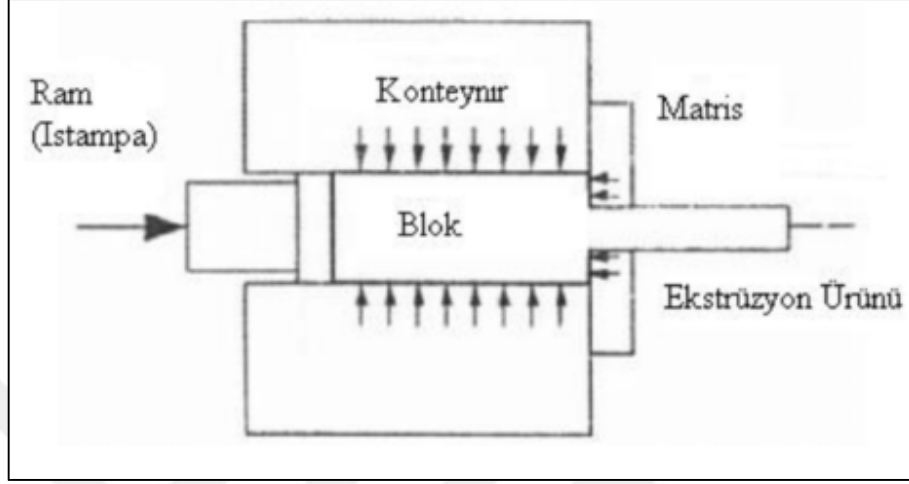
### 2.1. Ekstrüzyon Yöntemleri

Ekstrüzyon yöntemleri; malzemenin ve kuvvetin yönüne göre dört ayrı sınıfta incelenmektedir. Günümüzde en yaygın olanları direkt ve indirekt ekstrüzyon yöntemleridir [15]. Direkt ve indirekt ekstrüzyon yöntemleri Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Ekstrüzyon yöntemleri (a) direkt ekstrüzyon (b) indirekt ekstrüzyon [16]

Ekstrüzyon ile üretimde, alaşıma ve yönteme bağlı olarak sıcak veya soğuk şekilde üretim yapılabilir. Sıcak ekstrüzyonda metal bloğa (billet), plastik deformasyonu kolaylaştırarak malzeme akışını sağlamak için ön ısıtma uygulanır. Ekstrüzyon yönteminin prensibi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Ekstrüzyon prensibi [17]

### 2.1.1. Direkt ekstrüzyon yöntemi

Direkt ekstrüzyonda, konteynere koyulan metal blok, ıstampa tarafında itilerek kalıbın içinden geçirilir. Kalıbın şekline göre, profil olarak adlandırılan ürün elde edilir.

Direkt ekstrüzyon yönteminin avantajları:

- İstenilen boyutlarda (uzunluk, çap veya kalınlık) üretim olanağı sağlar.
- Çeşitli dolu (rod, bar, vs.) ve içi boş (boru gibi zıvanalı profiller) elde edilebilir.
- Matris çapı, konteynırın iç çapı ile sınırlanmamaktadır.

Direkt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

- Üretim için gereken kuvvet, indirekt ekstrüzyon yöntemine göre daha yüksektir. Bu nedenle ekstrüzyon oranı ve hızı yeterince arttırılamamaktadır.
- Metal bloktaki sürtünme, metal bloğun istenen boyda kullanımını engellemektedir.
- Ara iş fazladır.
- Malzeme akışı, indirekt ekstrüzyona göre daha düzensizdir.
- Takım ömrü kısadır.

### 2.1.2. İndirekt ekstrüzyon yöntemi

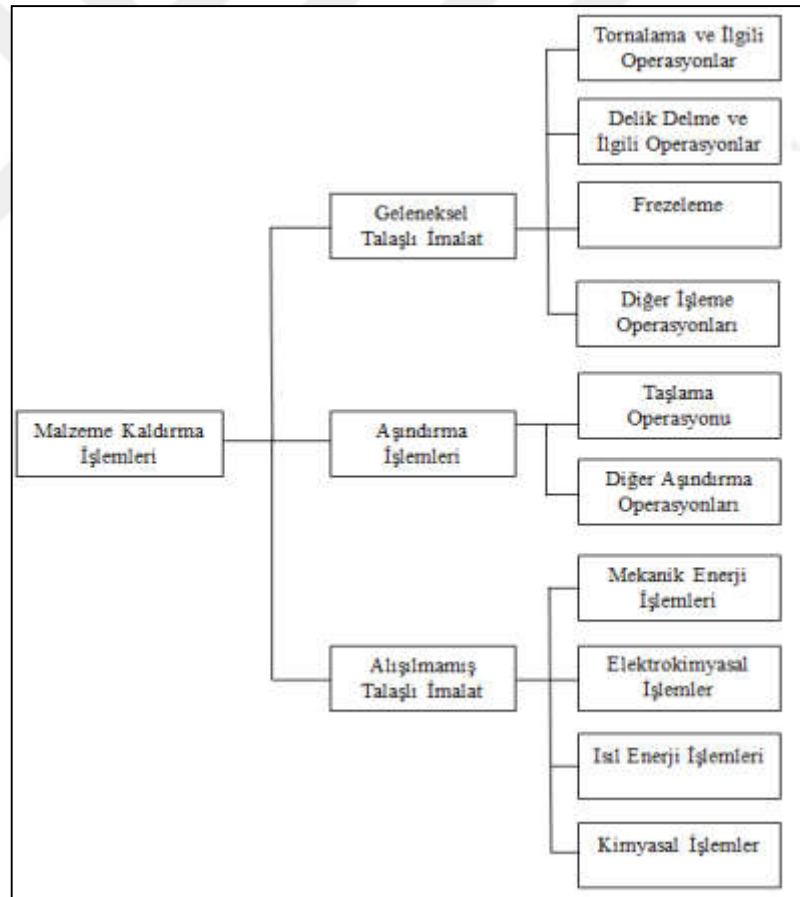
İndirekt ekstrüzyonda, billet (metal blok), dummy blok adı verilen iş parçası ile pressing stem adı verilen parçaya kitlenir, böylece konteynır ve billet birlikte hareket eder. Kalıp, içi boş gövdeden billete doğru itilir. Bu işlemde billet ile konteynır temas halindedir.



### 3. TALAŞLI İMALAT

#### 3.1. Genel Bilgiler

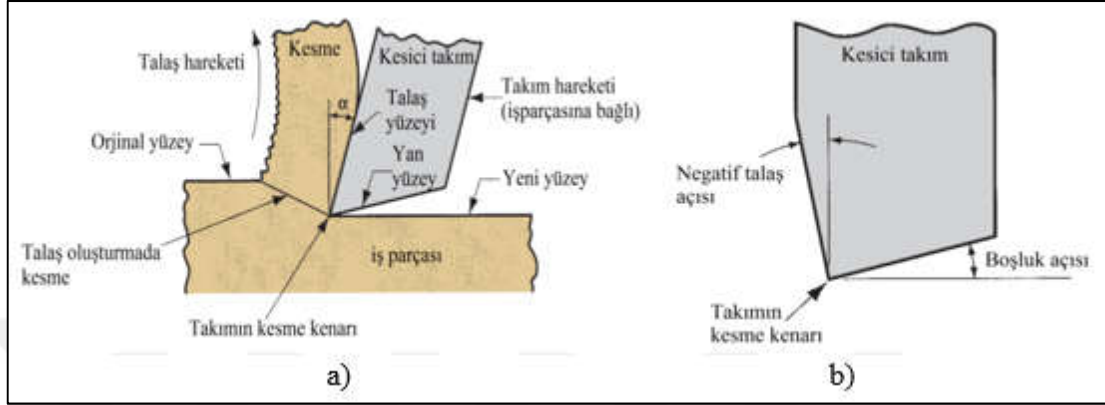
En önemli imalat yöntemlerinden bir tanesi olan talaşlı imalat, çeşitli malzemeden parçaların kullanıma hazır hale getirilmesi için tercih edilmektedir. Bu imalat yönteminde, iş parçasını istenilen şekle getirebilmek için takım tezgahı ve kesici takım kullanılmaktadır. İstenilen geometrik toleranslarda ve yüzey kalitesinde parçanın eldesi talaşlı imalat yöntemi ile sağlanmış olur. Talaşlı imalat yöntemleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir [7,18,19].



Şekil 3.1. Malzeme kaldırma işlemlerinin sınıflandırılması [19,20]

Talaşlı imalat yöntemlerindeki ortak nokta, kesici takım ile iş parçasından talaş kaldırmasıdır. İmalat yöntemi için takım ile iş parçası arasında bağıl hareket gereklidir.

Çoğu talaş kaldırma işleminde kesme hızı ve ilerleme hızı ile bu işlem gerçekleştirilir. Talaş imalatındaki kesme işlemi, iş parçasının kayma deformasyonuna uğramasıyla talaş oluşumu ve talaş kaldırıldıkça yeni yüzeyin ortaya çıkmasıdır. Bu işlem Şekil 3.2’de gösterilmiştir [19].



Şekil 3.2. (a) kesme işleminin kesiti (b) negatif talaş açısındaki takım [19]

## 3.2. Talaşlı İmalat Avantajları ve Dezavantajları

### 3.2.1. Talaşlı imalat yöntemlerinin avantajları

Talaşlı imalat yöntemi ile çeşitli iş parçasının işlenebilmesi mümkündür. Metal parçaların hemen hemen tamamı ve bununla birlikte plastik ve plastik kompoziti malzemeleri de talaşlı imalat yöntemi ile işlenebilmektedir [21,22].

Talaşlı imalat çeşitli geometrik parçalar için kullanılabilir. Kesici takımlarının çeşitli olması, birçok düzenli veya düzensiz geometrinin işlenebilmesine olanak sağlamaktadır [19].

Talaşlı imalat, istenen hassas toleransların işlenebilmesine olanak sağlar. Ayrıca işlenen yüzeylerde 0,4 mikrondan daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilebilmektedir [10].

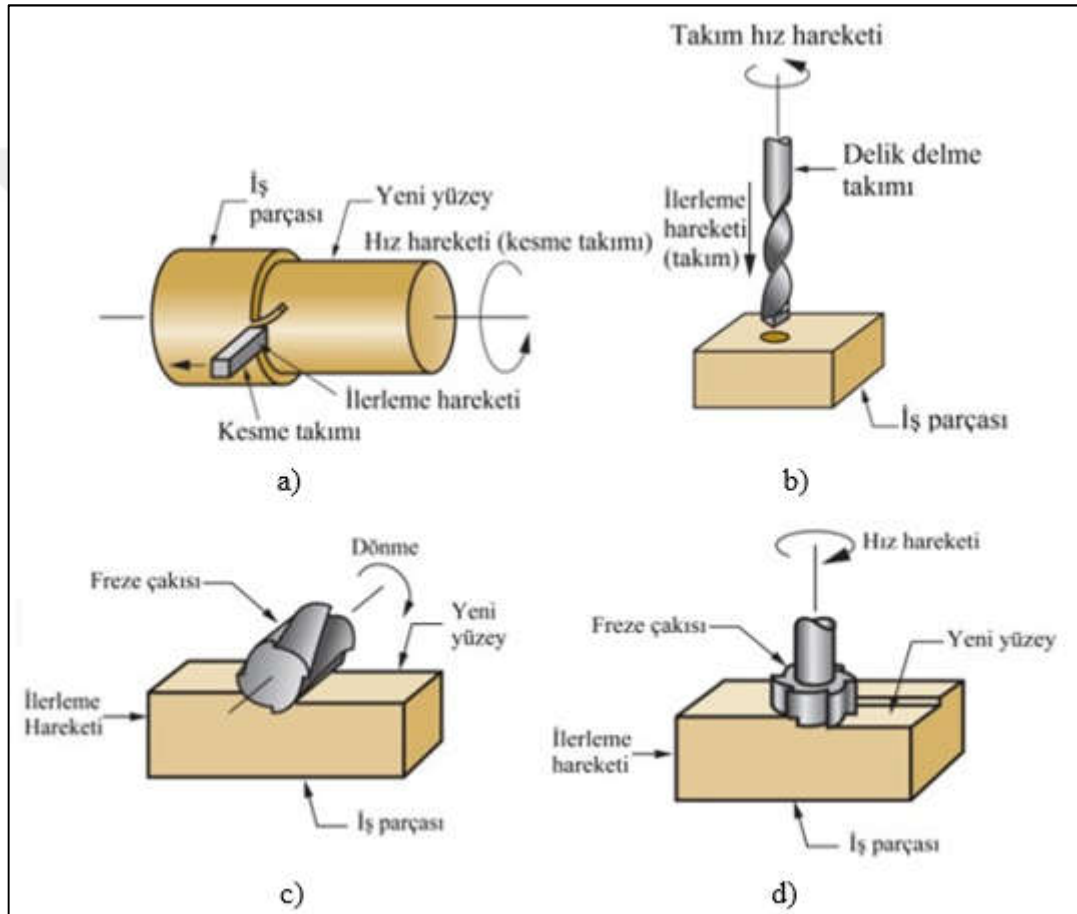
### 3.2.2. Talaşlı imalat yönteminin dezavantajları

Malzeme israfı, talaşlı imalat yöntemlerindeki dezavantajlardan bir tanesidir. Oluşan talaş, malzeme işleminden sonra atık malzeme olmaktadır. Artan talaşlar, çoğu zaman geri dönüşüm ile kazanılmaktadır [19].

Talaşlı imalat yöntemleri, dövme veya döküm gibi işlemlere göre daha fazla zaman gerektirmektedir [19].

### 3.3. Talaşlı İmalat Yöntemleri

Talaşlı imalat işlemlerinde çeşitli geometri ve yüzey dokusu elde edilebilen farklı işlemler mevcuttur. Şekil 3.3'te yaygın olarak kullanılan talaşlı imalat işlemleri gösterilmiştir [19].



Şekil 3.3. Talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılan imalat işlemleri (a) tornalama işlemi (b) delik delme (c) çevresel frezeleme (d) alın frezeleme [19]

### 3.4. Kesici Takım

İş parçasından talaş kaldırması gerekli olduğundan, işlenecek iş parçasından daha sert malzemeden üretilmelidir. Kesici takımlar, tek veya daha fazla kesici kenara sahip olabilmektedir. Şekil 3.3'te de görülebileceği gibi, kesici takımlar talaşı iş parçasından ayırır. Kesici kenar, talaşın yüzeyi ile yan yüzey olarak belirtilen yüzeylerin birleşimi olan kenardır. Yeni oluşan talaşın aktığı yüzey olan talaş yüzeyi, talaş açısı denilen

belirli bir açıyla yönlendirilmiştir. Talaş açısı, çalışma yüzeyine (iş parçası yüzeyine) dik olarak ölçülür. Talaş açısı Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, pozitif veya negatif olabilir. Kesici takım ile yeni oluşan yüzey arasında boşluk sağlayan yan yüzey, yeni oluşan yüzeyi aşınmadan korumaktadır [19].

### **3.5. Takım Tezgahları**

İş parçasını tutmak, kesici takımını pozisyonlandırmak ve ayarlanan hız, ilerleme ve derinlikte işleme prosesine güç sağlamak için takım tezgahı kullanılmaktadır. Kesici takım, iş ve kesme koşullarına göre, yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlikte hassas toleranslarda işlem yapılmasına izin verir.

Taşlama dahil olmak üzere, bir güç ile çalışan ve herhangi bir işlem gerçekleştiren makineler için takım tezgahı terimi geçerlidir. Tornalama, delme ve frezeleme yapmak için kullanılan geleneksel takım tezgahları sırasıyla tornalar, matkap tezgahı ve freze makineleridir [19].



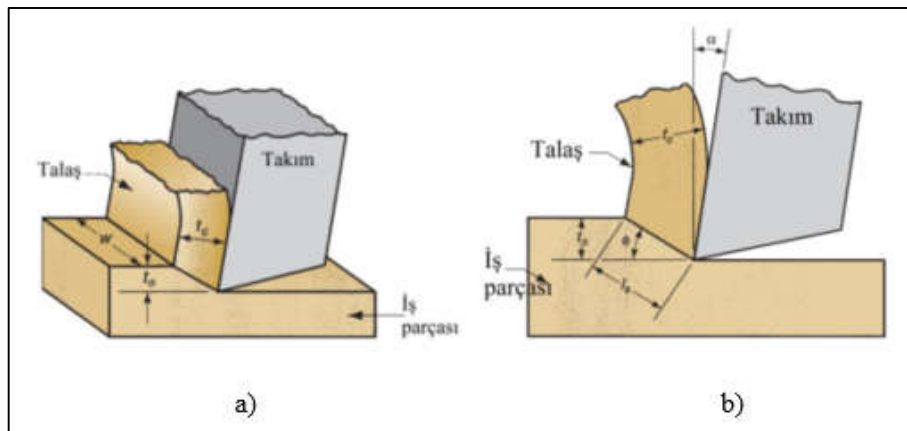
#### 4. TALAŞLI İMALATTA KESME KUVVETLERİ VE TALAŞ YAPISI

Çoğu pratik işleme operasyonlarının geometriler biraz karmaşıktır. Geometrik karmaşıklıkların çoğunu ihmal eden, fakat operasyonun mekaniğini oldukça iyi tanımlayan basitleştirilmiş bir işleme modeli mevcuttur. Bu model ortogonal kesme modeli olarak adlandırılmaktadır. Gerçek bir operasyon süreci 3 boyutlu olmasa da, ortogonal kesme modeli analizi, aktif rol oynayan 2 boyuta sahiptir [19].

##### 4.1. Ortogonal Kesme

Ortogonal kesme tanım olarak, kesme kenarının kesme hızı yönüne dik olduğu kama şeklinde bir takım kullanır. Kesme kenarının iş parçasından ayırdığı malzeme talaş olarak adlandırılır. Takım malzemenin içine doğru zorlandığından dolayı, talaş, çalışma düzeyi ile  $\phi$  açısına yönlendirilen ve kesme adı verilen bir düzlem boyunca kesme deformasyonu ile oluşturulur. Bu işlem sırasında takımın kesici ucunda bozulma meydana gelir. Bu da talaşın iş parçasından ayrılmasına neden olur [2,19,23].

Ortogonal kesmede takım geometrisi, talaş açısı ( $\alpha$ ) ve boşluk açısı olmak üzere iki elemandan oluşmaktadır. Talaş açısı ( $\alpha$ ), iş parçasından çıkan talaşın akış doğrultusunu tanımlar. Boşluk açısı ise, takımın yan yüzeyi ile yeni oluşan iş parçası yüzeyi arasındaki boşluğu tanımlar [19]. Ortogonal kesme Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Ortogonal kesme (a) Üç boyutlu işleme (b) iki boyuta indirgenmiş görünüm [20]

Kesme işlemi sırasında, takımın kesici kenarı mevcut iş parçasının yüzeyinin altındaki belirli bir mesafeye yerleştirilir. Bu mesafe, talaş oluşumu öncesindeki talaş kalınlığına ( $t_0$ ) karşılık gelir. Talaş, kesme düzlemi boyunca oluşturuldukça bu kalınlık  $t_c$ 'ye kadar çıkar. Bu kalınlıkların oranına talaş kalınlık oranı veya talaş oranı ( $r$ ) denir.  $t_0$ 'ın  $t_c$ 'ye oranına talaş kalınlığı oranı veya sadece talaş oranı ( $r$ ) denir [19]. Buna göre  $r$ , Eşitlik (4.1)'de verilmiştir;

$$r = t_0/t_c \quad (4.1)$$

Kesme sonrasındaki talaş kalınlığı ( $t_c$ ), kesim öncesi talaş kalınlığından ( $t_0$ ) her zaman daha büyük olduğundan talaş oranı ( $r$ ) değeri 1'den küçük olacaktır.

$t_0$ 'a ek olarak ortogonal kesme, ortogonal kesme analizinde çok etkili olmayan ve Şekil 4.1'de gösterilen genişlik ( $w$ ) boyutuna sahiptir.

Talaş kalınlık oranı, talaş açısı ve kesme düzlem açısı arasındaki önemli bağlantının oluşturulmasını ortogonal kesme modeli geometrisi sağlar. Bu bağlantı için  $l_s$  kesme düzlemi uzunluğu olarak alınıp;  $t_0 = l_s \sin\phi$  ve  $t_c = l_s \cos(\phi - \alpha)$  değişimleri yapılır. Buna göre Eşitlik (4.2) elde edilir;

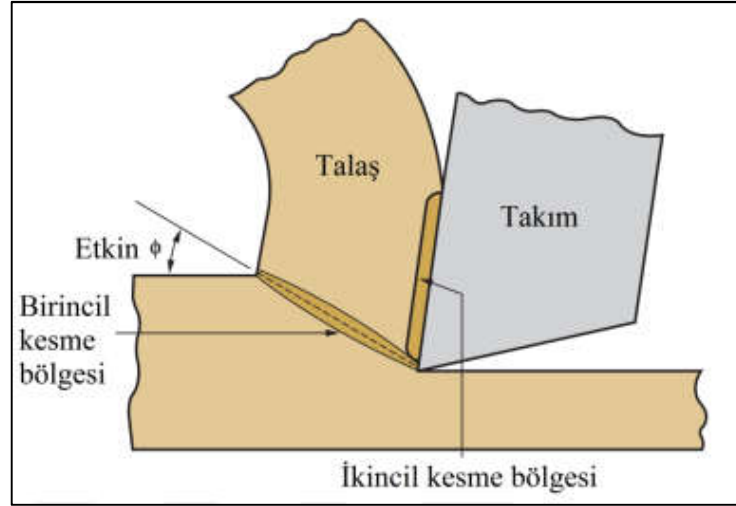
$$r = (l_s \sin\phi)/(l_s \cos(\phi - \alpha)) = \sin\phi/\cos(\phi - \alpha) \quad (4.2)$$

Bu denklem,  $\phi$ 'yi elde etmek için yeniden düzenlenirse Eşitlik (4.3) elde edilir [10];

$$\tan\phi = r \cos\alpha/(1 - r \sin\alpha) \quad (4.3)$$

## 4.2. Talaş Oluşumu

Gerçek işleme yöntemi ile ortogonal model arasında farklılıklar vardır. İlk olarak, kesme deformasyonu bir düzlem boyunca gerçekleşmez, bir bölgede gerçekleşir. Malzemenin gerçekçi bir şekilde davranabilmesi için, kesme deformasyonunun kesme bölgesinde meydana gelmesi gerekir [20]. Makinede kesme deformasyonu işleminin gerçekçi modeli Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



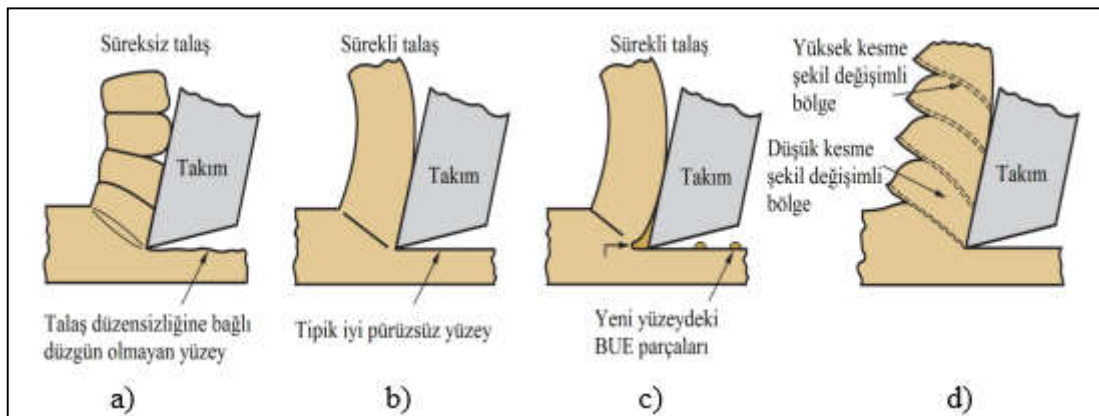
Şekil 4.2. Birincil ve ikincil kesme bölgeleri [20]

İkinci olarak, kesme bölgesinde kesme deformasyonuna ek olarak, talaş oluşumu sonrasında, ikinci bölgede başka bir kesme deformasyonu oluşur. Bu ek kesme deformasyonunu, birinci kesmeden ayırmak için ikinci kesme olarak adlandırılır. İkinci kesme, talaş ve kesme arasındaki sürtünmeden kaynaklanır. Talaş ve takım arasındaki sürtünme arttıkça ikinci kesmenin etkisi artmaktadır. Birinci ve ikinci kesme bölgeleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Üçüncü olarak, talaş oluşumu, işlenmekte olan malzemenin tipine ve işlemin kesme koşullarına bağlıdır. Talaş türleri 4.2.1’de anlatılmıştır.

#### 4.2.1. Talaş türleri

Talaşlı imalatta oluşan talaş tipleri Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Metal kesmede oluşan talaş tipleri (a) süreksiz (b) sürekli (c) yapışan köşe (d) tırtıklı [20]

Dökme demir gibi nispeten kırılğan olan malzemeler düşük kesme hızlarında işlendiğinde, talaşlar genellikle ayrı parçalar halinde oluşturur. Bazen bu parçalar, birbirine gevşek şekilde bağlıdır. Bu durum, işlenmiş yüzeyin düzensiz bir şekil verme eğilimindedir. Yüksek takım-talaş sürtünmesi ve büyük ilerleme ve kesme derinliği, süreksiz talaş tipinin oluşmasına neden olur [19].

Sünek malzemelerin işlenmesinde, yüksek hızlarda ve nispeten düşük ilerlemede ve derinlikte işlendiğinde, uzun sürekli talaşlar oluşturur. İyi bir yüzey kalitesi, bu talaş oluştuğunda ortaya çıkar. Kesici takım üzerindeki keskin kesme kenarı ve düşük talaş sürtünmesi, sürekli talaşın oluşumunu sağlar. Fakat uzun ve sürekli talaşlar, talaşın atılması ve kesme takımına dolanması gibi problemlere neden olur [19].

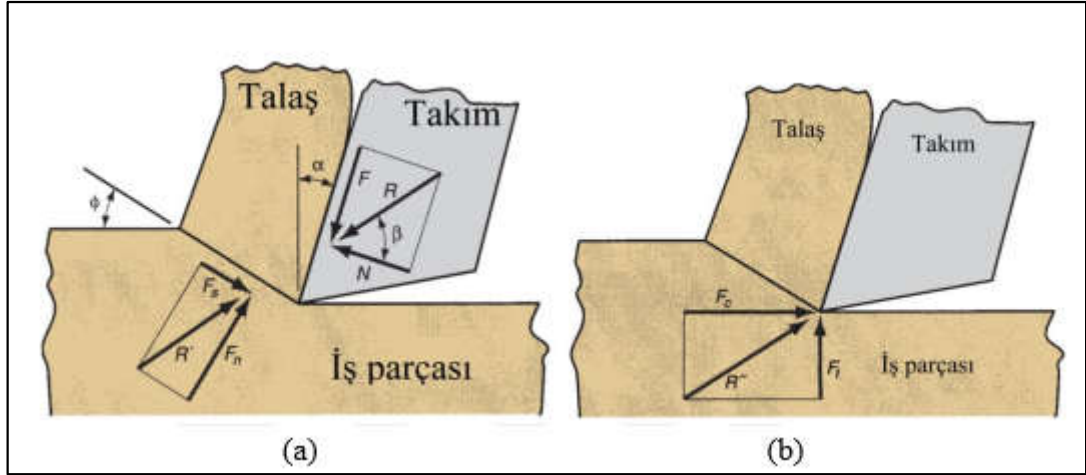
Sünek malzemelerin düşük-orta kesme hızlarında işlenmesinde, takım ve talaş arasındaki sürtünme, iş parçasının kısımlarının takımın kesici kenarına yakın talaş yüzeyine yapışmasına neden olur. Bu oluşum yığılma kenar (BUE, built-up edge) olarak adlandırılır. Yığılma kenar oluşumu bir döngü şeklindedir. Yığılma kenar oluşur, büyür, kararsız hale gelir ve kopar. Kopan yığılma kenarın bir kısmı talaş ile atılır, bazen takımın talaş yüzeyi kısmından malzeme koparabilir ve bu da takımın ömrünü kısaltır. Yığılma kenarın bir kısmı iş parçasına yapışarak yüzey kalitesinin de düşmesine neden olabilir [19].

Testere dişi görünümüne sahip olması nedeniyle tırtıklı veya testere ağızlı talaş olarak adlandırılan talaş tipi, iş parçasının yüksek ve düşük kesme deformasyonuna çevrimsel olarak maruz kalması ile oluşmaktadır. Bu durumdan dolayı yarı-sürekli talaş olarak tanımlanabilir. Yüksek kesme hızlarında malzeme işlenmesi durumunda, bu talaş tipi görülebilir [19].

### **4.3. Metal Kesme İşleminde Kuvvetler ve Kuvvet Oluşumu**

Dikey (ortogonal) kesme modeline bağlı birkaç kuvvet ve kuvvete bağlı kesme gerilmeleri, sürtünme katsayıları ve belirli diğer bağlantılar tanımlanmıştır.

Dikey kesme işleminde, takım tarafından talaşa etki eden kuvvetler sürtünme kuvvet ve sürtünmeye dik olan kuvvet olarak iki bileşene ayrılmıştır [19]. Dikey kesme işleminde, talaşa etki eden kuvvetler Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Metal kesme işleminde kuvvetler (a) ortogonal kesme işleminde talaşa etkiyen kuvvetler (b) kesici takıma etki eden ölçülebilir kuvvetler [20]

Kesici takımın talaşa uyguladığı kuvvetler iki dikey bileşene ayrılmaktadır [19];

1) Sürtünme kuvveti (F): Talaşın, kesici takımın talaş yüzeyi boyunca akılina direnen sürtünme kuvvetidir.

2) Sürtünmeye dik kuvvet (N): Sürtünme kuvvetine dik olan kuvvettir.

Sürtünme kuvveti ve sürtünme kuvvetine dik kuvvet bileşenleri, takım ile talaş arasındaki sürtünme katsayısını belirlemektedir ve Eşitlik (4.4)'te verilmiştir [19];

$$\mu = F/N \quad (4.4)$$

Talaşa etki eden kuvvetlerin bileşkesi R'ye vektörel olarak eklenebilir. R kuvveti  $\beta$  açısı ile etki etmekte olup, bu açı ise sürtünme açısı olarak tanımlanır. Sürtünme açısı ve sürtünme katsayısı arasındaki bağıntı Eşitlik (4.5)'te verilmiştir [19];

$$\mu = \tan\beta \quad (4.5)$$

Talaşa uygulanan takım kuvveti, iki bileşenli kuvvettir [19];

1) Kesme kuvveti ( $F_s$ ): Kesme yüzeyinde oluşmakta olup, kesme deformasyonunu oluşturan kuvvettir.

2) Kesme kuvvetine dik normal kuvvet ( $F_n$ ): Kesme kuvvetine dik olan kuvvettir.

Kesme kuvveti ile bağlantılı olarak, malzeme (iş parçası) ile talaş arasında olan kesme yüzeyindeki kesme gerilimi Eşitlik (4.6)'da verilmiştir [19];

$$\tau = F_s/A_s \quad (4.6)$$

$A_s$ : Kesme yüzey alanı olup, Eşitlik (4.7) ile elde edilir [19];

$$A_s = (t_0w)/\sin\phi \quad (4.7)$$

Talaş kaldırma işleminin mümkün olabilmesi için gereken gerilme düzeyi, eşitlik (4.6)'da verilen kesme gerili ile gösterilmektedir. Bu durumda, kesme işleminin gerçekleştiği koşullarda talaş kaldırılan iş parçasının kesme mukavemeti ile gerilme birbirine eşittir ( $\tau = S$ ) [19].

$R'$  bileşke kuvveti,  $F_s$  ve  $F_n$  kuvvetlerinin vektörel toplamı sonucunda ortaya çıkar. Talaşa etki eden kuvvetlerin birbirini dengelemesi gerekmekte olduğundan, birbirine ters yönde ve aynı doğrultuda olan  $R$  bileşke kuvveti ile  $R'$  bileşke kuvvetinin büyüklü aynı olmalıdır [19].

$F$ ,  $N$ ,  $F_s$  ve  $F_n$  bileşenlerinden oluşan bu dört kuvvet, hiçbir talaşlı imalat sırasında doğrudan ölçülemez. Bunun nedeni uygulandığı yönlerin, takım geometrilerine ve kesme koşullarına bağlı olarak farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu kuvvetler, dinamometre ile ölçülebilmekte olup, böylece kesici takıma etkiyen iki ek kuvvet de ölçülebilir olmaktadır [19]. Bu ek kuvvetler aşağıdaki gibidir;

- 1) Kesme Kuvveti ( $F_c$ ): Kesme yönünde olup,  $v$  kesme hızı ile aynı doğrultudadır.
- 2) İtme Kuvveti ( $F_t$ ): Kesme kuvvetine dik doğrultuda olup, kesme öncesi talaş kalınlığı ( $t_0$ ) ile ilişkilidir.

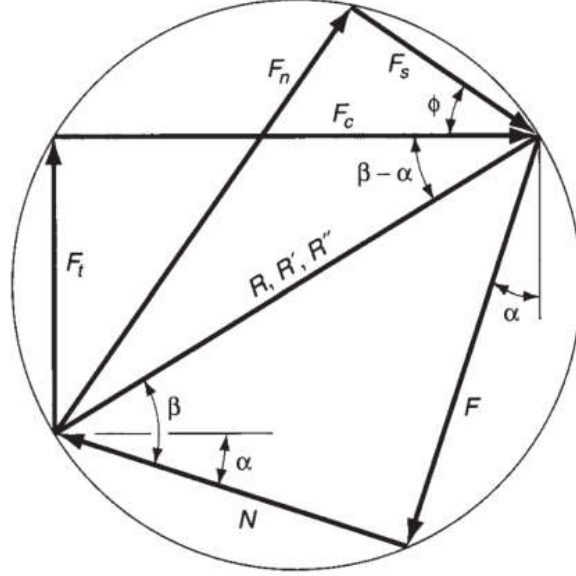
Bu kuvvetlerin kendi yönleri bilinmediğinden, dinamometre içerisinde bulunan kuvvet transformatörleri buna göre hizalanabilir. Ölçülebilir iki kuvvet ile ölçülemeyen diğer dört kuvvetin bileşenleri türetilmiştir. Şekil 4.5'teki kuvvet diyagramı ile Eşitlik (4.8), Eşitlik (4.9), Eşitlik (4.10) ve Eşitlik (4.11)'de verilen trigonometrik bağıntılar elde edilmiştir [19];

$$F = F_c \sin\alpha + F_t \cos\alpha \quad (4.8)$$

$$N = F_c \cos\alpha - F_t \sin\alpha \quad (4.9)$$

$$F_s = F_c \cos\phi - F_t \sin\phi \quad (4.10)$$

$$F_n = F_c \sin \phi + F_t \cos \phi \quad (4.11)$$



Şekil 4.5. Takıma etki eden kuvvetler arasındaki geometrik ilişkileri gösteren kuvvet diyagramı

Ortogonal (dikey) kesmede, talaş açısının ( $\alpha$ ) sıfır olduğu özel durumda,  $F = F_t$  ve  $N = F_c$  eşitliklerinin elde edildiği görülmektedir. Bu özel durumda, sürtünme kuvveti ve sürtünmeye dik normal kuvveti dinamometre ile ölçülebilmektedir [19].

Şekil 4.5’de verilen kuvvet diyagramı ile Eşitlik (4.6) türetilirse, Eşitlik (4.12) ve Eşitlik (4.13) elde edilir [19];

$$F_c = (S_t \omega \cos(\beta - \alpha)) / (\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)) = (F_s \cos(\beta - \alpha)) / (\cos(\phi + \beta - \alpha)) \quad (4.12)$$

$$F_t = (S_t \omega \sin(\beta - \alpha)) / (\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)) = (F_s \sin(\beta - \alpha)) / (\cos(\phi + \beta - \alpha)) \quad (4.13)$$

#### 4.4. Merchant Eşitliği

Merchant eşitliği, Eugene Merchant tarafından türetilmiş metal kesmedeki en önemli bağlantılardan bir tanesidir. Bu türetilmiş bağlantı, ortogonal kesme varsayımına dayanmaktadır. Merchant kesme gerilmesi, Eşitlik (4.6), Eşitlik (4.7) ve Eşitlik (4.10)’da verilen bağıntılar birleştirilerek Eşitlik (4.14) elde edilir [19,24];

$$\tau = (F_c \cos \phi - F_t \sin \phi) / (t_0 w / \sin \phi) \quad (4.14)$$

Merchant, kesici takımın ucundan oluşan ve kesme deformasyonunu oluşturan bütün açılardan bir tanesinin baskın olduğunu ifade etmiştir. Baskın olan bu açıda, kesme gerilmesi ile iş parçasının kesme dayanımı birbirine eşittir. Bu nedenle, kesme deformasyonu bu açıda gerçekleşmektedir. Kesme gerilmesi, diğer kesme açılarında kesme dayanımından küçük olduğundan dolayı talaş oluşumu gerçekleşmez. Kesme düzlemi açısına göre seçilen işlenen malzeme, enerjiyi en aza indirir. Bu açı, Eşitlik (4.14) bağıntısındaki kesme gerilmesini  $S'$ 'nin  $\phi$  açısına göre türevi alındıktan sonra 0'a eşitlenmesi ile bulunabilir.  $\phi$  için çözümlerse, Merchant adını taşıyan Eşitlik (4.15) elde edilir [19,24];

$$\phi = 45 + \alpha/2 - \beta/2 \quad (4.15)$$

Merchant eşitliği varsayımları arasında, şekil değiştirme miktarından, sıcaklıktan ve diğer faktörlerden etkilenmediği ve malzemenin kesme dayanımının da sabit olduğu vardır. Pratik talaşlı imalat uygulamalarında, bu varsayım geçerli değildir. Bu nedenle yukarıda verilen Eşitlik (4.15) kesin bir matematiksel eşitlik değil, yaklaşık olarak kabul edilmelidir [19,24].



## **5. DELİK DELME İŞLEMİ**

Delik delme işlemi, silindirik bir takımla iş parçasına delik açmak için tercih edilen talaşlı imalat işlemidir [25]. Talaşlı imalat işlemlerinde delik delmenin payı, %33'tür [26]. Delik delme işlemi genellikle iki kesme kenarlı, kesici takımı ile uygulanır. Delik delme işleminde, kesici takım, matkap veya matkap ucu olarak adlandırılır. En yaygın kullanılan matkap ucu, helisel (spiral) matkaptır. Takım malzemeleri alanındaki gelişmeler, şekil ve malzeme türünde farklı matkaplar geliştirilmesini sağlamıştır [19,27].

### **5.1. Genel Bilgiler**

Delik delme, genellikle talaşlı imalat işlemlerinde son aşamadır. Tornalama ve frezeleme işlemleri ile karşılaştırma yapıldığında, kinematik ve dinamik yapılarının bu işlemler ile benzer olduğu görülür. Bununla birlikte talaşın akışı ve kesme sıcaklığının dağılımı da aynı olduğu görülür [28].

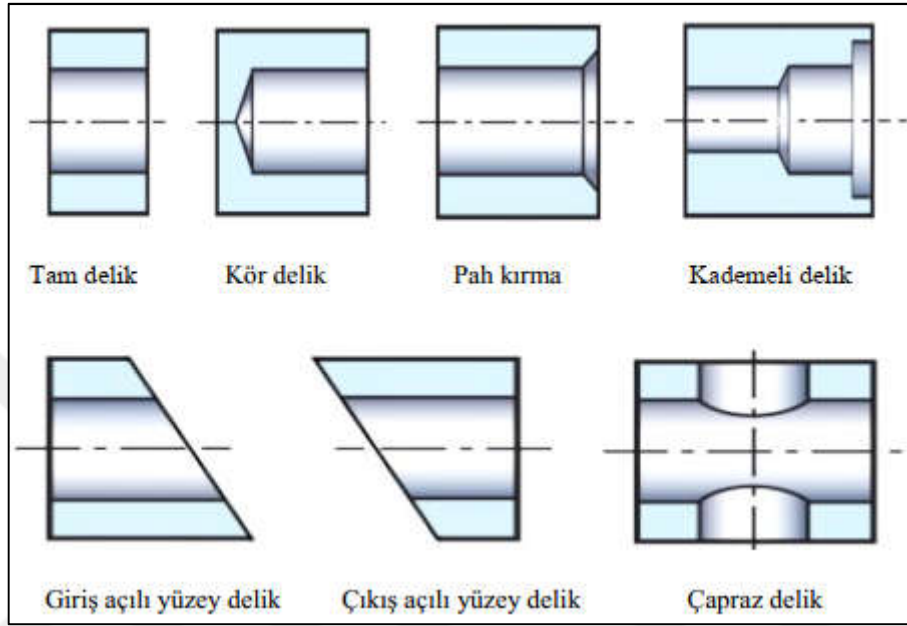
Delik delme işlemi, çeşitli iş parçalarına uygulanabilir. Bazı durumlarda cıvata, vida gibi bazı parçaların delinmesinde hassas toleransa ihtiyaç duyulmazken; kama yuvası veya kalıp pimleri gibi parçalarda ise hassas toleransa ihtiyaç duyulabilmektedir [29].

### **5.2. Delik Delme İşlem Çeşitleri**

Delik delmede çok farklı işlem çeşitleri mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanları dolu delik delme, kör delik delme, kademeli delik delme, delik büyütme ve raybalama işlemleridir. Dolu delik delme, malzemenin sahip olduğu kalınlığın tamamının delinmesi işlemidir. Kör delik delme, malzemenin sahip olduğu kalınlığın tamamı delinmeden, matkap ucunun malzemenin diğer yüzeyinden çıkmayacak şekilde belli bir ölçüde delinmesidir. Kademeli delik delme, aynı delikte farklı çaplar istenmesi durumunda uygulanır. Giriş delik çapı ile istenilen delik çapının farklı olması dolayısıyla, delik kademeli olarak delinir. Delik büyütme işleminde, önce daha küçük bir çapta delik açıldıktan sonra, hassas tolerans elde etmek için istenen son çapta deliğin büyütülmesi işlemidir. Raybalama işleminde öncelikle hassas olmayan

toleransa ön delik delinir. Daha sonra hassas toleransın sağlanabilmesi için raybalama işlemi uygulanır [30].

Delik delme işlemleri, farklı delik çeşitlerinin oluşmasını sağlamaktadır. Endüstride kullanılan bazı delik çeşitleri Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Endüstride kullanılan bazı delik çeşitleri [30]

### 5.3. Delik Delme İşleminde Kesme Şartları

Delik delme işleminde kesme hızı, matkabın dış çapının yüzeyindeki hızdır. Kesme işlemi, dönme eksenine yakın ve daha düşük hızlarda gerçekleşse de hesaplamalarda kolaylık olması için bu şekilde belirtilmiştir. Delik delme işlemini belirlenen kesme hızında gerçekleştirebilmek için, matkap ucunun dönme hızının belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda,  $N_{im}$  milin dönme hızını gösteriyor ise Eşitlik (5.1)’deki gibi ifade edilir [19];

$$N_{im} = v/(\pi D) \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte,

$v$  = Kesme hızı (mm/dk)

$D$  = Matkap çapı (mm) olarak tanımlanmıştır.

Delik delme işleminde matkap çapı ile orantılı olan ilerleme oranı,  $f$  (mm/dev) olarak tanımlanmıştır. Büyük çaptaki matkaplarda, daha büyük ilerlemeler tercih edilir. İlerleme hızı,  $f_r$  (mm/dk) olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlardan yola çıkarak, ilerleme oranının ilerleme hızına dönüşümünü veren eşitlik, Eşitlik (5.2) olarak verilmiştir [19];

$$f_r = N_{im}f \quad (5.2)$$

Şekil 5.1’de verilen delik çeşitlerinden açık deliği delmek için işleme süresi hesabı Eşitlik (5.3)’te verilmiştir [19];

$$T_m = (t + A)/f_r \quad (5.3)$$

Bu eşitlikte,

$T_m$  = Delik delme süresi (dk)

$t$  = İş parçası kalınlığı (mm) olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca  $A$ , matkabın uç açısı dikkate alınarak matkabın tam delik çapına ulaşmadan önce malzemeye girmesi için gerekli olan ilerleme mesafesini temsil eden yaklaşma mesafesi olarak tanımlanmaktadır.  $A$ , aşağıda verilen Eşitlik (5.4) ile hesaplanabilir [19];

$$A = 0,5D \tan(90 - \theta/2) \quad (5.4)$$

Bu eşitlikte,

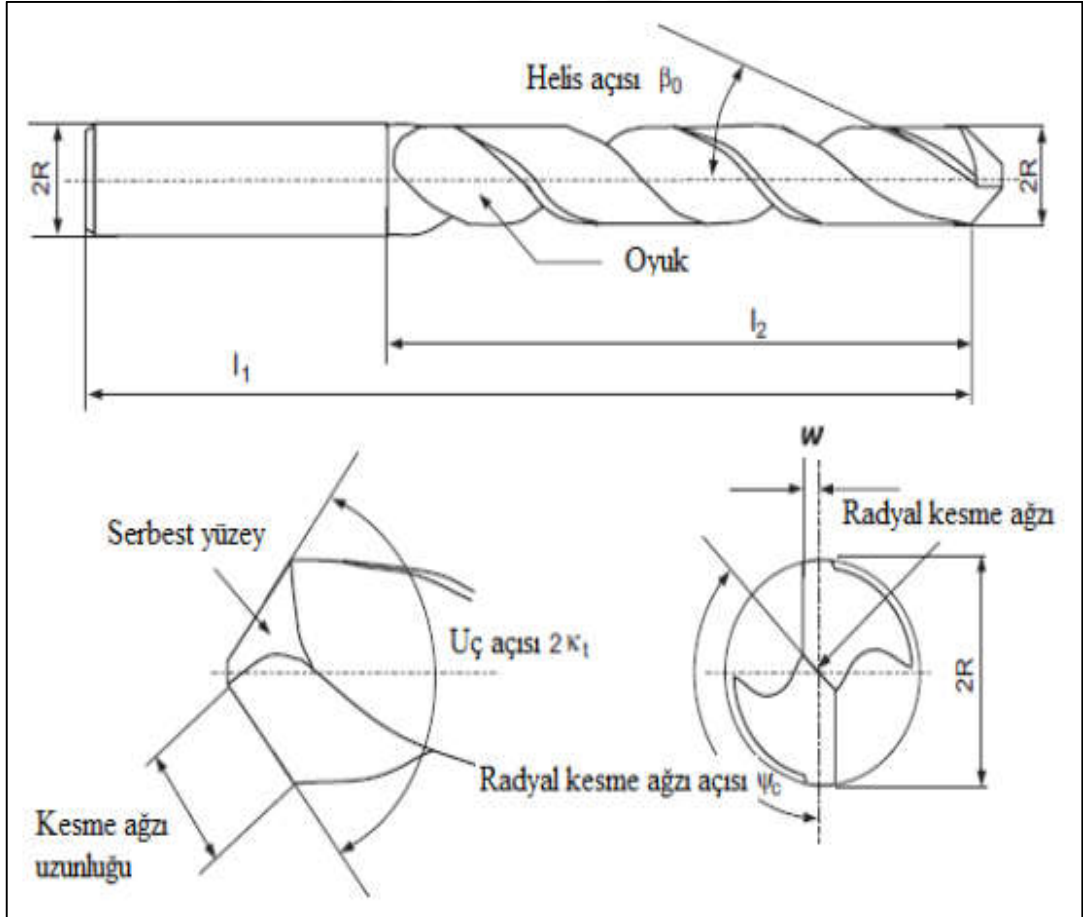
$A$  = Yaklaşma mesafesi (mm)

$\theta$  = Matkap ucunun açısı (derece)

Açık bir deliğin delinmesi için, matkap ucunun iş parçasının karşı yüzeyini bir miktar geçmesi gerekmektedir. Bu durumda matkabın ilerleme mesafesi,  $t$  olarak tanımlanan iş parçası kalınlığından bir miktar fazla olmaktadır. Bu da gerçek delik delme süresinin,  $T_m$  olarak hesaplanan delik delme süresinden bir miktar fazla olmasına yol açmaktadır [19].

#### 5.4. Delik Delme Mekanikği

Şekil 5.2’de örnek bir helisel matkabın detaylarının verildiği teknik çizim görülmektedir. Helisel matkabın en ucunda gösterilen radyal kesme ağzı ve sivrilme açısına sahip ( $\kappa_1$ ) iki helisel kesme ağzı mevcuttur. Bu kesme ağzları, olukla  $\beta_0$  helis açısıyla birleşmektedir. Helisel oluklar, talaşın delik bölgesinden tahliyesini sağlamaktadır. Ancak kesme işlemini yapmazlar. Kesme kısmı  $2w$  genişliğinde ve  $\psi_c$  kenar açısına sahiptir. Kesme ağzı, radyal kesme ağzından dolayı takımın merkezinden uzakta kalmaktadır. Kesme ağzları, matkap malzemeye  $c$  (mm/dev) ilerleme hızı ile batırılırken, talaşı sabit kalınlıkta ( $h$ ) kaldırarak deliği genişletir. Matkabı çalışma malzemesine batırmak için kullanılan bastırma kuvveti ile matkap ve mil tahrikine uygulanan tork, delme işleminin mekaniğini değerlendirmek için gereklidir. Delmenin mekaniği, radyal kesme ağzı ve kesme ağzı olmak üzere ayrı ayrı analiz edilmelidir [23].



Şekil 5.2. Helisel matkap geometrisi [23]

#### 5.4.1. Radyal kesme ağızı

Radyal kesme ağızının girintili bir mekanizması olması nedeniyle malzemeyi yan taraflara yayar, ancak kesme yapmaz. Kesme kanunlarını kullanmak yerine, girintinin mekaniği kullanılmalıdır. Eğer prosese ait sertlik testi basitleştirilirse, radyal kesme ağızında oluşan bastırma kuvveti de basitleştirilerek Eşitlik (5.5)'teki gibi verilir [2,23];

$$KUVVET_i = F_{z,i} = A_{ch}H_B \quad (5.5)$$

Bu eşitlikte,

$H_B$  = İş parçasının Brinell sertlik değeri

$A_{ch}$  = Radyal kesme ağızının anlık girinti bölgesi

olarak tanımlanmaktadır.  $A_{ch}$  radyal kesme ağızının uzunluğu ( $2w / \sin(\pi - \psi_c)$ ) ve kesme ağızının malzeme ile temas ettiği uzunluk ( $c / (2\cos\gamma_t)$ ) olarak değerlendirilmiştir. Girintiyi ifade eden eşitliği elde etmek için bu iki kesme uzunluğu dikkate alındığında Eşitlik (5.6)'daki gibi verilir [2,23];

$$A_{ch} = 2wc / (\sin(\pi - \psi_c)\cos\gamma_t) \quad (5.6)$$

Radyal kesme ağızı geometrisi ve girinti mekanizması karmaşık olduğundan dolayı detaylı bir geometrik model ve bununla birlikte deneye dayalı faktör değişkenlerinin kalibrasyonu gerekmektedir. Basit girinti yöntemiyle radyal kuvvete benzetme, bu durumda kesin çözüm için uygun olmayacaktır [31].

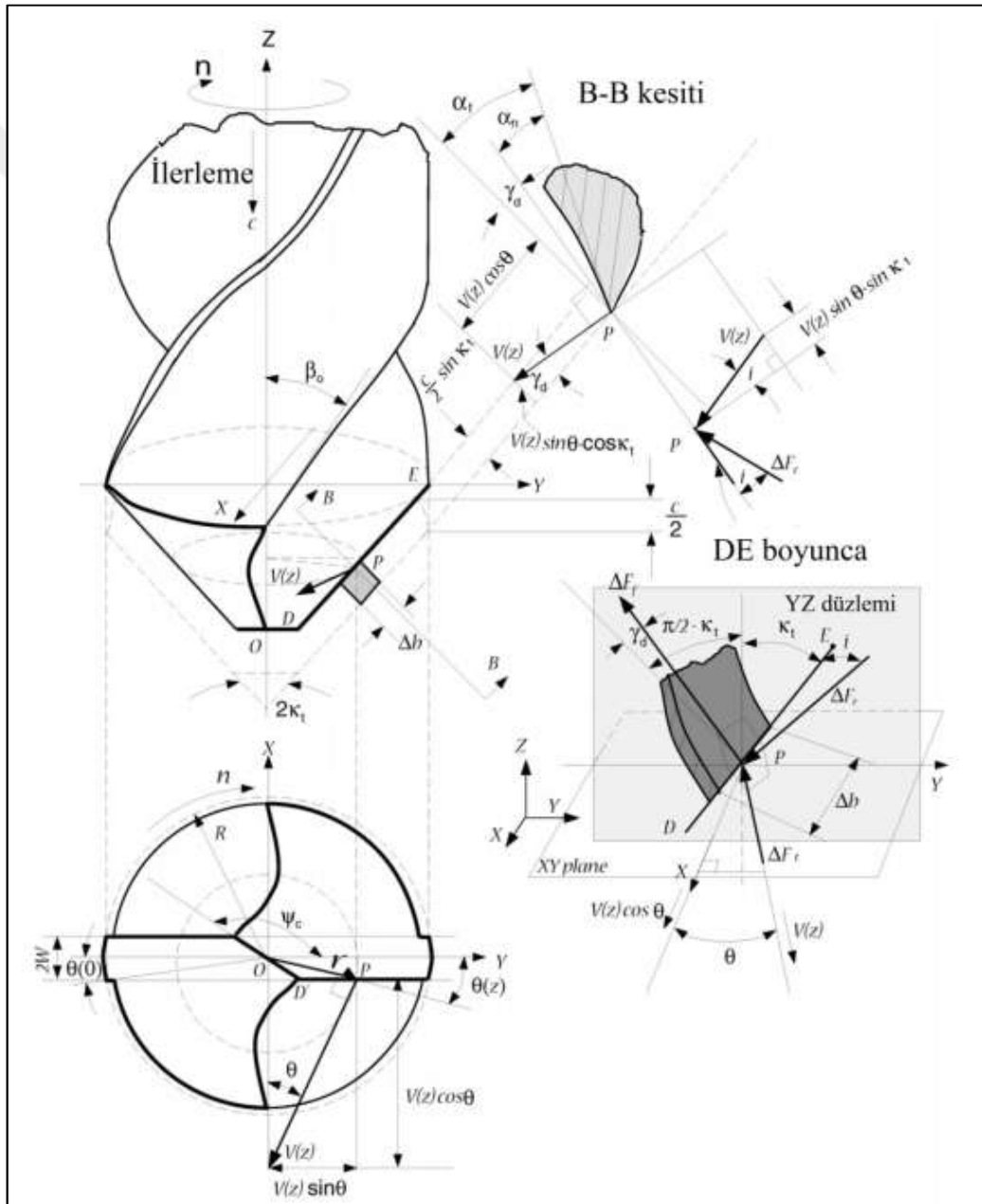
Kesici takım uçlarının geometrisi, kesici takımın iş parçası üzerinde işleme esnasında kaymasını önlemek amacıyla büyük ölçüde iyileştirilmiştir. Pratikte, kesme kuvvetinin yüzde 10-15'ini radyal kuvvetlerin oluşturduğu kabul edilebilir. Bununla birlikte, radyal genişliğin küçük olması nedeniyle tork ihmal edilebilir [2,23].

#### 5.4.2. Kesme ağızı

Kesme ağızının geometrisi oldukça karmaşıktır. Ortogonal kesme-eğik kesme dönüşümü için helisin tanımlanması gerekir. Talaş açısı ve eğim açısı, kesme ağızı boyunca kesme noktasında oluşmaktadır. Radyal ağızdan kaynaklanan çıkıntıdan dolayı (ofset) ve değişken ölçüler nedeniyle, helis, talaş ve eğim açısı değişir. Bu

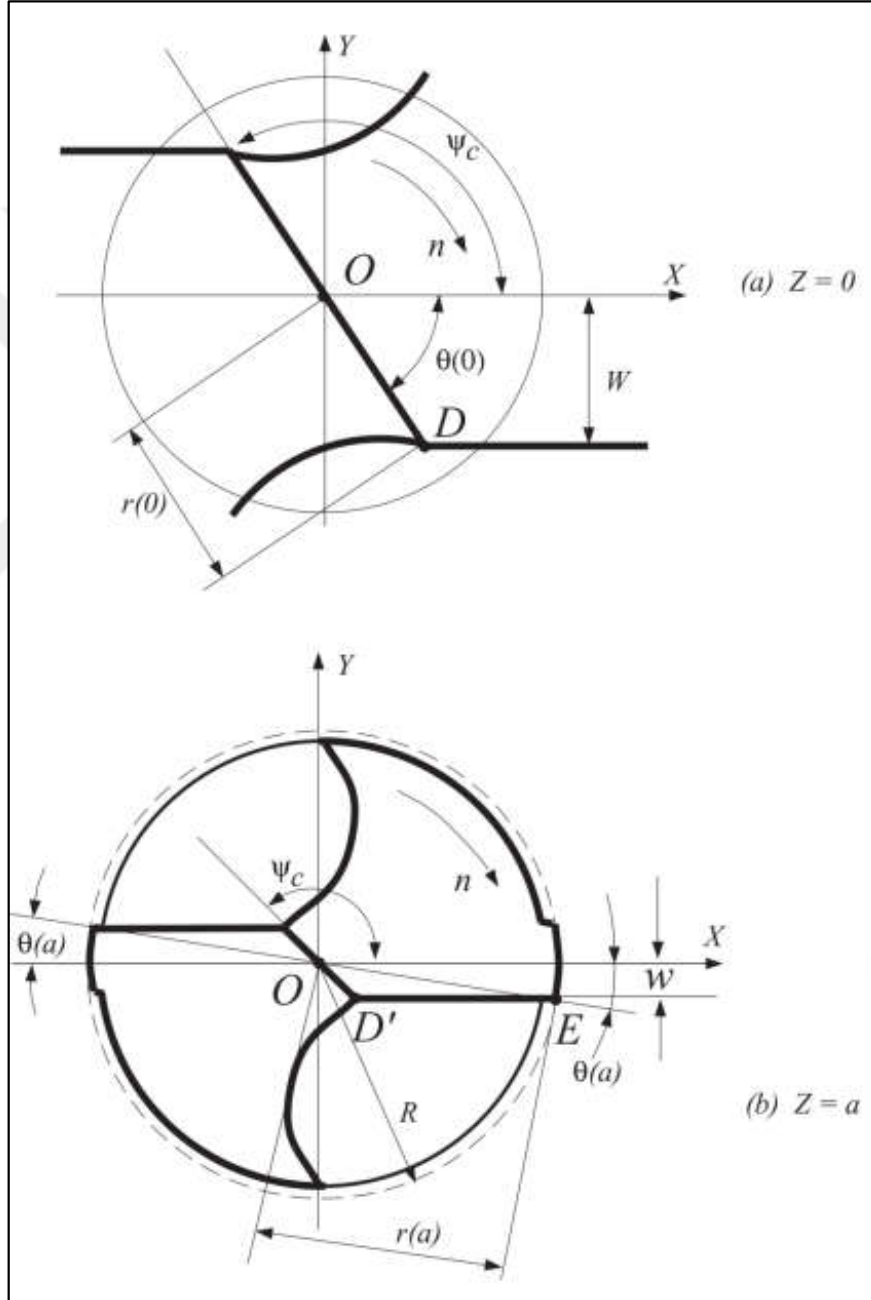
bölümde anlatılacak delme geometrisinin davranışı Galloway [32], Armarego ve Brown'un [33] çalışmalarına dayanmaktadır.

Helisel matkabın takım geometrisi Şekil 5.3'te verilmiştir. Delme eksenini z eksenini olarak tanımlanmıştır. Kesme ağız, x eksenine paralel ve delme eksenini arasında radyal kesme ağızından dolayı çıkıntı (ofset) oluşmuştur. Kesme ağzının normali, y eksenine paralel olarak tanımlanmıştır. Takım ucu, koordinat sisteminin orijini olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.3. Helisel matkabın ucunun mekanik modeli [23]

Kesme ağız ile radyal kesme ağzının birleştiği nokta, takımın orijin noktasıdır. Radyal kesme ağzından kaynaklanan çıkıntı (ofset)  $w$  olarak ve radyal kesme ağzının açısı  $\psi_c$  olarak gösterilmiştir. Helisel matkap ucunda oyuk kesme ağzı kesişim düzleminin üstten görünüşü Şekil 5.4'te verilmiştir. Kesme ağzı ile radyal kesme ağzının kesiştiği nokta ile matkap merkezinin arasındaki radyal mesafe Eşitlik (5.7)'deki gibi verilir [2,23];



Şekil 5.4. Helisel matkapta oyuk kesme ağzı kesişim düzleminin üstten görünüşü [23]

$$r(0) = w / \sin(\pi - \psi_c) \quad (5.7)$$

Denklemin koordinatları ise;  $x(0) = r(0) = \cos(\pi - \psi_c)$ ,  $y(0), z=0$  şeklindedir.

Kesici takım ağzı ve helisel oyuk kesişmesi arasında olan kot farkı  $z=a$  ve kesici takım yarıçapı  $R$  ile belirtilmiştir. Kesici takımın kesme ağzının en uzak noktası ile delik delme merkezi arasındaki radyal uzaklık Eşitlik (5.8)'de verilmiştir [2,23];

$$r(a) = R \quad (5.8)$$

ve koordinatları;  $x(a)=R\cos\theta(a)$ ,  $\theta(a)=s \sin^{-1}(w/R)$ ,  $y(a)=w$  ve  $z=a$  olarak verilmiştir.  $R$ , delme yarıçapı olarak tanımlanmıştır.  $z=a$  eşitliği, tüm kesme ağzının tasarlanan uzunluğunun  $xy$  düzlemindeki kot farkını tanımlamaktadır.

$b = \overline{DE}$  eşitliği, kesme ağzı uzunluğu olarak tanımlanırsa Eşitlik (5.9) elde edilir;

$$\overline{DE} = \overline{DE} \sin \kappa_t = b \sin \kappa_t \quad (5.9)$$

Helis açısının kesme ağzı boyunca değişmesine rağmen, takımın temsili helis açısı ( $\beta_0$ ) silindirik kısımda ( $r(a) = R$ ) oyuk için Eşitlik (5.10) olarak tanımlanır [2,23];

$$\tan \beta_0 = 2\pi R / L_p \quad (5.10)$$

Bu eşitlikte,

$L_p =$  Helisin sabit hatvesi olarak tanımlanmaktadır.

Kesme ağzı ile  $xy$  düzlemine izdüşümünün kot fark  $z$ ,  $\overline{D'P}=z \tan \kappa_t$  olarak tanımlanmıştır. Kesme ağzının Şekil 5.3'te verilen  $P(x,y,z)$  noktası ile delme eksenindeki radyal mesafe Eşitlik (5.11)'de verilmiştir [2,23];

$$r(z) = \sqrt{y(0)^2 + [x(0) + \overline{D'P}]^2} = \sqrt{w^2 + [w \cot(\pi - \psi_c) + z \tan \kappa_t]^2} \quad (5.11)$$

ve koordinatları;  $x(z) = r(z)\cos\theta(z)$  ve  $y(z) = r(z)\sin\theta(z)$  olarak tanımlanmıştır.

Eşitlik (5.12)de verilen  $P$  noktasındaki lokal helis açısı,

$$\beta(z) = 2\pi r(z) / L_p \quad (5.12)$$



her kot için ayrı bir helis açısını ifade etmektedir.  $V$  olarak tanımlanan kesme hızı,  $r(z)$  olarak tanımlanan radyus ve  $xy$  düzlemindeki Eşitlik (5.13)'te verilen bileşenlere diktir [2,23];

$$V_x(z) = V \cos \theta(z) \text{ ve } V_y(z) = V \sin \theta(z) \quad (5.13)$$

Kesme hızının,  $t$  konik açılı kesme ağzına iş düşümü Eşitlik (5.14)'te verilmiştir [2,23];

$$V_t = V_y \sin \kappa_t = V \sin \theta(z) \sin \kappa_t \quad (5.14)$$

olarak tanımlanmıştır. Kesme hızı ile kesme kenarının normali arasındaki açı olarak tanımlanan eğim açısı ( $i$ ), aşağıdaki Eşitlik (5.15) ile ifade edilmiştir [2,23];

$$\sin i = V_t / V = V \sin \theta(z) \sin \kappa_t / V \quad (5.15)$$

Kesmenin mekaniği, kesme kenarına dik olan normal düzlemde tanımlanmıştır. Kesme kenarının normali  $P$  noktası olarak dikkate alınır, bir bileşeni konik kesme açısına ( $V_y(z) \cos \kappa_t$ ) dik ve bir bileşeni de  $V_y$ 'ye paralel olur. Tanımlanan bu iki hız bileşeni arasındaki açı Eşitlik (5.16) ile ifade edilmiştir [2,23];

$$\tan \gamma_d = V_y \cos \kappa_t / V_x = \tan \theta(z) \cos \kappa_t \quad (5.16)$$

Armarego ve Brown tarafından belirlenen efektif talaş açısı ( $\alpha_f$ ), kesme kenarı üzerindeki bir nokta, kesme hızı boyunca ve değişimin izdüşümü kullanılarak Eşitlik (5.17)'de verilmiştir [23,33];

$$\tan \alpha_f = (\tan \beta(z) \cos \theta(z)) / (\sin \kappa_t - \tan \beta(z) \sin \theta(z) \cos \kappa_t) \quad (5.17)$$

Geometriden yararlanılarak talaş açısı bulunursa Eşitlik (5.18) elde edilir;

$$\alpha_n = \alpha_f - \gamma_d \quad (5.18)$$

Eşitlik (5.16), Eşitlik (5.17) ve Eşitlik (5.18), takım geometrileri karmaşık olsa bile kesme kenarı boyunca oluşmakta olan kesme kuvvetlerinin tahmini için kullanılabilir. Kesme kenarından  $dz$  yüksekliğinde ve  $\Delta b$  genişliğindeki parçanın talaş kaldırdığı alan Eşitlik (5.19)'da verilmiştir [2,23];

$$dA(z) = \Delta b \cdot h \quad (5.19)$$

$h$ , iki oyuktan biri tarafından atılan talaşın kalınlığını;  $\Delta b$ , atılan talaşın genişliği olarak tanımlanmaktadır. Buna bağlı olarak, Eşitlik (5.20) ve Eşitlik (5.21) aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$h = (c/2) \sin \kappa_t \quad (5.20)$$

$$\Delta b = dz / \cos \kappa_t \quad (5.21)$$

Talaşın akışı ve radyal doğrultuya teğet kesme kuvveti (kesme hızına paralel);

$$dF_t(z) = K_{tc}(z) dA + K_{te} \Delta b,$$

$$dF_f(z) = K_{fc}(z) dA + K_{fe} \Delta b, \quad (5.22)$$

$$dF_r(z) = K_{rc}(z) dA + K_{re} \Delta b,$$

olarak Eşitlik (5.22)'de  $z$  yüksekliğinde her element için kesme katsayıları, değişen helis ve normal talaş ve eğik açılar nedeniyle farklıdır [2,23].

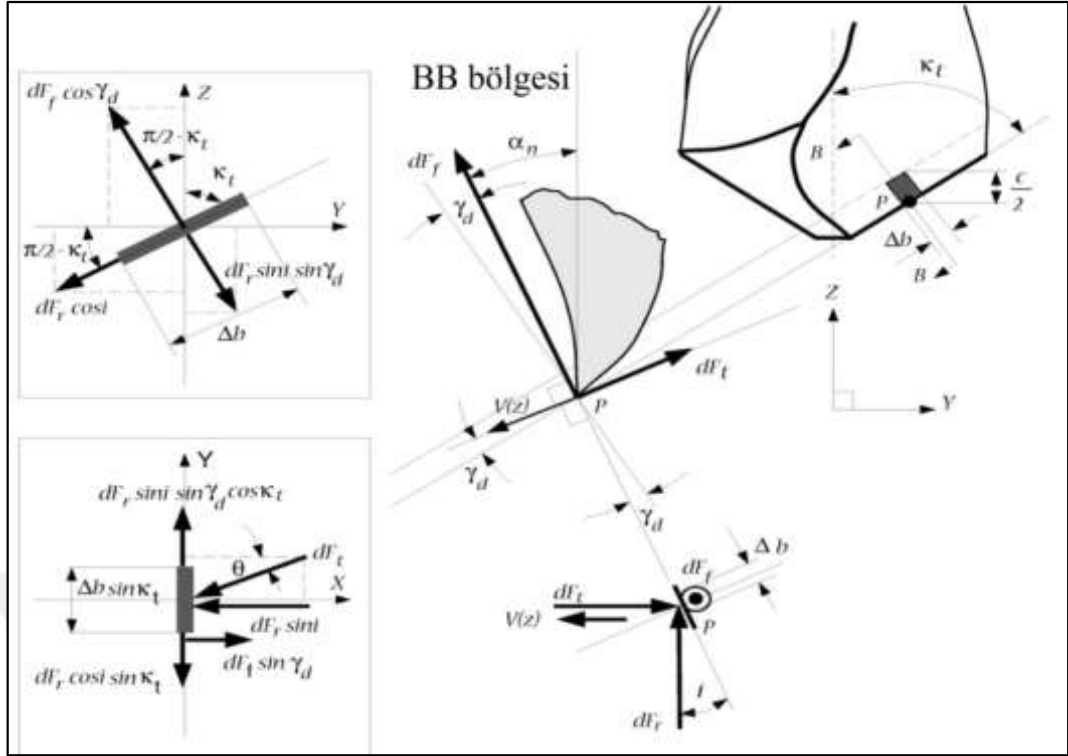
Deneysel olarak değerlendirilen kesme kenarı sabitleri  $K_{te}$ ,  $K_{fe}$  ve  $K_{re}$  olup;  $K_{tc}$ ,  $K_{fc}$  ve  $K_{rc}$  ise teorik olarak hesaplanan sabitlerdir. Eksenel kesme kuvveti sabiti  $K_{fc}$  olarak, radyal kesme kuvveti sabiti  $K_{rc}$  olarak ve teğetsel kesme kuvveti sabiti  $K_{tc}$  olarak tanımlanmaktadır [2,23].

Kesme kuvveti elementlerinin  $dF_t$ ,  $dF_f$  ve  $dF_r$  olarak tanımlanan bileşenleri,  $x$ ,  $y$  ve  $z$  doğrultularında Şekil 5.5'te verilmiştir ve Eşitlik (5.23)'teki gibi ifade edilmiştir [2];

$$dF_x(z) = [dF_f \sin \gamma_d - dF_t \cos \theta - dF_r \sin i]$$

$$dF_y(z) = [dF_r (\sin i \cdot \sin \gamma_d \cdot \cos \kappa_t) - dF_f \cos \gamma_d \cos \kappa_t - dF_t \sin \theta] \quad (5.23)$$

$$dF_z(z) = [dF_f \cos \gamma_d \cdot \sin \kappa_t - dF_r (\cos i \cdot \cos \kappa_t + \sin i \cdot \sin \gamma_d \cdot \sin \kappa_t)]$$



Şekil 5.5. Kesme kuvvetinin doğrultuları

Delik delme işleminde, tüm kesme ağzının elemanlarının toplamıyla toplam kesme kuvveti ve tork elde edilebilir. İki kesme ağzılı kesici takım ile elde edilen toplam kesme kuvveti Eşitlik (5.24)'te ve tork aşağıdaki Eşitlik (5.25)'te verilmiştir [2,23];

$$KUVVET_{ii} = 2 \sum_{m=1}^M dF_z(z) \quad (5.24)$$

$$TORK_{ii} = 2 \sum_{m=1}^M dF_t(z) \cdot r(z) \quad (5.25)$$

Kesme kenarı ve radyal kuvvetlerin toplanması ile delme işlemindeki toplam kesme kuvveti Eşitlik (5.26)'da verilmiştir [23,34];

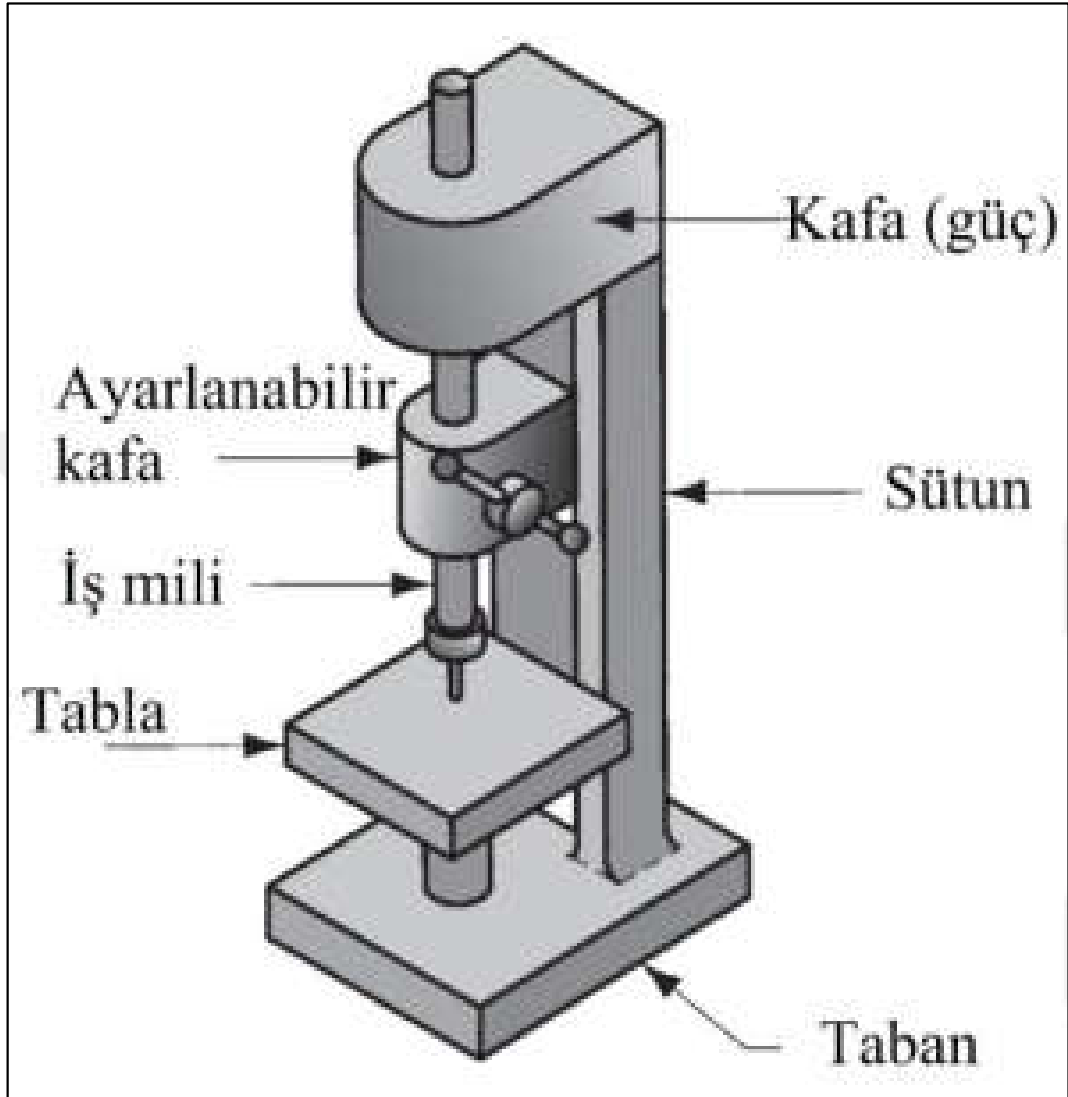
$$KUVVET = KUVVET_i + KUVVET_{ii} \quad (5.26)$$

Radyal kesme kenarı tarafından üretilen tork ihmal edilebilir [23].

### 5.5. Matkap Tezgahları

Delik delme işlemi için kullanılmakta olan standart makineye matkap tezgahı denir. En temeli ve yapılan deneylerde de tercih edilen sütunlu matkap olmak üzere çeşitli matkap tipleri bulunmaktadır. Sütunlu matkap, zemine sabitlenir ve iş parçasını tutmak

için bir tabla, matkap ucu için tahrikli iş milinden oluşan bir delme kafası ve destek için bir taban ve sütundan oluşmaktadır. Dik sütunlu matkap Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

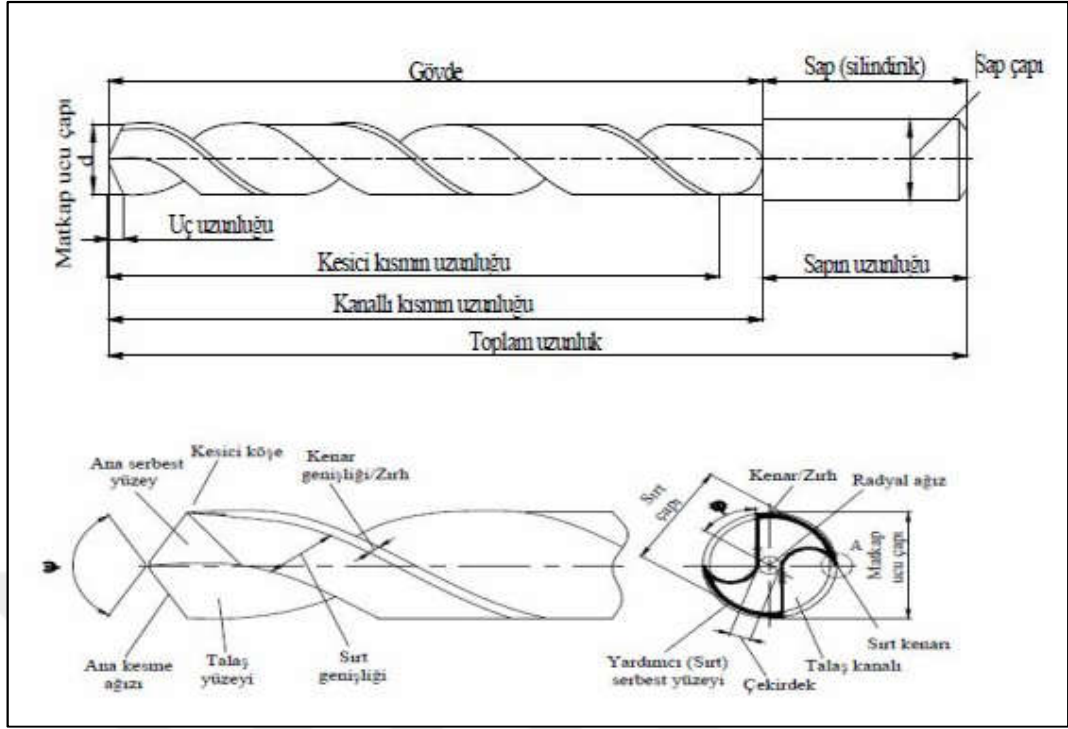


Şekil 5.6. Dik sütunlu matkap [19]

## 5.6. Delik Delme İşleminin Değişkenleri

### 5.6.1. İşleme takımı geometrisi ve malzemesi

Kesici takım geometrisi, delik delme işlemindeki temel donanımdır. Matkapların genel bölümleri Şekil 5.6'da verilmiştir. Matkap uçlarında, kanal formu önemli bir yere sahiptir. Matkap uçlarındaki kanalların formu, talaşı ve ısıyı, talaşlı imalat yapılan bölgeden uzaklaştırmayı sağlamaktadır [30].



Şekil 5.7. Matkapların genel bölümleri [18]

Kesici takım geometrisi, işlenmek istenen malzemenin tipine ve istenen delik kalitesine uygun seçilmelidir. Kesici takımlar, tek kesme kenarına veya birden çok kesme kenarına sahip olabilir. Tek kesme kenarlı takımlar tornalama, delik işleme ve planyalama işlemlerinde kullanılmaktadır. Çok kesme kenarlı takımlar ise delik gelme, diş açma, frezeleme işlemlerinde kullanılır. Yapılan deneysel çalışmada, helisel matkap tercih edilmiştir [19].

Standart helisel matkap geometrisinde, matkap gövdesinde iki adet spiral talaş kanalı bulunmaktadır. Bu talaş kanallarının açısı helis açısı olarak adlandırılmaktadır. Yaygın olarak, helis açısı  $30^\circ$ 'dir. Bu kanallar, delik delme işlemi anında çıkan talaşın geçmesini sağlar.

Helisel matkap uçlarında kesme işlemi karmaşıktır. Kesme kenarlarında, merkeze olan uzaklığa dayalı olarak kesme hızında farklılıklar olmaktadır. Bu da kesme verimini değiştirmektedir. Kesme verimi, matkabin dış çapında en fazla olurken, merkezde ise en az seviyede olmaktadır [19].

Talaşın atılması işlemi, delme işlemlerinde problem çıkarabilmektedir. Talaş kaldırma işlemi, delik içerisinde en alt noktada gerçekleşir ve talaş kanalı ile dışarıya atılır. Bu

durumda, talaşın dışarıya atılmasına olanak sağlayacak şekilde açıklık olmalıdır. Talaş, iş parçasından dışarıya atılırken kanalın yüzeyine kuvvet uygular. Bu nedenle, talaş ile kesici kenarın talaş yüzeyi arasındaki metal kesmede oluşan sürtünmeye ek olarak, matkap ucunun dış çapı ile yeni oluşan delik arasındaki sürtünme de oluşmaktadır. Bu durum, hem matkap ucunun hem de iş parçasının sıcaklığı artırır. Talaşın, matkap ucunun ilerlemesine ters yönde hareket etmesi nedeniyle, sürtünme ve ısınmayı azaltabilmek için delme işleminin olduğu bölgeye soğutma sıvısının verilmesi zordur. Talaşın atılabilmesi gerektiğinden ve sıcaklıktan dolayı delinecek deliğin boyu, helisel matkabın çapının dört katı olarak sınırlandırılmıştır. Bazı helisel matkap uçları, matkap uzunluğu boyunca iç deliklere sahiptir ve bu sayede kesme sıvısını matkabın kesme noktasına kadar taşıyabilmektedir [19].

Tablo 5.1. Kesici takım malzemelerinin uygun kesme hızları ve yaklaşık ilk kullanım tarihleri [19]

Takım Malzemesi	Kullanılmaya Başlandığı Yıl	İzin Verilen Kesme Hızı	
		Çelik Olmayan Kesim m/dk	Çelik Kesim m/dk
Yalın karbon çeliği	1800'ler	10'un altında	5'in altında
Yüksek hız çeliği	1900	25-65	17-33
Döküm kobalt alaşımları	1915	50-200	33-100
Sinterlenmiş karbürler	11930	330-650	100-300
Sermetler (TiC)	1950'ler		165-400
Seramikler (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1955		330-650
Sentetik elmaslar	1954, 1973	390-1300	
Kübik bor nitrür	1969		500-800
Kaplamalı karbür	170		165-400

Kesici takımın özellikleri, delik delme işlemindeki en önemli parametrelerden bir tanesidir. Metalleri işlenmesi, uzun yıllardır araştırmacıların ilgilendiği konulardan birisidir. Günümüzde kesici takımlarda çok fazla çeşitlilik mevcuttur. Tablo 5.6'da farklı takım malzemelerinin ortaya çıktığı yılları ve kullanılabildikleri en yüksek kesme hızları verilmiştir [19].

Kesici takımların, kesme işlemleri esnasında verimli bir şekilde çalışabilmesi için üç ana özellik gereklidir. Bunlar [19];

1) Tokluk: Kesici takımın malzemesinin, kullanılamaz hale gelmeden enerji sönmeme kabiliyetidir. Kesici takımın yüksek tokluk değerine sahip olması, takımın

kırılarak kullanılmayacak hale gelmesini önlemek için gereklidir. Tokluk genellikle malzemenin mukavemet ve sünekliğinin birleşimi olarak tanımlanmaktadır.

2) Sıcak sertlik: Malzemenin yüksek sıcaklıklar altında sertlik değerini koruyabilme kabiliyetidir. Bu takımın çalışması esnasında yüksek sıcaklık koşullarında gereklidir.

3) Aşınma direnci: Kesici takım malzemesinin çizikli aşınmaya karşı direnci için en önemli özellik sertliktir. Kesici takım malzemelerinin tümü sert olmalıdır. Bununla birlikte, takımın aşınma direncini etkileyen başka özellikler de vardır. Kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, pürüzsüz yüzeyin sürtünme katsayısı daha düşük olacağından önemlidir. Ayrıca, işlenecek malzeme ile kesici takımın kimyasal uygunluğu ve kesme sıvısının kullanılıp kullanılmayacağı da aşınmada etkilidir.

Kesici takım malzemelerine bakıldığında, yüksek hız çeliklerinin alüminyum işlemede verimli olduğu görülmektedir. Yapılan birçok araştırmada, yüksek hız çeliklerinin kullanıldığı gözlenmiştir [35]. Bu nedenle deneysel çalışmada kullanılan matkap uçlarından bir tanesi yüksek hız çeliği olarak seçilmiştir.

### **5.6.2. Kesme hızı**

Delik delme işleminde kesme hızı, matkabın dış çapının yüzeyindeki hızdır. Kesici takımlarda kullanılması gereken kesme hızları, kesici takım üreticisi tarafından önerilmektedir. Bu öneriler, işlenecek malzemenin cinsi, talaş kaldırma miktarı gibi özelliklere göre belirlenmektedir. Kesme hızının artması, takım ömründe kısalmaya neden olacaktır. Kesme hızının düşük olması ise işlem süresini arttıracaktır [19,30].

### **5.6.3. İlerleme hızı**

Kesici takımın, işlenecek parça üzerinde bir devirde yapmış olduğu ilerleme mesafesi, ilerleme hızı olarak ifade edilmektedir. İlerleme miktarı ve kaldırılan talaşın derinliği, talaşın kesitini etkilemektedir. İlerleme miktarının uygun değerde kullanılması, takım ömrünü uzatacaktır. İlerleme miktarındaki artış, kesme kuvvetinin de artmasına neden olmaktadır [30,36].

#### **5.6.4. Kesme sıvısı**

Talaşlı imalat esnasında kullanılan soğutma sıvıları, takımın ve malzemenin sıcaklığının artmasını engellemektedir. Takımı ve iş parçasını soğutmasını sağlamak ile birlikte, diğer işlevleri aşağıdaki gibidir [18];

1. Takımın ve iş parçasının soğutmasını sağlamak,
2. İş parçasının yüzeyinin yağlanması ve kayganlığın artmasını sağlamak,
3. İşleme sonrasında oluşan çapağın yapışmasını engellemek ve talaşı uzaklaştırmak,
4. Kaynak oluşumuna engel olmak,
5. Kesme kuvvetini azaltarak, güç harcamasını azaltmak,
6. Korozyon oluşumunu engellemek,
7. Kesici takım verimliliğini arttırmak ve ömrünü uzatmak,
8. İşleme sonrası oluşan talaş tipini değiştirmek.

Kesici takımın hareketi ile takımın ucunda metalin plastik deformasyonundan ve takım ile talaş ara yüzeyi boyunca kayan talaşın sürtünmesinden dolayı ısı oluşmaktadır [37].

#### **5.6.5. Tezgah ve özellikleri**

Delik delme işlemi, çeşitli makine ve ekipman ile yapılabilmesine rağmen, endüstride çok kullanılması nedeniyle delik delme işlemi için geliştirilen makineler mevcuttur. Bunlar başlıca el matkapları, masa matkapları, radyal matkap, çok milli matkap tezgahı, sütunlu matkap ve yatay delik delme makineleridir [30].

#### **5.6.6. İş parçası ve özellikleri**

Talaşlı imalat yöntemi ile işlenecek parçaların genel tanımı iş parçası olarak verilmiştir. İş parçasını şekillendirmek için tasarımdan başlayıp şekillendirilen bir işlem akışı mevcuttur. Çeşitli talaş kaldırma işlemlerine göre kesici takım hareketli veya iş parçaları ile birlikte ikisi de hareketli olabilir [30].

#### **5.7. İşleme Takımı Ömrü**

Talaşlı imalatta oluşan yüksek kesme kuvvetleri ve sıcaklıklar, işleme takımının ömrünü etkileyen başlıca parametrelerdir. Kesme kuvvetinin çok yüksek değerlere ulaşması, kesici takımın kırılmasına yol açar. Kesme sıcaklığının artması ise takım



malzemesinin yumuşamasına neden olmaktadır. Bu da takımın verimliliğini düşürmektedir. Kesici takımın kırılmaması veya sıcaklık artışı olmaması durumlarında ise kesici takım işleme yaparken doğal aşınmaya uğrar. Bu da takımın ömrünü azaltmaktadır [19].

Kesme kuvveti artışı nedeniyle kesici takımın kırılması veya sıcaklık artışından kaynaklanan bozulmalar, takım ömrünün doğal ömründen önce bitmesine neden olur. Kesici takımın uzun süre kullanılması, maliyetin azalmasını sağlayacağından dolayı, kesici takımın sürekli ve yavaş olarak aşınarak kullanılamaz hale gelmesi tercih edilmektedir [19].



## 6. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Delik delme işleminin en çok tercih edilen talaşlı imalat yöntemlerinden bir tanesi olması nedeniyle, literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Malzeme, kesici takım, kesme şartları gibi değişkenler bu çalışmaların her gün artmasını sağlamaktadır. Literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Yarar yapmış olduğu çalışmada, AA6061 malzemesinin ultrasonik talaşlı delinmesinde, konvansiyonel yönteme göre kesme kuvvetlerini ve delik yüzey kalitesini analiz etmiştir. Yapılan deneylerde, AA6061 malzemesine T1 ve T6 ısıl işlemleri uygulamıştır. HSS-G ve HSS-G TiN olmak üzere iki farklı matkap ucu kullanmıştır. Konvansiyonel yönteme göre delik delmede üç farklı ilerleme hızı ve üç farklı kesme hızı kullanırken; ultrasonik titreşimli delik delmede, sabit ilerleme hızı, üç farklı dönme hızı, üç farklı titreşim frekansı ve sabit genlik kullanmıştır. Yapılan çalışmada soğutma sıvısı kullanmamıştır. Elde edilen sonuçlara göre, T1 ısıl işlemler malzemenin konvansiyonel delinmesinde elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri T6'ya göre daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. HSS-G TiN ile elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. İlerlemenin artması durumunda kesme kuvvetlerinin arttığı, yüzey pürüzlülüğünün düştüğü sonucuna varmıştır. Kesme kuvvetleri ile yüzey pürüzlülüğünün arttığını gözlemlemiştir. Ultrasonik titreşim ile delik delme işleminin, konvansiyonel yönteme göre delmede elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarını iyileştirdiğini elde etmiştir [20].

Bayraklılar yapmış olduğu çalışmada, farklı kesici takımlar ile AA6082 malzemesinin performansını incelemiştir. HSS-G, HSS-G TiN ve HSS-G Co takımları ile yaptığı çalışmada en iyi delik yüzeyi kalitesi HSS-G Co ile sağlanırken; en kötü delik yüzeyi kalitesi ise HSS-G TiN ile elde edilmiştir. Ayrıca, kesme kuvveti değerlerinde elde edilen artışın, delik yüzeyi kalitesini de doğru orantılı etkilediği görülmüştür [2].

Batman yapmış olduğu çalışmada, 2011-T6 alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin delik kalitesine etkisini incelemiştir. Yapılan deneyde, dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme miktarı ve tek bir takım ucu kullanmıştır. İlerleme miktarının artmasında, pürüzlülük değeriinde değişime sebep olmadığını kabul etmiştir. Fakat aksenal sapma değeriinde artışa neden olurken dairesellik değeriini düşürdüğünü gözlemlemiştir. Kesme hızının artmasında, pürüzlülük, aksenal sapma ve dairesellik değeriilerinin arttığını gözlemlemiştir. En iyi delik kalitesini 240 m/dk kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme hızı ile elde etmiştir [30].

Çakır ve arkadaşları, AA7075 ve AA6013 malzemelerinin HSS ve karbür matkaplar ile delinmesinde kesme parametrelerini incelemiştirlerdir. Çalışmada dört farklı kesme hızı ve dört farklı ilerleme değeri kullanılmıştır. Deneysel çalışmayı, tam faktöriyel tertibinde yapmış olup varyans analizi ile yorumlanmışlardır. Yapılan çalışmada, ilerleme hızının kesme kuvveti ve momentini arttırdığını gözlemlemiştirlerdir. HSS matkap ile yapılan deneylerde, kesme hızının artışının karbür matkaba göre kuvvet ve momentlerde daha fazla artışa neden olduğunu gözlemlemiştirlerdir. Aynı şartlar incelendiğinde AA7075 malzemesinin delinmesi esnasında oluşan kesme kuvvetinin, AA6013 malzemesine göre daha fazla olduğu gözlemlemiştirlerdir. Elde edilen sonuçlara göre ilerleme oranının artırılması durumunda elde edilen kuvvetine, malzemenin, kesici, kesme hızı ve ilerleme kadar etkili olmadığını belirlemiştirlerdir. Elde edilen moment değeriilerine malzeme ve kesme hızının, kesici ve ilerleme kadar etkili olmadığını belirlemiştirlerdir [35].

Haan ve arkadaşları, delik delme işleminde soğutma sıvısının etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, soğutma sıvısı kullanımının yüzey kalitesini etkileyen bir parametre olduğunu gözlemlemiştirlerdir [38].

Çaydaş ve Çelik, AA7075-T6 malzemesinin delik delme işlemindeki kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerini incelemiştirlerdir. Deneyde beş farklı ilerleme miktarı, beş farklı kesici takım uç açısı ve sabit devir sayısı kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarda, ilerleme hızının ve matkap uç açısının artması ilerleme kuvvetini ve ortalama yüzey pürüzlülüğünü arttırdığını gözlemlemiştirlerdir. İlerleme hızının ve matkap uç açısının artmasında takım uç sıcaklıklarının azaldığını gözlemlemiştirlerdir [36].

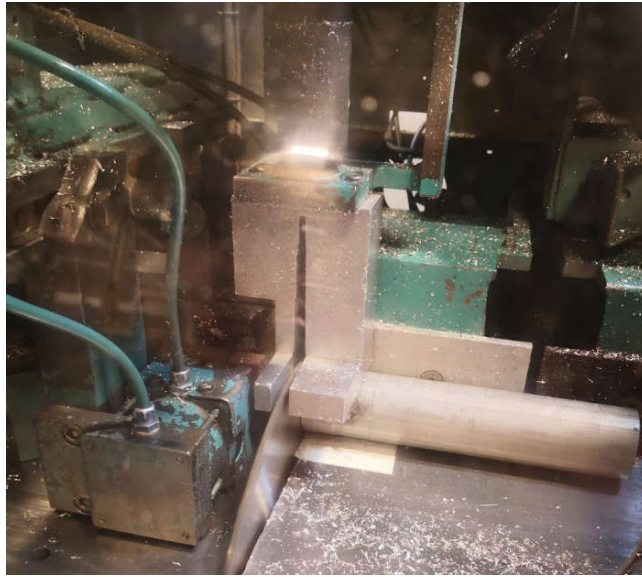
## 7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan çalışmada ısıl işlem görmemiş 7075-F alaşımı ve ısıl işlem görmüş 7075-T4, 7075-T6 ve 7075-T73 alaşımları kullanılmıştır. Malzemeler  $\varnothing 60$  mm çubuk profili olarak ekstrüzyon yöntemi ile imal edilmiştir. Ekstrüzyon işlemi esnasında çekilen fotoğraf Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1.  $\varnothing 60$  mm çubuk profilin ekstrüzyon yöntemi ile üretilmesi

Üretilen çubuk profili, testerede 20 mm olarak kesilmiştir. Testere ile kesme esnasında çekilen fotoğraf Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2. Deney numunelerinin kesilmesi

Malzemeler T4, T6 ve T73 olacak şekilde ısıl işlem uygulanmıştır. Termik işlemi öncesi çekilen fotoğraf Şekil 7.3’de verilmiştir.



Şekil 7.3. Termik işlemi

AA7075 malzemesinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri 1. bölümde anlatılmıştır. AA7075 malzemesinin termik bilgileri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. AA7075 malzemesinin termik bilgileri [39]

Uygulanan Isıl İşlem	Isıl İşlem Reçetesi
F	Ekstrüzyon işlemi ile elde edildiği gibidir.
T4	Ekstrüzyon işlemi sonrasında 460-470°C’de 3-4 saat solüsyona alınmıştır. Daha sonra kararlı sertlik elde edilene kadar doğal yaşlandırılmıştır.
T6	Ekstrüzyon işlemi sonrasında 460-470°C’de 3-4 saat solüsyona alınmıştır. Daha sonra 120-130°C’de 20-30 saat yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.
T73	Ekstrüzyon işlemi sonrasında 460-470°C’de 3-4 saat solüsyona alınmıştır. Daha sonra 120-130°C’de 8-12 saat ve 170-180°C’de 10-24 saat aşırı yaşlandırılmıştır.

Hazırlanan ısıl işlemsiz ve ısıl işlemlili alüminyum profillerin, üç farklı noktadan ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.2. AA7075 malzemesinin sertlik değerleri

Uygulanan Isıl İşlem	Ortalama Sertlik Değeri (HB)
F	99
T4	142
T6	177
T73	168

Sertlik kontrolü ile numuneler işlemeğe hazır hale getirilmiştir. Sertlik kontrolü esnasında çekilen fotoğraf Şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4. Numunelerin sertliklerine bakılması işlemi

Matkap tezgahında numunelerin delinmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Delme işlemi esnasında delik sıcaklığını gözlemlemek için termal kamera kullanılmıştır. Matkap ile delik delme işlemi sırasında çekilen fotoğraf Şekil 7.5'te verilmiştir. Kesme kuvvetini ölçmek için bağlama aparatının altına dinamometre sabitlenerek ölçümler elde edilmiştir. İşleme sonrası deliklerin pürüzlülük kontrolünün yapılabilmesi için parçalar tel erozyonda kesilmiştir.



Şekil 7.5. Hazırlanan numunelerin matkap ile delik delme işlemi

### 7.1. Deney Ekipmanlarının Tanıtımı

Ø60 mm çubuk profiller, 62 MN gücündeki SMS MEER ekstrüzyon presinde üretilmiştir. Kullanılan ekstrüzyon makinesinin teknik özellikleri Tablo 7.3'te verilmiştir.

Tablo 7.3. 62 MN ekstrüzyon presinin teknik özellikleri

Teknik Özellik	Değer
Pres Gücü	62 MN / 6200 Ton
Pres Tipi	Önden yüklemeli- Kısa stroklu
Billet & Kovan Çapı	10"-260 mm / 14"-364 mm
Billet Boyu (min-max)	550-1600 mm
Pres Basıncı	72 kg/mm <sup>2</sup> & 56 kg/mm <sup>2</sup>
Max Çalışma Basıncı	350 bar
Max Zımba Hızı	29 mm/sn
Max Puller Hızı	70 m/dk
Max Ekstrüzyon Boyu	63 m

Çubuk profiller Kaltenbach SKL 450 NA testere tezgahında kesilmiştir. 5 mm ile 2000 mm boyunda 90 ve 45 derece arasında otomatik olarak kesim yapabilen kesim tezgahıdır.

Hazırlanan numunelere, Naberterm N 60/85HA endüstriyel termik fırınında termik işlemi uygulanmıştır.

Isıl işlemlili ve ısıl işlemsiz çubuk profillerin sertliklerine, EMCOTEST M4C 025 G3M sertlik ölçüm cihazında bakılmıştır.

Hazırlanan numuneler TOSS TU5032B matkap tezgahında delinmiştir. Deneylerde kullanılan matkap tezgahı için teknik özellikler Tablo 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.4. Matkap tezgahının teknik özellikleri [40]

Teknik Özellik	Değer
Maksimum Delme Kapasitesi	32 mm
Maksimum Kılavuz Kapasitesi	M22
Maksimum İş Mili Tabla Arası Mesafe	1195 mm
İş Mili Sütun Arası Mesafe	320 mm
Tabla Ölçüsü	500x420 mm
Tabla Dönüş Açısı	45 derece
İş Mili Koniği	MK 4
İş Mili Stroku	160 mm
İş Mili Devir Kademeleri	12 adet
İş Mili Devri	125 – 3010 dev/dk
Motor Gücü	1,5 kW
Tezgah Boyutları	835x500x1960 mm
Tezgah Ağırlığı	55 kg

Kesici takım özellikleri Tablo 7.5'te verilmiştir.

Tablo 7.5. Deneylerde kullanılan kesici takımların özellikleri

Özellikler	HSS TiN	Kaplamasız Karbür	Kaplamalı Karbür
Kaplama	TiN	Kaplamasız	ZrN
Kaplama Kalınlığı	1-4 mikron	-	1-4 mikron
Oyma Açısı	118°	118°	118°

Deneylerde HSS-TiN, kaplamasız karbür ve ZrN kaplamalı karbür olmak üzere üç farklı kesici takım kullanılmıştır (Şekil 7.6).





Şekil 7.6. Deneylerde kullanılan matkap uçları

Delme işlemi sırasında oluşan aksenal kuvvetler, matkap tablasına bağlanan dört bileşenli Kistler 9272 marka piezoelektrik delme dinamometresi (Şekil 7.7) ve Kistler 5070 A amplifikatör (Şekil 7.8) ile ölçülmüştür. Piezoelektrik dinamometreden veri aktarımı RS-232 ara yüzü ve Dynoware-Kistler bilgisayar yazılımı ile yapılmaktadır. Veri akışı, analog sinyallerin dijital sinyallere dönüştürülmesi mantığına dayalı olarak sağlanmaktadır [22].



Şekil 7.7. Kistler 9272 piezoelektrik dinamometre [41]



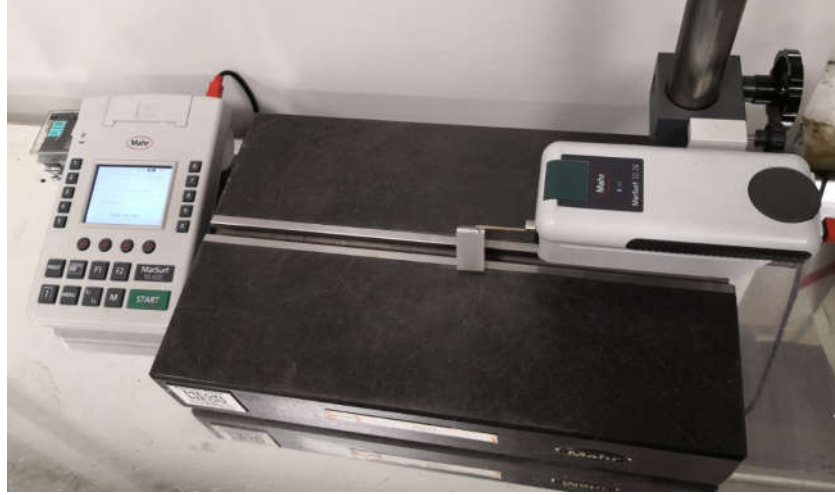
Şekil 7.8. Kistler 5070 A amplifikatör [41]

Delinen deney numunelerinin sonuçlarına LK Integra CMM ölçüm cihazında bakılmıştır (Şekil 7.9). Ölçümler Camio 4.5 programı ile sağlanmıştır.



Şekil 7.9. CMM ölçüm makinesi

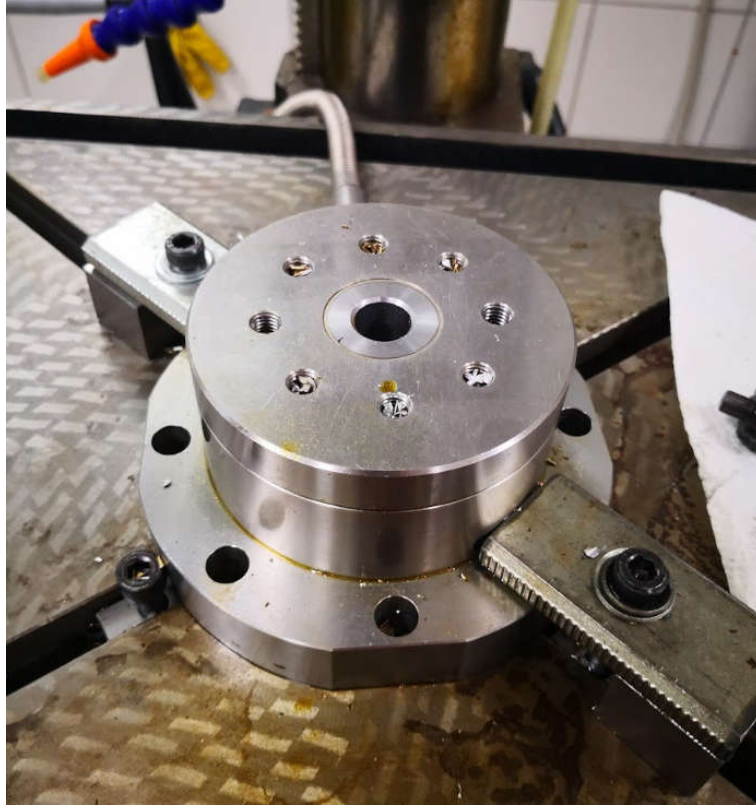
Delinen deney numunesinin yüzey pürüzlülüğü değerlerine, laboratuvar ortamında her delik için boydan boya bakılarak ortalama değerler alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, Mahr MarSurf SD26 ölçüm ünitesi ve Mahr MARSURF M400 kontrol ünitesi ile yapılmıştır (Şekil 7.10).



Şekil 7.10. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

## 7.2. Deneylerin Yapılması

Deneyler konvansiyonel yönteme göre delme işlemi olarak yapılmıştır. Delme dinamometresi, tezgah tablasına işlemeye uygun olacak şekilde sabitlenmiştir (Şekil 7.11). Delme dinamometresinin üzerine, malzemeye ve delme işlemine uygun olacak şekilde tasarlanmış aparat bağlanmıştır (Şekil 7.12).



Şekil 7.11. Matkap tezgahına delme dinamometresi bağlanması

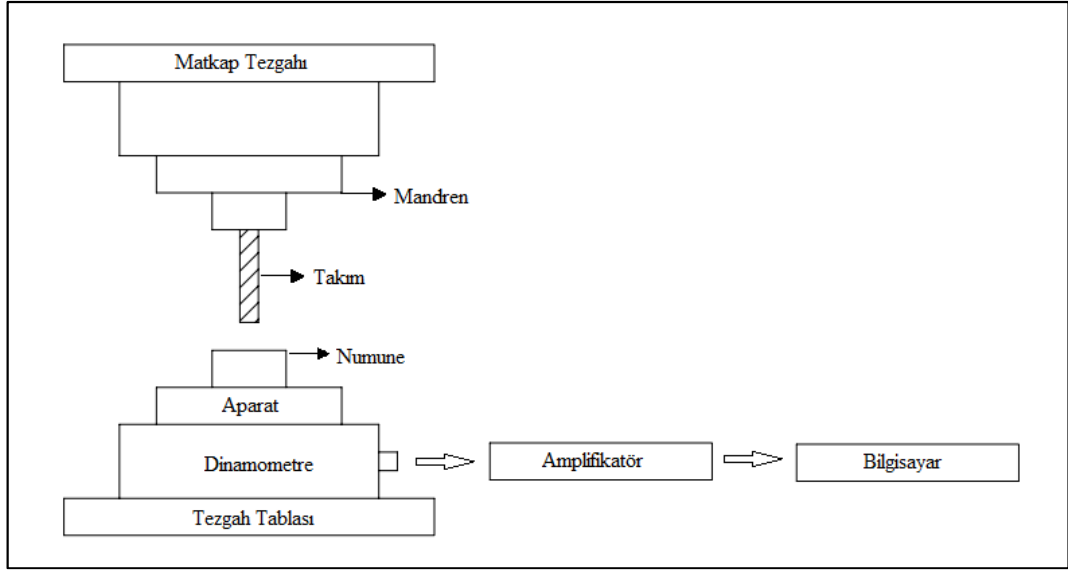


Şekil 7.12. Delme dinamometresinin üzerine işleme aparatının bağlanması

60 mm çapında ve 20 mm kalınlığında hazırlanan deney numuneleri, tezgah üzerindeki aparata bağlanarak sabitlenir. Tasarlanan deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 7.13'te, deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 7.14'te gösterilmiştir.



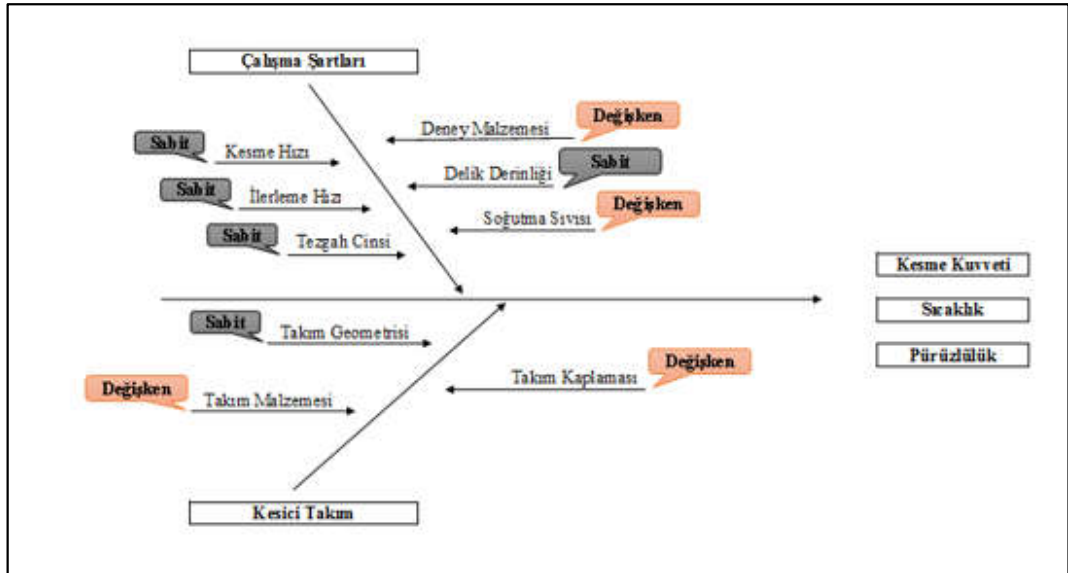
Şekil 7.13. Deney ekipmanlarının genel görünümü



Şekil 7.14. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Deneyle, soğutma sıvısı kullanılarak ve kullanılmayarak aynı şartlar altında yapılmıştır. Her iki durumda da dört farklı malzeme ve üç farklı kesici takım türü kullanılmıştır. Deneylede kesme ve ilerleme hızı sabit tutulmuştur. Kesme ve ilerleme hızları sırasıyla 1720 dev/dk ve 0,1 mm/dev olarak belirlenmiştir.

Konvansiyonel delme için sebep sonuç diyagramı Şekil 7.15'de verilmiştir.



Şekil 7.15. Konvansiyonel delme için sebep sonuç diyagramı

24 farklı delik 3 tekrar olacak şekilde delinerek toplamda 72 adet delik delinerek deney tamamlanmıştır.

### 7.3. Deney Sonuçları

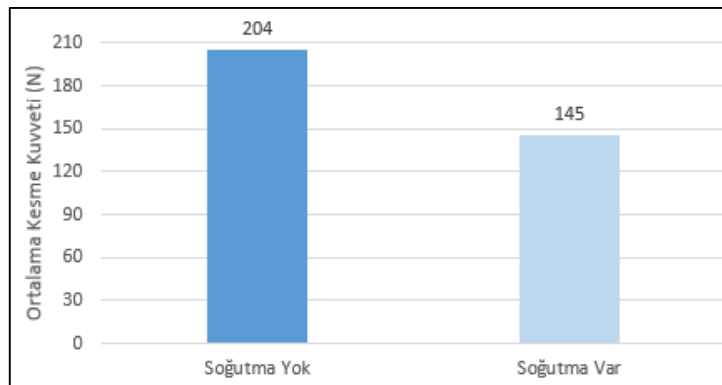
Yapılan deneyler sonucunda, delinen numunelere ait bir görüntü Şekil 7.16’da verilmiştir.



Şekil 7.16. Delinen numuneye ait bir görüntü

### 7.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 7.4.1. AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri

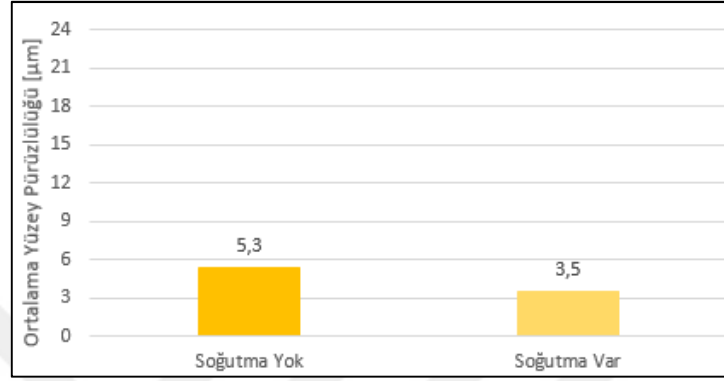


Şekil 7.17. AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-F malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde kesme kuvveti için analizi grafiği Şekil 7.17’de görülmektedir. Buna

göre; soğutma sıvısının kullanılması durumunda kesme kuvvetinde ciddi bir düşüş görülmektedir.

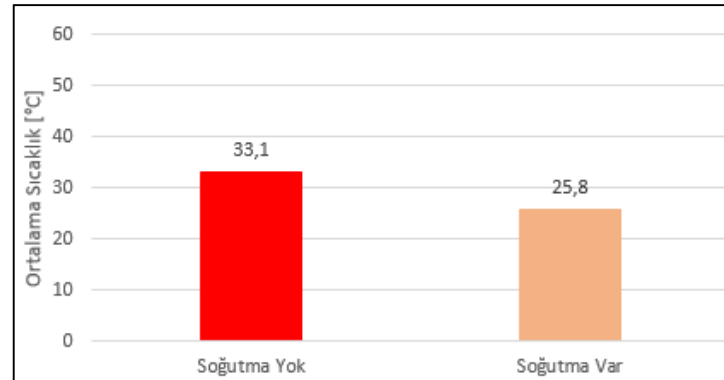
#### 7.4.2. AA7075F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.18. AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-F malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.18'de görülmektedir. Verilen grafikteki sonuçlara göre, HSS-TiN matkap ucu ile delik delme işleminde soğutma sıvısının kullanılması durumunda yüzey pürüzlülüğünde iyileşme görülmektedir.

#### 7.4.3. AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri

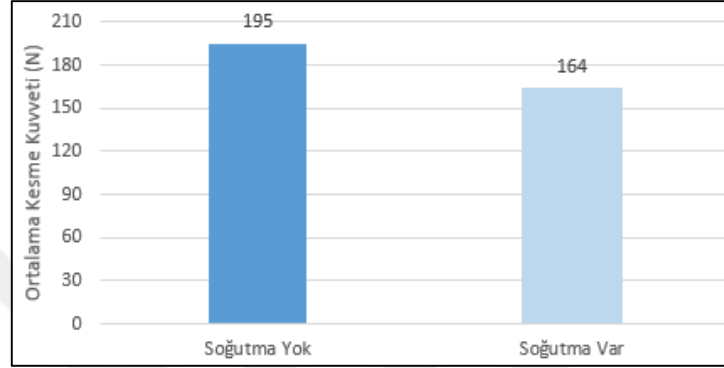


Şekil 7.19. AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-F malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.19'da görülmektedir. . Buna göre;

soğutma sıvısının kullanılmasının, matkap ucunun delikten çıktığı anda ölçülen delik sıcaklığı değerini düşürmekte olduğu söylenebilir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

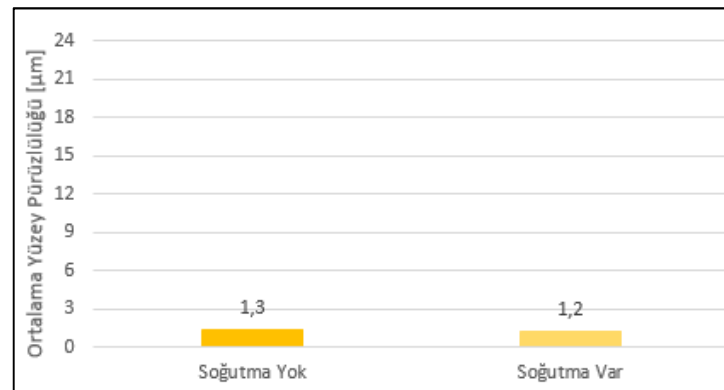
#### 7.4.4. AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.20. AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-T4 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.20'de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması durumunda kesme kuvvetinde azalma görülmektedir.

#### 7.4.5. AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri

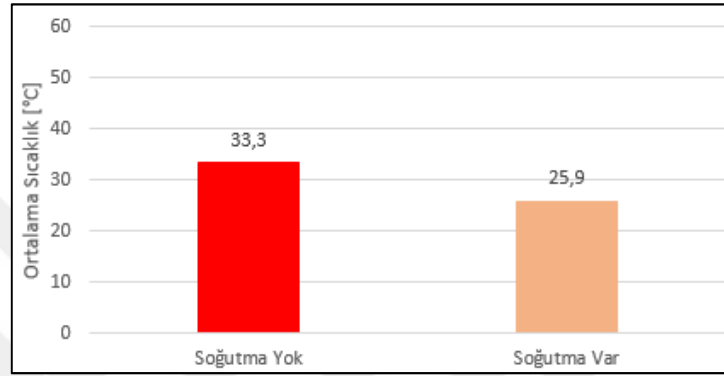


Şekil 7.21. AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği



AA7075-T4 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yönteme göre delinmesinde yüzey przllg için analiz grafiği Şekil 7.21’de görülmektedir. Buna göre; yapılan çalışmada yüzey przllg değerinde ciddi bir düşüş görülmemiştir. Malzemenin daha sert olmasının işleme kabiliyetini arttırdığı ve soğutma sıvısı kullanılmadan da düşük yüzey przllg değerini elde edildiği söylenebilir.

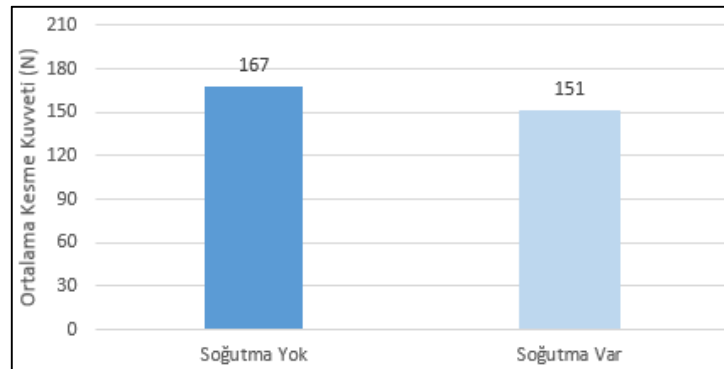
#### 7.4.6. AA7075-T4’n HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri



Şekil 7.22. AA7075-T4’n HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-T4 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yönteme göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.22’de görülmektedir. . Buna göre; soğutma sıvısının kullanılmasının, matkap ucunun delikten çıktığı anda ölçülen delik sıcaklığı değerini düşürmekte olduğu söylenebilir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

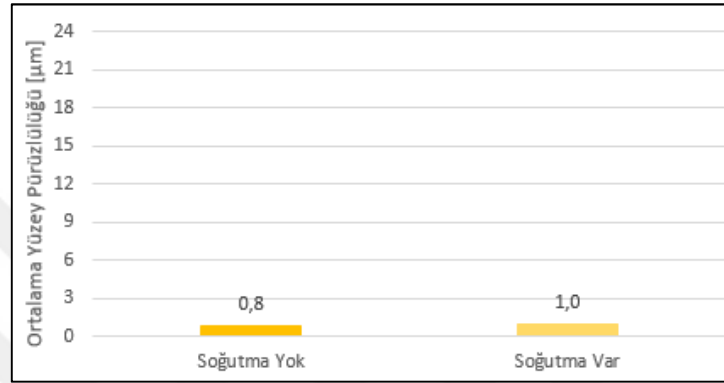
#### 7.4.7. AA7075-T6’nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.23. AA7075-T6’nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-T6 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu konvansiyonel yönteme göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.23'te görülmektedir. Buna göre; malzemenin daha sert olması nedeniyle kesme kuvveti değerinde dŐuŐ miktarının daha az olduğu görülmektedir.

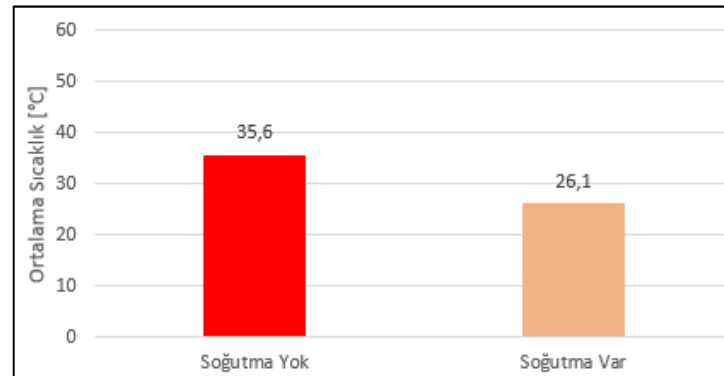
#### 7.4.8. AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.24. AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-T6 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yönteme göre delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.24'te görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması durumunda ciddi bir değişim gözlenmemiŐtir. Bu durum, malzemenin daha sert olmasından kaynaklı olarak iŐlenebilirlik kabiliyetinin arttığını göstermektedir.

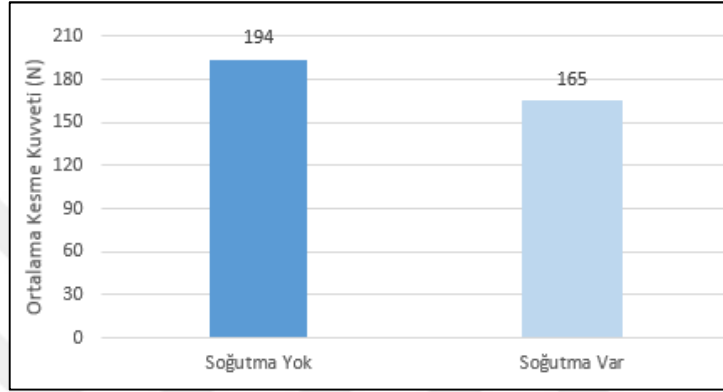
#### 7.4.9. AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri



Şekil 7.25. AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-T6 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yönteme göre delinmesinde scklk için analiz grafiği Şekil 7.25'te verilmiştir. Buna göre; soğutma sıvısının, delik scklğı değerini düşürmekte olduğu söylenebilir. Soğutma sıvısı ile delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

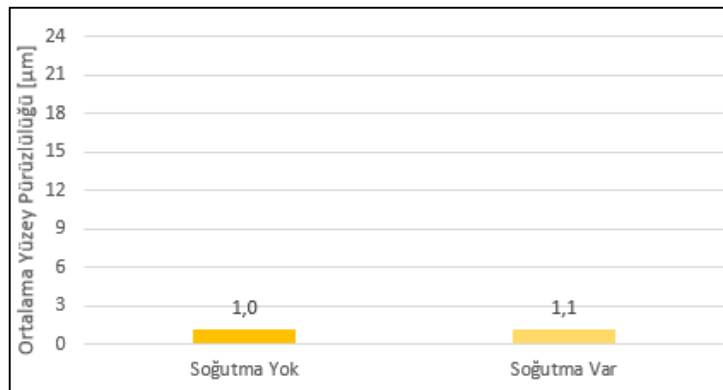
#### 7.4.10. AA7075-T73'n HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.26. AA7075-T73'n HSS-TiN matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-T73 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yönteme göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.26'da görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması kesme kuvveti değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir.

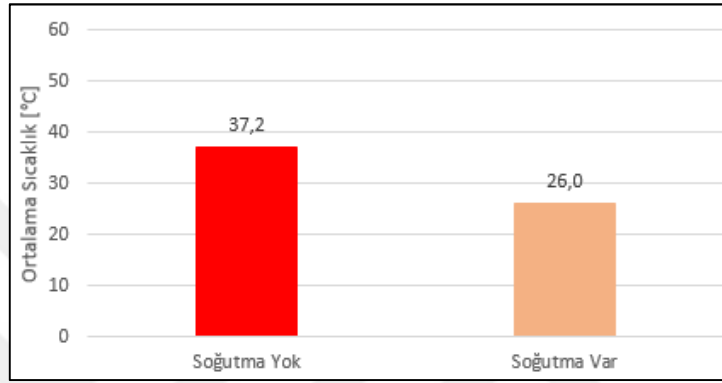
#### 7.4.11. AA7075-T73'n HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.27. AA7075-T73'n HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-T73 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yönteme göre delinmesinde yüzey przllg için analiz grafiği Şekil 7.27'de görülmektedir. Bu durumda, malzemenin sert olmasından kaynaklı olarak iŐlenebilirlik kabiliyetinin arttığı ve soğutma sıvısı kullanılmadan da benzer pürüzlülük değerlerinin elde edilebileceği söylenbilir.

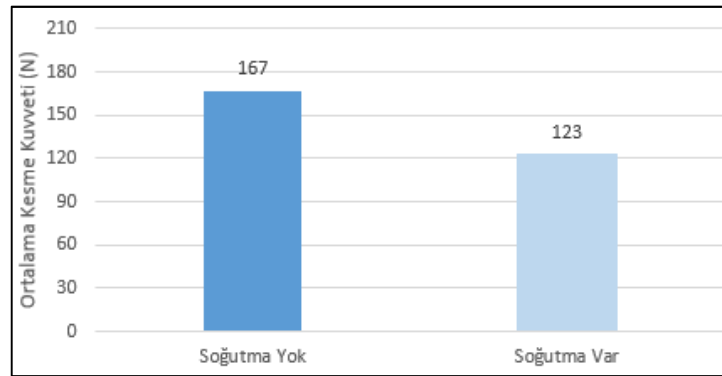
#### 7.4.12. AA7075-T73'n HSS-TiN matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri



Şekil 7.28. AA7075-T73'n HSS-TiN matkap ile delinmesinde yüzey przllg grafiği

AA7075-T73 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yönteme göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.28'de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması, delik sıcaklığı değerini düşürmekte olduğu söylenbilir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

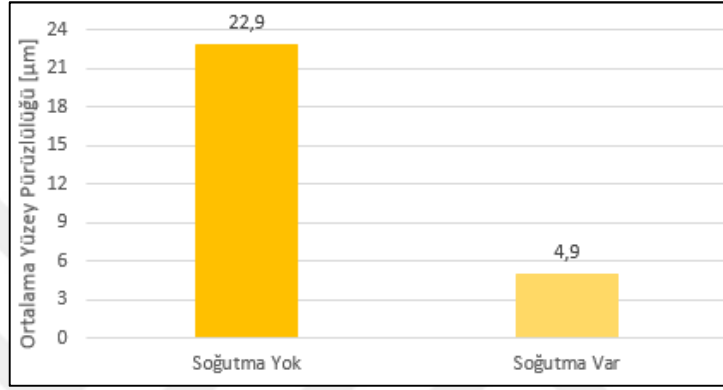
#### 7.4.13. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.29. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-F malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.29'da görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması durumunda, kesme kuvveti değerinde önemli bir azalma görülmektedir.

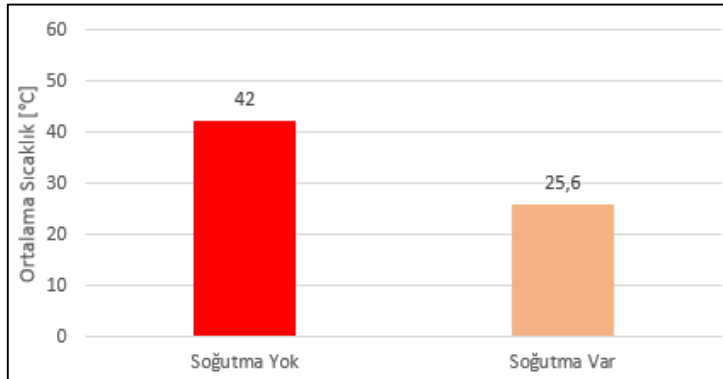
#### 7.4.14. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.30. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-F malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.30'da görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması durumunda delik yüzey kalitesinde ciddi bir iyileşme görülmektedir.

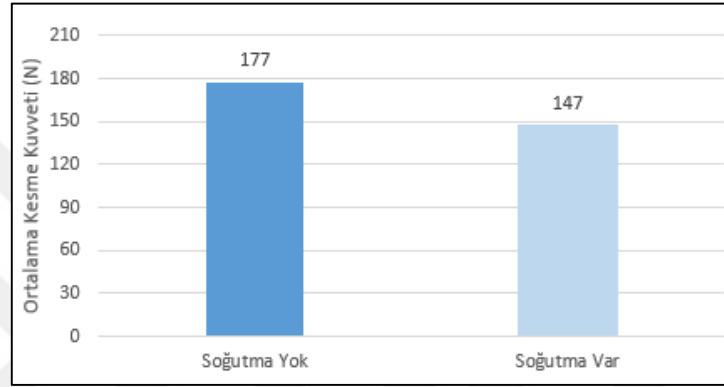
#### 7.4.15. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri



Şekil 7.31. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-F malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.31’de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılmasının, delik sıcaklığı değerini düşürmekte olduğu söylenebilir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

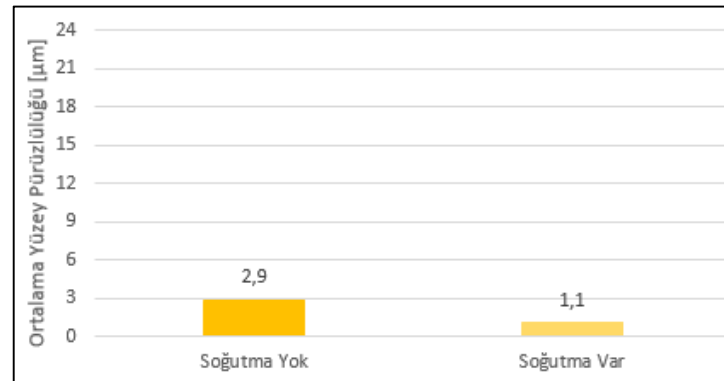
#### 7.4.16. AA7075-T4’ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.32. AA7075-T4’ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-T4 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.32’de görülmektedir. Buna göre; kesme kuvveti değerlerinde önemli bir düşüş görülmektedir.

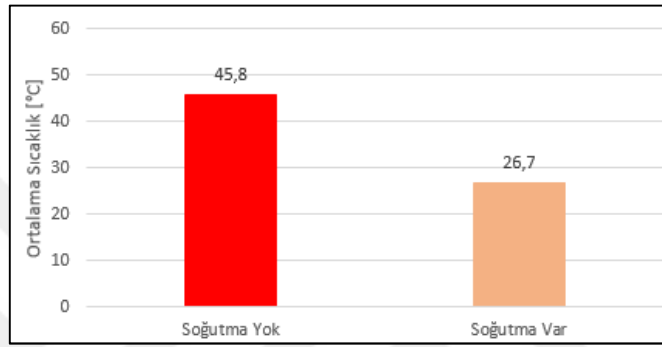
#### 7.4.17. AA7075-T4’ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.33. AA7075-T4’ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-T4 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.33'te verilmiştir. Buna göre; soğutma sıvısı kullanılmadan elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri kabul edilebilir olsa da, soğutma sıvısı kullanımından sonra yüzey pürüzlülüğü değerinde ciddi bir düşüş görülmektedir.

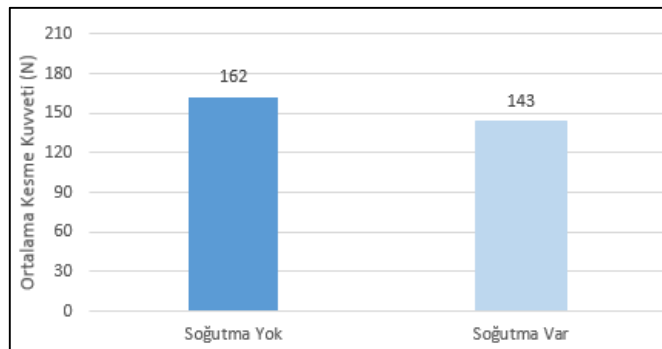
#### 7.4.18. AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri



Şekil 7.34. AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-T4 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.34'te görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısı kullanılmasının, delik sıcaklığını düşürmekte olduğu söylenebilir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

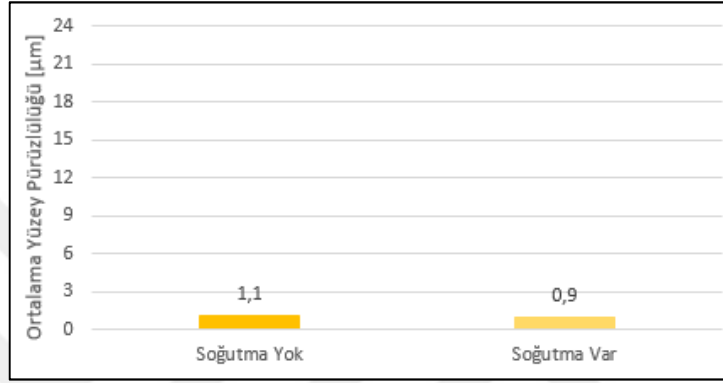
#### 7.4.19. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.35. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizi

AA7075-T6 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.35'te görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılmasının, kesme kuvveti değerlerini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir.

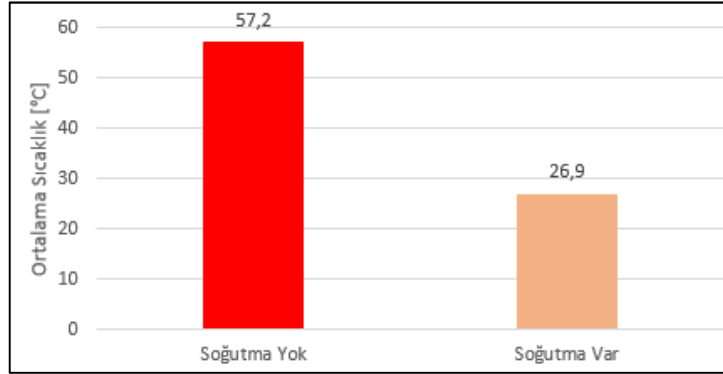
#### 7.4.20. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.36. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-T6 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.36'da görülmektedir. Buna göre; yüzey pürüzlülüğü değerlerinde kayda değer bir değişme görülmediğinden her iki durumda da delik delme işleminin uygulanabileceği söylenebilir.

#### 7.4.21. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri

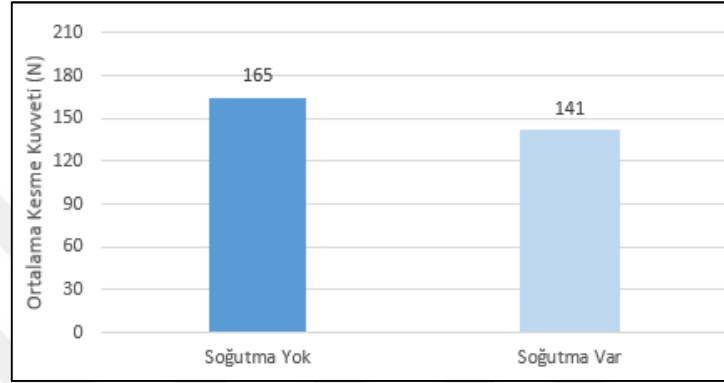


Şekil 7.37. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği



AA7075-T6 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.37'de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısı kullanılmasının, ölçülen delik sıcaklığı değerini düşürmekte olduğu, fakat delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçümün yaklaşık olduğu söylenebilir.

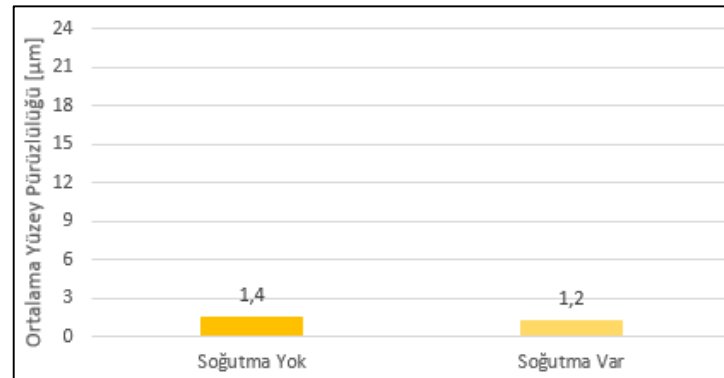
#### 7.4.22. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.38. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-T73 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.38'de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması ile kesme kuvvetinin azaldığı görülmektedir.

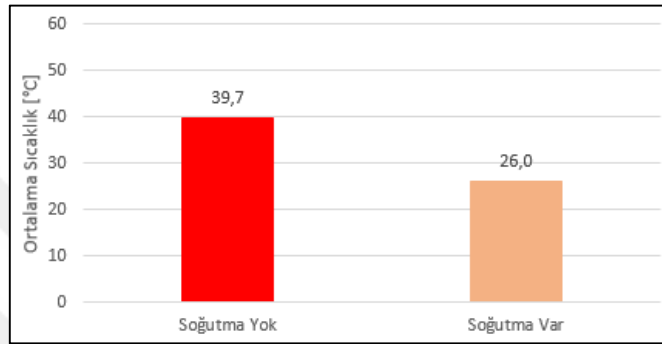
#### 7.4.23. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.39. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-T73 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.39'da görülmektedir. Buna göre; elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinde kayda değer bir değişim görülmemiştir. Her iki durumda da delik delme işleminin uygulanabileceği söylenebilir.

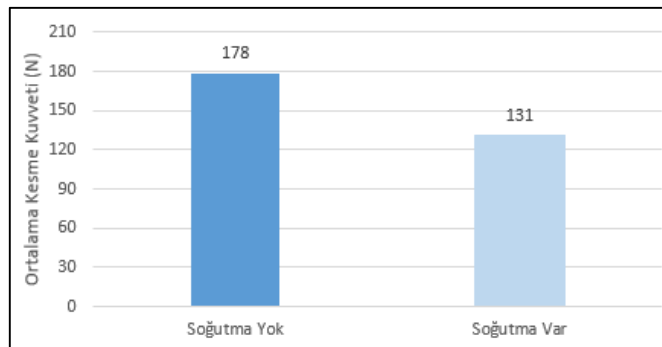
#### 7.4.24. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri



Şekil 7.40. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-T73 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.40'ta görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının, delik sıcaklığı değerini düşürmekte olduğu söylenebilir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

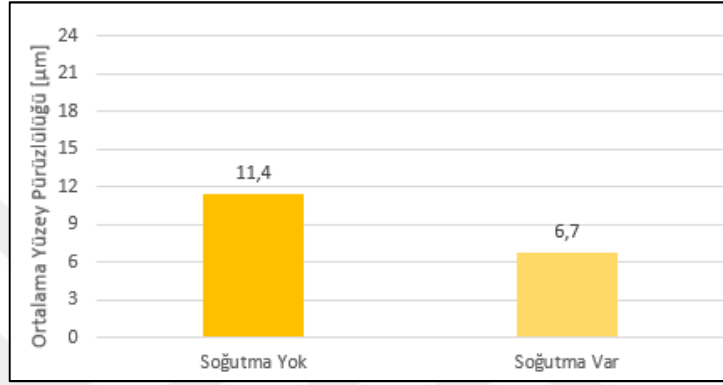
#### 7.4.25. AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.41. AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-F malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.41’de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması ile kesme kuvvetinde ciddi bir düşüş görülmektedir.

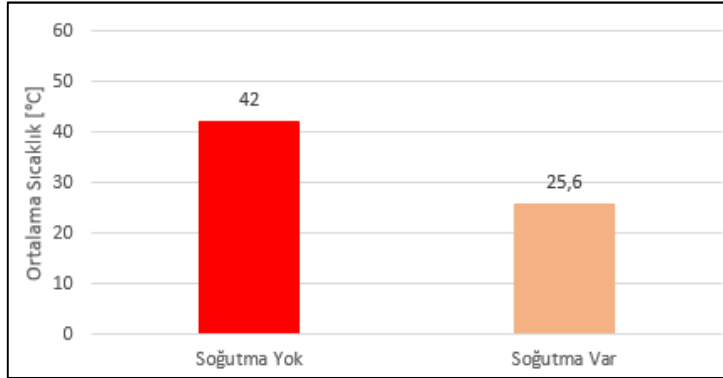
#### 7.4.26. AA7075-F’nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.42. AA7075-F’nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-F malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.42’de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısı kullanıldığında yüzey pürüzlülüğü değerinde ciddi bir düşüş olduğu görülmektedir.

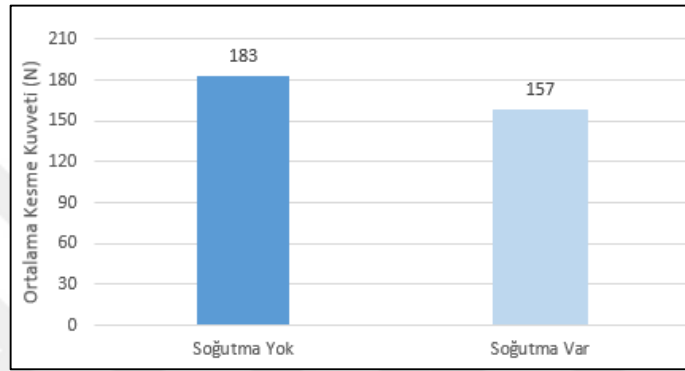
#### 7.4.27. AA7075-F’nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri



Şekil 7.43. AA7075-F’nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-F malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.43’de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının, delik sıcaklığı değerini düşürmekte olduğu söylenebilir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

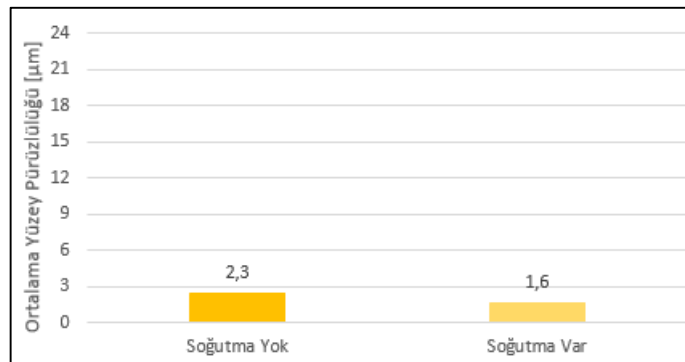
#### 7.4.28. AA7075-T4’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.44. AA7075-T4’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-T4 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.44’te görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması durumunda kesme kuvvetini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir.

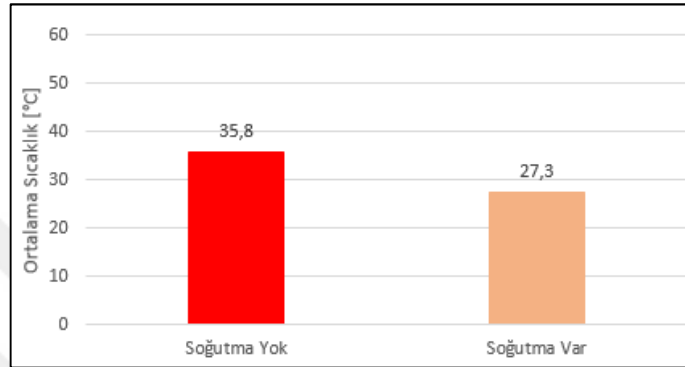
#### 7.4.29. AA7075-T4’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.45. AA7075-T4’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-T4 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.45'te görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması durumunda yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı görülmektedir.

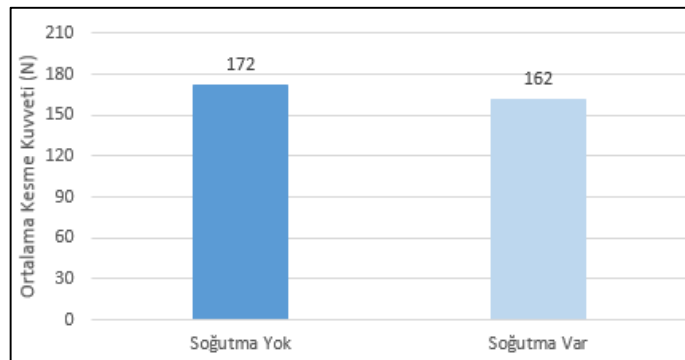
#### 7.4.30. AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri



Şekil 7.46. AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-T4 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.46'da görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılmasıyla, delik sıcaklığı değerini düşürmekte olduğu söylenebilir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

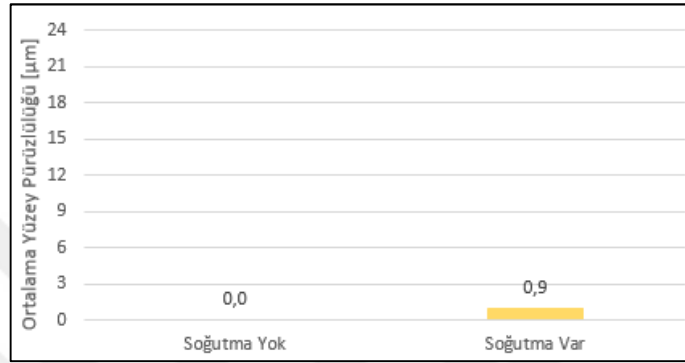
#### 7.4.31. AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.47. AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-T6 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.47’de görülmektedir. Bu durumda, soğutma sıvısı kullanılmadığı durumlarda ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinin uygun olmadığı söylenebilir.

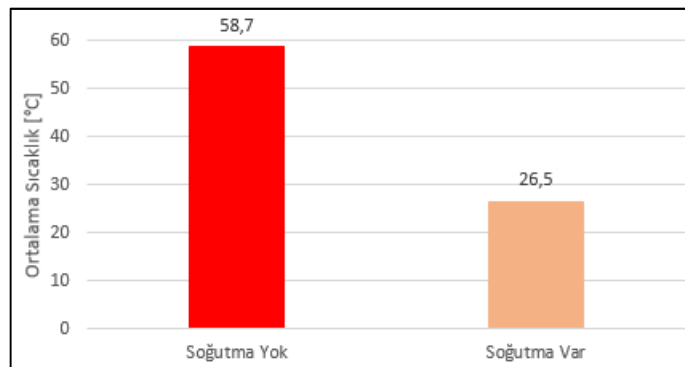
#### 7.4.32. AA7075-T6 ‘nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.48. AA7075-T6’nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-T6 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.48’de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısı kullanılmadan delme işlemi başarısız olurken soğutma sıvısı ile başarılı olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin, matkap kaplamasından kaynaklandığı söylenebilir.

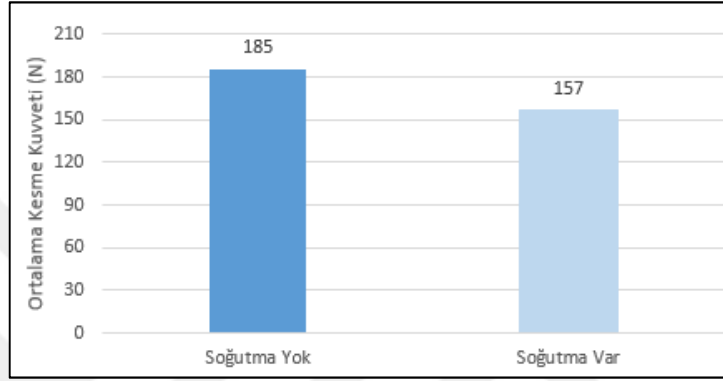
#### 7.4.33. AA7075-T6’nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri



Şekil 7.49. AA7075-T6’nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-T6 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.49’da görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanıldığında, delik sıcaklığı düşmektedir. Soğutma sıvısı kullanıldığında, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşıkştir.

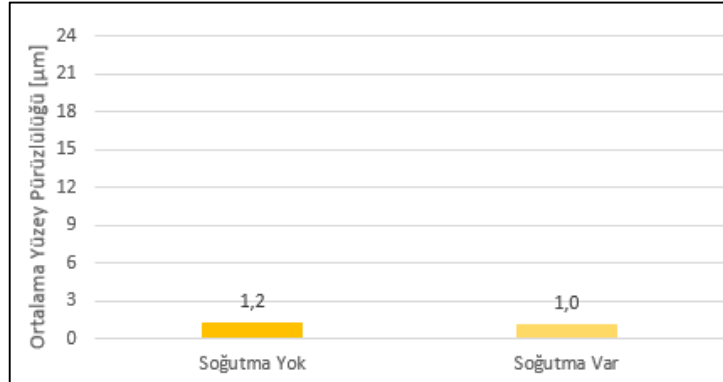
#### 7.4.34. AA7075-T73’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti analizleri



Şekil 7.50. AA7075-T73’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde kesme kuvveti grafiği

AA7075-T73 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde kesme kuvveti için analiz grafiği Şekil 7.50’de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılması durumunda kesme kuvvetinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.

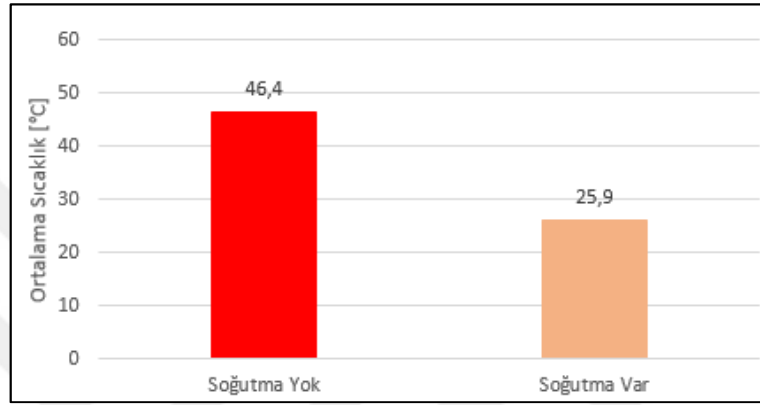
#### 7.4.35. AA7075-T73’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü analizleri



Şekil 7.51. AA7075-T73’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde yüzey pürüzlülüğü grafiği

AA7075-T73 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle delinmesinde yüzey pürüzlülüğü için analiz grafiği Şekil 7.51’de görülmektedir. Buna göre; elde edilen değerler arasında kayda değer bir değişim görülmesi de, soğutma sıvısının yüzey pürüzlülüğü değerini düşürdüğü söylenebilir.

#### 7.4.36. AA7075-T73’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık analizleri













Şekil 7.52. AA7075-T73’ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile delinmesinde sıcaklık grafiği

AA7075-T73 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle delinmesinde sıcaklık için analiz grafiği Şekil 7.52’de görülmektedir. Buna göre; soğutma sıvısının kullanılmasının, matkap ucunun delikten çıktığı anda ölçülen delik sıcaklığı değerini düşürmekte olduğu söylenebilir. Soğutma sıvısının kullanıldığı durumlarda, delik yüzeyi net görülemediğinden dolayı ölçüm yaklaşık olarak yapılmıştır.

#### 7.4.37 Delme sırasında oluşan talaş yapısının analizi

Delik delme işleminde, delme işleminde sonra oluşan talaş yapıları delik kalitesi ve kesme kuvveti hakkında fikir yürütmemizde yardımcı olmaktadır. Delme işleminde elde edilebilecek talaş yapıları Şekil 7.52’de gösterilmiştir.



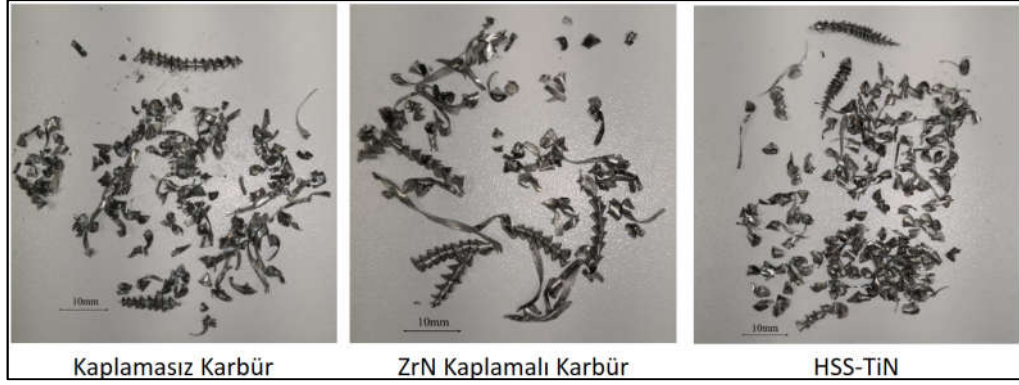
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
									
Şerit talaş	Karışık talaş	Sarmal talaş	Helisel talaş	Uzun borumsu talaş	Kısa borumsu talaş	Spiral borumsu talaş	Spiral talaş	Uzun virgül talaş	Kısa virgül talaş
						iyi			
			Kabul edilir						
İstenilmeyen									

Şekil 7.53. Talaş şekillerinin sınıflandırılması [2]

AA7075-F malzemesinin, Şekil 7.54'te ve Şekil 7.55'te sırasıyla soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları görülmektedir. Buna göre; Şekil 7.53'te gösterilen sınıflandırmaya göre istenmeyen talaş olarak belirtilen talaş tipine rastlanmamıştır. Talaş yapıları birbirine yakın ve kabul edilebilir talaş yapısındadır.



Şekil 7.54. AA7075-F'nin soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde oluşan talaş yapıları



Şekil 7.55. AA7075-F'nin soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları

AA7075-T4 malzemesinin, Şekil 7.56'da ve Şekil 7.57'de sırasıyla soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları görülmektedir. Buna göre; Şekil 7.53'te gösterilen sınıflandırmaya göre istenmeyen talaş olarak belirtilen talaş tipine rastlanmamıştır. Talaş yapıları birbirine yakın ve kabul edilebilir talaş yapısındadır.



Şekil 7.56. AA7075-T4'ün soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde oluşan talaş yapıları

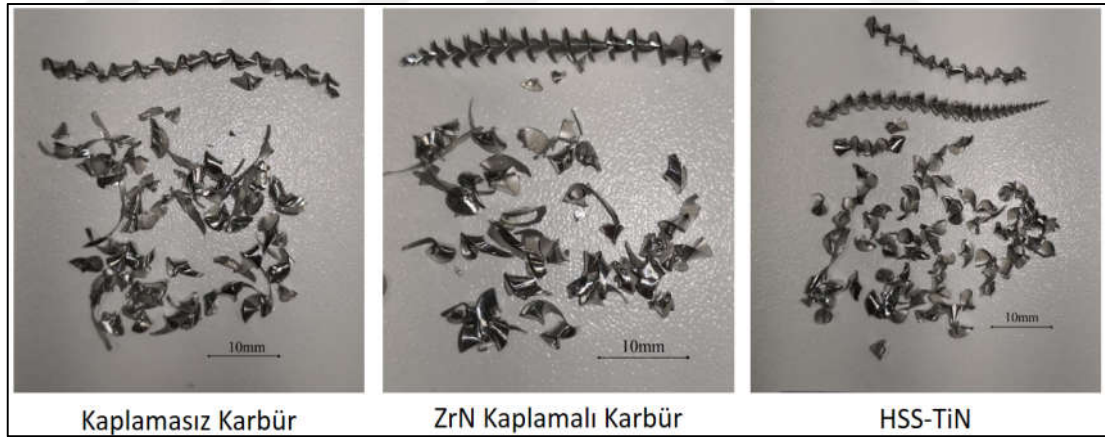


Şekil 7.57. AA7075-T4'ün soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları

AA7075-T6 malzemesinin, Şekil 7.58’de ve Şekil 7.59’da sırasıyla soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları görülmektedir. Buna göre; Şekil 7.53’te gösterilen sınıflandırmaya göre istenmeyen talaş olarak belirtilen talaş tipine rastlanmamıştır. Talaş yapıları birbirine yakın ve kabul edilebilir talaş yapısındadır.



Şekil 7.58. AA7075-T6'nın soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde oluşan talaş yapıları



Şekil 7.59. AA7075-T6'nın soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları

AA7075-T73 malzemesinin, Şekil 7.60'ta ve Şekil 7.61'de sırasıyla soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları görülmektedir. Buna göre; Şekil 7.53'te gösterilen sınıflandırmaya göre istenmeyen talaş olarak belirtilen talaş tipine rastlanmamıştır. Talaş yapıları birbirine yakın ve kabul edilebilir talaş yapısındadır.



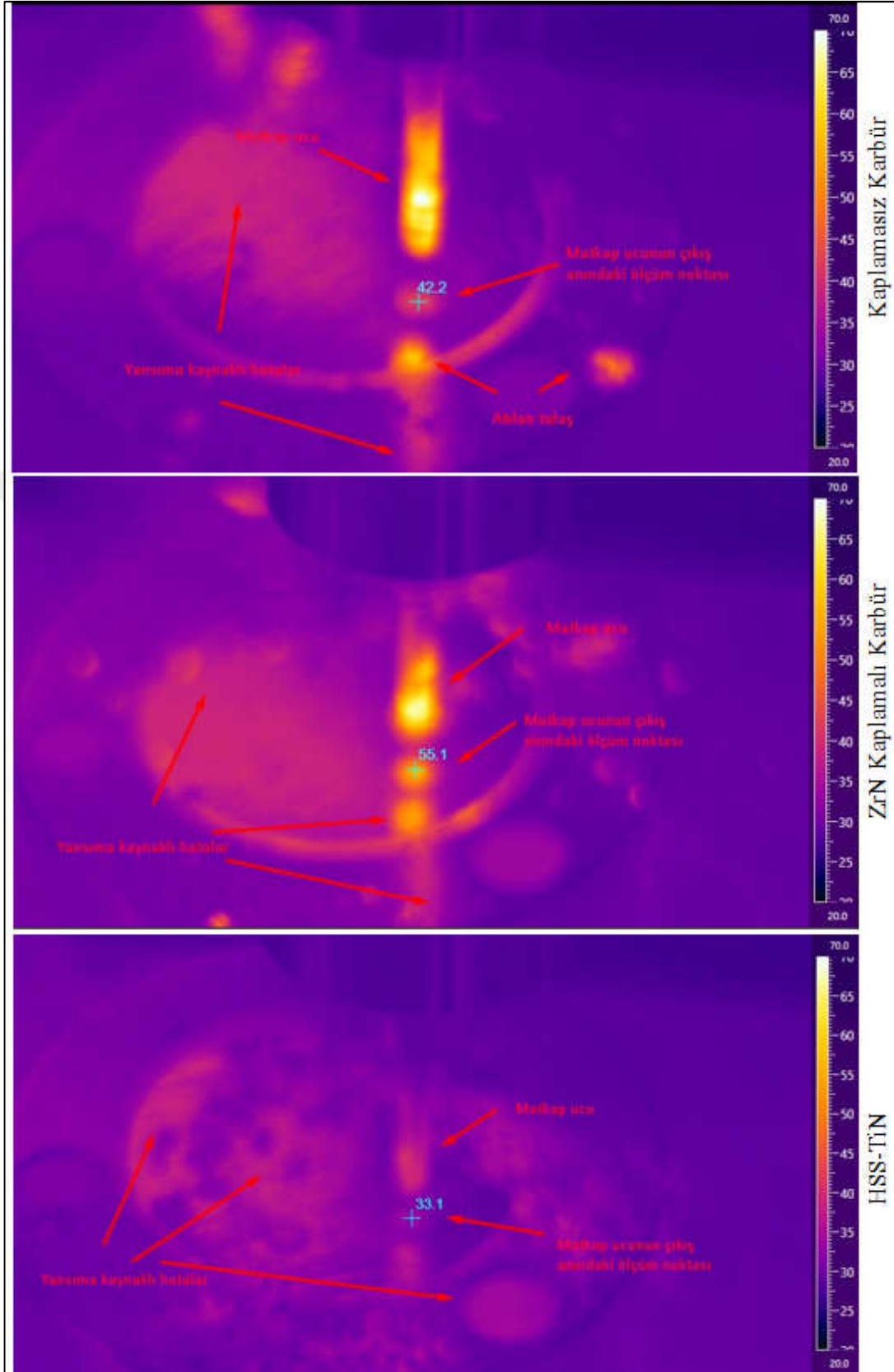
Şekil 7.60. AA7075-T73'ün soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde oluşan talaş yapıları



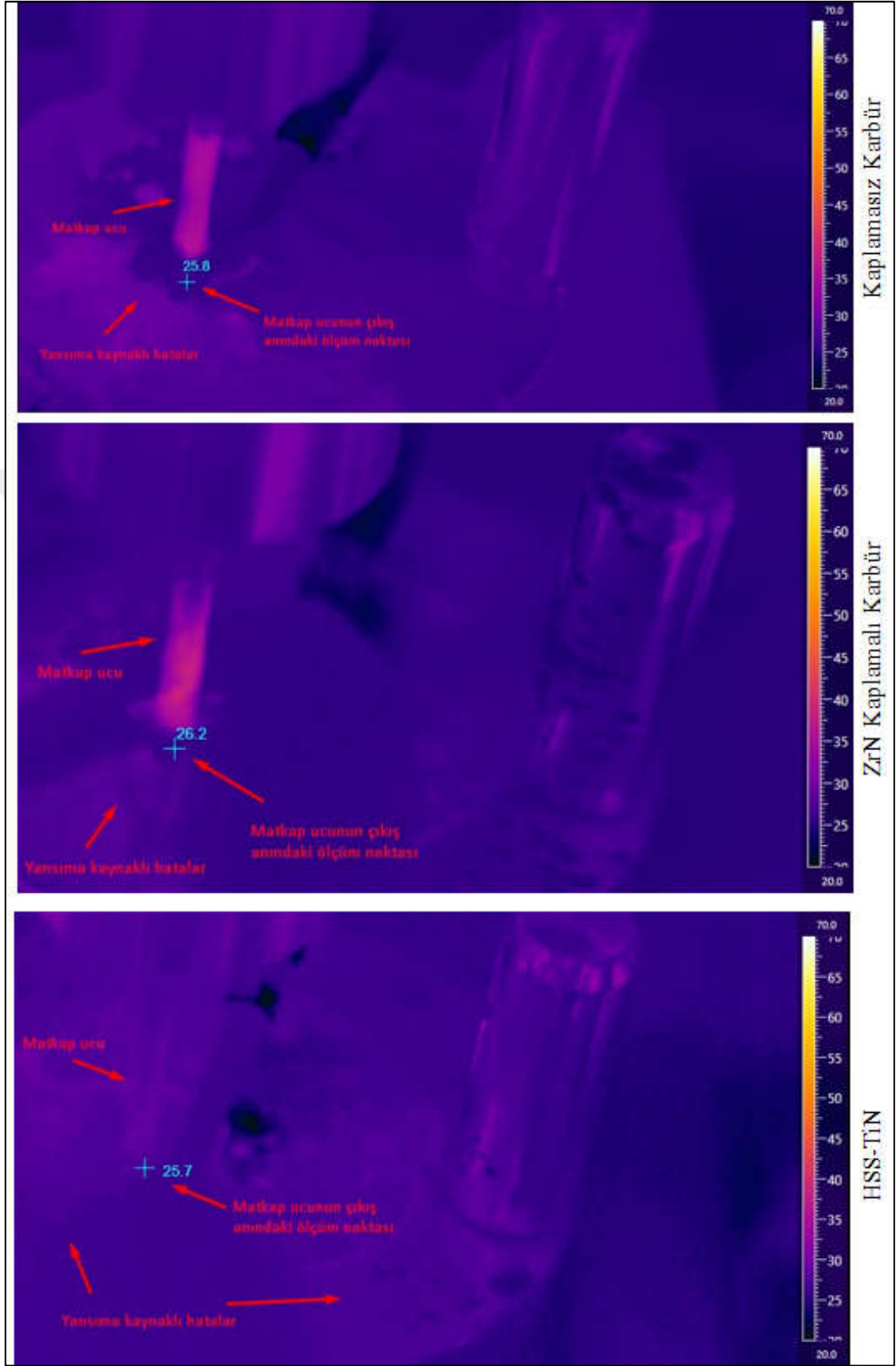
Şekil 7.61. AA7075-T73'ün soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde oluşan talaş yapıları

#### 7.4.38. Delme işlemi esnasında alınan termal kamera görüntülerinin analizleri

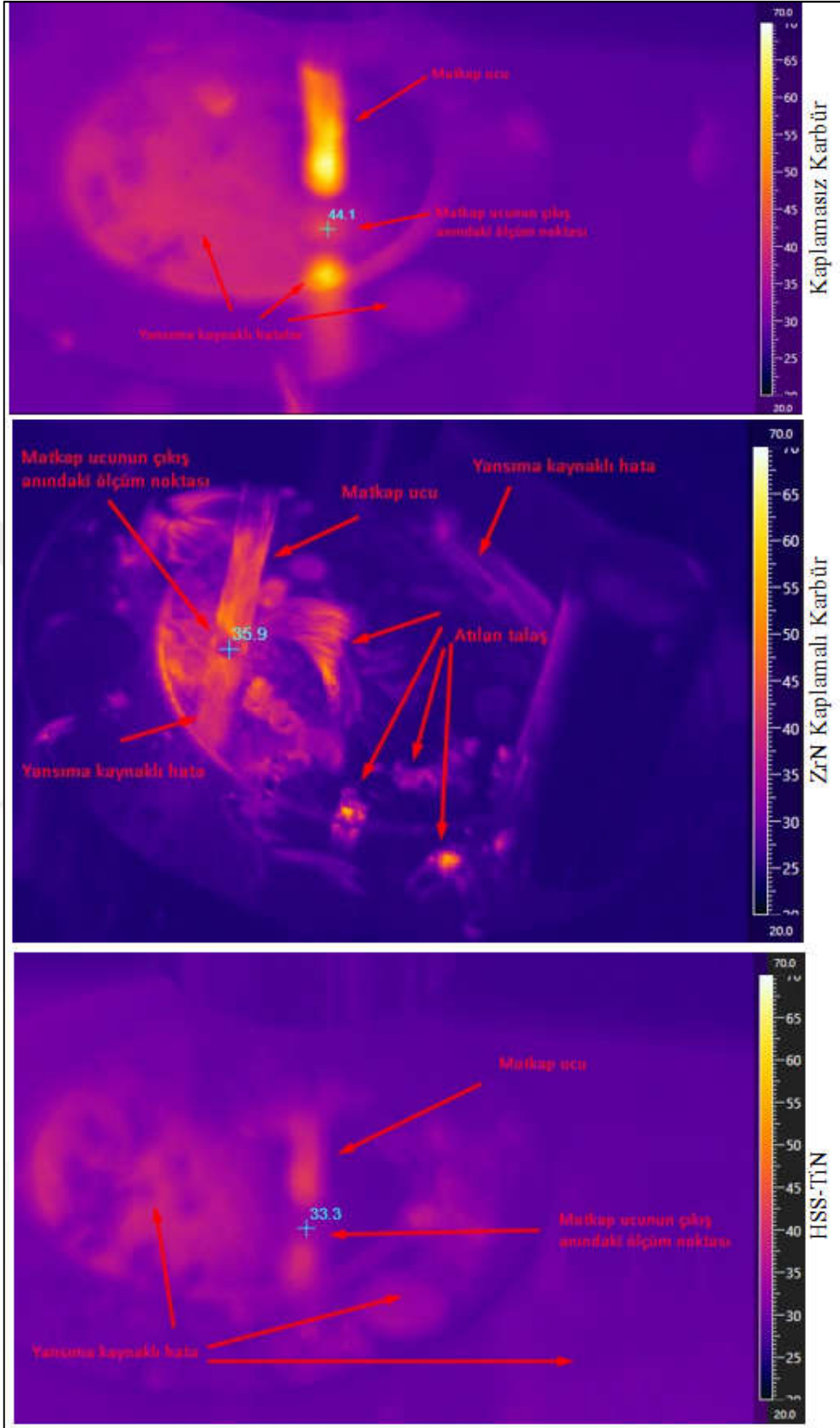
AA7075-F malzemesinin konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve soğutma sıvısı kullanılarak elde edilen termal kamera görüntüleri sırasıyla Şekil 7.62'de ve Şekil 7.63'te görülmektedir. AA7075-T4 malzemesinin konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve soğutma sıvısı kullanılarak elde edilen termal kamera görüntüleri sırasıyla Şekil 7.64'te ve Şekil 7.65'te görülmektedir. AA7075-T6 malzemesinin konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve soğutma sıvısı kullanılarak elde edilen termal kamera görüntüleri sırasıyla Şekil 7.66'da ve Şekil 7.67'de görülmektedir. AA7075-T73 malzemesinin konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve soğutma sıvısı kullanılarak elde edilen termal kamera görüntüleri sırasıyla Şekil 7.68'de ve Şekil 7.69'da görülmektedir.



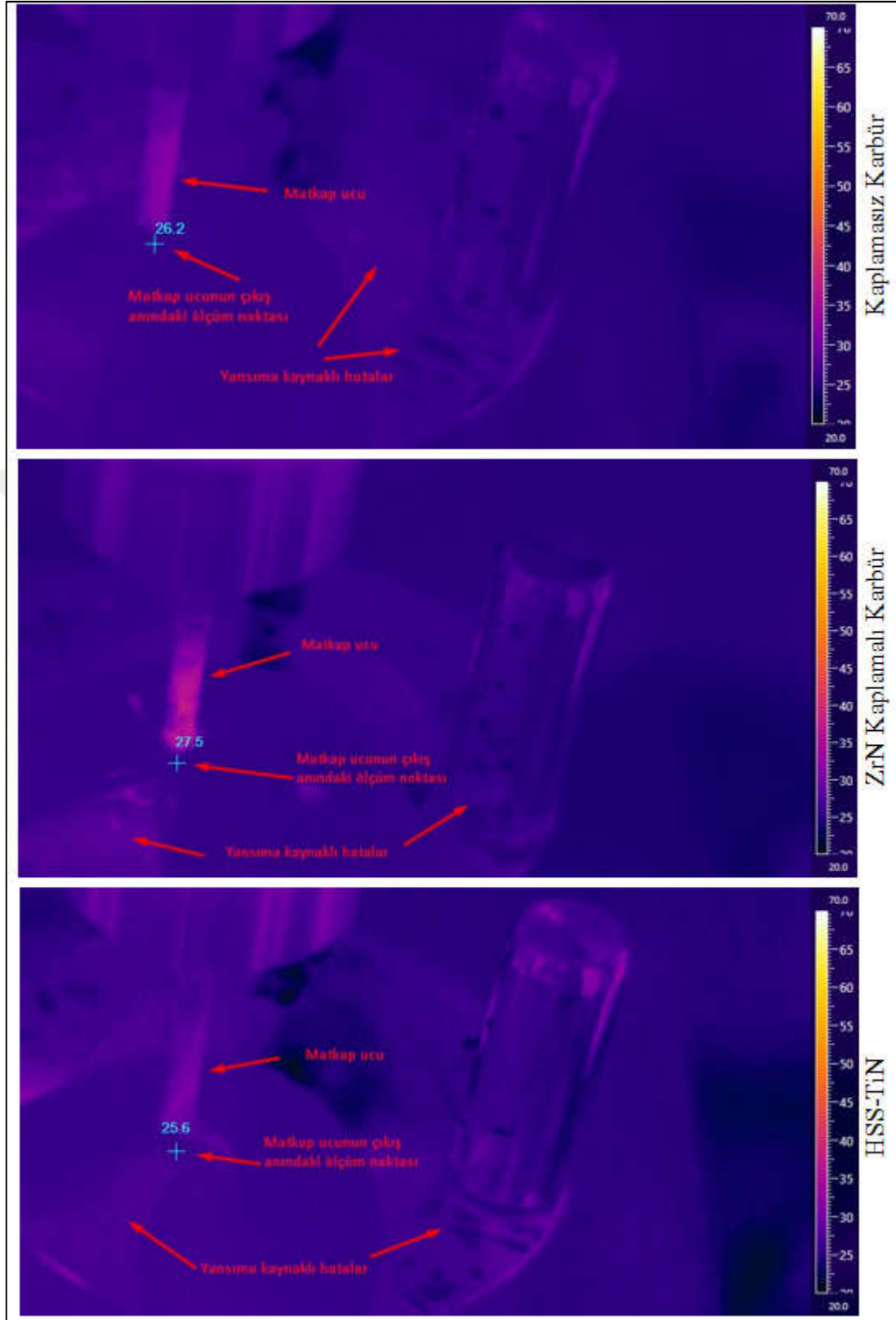
Şekil 7.62. AA7075-F'nin soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde termal kamera görüntüleri



Şekil 7.63. AA7075-F'in soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde termal kamera görüntüleri

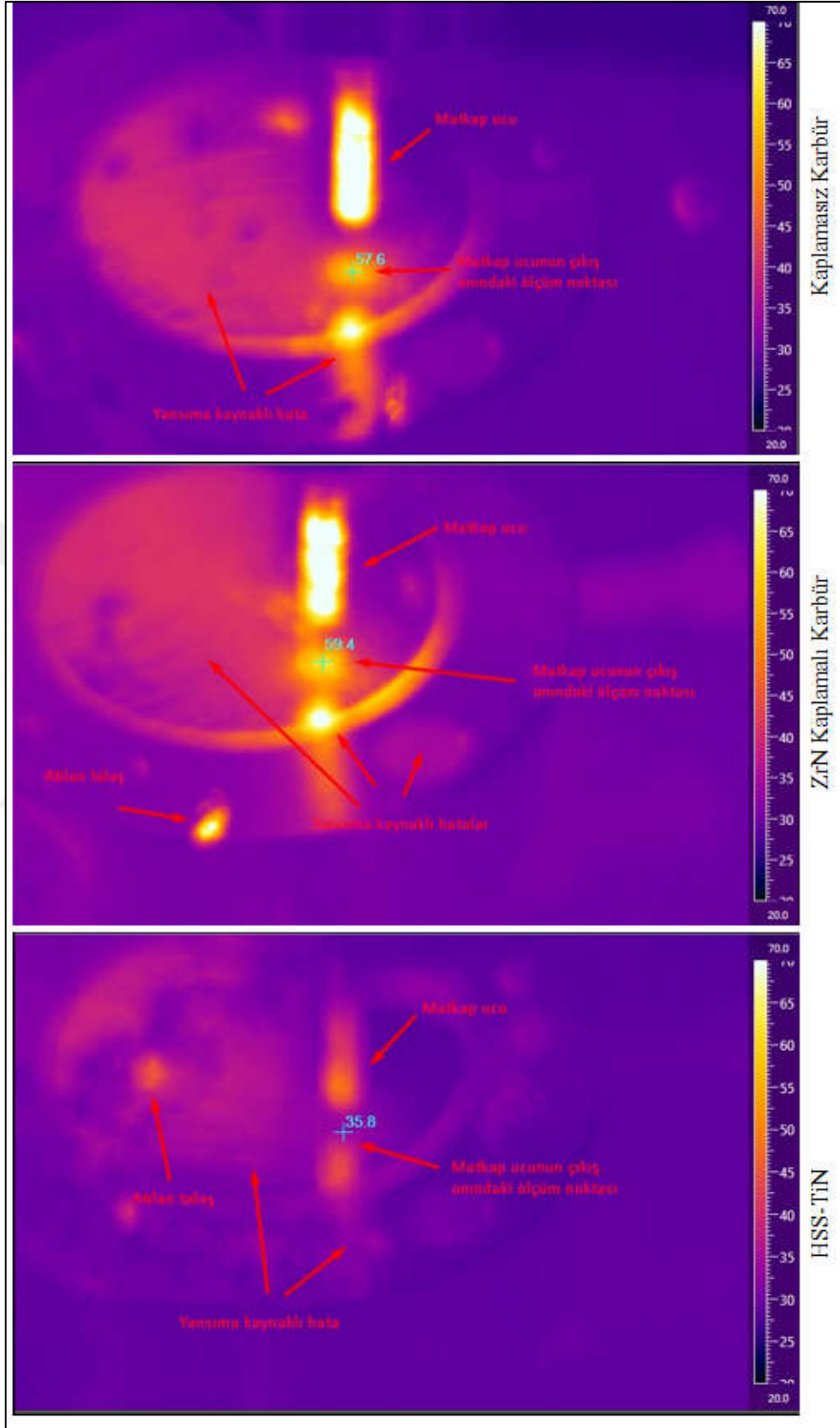


Şekil 7.64. AA7075-T4'ün soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde termal kamera görüntüleri

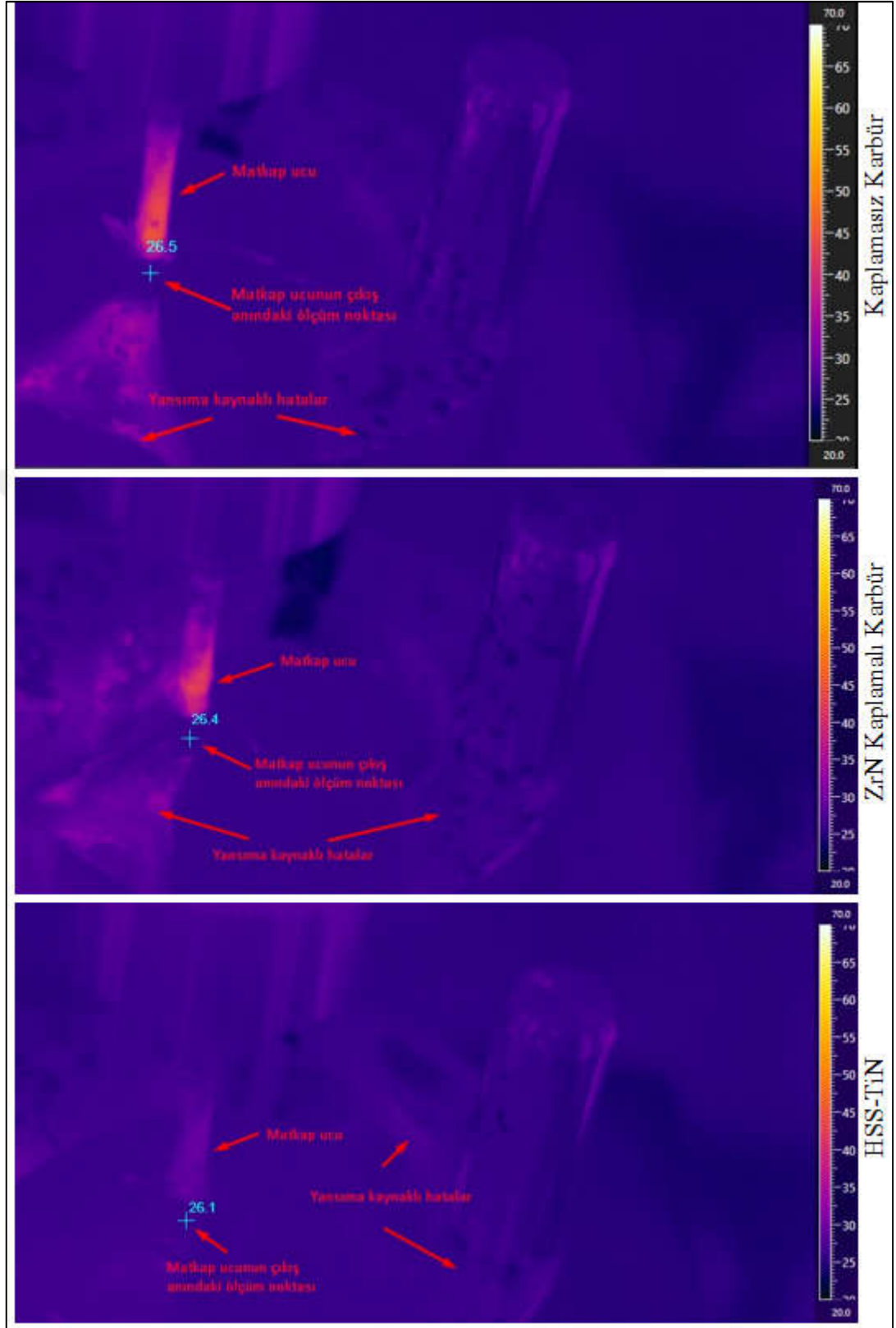


Şekil 7.65. AA7075-T4'ün soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde termal kamera görüntüleri

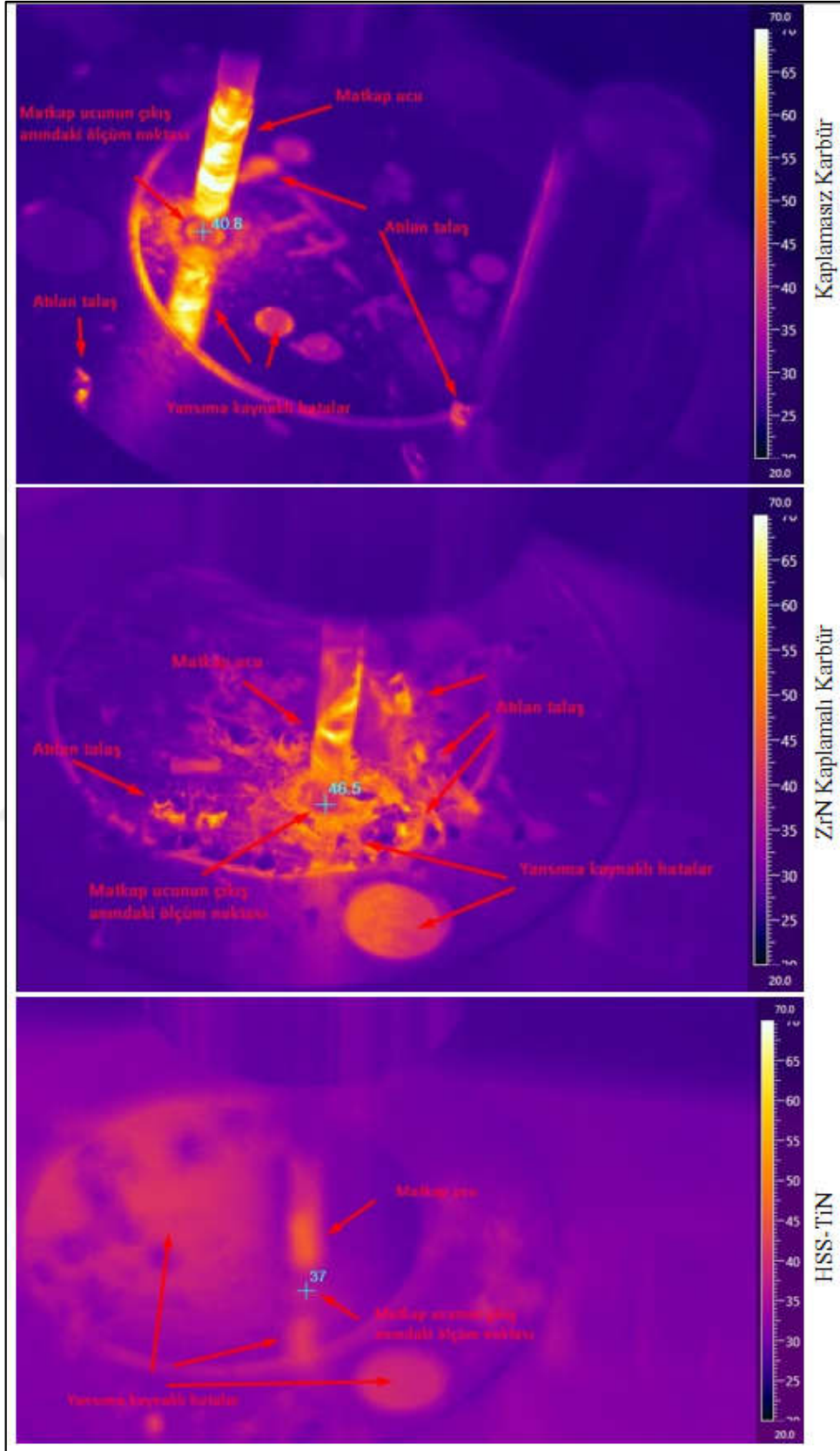




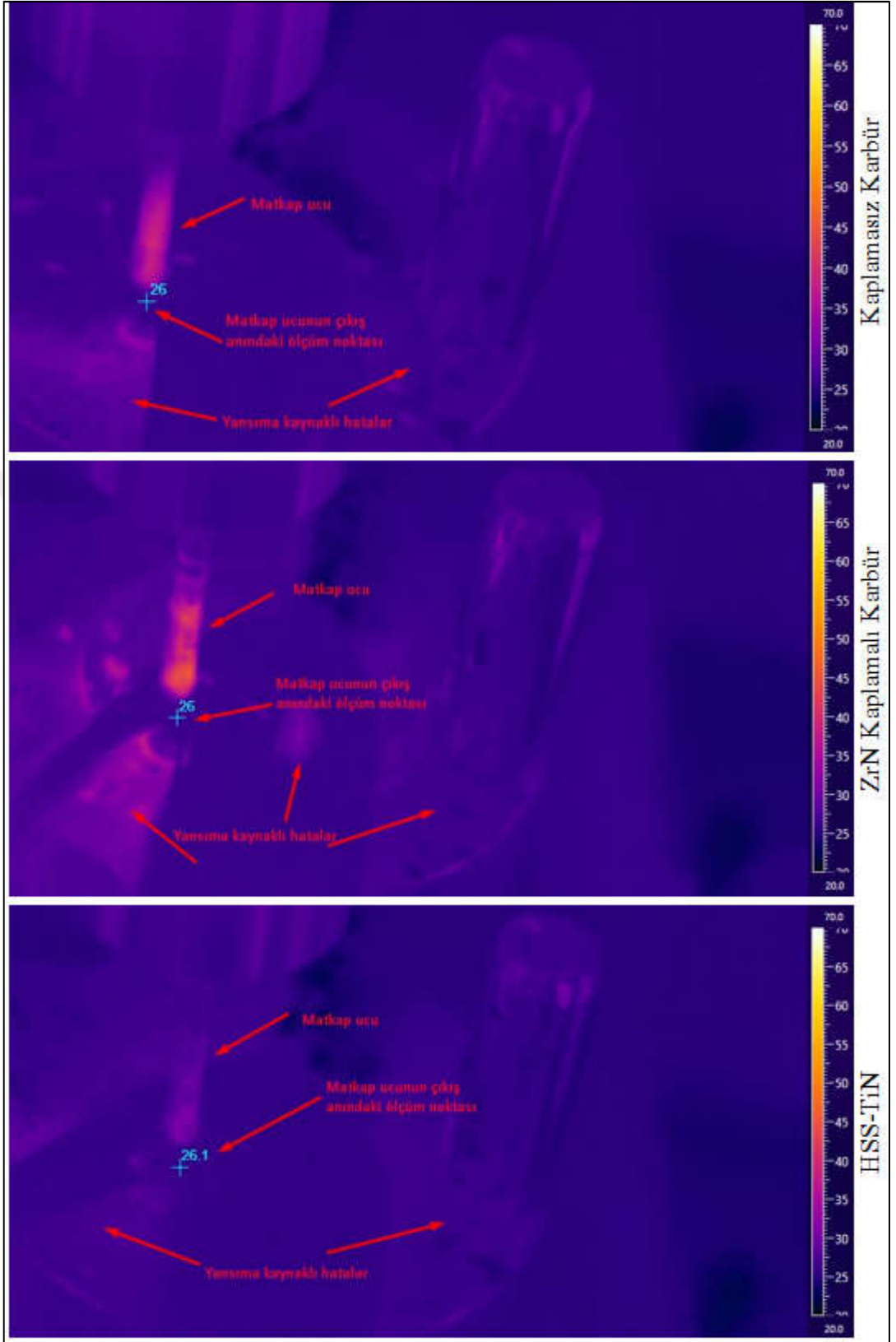
Şekil 7.66. AA7075-T6'nın soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde termal kamera görüntüleri



Şekil 7.67. AA7075-T6'nın soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde termal kamera görüntüleri



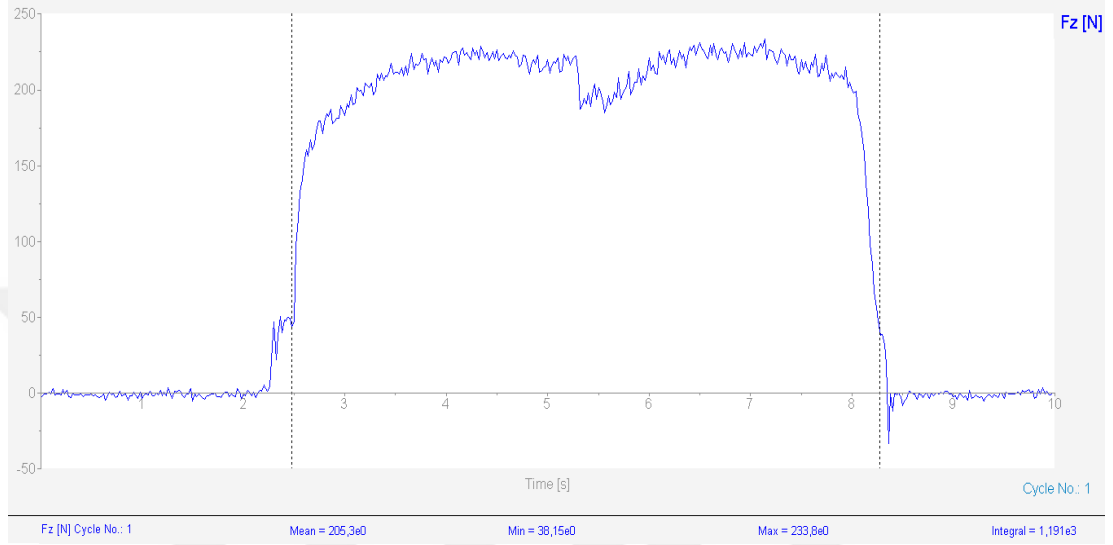
Şekil 7.68. AA7075-T73'ün soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde termal kamera görüntüleri



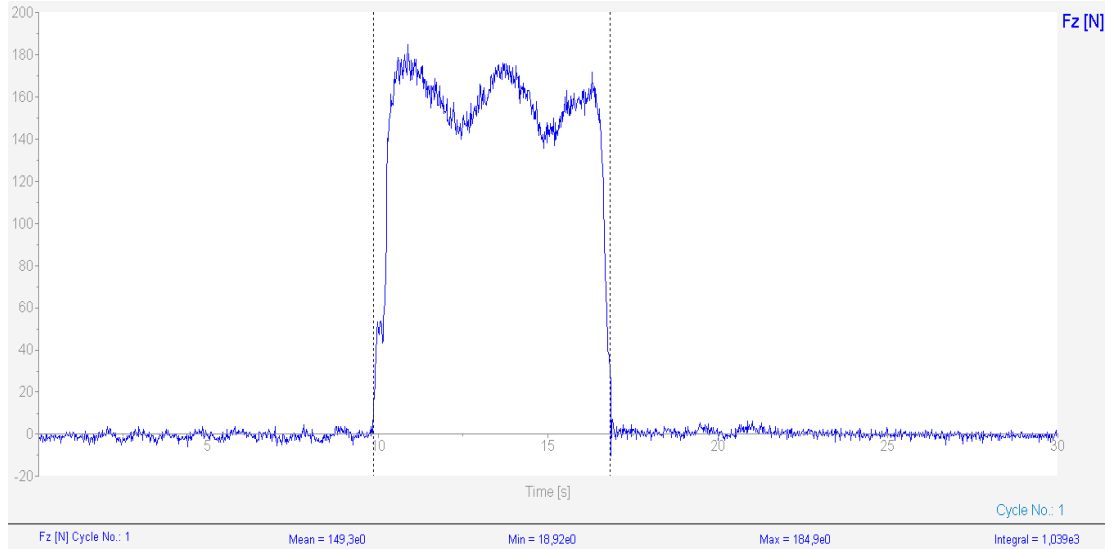
Şekil 7.69. AA7075-T73'ün soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde termal kamera görüntüleri

#### 7.4.39. Delme işlemi esnasında alınan dinamometre ölçümlerinin analizleri

AA7075-F malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.70'de ve Şekil 7.71'de görülmektedir.

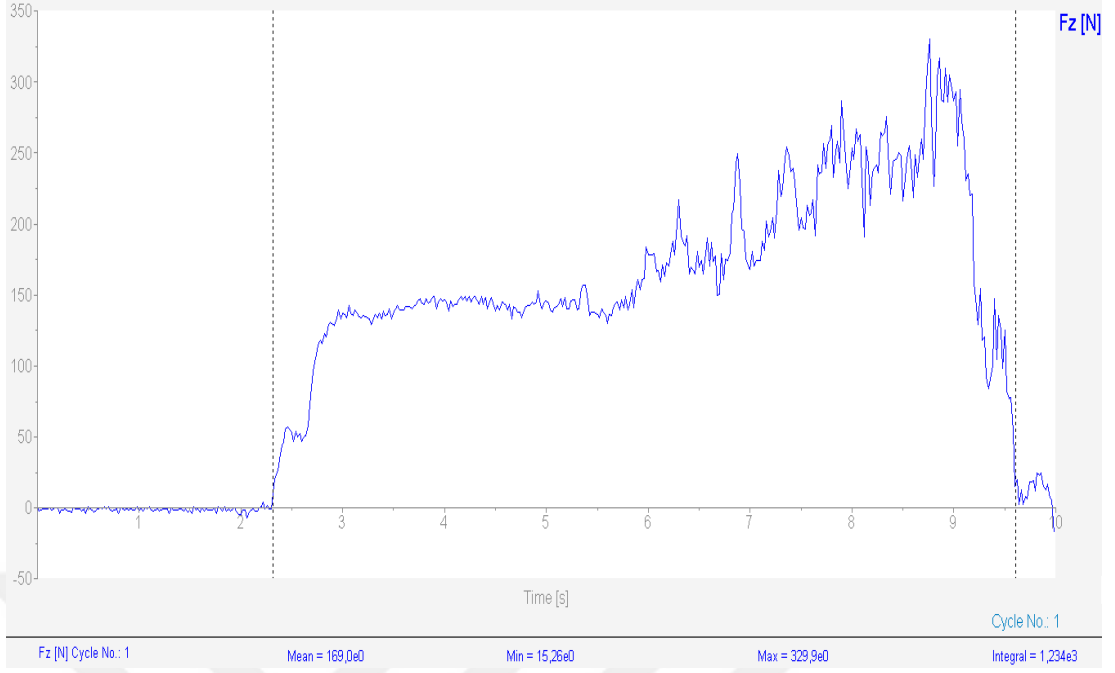


Şekil 7.70. AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvvet-zaman grafiği

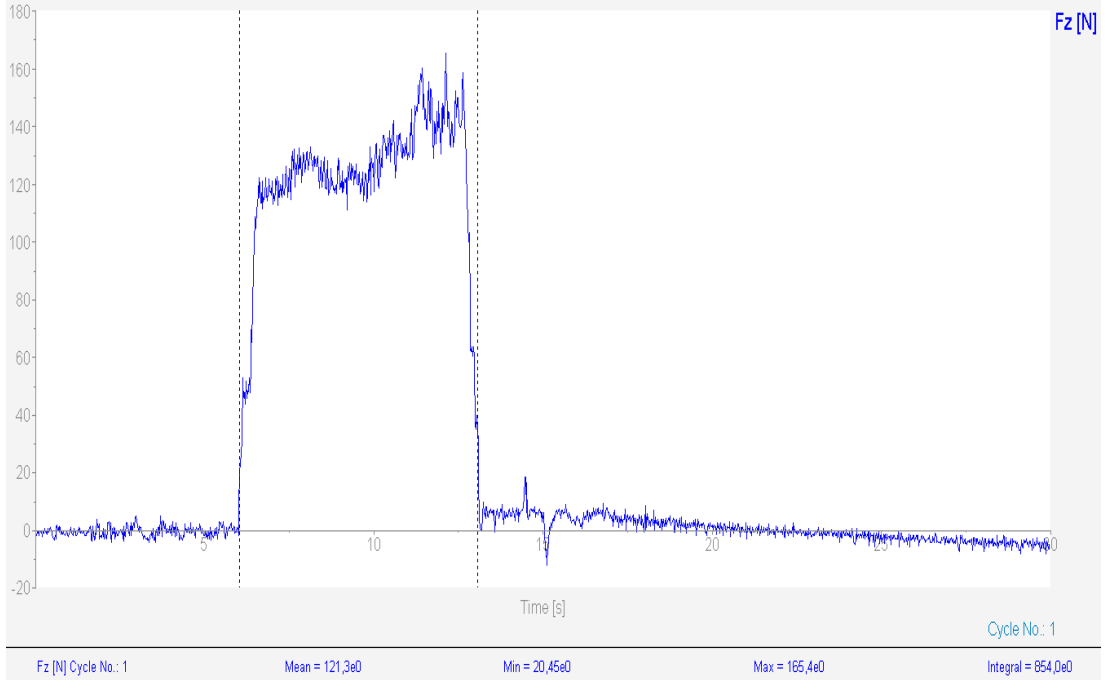


Şekil 7.71. AA7075-F'nin HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-F malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.72'de ve Şekil 7.73'te görülmektedir.

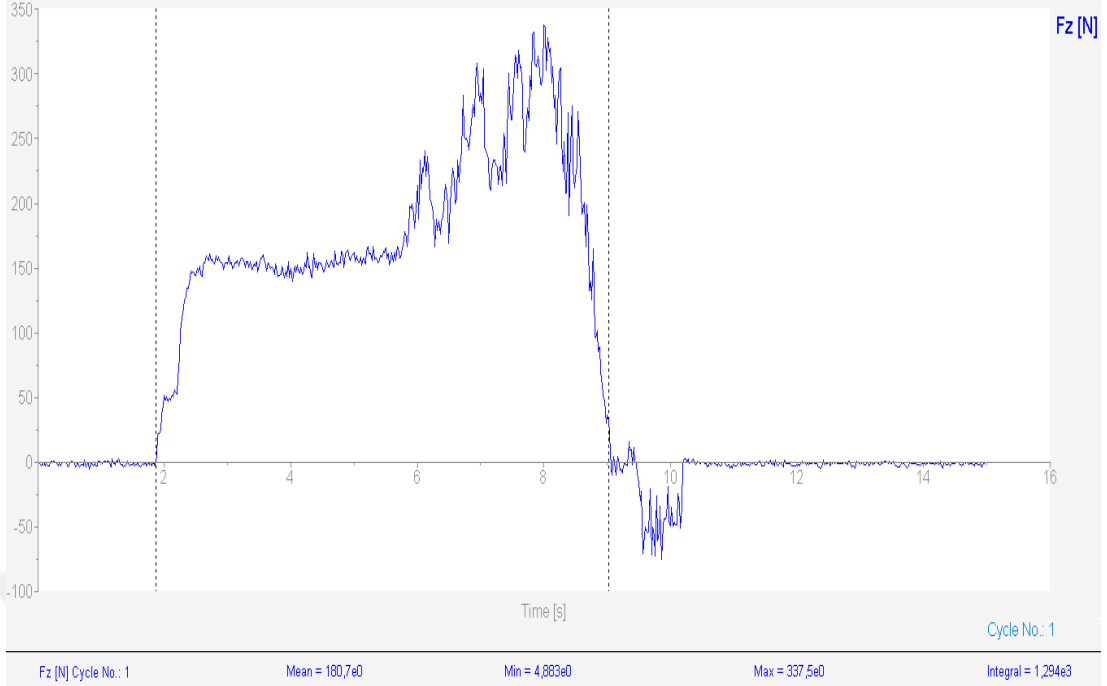


Şekil 7.72. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

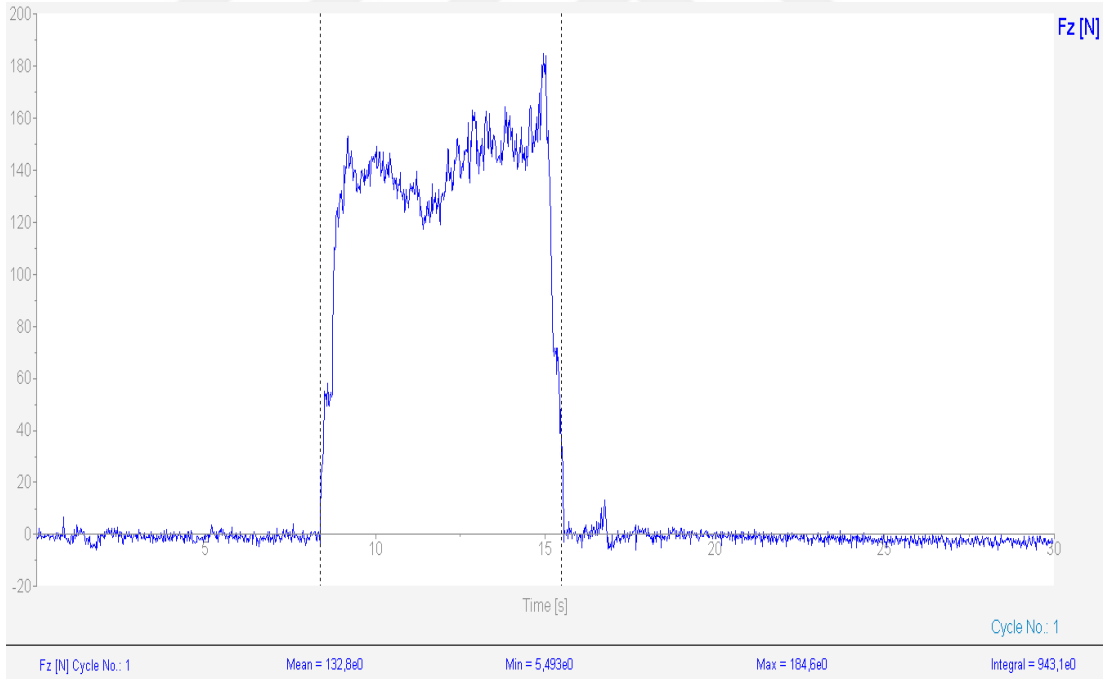


Şekil 7.73. AA7075-F'nin kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-F malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.74'de ve Şekil 7.75'te görülmektedir.

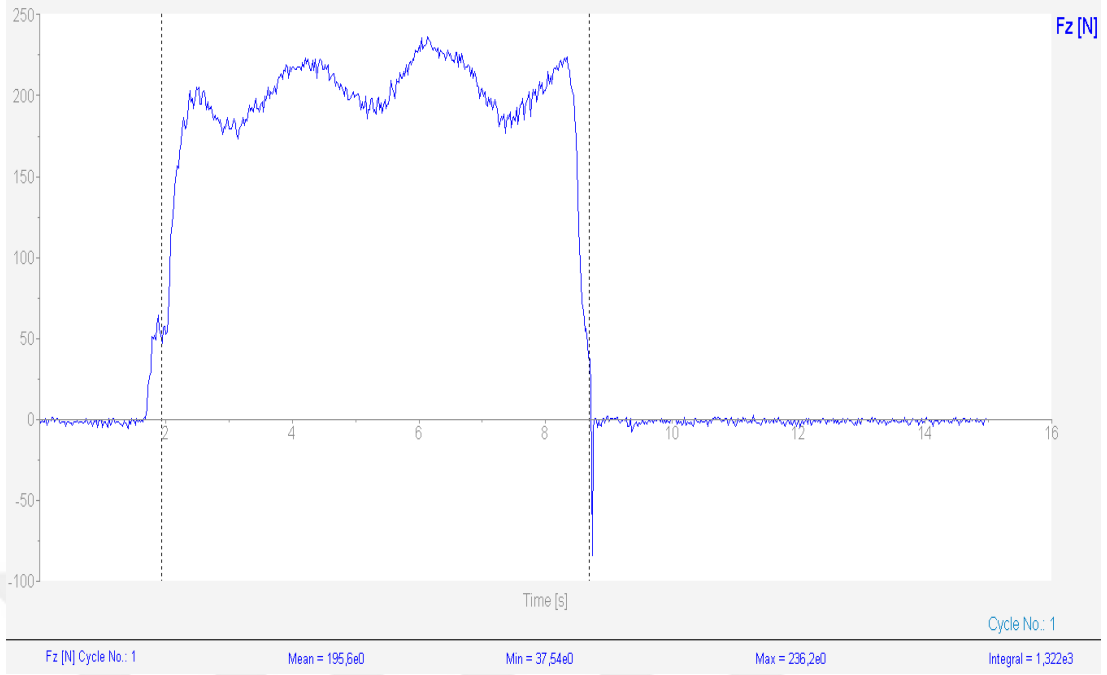


Şekil 7.74. AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

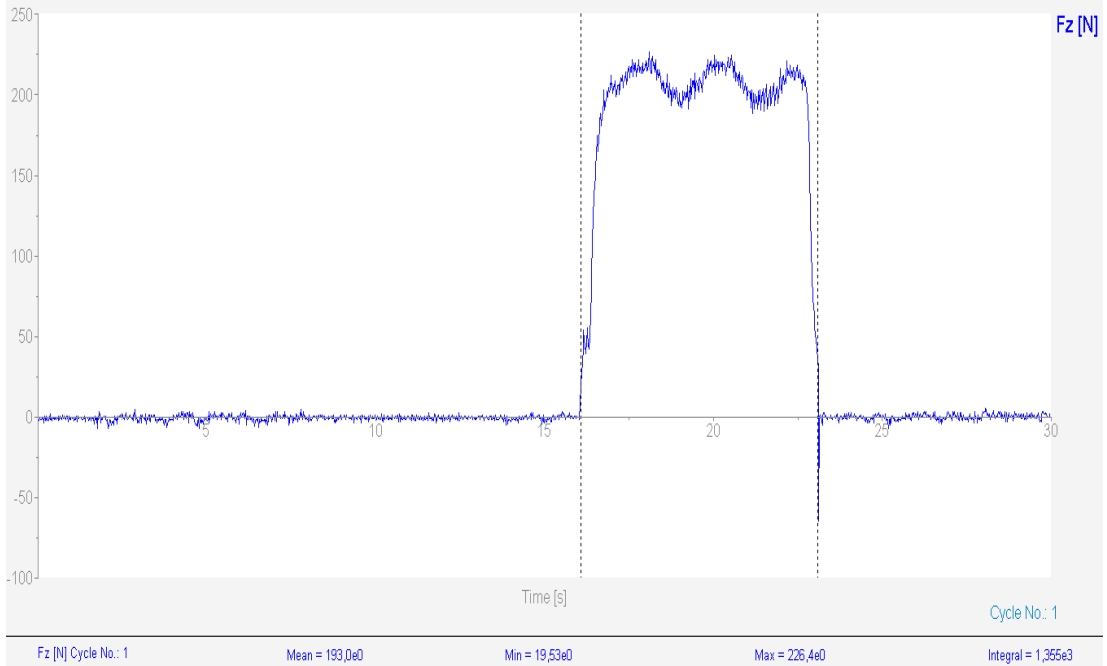


Şekil 7.75. AA7075-F'nin ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-T4 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yonteme göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.76'da ve Şekil 7.77'de görülmektedir.



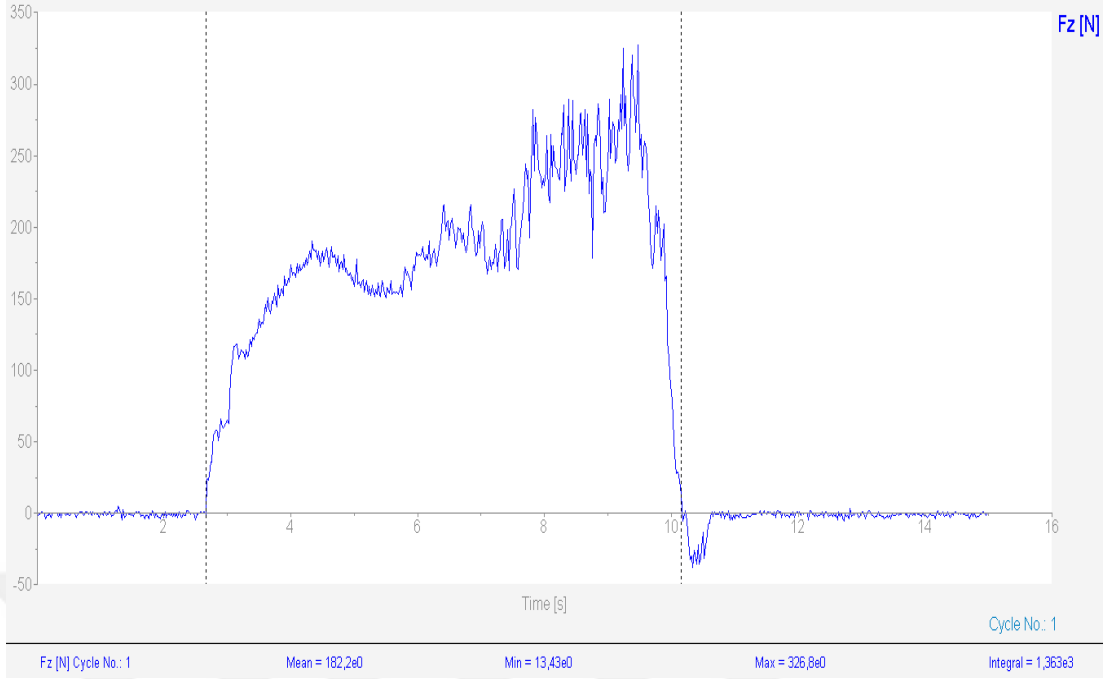
Şekil 7.76. AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği



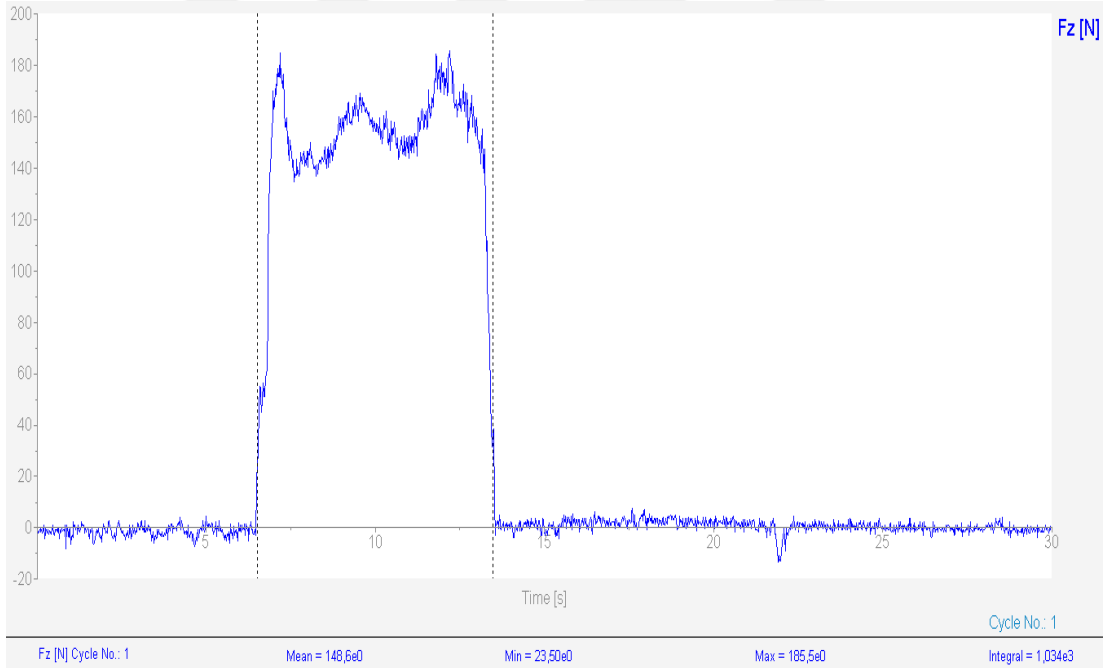
Şekil 7.77. AA7075-T4'ün HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-T4 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.78'de ve Şekil 7.79'da görülmektedir.



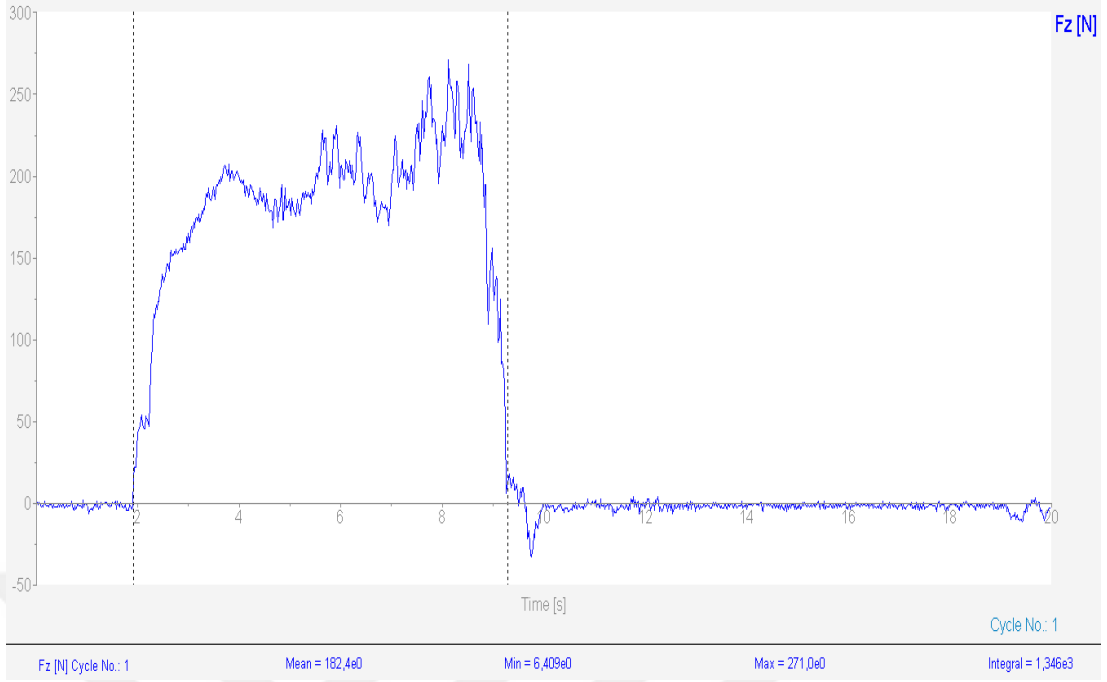


Şekil 7.78. AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

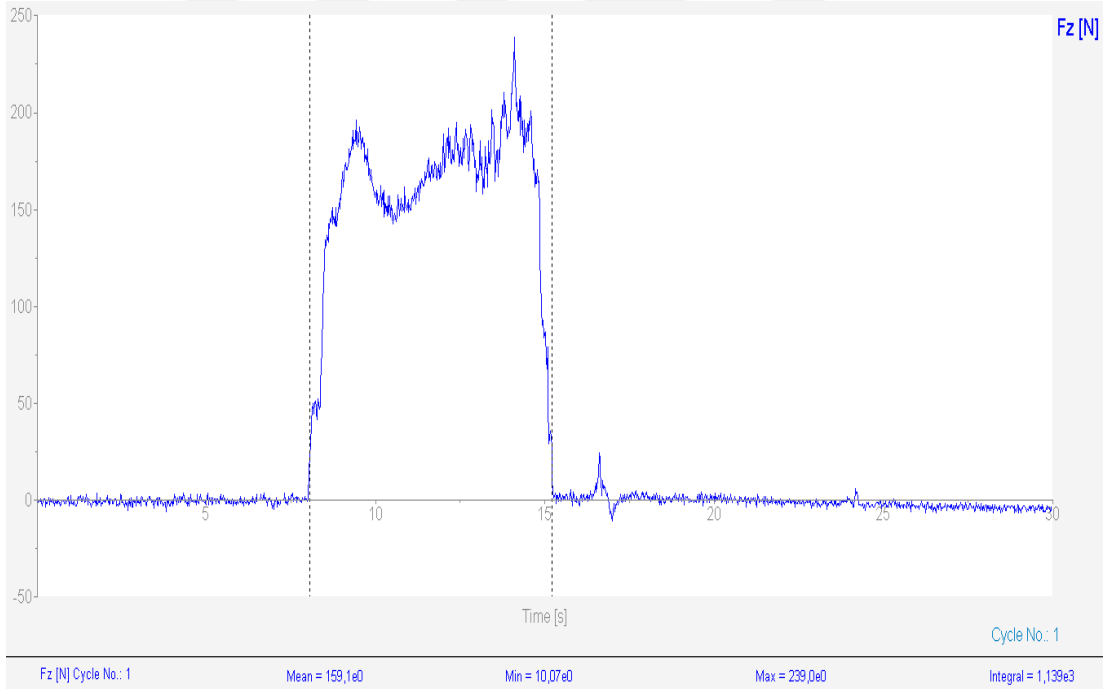


Şekil 7.79. AA7075-T4'ün kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-T4 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.80'de ve Şekil 7.81'de görülmektedir.

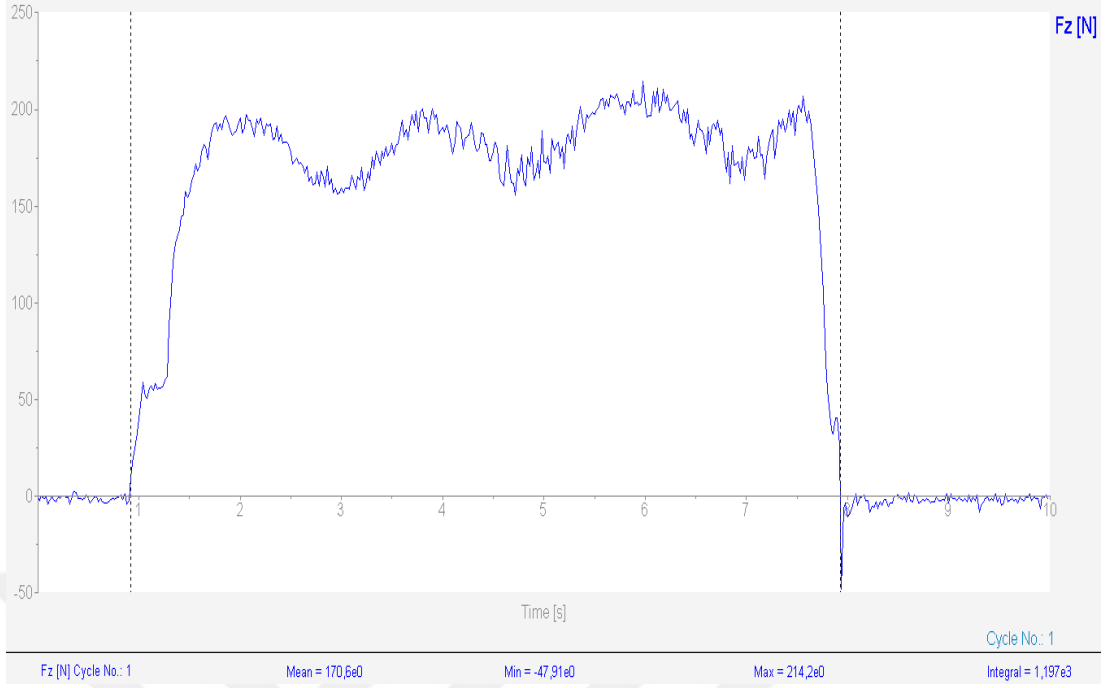


Şekil 7.80. AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

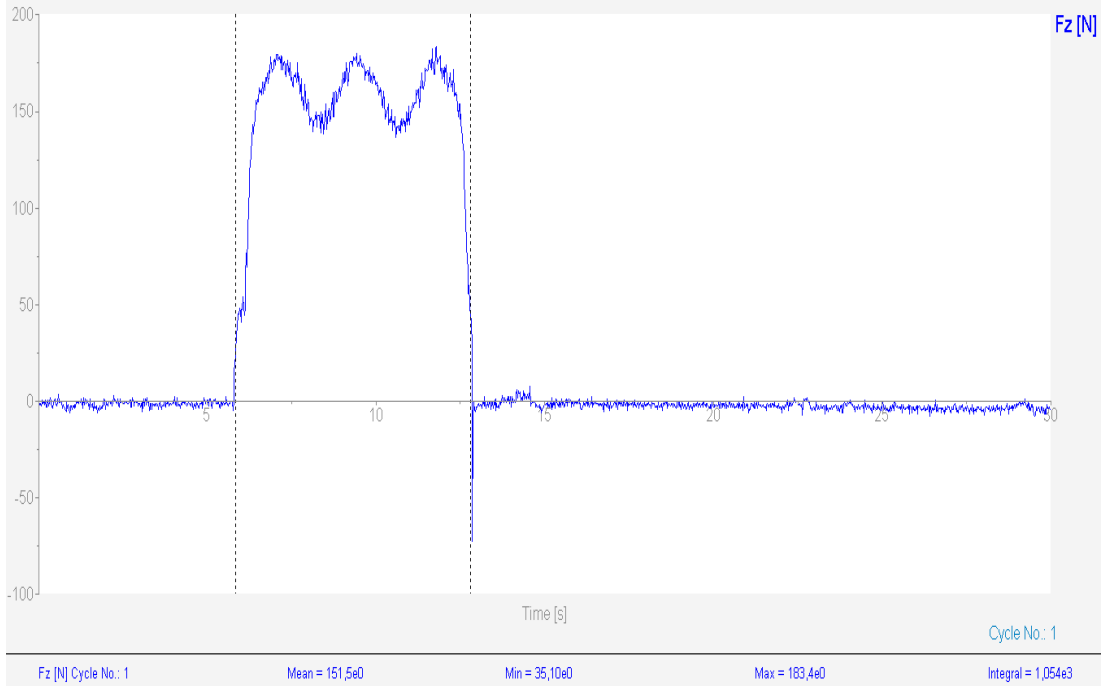


Şekil 7.81. AA7075-T4'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-T6 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.82'de ve Şekil 7.83'te görülmektedir.

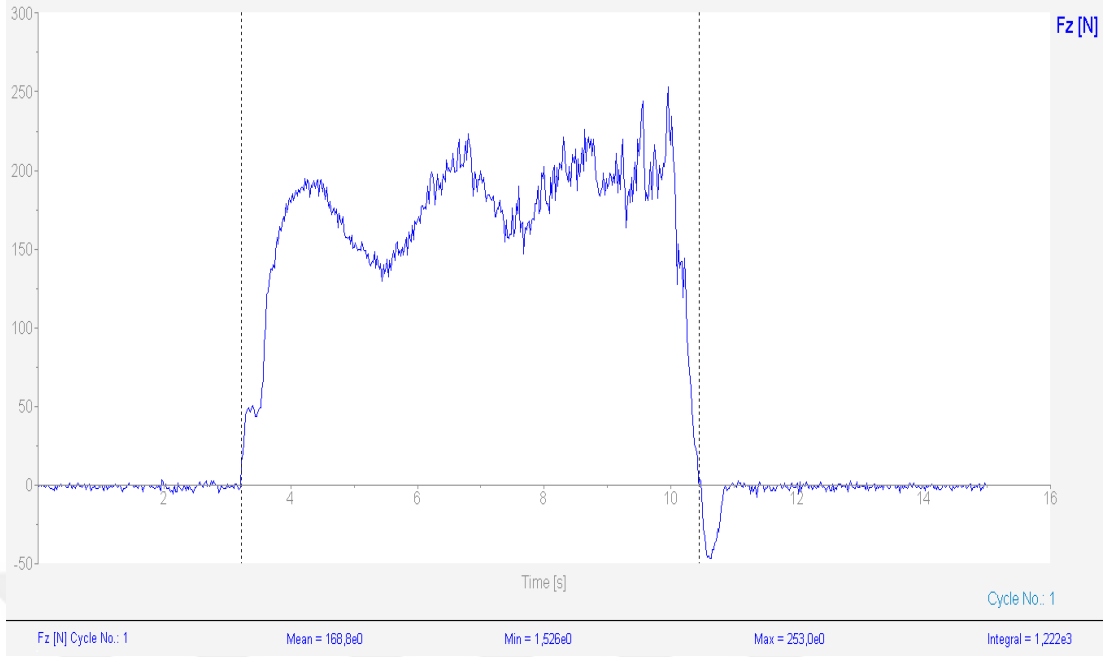


Şekil 7.82. AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

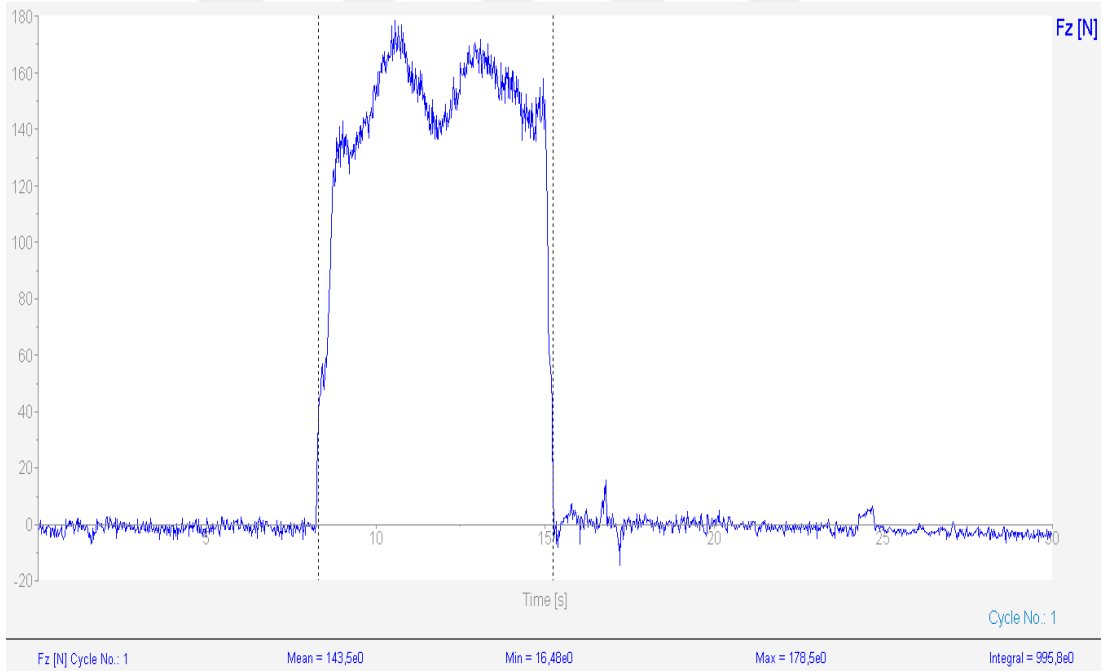


Şekil 7.83. AA7075-T6'nın HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-T6 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.84'te ve Şekil 7.85'te görülmektedir.

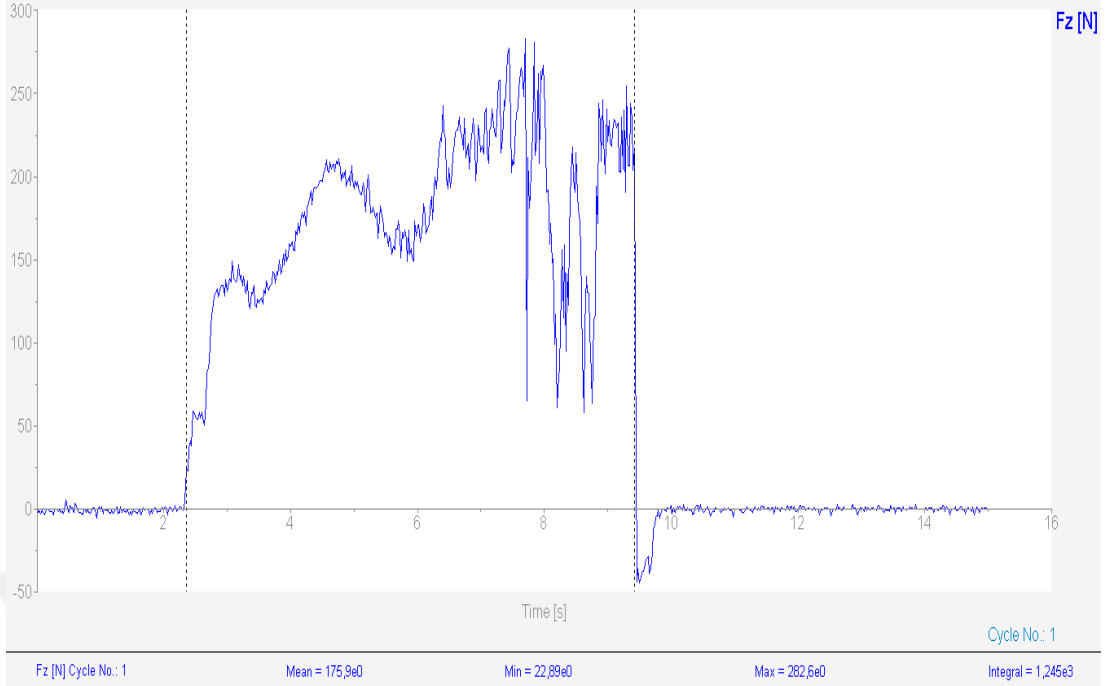


Şekil 7.84. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

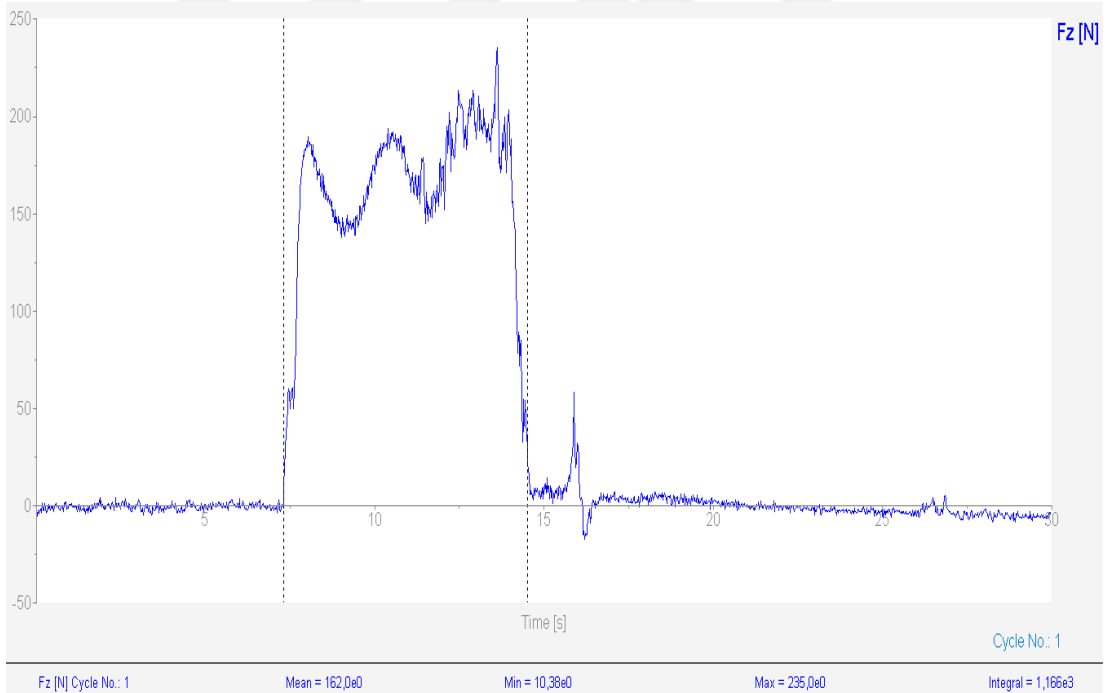


Şekil 7.85. AA7075-T6'nın kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-T6 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yönteme göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.86'da ve Şekil 7.87'de görülmektedir.

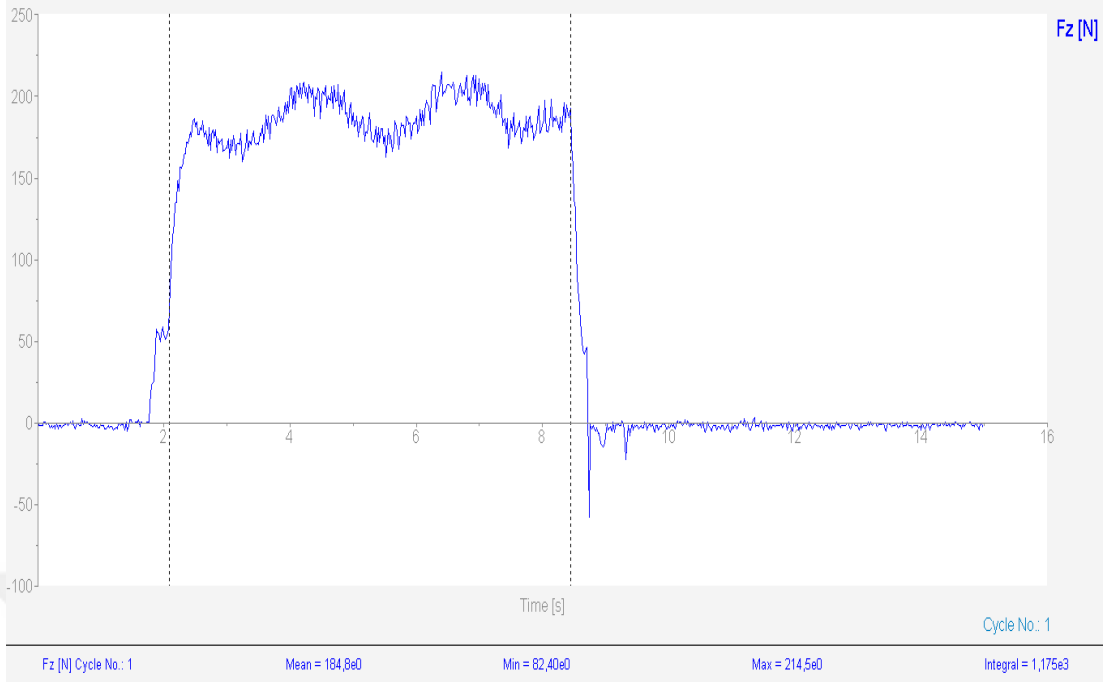


Şekil 7.86. AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

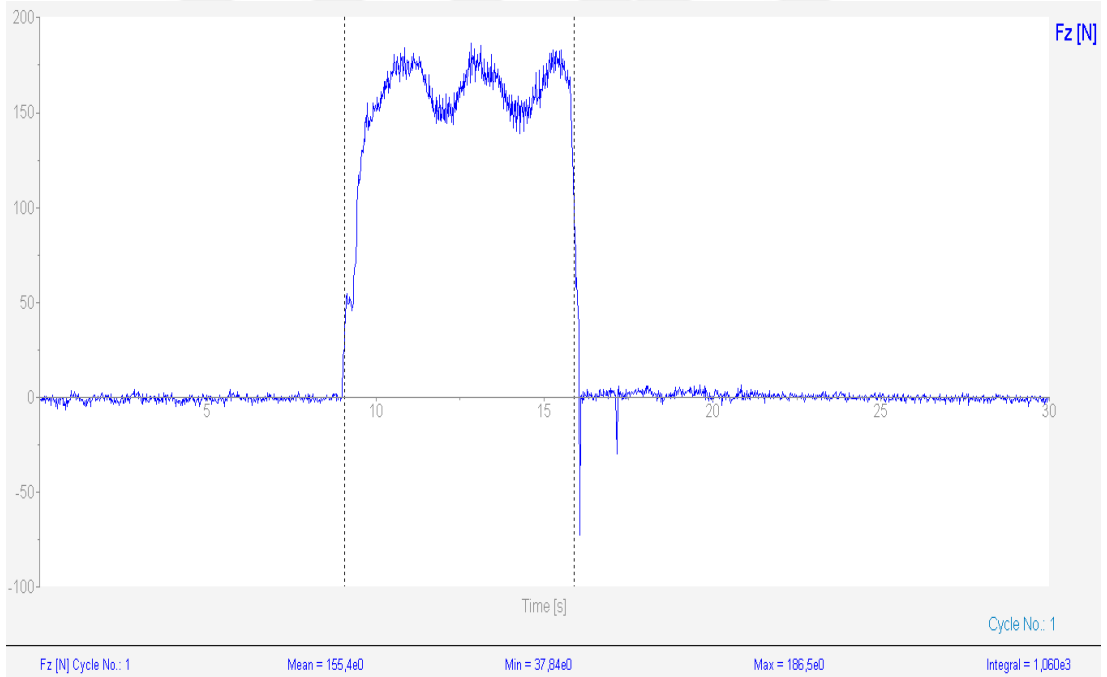


Şekil 7.87. AA7075-T6'nın ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-T73 malzemesinin HSS-TiN matkap ucu ile konvansiyonel yönteme göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.88'de ve Şekil 7.89'da görülmektedir.

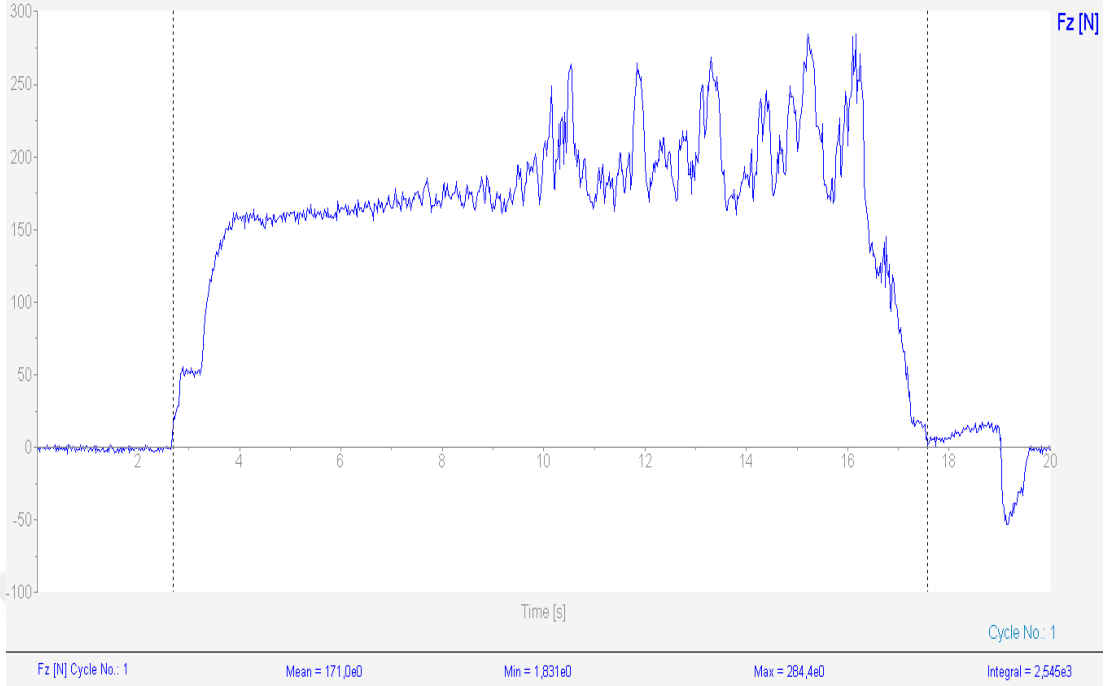


Şekil 7.88. AA7075-T73'ün HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

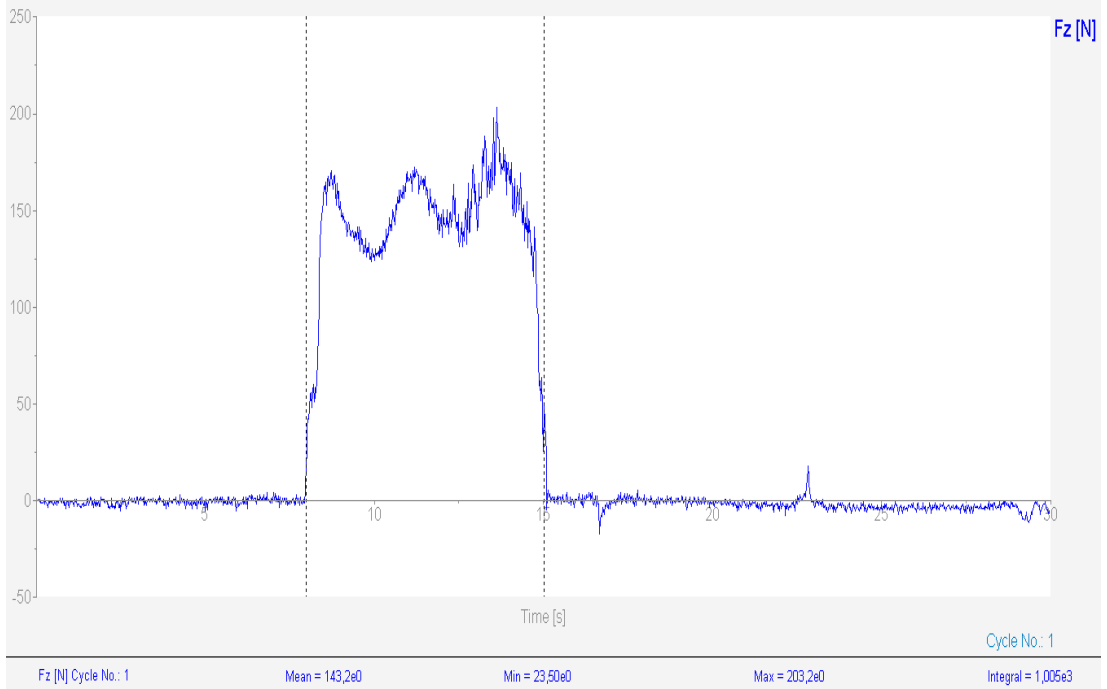


Şekil 7.89. AA7075-T73'ün HSS-TiN matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-T73 malzemesinin kaplamasız karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.90'da ve Şekil 7.91'de görülmektedir.

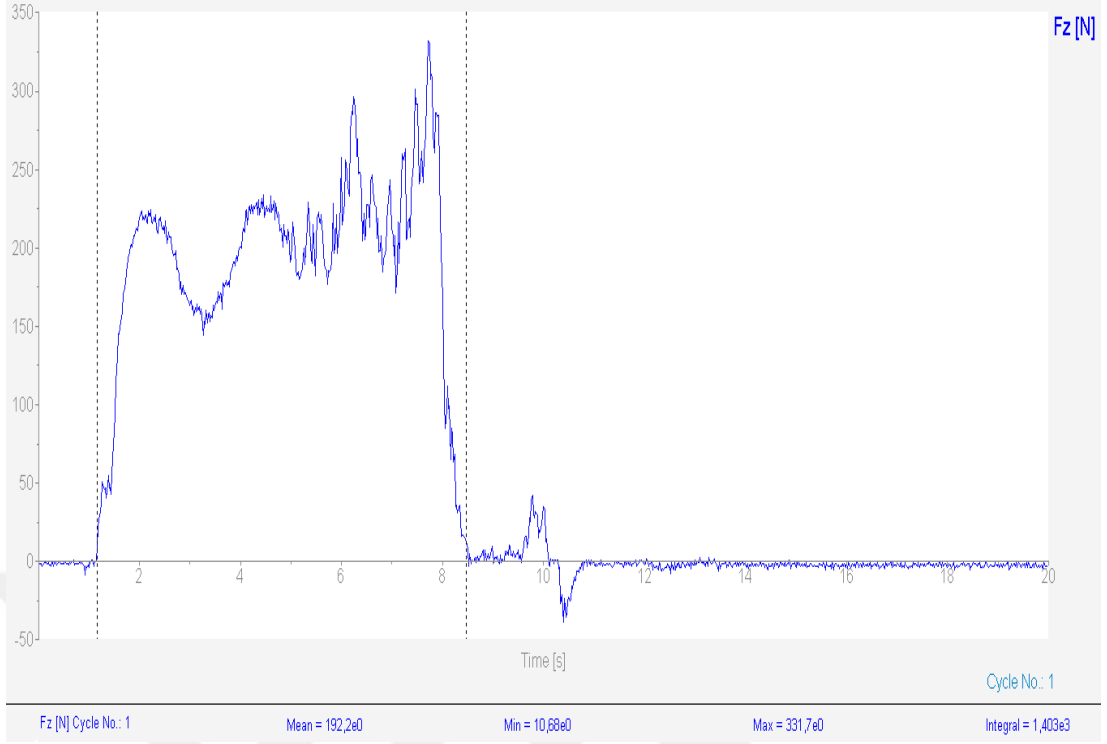


Şekil 7.90. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

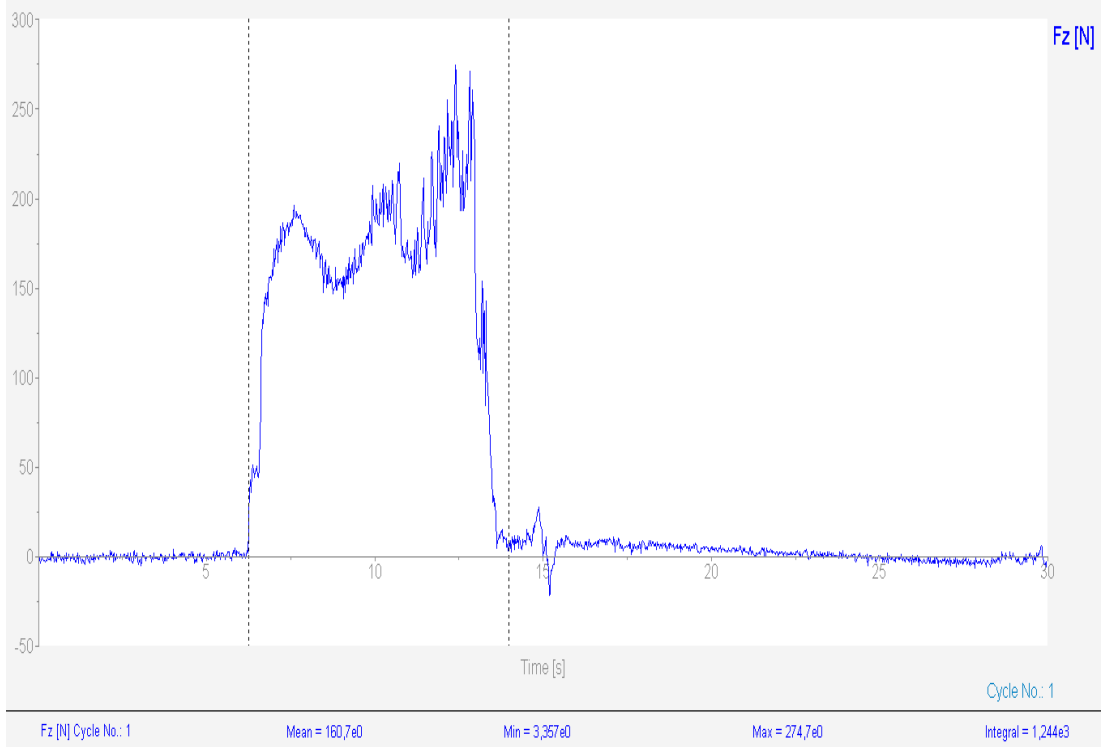


Şekil 7.91. AA7075-T73'ün kaplamasız karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği

AA7075-T73 malzemesinin ZrN kaplamalı karbür matkap ucu ile konvansiyonel yöntemle göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılmadan ve kullanılarak elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 7.92'de ve Şekil 7.93'te görülmektedir.



Şekil 7.92. AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılmadan delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği



Şekil 7.93. AA7075-T73'ün ZrN kaplamalı karbür matkap ile soğutma sıvısı kullanılarak delinmesinde kesme kuvveti-zaman grafiği



## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 8.1 Sonuçlar

AA7075 malzemesinin ısı işlem öncesinde ve sonrasında, soğutma sıvısı kullanılarak ve kullanılmadan, konvansiyonel yönteme göre delinmesinde sabit kesme parametreleri kullanılarak farklı matkap takımlarının kesme kuvvetine, sıcaklığa, yüzey kalitesine ve delik kalitesine etkisi incelenmiştir.

1) AA7075 malzemesinin konvansiyonel yönteme göre delinmesinde, soğutma sıvısı kullanılarak elde edilen ortalama kesme kuvvetlerinde, soğutma sıvısı kullanılmadan elde edilen ortalama kesme kuvvetine göre yaklaşık %17 azalma ortaya çıkmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde yaklaşık %56 iyileşme elde edilmiştir.

2) AA7075 malzemesinin konvansiyonel yönteme göre delinmesinde, soğutma sıvısı kullanılarak HSS-TiN ile yapılan deneylerde, soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan deneylere göre ortalama kesme kuvvetinde yaklaşık %18 azalma görülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ise yaklaşık %21 iyileşme elde edilmiştir.

3) AA7075 malzemesinin konvansiyonel yönteme göre delinmesinde, soğutma sıvısı kullanılarak kaplamasız karbür ile yapılan deneylerde, soğutma sıvısı olmadan yapılan deneylere göre ortalama kesme kuvvetinde yaklaşık %17 azalma görülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde yaklaşık %71 iyileşme elde edilmiştir.

4) AA7075 malzemesinin konvansiyonel yönteme göre delinmesinde soğutma sıvısı kullanılarak ZrN kaplamalı karbür matkap ile yapılan deneylerde, soğutma sıvısı olmadan yapılan deneylere göre ortalama kesme kuvvetinde yaklaşık %16 azalma görülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde yaklaşık %48 iyileşme elde edilmiştir.

5) Tüm matkaplarda, malzeme kalınlığı fazla olduğundan konvansiyonel delme esnasında talaş sıkışması gözlemlenmiştir. Bu durum kesme grafiklerinde artışa neden olmaktadır.

6) Talaşın kolaylıkla atılmadığı durumlarda sıcaklık artışı gözlemlenmiştir. Soğutma sıvısının kullanıldığı deneylerde, soğutma sıvısı delik içerisine girdiğinden sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Delik sıcaklıkları yaklaşık olarak verilmiştir.

7) Ortalama kesme kuvveti değerlerine bakıldığında, en yüksek değer HSS-TiN matkap ucu ile elde edilmiştir. Buna rağmen en iyi yüzey kalitesi bu matkap ile sağlanmıştır. Bu durumun nedeninin matkap kaplamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. HSS-TiN yapılan delme deneylerinin tamamında malzeme takım yüzeyine yapıştığından kesme kuvvetini yükselttiği düşünülmektedir. Buna rağmen çıkan yüzey pürüzlülüğü sonuçları, malzeme sıvandıkdan sonra da yüzeyin iyi çıktığı yönündedir.

Ortalama kesme kuvveti değerlerine bakıldığında, en düşük değer ise kaplamasız karbür matkap ucu ile elde edilmiştir. Buna rağmen, soğutma sıvısı olmadan yapılan deneylerde en kötü yüzey kalitesi elde edilmiştir. Soğutma sıvısı ile yapılan deneylerde ise yüzey kalitesinde iyileşme gözlemlenmiş ve ZrN kaplaması matkap ucuna göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

8) Soğutma sıvısının kullanımı, AA7075-F malzemesinin delinmesinde ortalama kesme kuvvetini yaklaşık %27; AA7075-T4 malzemenin delinmesinde ortalama kesme kuvvetini yaklaşık %16; AA7075-T6 malzemesinin delinmesinde ortalama kesme kuvvetini yaklaşık %9; AA7075-T7 malzemesinin delinmesinde ortalama kesme kuvvetini yaklaşık %14 düşmesini sağlamıştır.

9) Soğutma sıvısının kullanımı, AA7075-F malzemesinin delinmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğünü yaklaşık %62; AA7075-T4 malzemesinin delinmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğünü %40; AA7075-T73 malzemesinin delinmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini yaklaşık %8 iyileştirmiştir. AA7075-T6 malzemesinin delinmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde, soğutma sıvısı kullanımının etkisinin dikkate değer bir değişimi gözlemlenememiştir.

10) Malzemenin sertleşmesi ile plastik şekil değiştirme kabiliyeti azaldığından, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde iyileşme gözlenmiştir.

## 8.2 Öneriler

AA7075 malzemesinin işlenmesinde, sabit kesme ve ilerleme hızlarında elde edilen verilere göre, HSS-TiN kesici takımını tercih edilmelidir.

ZrN kaplamalı karbür matkap ucunun, AA7075-T6 malzemesinin konvansiyonel yöntemle göre delme işlemine uygun olmadığı görülmüştür.

AA7075 malzemesinin delik delme işleminde aynı takımlar kullanılarak, farklı ilerleme ve kesme hızları altındaki kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenebilir.

Kaplamasız HSS matkap uçlarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenebilir.

Ultrasonik titreşimli delme işleminin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Aynı şartlar altında, malzeme kalınlığı azaltılarak kesme kuvveti ve yüzey kalitesi araştırılabilir. Farklı kesme ve ilerleme hızları altında da malzeme kalınlığı azaltıldıktan sonra kesme kuvveti ve yüzey kalitesi araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Zhu M. H. and Zhou Z. R., Fretting Wear Behaviour of Ceramic Coating Prepared by Micro-arc Oxidation on Al-Si Alloy, *Wear*, 2007, **263**, 472-480.
- [2] Bayraklılar M. S., HSS-G, HSS-G Co ve HSS-G TiN Matkapların AA6082-T6 Alüminyum Alaşımında Talaşlı İşleme Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 354568.
- [3] Nie X. and Matthew A., Thickness Effects on The Mechanical Properties of Micro-arc Discharge Oxide Coatings on Aluminium Alloys, *Surface and Coatings Technology*, 1999, **116**, 1055-1060.
- [4] Fujda M., Kvackaj T., Nagyova K., Improvement of Mechanical Properties for EN AW 6082 Aluminium Alloy Using Equal-channel Angular Pressing (ECAP) and Post-ECAP Aging, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 2008, **18**, 81-87.
- [5] Kurt M., Kaynak Y., Bakır B., Köklü U., Atakök G., Kutlu L., Al 2024-T4 Alüminyumun Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Optimizasyonu, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük 13-15 Mayıs 2009.
- [6] Özer G., Properties of AA7075 Aluminum Alloy in Aging and Retrogression and Reaging Process, *Transactions of Nonferrous Society of China*, 2017, **27**(11), 2357-2362.
- [7] Yürekli Y., Frezeleme İşleminde Eş Yönlü ve Ters Yönlü Talaş Kaldırmanın CVD/PVD Kaplanmış Sert Metal Uçların Ömrüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012, 322903.
- [8] El-Sonbaty I., Khashaba U. A. Machaly T., Factors Affecting The Machinability of GFR / Epoxy Composites, *Composite Structures*, 2004, **63**, 329-338.
- [9] [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137\\_1445.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_1445.pdf), (Ziyaret Tarihi: 9 Kasım 2019).
- [10] Cayless R. B. C., Rooy E. L., *Metals Handbook Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-purpose Materials*, 10th ed., ASM, Ohio, 1990.
- [11] TS EN 573-3, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları – Kimyasal bileşim ve biçimlendirilebilir ürünlerin şekli – Bölüm 3: Kimyasal Bileşim, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2019.

- [12] TS EN 755-2, Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları – Ekstrüzyonla İmal Edilmiş Tellik Çubuk/Çubuk, Boru ve Profiller – Bölüm 2: Mekanik özellikler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2016.
- [13] Tekin R., AA 2014, AA 6082 Alüminyum Alaşımlarının Oksidasyonu ve Mekaniksel Özelliklerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2014, 361122.
- [14] Rashed H.M.M.A., Rashid A.K.M., Heat Treatment of Aluminum Alloys, Editors: Hashmi S., *Comprehensive Materials Finishing*, 1st ed., *Materials Today: Proceedings*, United Kingdom, 337-371, 2016.
- [15] Bayram H., Ekstrüzyon Yönteminde Sıcaklık, Ekstrüzyon Hızı ve Sürtünme Parametrelerinin Profil Kalitesine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 238188.
- [16] Feyerabend F., In Vitro Analysis of Magnesium Corrosion in Orthopaedic Biomaterials, Editors: Dubruel P., Vlierberghe S.V., *Biomaterials for Bone Regeneration*, 1st ed., Woodhead Publishing, United Kingdom, 225-269, 2014.
- [17] Saha P.K., *Aluminium Extrusion Technology*, 1st ed., ASM International, Ohio, 2000.
- [18] Akkurt M., *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1991.
- [19] Groover M. P., *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 5th ed., Wiley, United States of America, 2012.
- [20] Yarar E., AA6061-T6 Isıl işlemlerle Al Alaşımlarının Ultrasonik Talaşlı Delinmesinde Konvansiyonel Yönteme Göre Kuvvet ve Yüzey Özelliklerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2016, 436187.
- [21] Liu C. S., Zhao B., Gao G. F., Zhang X. H., Study on Ultrasonic Vibration Drilling of Particulate Reinforced Aluminum Matrix Composites, *Key Engineering Materials*, 2005, **291-292**, 447-452.
- [22] Okutan E., Polimer Kompozitlerin Matkapla Delinme Karakteristiklerinin ve Oluşan Mekanizmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009, 259418.
- [23] Altintas Y., *Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*, 2th ed., Cambridge, Boston, 2012.
- [24] Merchant, M. E., Mechanics of the Metal Cutting Process: II. Plasticity Conditions in Orthogonal Cutting, *Journal of Applied Physics*, 1945, **16**, 318–324.

- [25] Üstün T., Delik Delmede Farklı Delme Uygulamalarının Takım Performansı ve İşleme Ekonomisi Açısından Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019, 584413.
- [26] 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, 2010, 269444.
- [27] Gavas M., Yaşar M., Aydın M., Altunpak Y., *Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri*, 4. Baskı, Seçkin Yayınevi, İstanbul, 2015.
- [28] Tonshoff, H.L., Spintig, W., Konig, W., Neises, A., Machining of Holes Developments in Drilling Techonlogy, *CIRP Annals*, 1994, **43**(2), 551-561.
- [29] Krar, F.S., Rapisarda, M., Check, F.A., *Machine Tool and Manufacturing Technology*, Delmar Publishers, U.S.A, 1998.
- [30] Batman Ö., 2011-T6 Alüminyum Alaşımının Delik Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2019, 559113.
- [31] Armarego E. J. A., Pramanik D., Smith A. J. R., Whitfield R. C., Forces and Power in Drilling-computer Aided Predictions, *Journal of Engineering Production*, 1983, **6**, 149-174.
- [32] Galloway D. J., Some Experiments on The Influence of Various Factors on Drill Performance, *Transaction of the ASME*, 1957, **79**, 139.
- [33] Armarego E. J. A., Brown R. H., *The Machining of Metals*, 1st ed., Prentice, Hall, United States of America, 1969.
- [34] Roukema J. C., Mechanics and Dynamics of Drilling, Doctor of Philosophy, The University of British Columbia, The Faculty of Graduate Studies, Vancouver, 2006.
- [35] Çakır A., Nalbant M., Duran A., Ulaş H.B, AA7075 Ve AA6013 Alüminyum Malzemelere Delik Delme Operasyonu Sürecinde Kesme Parametrelerinin İncelenmesi, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 04-05 Ekim 2012.
- [36] Çaydaş U., Çelik M., AA 7075-T6 Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Sıcaklığı ve İlerleme Kuvvetine Etkilerinin Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 2017, **20**(2), 419-425.
- [37] Şahin Y., *Talaş Kaldırma Prensipleri II*, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 2000.
- [38] Haan D. M., Batzer S. A., Olson W. W., Sutherland J. W., An Experimental Study of Cutting Fluid Effects in Drilling, *Journal of materials processing technology*, 1997, **71**, 305-313.

- [39] AMS 2772C, Heat Treatment of Aluminum Alloy Raw Materials, *SAE International*, United States, 2002.
- [40] <http://www.ekilavuz.com/kilavuz/5d96cbd58ebdd289/41/tossunited/tu5032b-matkap-tezgahi/matkap-tezgahlari> (Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2019).
- [41] <https://www.kistler.com/is/en/> (Ziyaret Tarihi: 25 Aralık 2019).



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Çelik O.H., Mehmetlioğlu C., Güner M.B., Özçelik G., **Özsar O.Ö.**, Mimari Sektöründe Tercih Edilen Profillerde Mg<sub>2</sub>Si Miktarının Ekstrüde Edilebilirlik ve Mekanik Özelliklere Etkisi, *9. Uluslararası Alüminyum Sempozyumu*, İstanbul, 10-11 Ekim 2019.





## ÖZGEÇMİŞ

Orsal Özgür ÖZSAR 1994 yılında Sakarya'da doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimini Akyazı'da tamamladı. 2012 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2017 yılından beri özel sektörde makine mühendisi olarak çalışmaktadır.

