



**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DELİNMESİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN ENERJİ TÜKETİMİNE VE DELİK KALİTESİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Şeyma ATAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Şeyma ATAK

14/05/2025

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN ENERJİ TÜKETİMİNE VE DELİK KALİTESİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Şeyma ATAĞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2025

ÖZET

Alüminyum alaşımları yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri, üstün korozyon dirençleri, şekillendirilebilirliği ve özellikle sahip olduğu yüksek mukavemet/yoğunluk oranı özelliğinden dolayı imalat sektöründe çokça tercih edilmektedir. Bilhassa alüminyum alaşımlarının ulaşım araçlarında yapı malzemesi olarak kullanılması sayesinde ağırlığın azaltılması durumunda elde edilen yakıt tasarrufu ile enerji tüketiminin azaltılması sağlanabilmektedir. Birçok avantajı olmasının yanında alüminyum alaşımlarının bazı işlenebilirlik problemleri bulunmaktadır. Yığıntı talaş, alüminyum alaşımlarının işlenebilirlik problemleri arasında en önemlisidir. Bu çalışma kapsamında, Al 7075 alaşımında HSS ve Karbür olmak üzere iki farklı matkap ucu ile kesme parametreleri olarak dört farklı ilerleme miktarı ve dört farklı kesme hızı belirlenerek delik delme işlemleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri, moment, enerji tüketimi, yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma, diklikten sapma ve silindiriklikten sapma değerleri incelenmiştir. Karbür ve HSS takımlar ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvveti, moment, enerji tüketimi ve dairesellikten sapma değerlerinde genel anlamda Karbür takımların HSS takımlara göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Çaptan ve diklikten sapma değerlerinde HSS takımlar ile daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinde genel anlamda Karbür takımlar ile daha yüksek sonuçlar elde edilirken, kesme hızı arttıkça Karbür takımların daha iyi yüzey kalitesi sağladığı gözlemlenmiştir. Silindiriklikten sapma değerlerinde çoğunlukla HSS takımlar yüksek sonuçlar verirken, kesme hızı arttıkça Karbür takımlar ile elde edilen sonuçlarda artış meydana gelmiştir. En düşük enerji tüketim değeri 125 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında HSS takım ile 2,415 kW, en yüksek enerji tüketim değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında Karbür takım ile 9,258 kW olarak ölçülmüştür. İlerleme miktarı ve kesme hızının artışı ile enerji tüketimi değerlerinde genel anlamda artış gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Alüminyum, delme, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, enerji tüketimi

Sayfa Adedi : 89

Danışman : Doç. Dr. Selçuk YAĞMUR

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON ENERGY
CONSUMPTION AND HOLE QUALITY IN THE DRILLING OF ALUMINUM
ALLOYS

(M. Sc. Thesis)

Şeyma ATAĞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2025

ABSTRACT

Aluminum alloys are widely preferred in the manufacturing sector due to their high heat and electrical conductivity, superior corrosion resistance, formability and especially their high strength/density ratio. Especially thanks to the use of aluminum alloys as building materials in transportation vehicles, the fuel savings achieved in case of weight reduction can be achieved and energy consumption can be reduced. In addition to having many advantages, aluminum alloys have some machinability problems. Built Up Edge (BUE) are the most important among the machinability problems of aluminum alloys. Within the scope of this study, hole drilling operations were carried out in Al 7075 alloy with two different drill bits, HSS and Carbide, by determining four different feed rates and four different cutting speeds as cutting parameters. As a result of the experiments, the cutting forces, moment, energy consumption, surface roughness, deviation from diameter, deviation from circularity, deviation from perpendicularity and deviation from cylindricity values obtained were examined. As a result of the experiments carried out with carbide and HSS tools, it was observed that carbide tools generally gave higher results than HSS tools in the cutting force, moment, energy consumption and deviation from circularity values obtained. Higher results were obtained with HSS tools in the deviation values from diameter and perpendicularity. While higher results were generally obtained with Carbide tools in surface roughness values, it was observed that Carbide tools provided better surface quality as the cutting speed increased. While HSS tools mostly gave high results in cylindricity deviation values, there was an increase in the results obtained with Carbide tools as the cutting speed increased. The lowest energy consumption value was measured as 2,415 kW with HSS tool at 125 m/min cutting speed and 0.15 mm/rev feed rate, and the highest energy consumption value was measured as 9,258 kW with Carbide tool at 215 m/min cutting speed and 0.3 mm/rev feed rate. A general increase was observed in energy consumption values with the increase in feed rate and cutting speed.

Science Code : 91438

Key Words : Aluminum, drilling, cutting force, surface roughness, energy consumption

Page Number : 89

Supervisor : Assoc. Prof. Selçuk YAĞMUR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve çalışmalarım boyunca yardımlarıyla, bilgileriyle, tavsiyeleriyle ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Selçuk YAĞMUR'a, deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Saltuk Alper YAŞAR, Arş. Gör. Mehmet Okan KABAKÇI ve Arş. Gör. B. Sercan BAYRAM'a, desteklerinden dolayı İmalat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve maddi manevi her konuda beni her zaman destekleyen aileme teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmayı FYL-2024-9265 No'lu proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. KURAMSAL TEMELLER	19
3.1. Talaşlı İmalat	19
3.1.1. Delik delme	19
3.1.2. Delik delmede kuvvet ve enerji tüketimi	27
3.1.3. Delik delmede delik kalitesi	30
3.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	31
3.2.1. Al 7075 alaşımı	34
3.2.2. Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği	35
3.2.3. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları	35
4. MALZEME VE YÖNTEM	39
4.1. Deney Numunesi	39
4.2. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar	39
4.3. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgahı	42
4.4. Kuvvet ve Moment Ölçümleri	42
4.5. Enerji Tüketim Ölçümleri	42

	Sayfa
4.6. Delik Kalitesi Ölçümleri	43
4.6.1. Yüzey pürüzlülük ölçümleri.....	43
4.6.2. Geometrik tolerans ölçümleri.....	44
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	47
5.1. Enerji Tüketiminin Değerlendirilmesi	47
5.2. Kesme Kuvvetlerinin ve Momentin Değerlendirilmesi	50
5.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	58
5.4. Geometrik Toleransların Değerlendirilmesi	63
5.4.1. Çaptan sapma	64
5.4.2. Dairesellikten sapma	67
5.4.3. Diklikten sapma	71
5.4.4. Silindiriklikten sapma	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	81
EKLER	87
EK-1. Uygunluk Sertifikası	88
ÖZGEÇMİŞ	89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. K değerleri	28
Çizelge 3.2. Sürtünme katsayısı değerleri.....	29
Çizelge 3.3. Alüminyum alaşımlarının tanımı	33
Çizelge 3.4. Al 7075 alaşımında elementlerin bulunma yüzdeleri	34
Çizelge 3.5. Al 7075 alaşımının temperli ve tempersiz mekanik özellikleri	34
Çizelge 4.1. Al 7075 Alaşımının kimyasal analizi	39
Çizelge 4.2. Al 7075 Alaşımının mekanik özellikleri.....	39
Çizelge 4.3. Deneyler için kullanılan işleme merkezinin teknik özellikleri	42
Çizelge 4.4. Delinen deliklerin yüzey pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı cihazın teknik özellikleri	43
Çizelge 5.1. Al 7075 T6 alaşımı ile yapılan delik delme deneyleri sonucunda elde edilen geometrik tolerans değerleri	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Delik çapı ve boyu	20
Şekil 3.2. Kesme hızı, ilerleme hızı ve ilerleme miktarı a) İlerleme miktarı (f) b) Kesme hızı (V_c) ve ilerleme hızı (V_f)	22
Şekil 3.3. Matkabın bölümleri	25
Şekil 3.4. Farklı matkap uç açıları	25
Şekil 3.5. Farklı matkap helis açıları	26
Şekil 3.6. Matkap özü	26
Şekil 3.7. Talaş kaldırma kuvvetleri	27
Şekil 4.1. HSS matkap ucu teknik resmi ve özellikleri	40
Şekil 4.2. Karbür matkap ucu teknik resmi ve özellikleri	41
Şekil 4.3. Anlık enerji tüketim değerlerinin tezgah panelinden görünümü	43
Şekil 4.4. Geometrik tolerans değerlerinin ölçüldüğü cihazın teknik özellikleri	44
Şekil 5.1. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre enerji tüketim değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak	47
Şekil 5.2. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre kesme kuvvetlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak	51
Şekil 5.3 Aynı kesme parametrelerinde karbür ve HSS takımlarda BUE oluşumu.....	52
Şekil 5.4. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre moment değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak	55
Şekil 5.5. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak	58
Şekil 5.6. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre çaptan sapma değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak	64
Şekil 5.7. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre dairesellikten sapma değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak	68

Şekil**Sayfa**

- Şekil 5.8. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre diklikten sapma değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak 71
- Şekil 5.9. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak 75



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Boeing 747’de kullanılan yapısal malzemeler	37
Resim 3.2. Hornet F/A-18'de kullanılan yapısal malzemeler	37
Resim 3.3. Boeing 777'de kullanılan yeni alüminyum alaşımları ve temperleme işlemleri.....	38
Resim 4.1. Deney düzeneği	45



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
$^{\circ}\text{C}$	Derece Santigrat
ρ	Yoğunluk
σ	Çekme Mukavemeti
mm	Milimetre
m	Metre
dev	Devir
dak	Dakika
g	Gram
MPa	Mega Pascal
Ra	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
L	Matkap Boyu
D	Matkap Çapı
n	Devir Sayısı
Π	Pi Sayısı
V_c	Kesme Hızı
V_f	İlerleme Hızı
f	İlerleme Miktarı
a_p	Talaş Genişliği
f_t	Diş Başı İlerleme
A	Talaş Kesit Alanı
A_t	Ağız Başı Talaş Kesit Alanı
V	Talaş Kaldırma Debisi
k_c	Özgül Kesme Kuvveti
F_c	Kesme Kuvveti
F_t	İlerleme Kuvveti

Simgeler**Açıklamalar**

F_r	Radyal Kuvvet
F_y	Teğetsel Kuvvet
s	İlerleme Miktarı
ψ	Uç Açısı
N	Newton
M_c	Kesme Momenti
M_f	Sürtünme Momenti
μ	Sürtünme Katsayısı
ω	Açısal Hız
P_c	Kesme Gücü
kW	Kilowatt

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
ANOVA	Varyans Analizi (Analysis of Variances)
BUE	Yığıma Kenar (Built Up Edge)
CMM	Koordinat Ölçme Tezgahı (Coordinate Measuring Machine)
CVD	Kimyasal Buhar Çökeltme (Chemical Vapour Deposition)
HSS	Yüksek Hız Çeliği (High Speed Steel)
PVD	Fiziksel Buhar Çökeltme (Physical Vapour Deposition)
S/N	Sinyal/Gürültü Oranı (Signal/Noise Rate)
YHÇ	Yüksek Hız Çeliği
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

İnsan hayatının kolaylaşmasında en önemli buluşlardan birisi enerjidir. Zaman içerisinde doğada bulunan enerji kaynakları keşfedilmiş ve onlardan çeşitli enerji türleri elde edilmiştir (Tatlı, 2018). Sanayi Devrimi ile makineleşmenin artması enerjinin de önemini arttırmıştır (Yılmaz, 2012). Enerjinin sanayide, savunmada, ulaşımda, eğitimde, iletişimde ve daha birçok sektörde ve gündelik yaşamda kullanım alanı bulunmaktadır. Günden güne gerçekleşen nüfus artışı ve akabinde gelen ihtiyaç ve talebinde artması ile aynı zamanda dünyada yaşanan ekonomik rekabetler enerjinin daha çok üretilmesine ve tüketilmesine neden olmaktadır (Tatlı, 2018).

Enerjinin üretilmesi ve tüketilmesi aşamalarında fazla miktarda karbon ayak izi oluşmaktadır ve karbon ayak izi arttıkça küresel ısınmayı da arttırmaya yönelik etkiler oluşturmaktadır. Bu durumun iklim değişikliğinin yaşanmasında büyük etkisi olmaktadır.

Doğal düzenin korunması ve kaynakların kendini yenileme özelliğinin devam edebilmesi için hammadde rezervlerinin verimli ve doğru kullanımı önemli bir rol oynamaktadır. Bu sayede çevresel sürdürülebilirlik sağlanabilir. Çevresel sürdürülebilirlik hem günümüz hem de gelecek nesiller için dikkat edilmesi gereken bir konudur (Semtrio).

Dünya çapında elektrik üretimi esas olarak fosil yakıtların kullanımına dayanmaktadır. Sonuç olarak, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, 2 °C iklim hedefine ulaşmak için CO₂ emisyonlarının 2030 yılına kadar yaklaşık %25 oranında azaltılması ve 2070 yılında net sıfıra ulaşması gerekmektedir (Denkena vd., 2020).

Enerji tüketiminde imalat sektörünün önemli bir payı vardır. Fazla enerji tüketimi ve buna bağlı olarak oluşan yüksek maliyet nedeniyle enerji tasarrufunun sağlanabilmesi için yapılan çalışmalarda imalat sektörü ilk sıralarda yer almaktadır (Söğüt, 2006).

İmalat sektöründe, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet, yüksek korozyon direnci ve mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi ve şekillendirme gibi özelliklere sahip olması

alüminyum alaşımlarının birçok farklı sektörde kullanım alanlarını ortaya çıkarmıştır (Akyüz ve Şenaysoy, 2014).

İmalat, makine, otomotiv, havacılık-uzay, elektronik ve taşımacılık sektörlerinde yaygın olarak alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının otomotiv ve havacılık-uzay sektörlerinde özellikle tercih edilmelerinin sebebi yoğunluk(ρ)/çekme mukavemeti(σ) oranının diğer metallere oranla daha düşük olması ile düşük ağırlıklarda yüksek mukavemet gösterebiliyor olmasıdır. Aynı zamanda hafif olmasıyla ağırlık azaltılarak yakıt tasarrufu sağlanması ile hava kirliliğinin önlenmesinde de çok önemli bir rolü vardır (Akyüz ve Şenaysoy, 2014).

Alüminyum alaşımları sahip oldukları olgun üretim süreçleri, yorulma çatlak büyümesine karşı iyi dirençleri ve üstün hasar toleransları sayesinde havacılık sektöründe kullanımı büyüyen titanyum, magnezyum ve kompozit gibi malzemelerin yanı sıra havacılık ve uzay endüstrisi için çekici bir seçim olmaya devam etmektedir. Delme işlemi, havacılık sektöründe uçak yapılarının montaj işleminde cıvatalı ve perçinli bağlantıların oluşturulabilmesi için milyonlarca delik gerektiğinden geri kalan tüm işleme süreçlerine oranla en yaygın olanıdır (Aamir vd., 2020).

Delik delme işlemi, kesici takımlarla bir iş parçası üzerinde silindirik delik açma yöntemidir. Geleneksel delik delme uygulaması basit uygulanabilirliği ve ekonomik oluşuyla, modern talaşlı imalat yöntemlerinin bulunmasına rağmen imalat endüstrisinde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinin yaklaşık üçte biri delik delme işlemidir. Delik delme işlemi kapalı bir ortamda gerçekleştirildiği için talaşların tahliyesi güç olabilmektedir. Talaşların ortamdan uzaklaştırılamaması durumunda oluşabilecek yüksek kuvvetlerin etkisiyle kesici takım kırılabilir (Yağmur, 2017).

Talaş yüzeyinde yapışma, alüminyum alaşımlarının işlenmesinde karşılaşılan önemli bir sorundur. Çalışılan malzeme sünek, düşük dayanımlı ve talaş kontrolü zor olduğunda kesici takımda yığıntı talaş oluşmaktadır (Sekmen vd., 2015).

Bu alışmada, Al 7075 alaşımının yüksek hız eliği (YH) ve karbür matkapla ile delinmesinde meydana gelen kesme kuvvetleri, moment değerleri, enerji tüketimi, delik kalitesi ve delik geometrisi incelenmiştir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların büyük çoğunluğu kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin belirlenmesine yöneliktir. Bunun yanı sıra delik kalitesinin saptanması ile ilgili çalışmalara da rastlanmaktadır. Fakat özellikle enerji tüketiminin araştırıldığı çalışmalar oldukça az sayıdadır.

Aamir ve arkadaşları, havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan Al2024 ve Al7075 alüminyum alaşımlarının delinmesi sırasında delme kuvvetleri, delme parametreleri, matkap takım geometrisi, matkap malzemeleri ve kaplamaları, talaş oluşumu, takım aşınmasının analizi ve delik boyutu ve dairesellik hatası, yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumu gibi delik ölçümleri ile ilgili ayrıntıları belgelemeyi amaçlayan bir derleme çalışma yapmışlardır. 2000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımlarının esas olarak uçak yapılarında kullanıldığını, Al2024-T3 alaşımının çoğunlukla, kırılma tokluğunun, yani çatlak büyümesine karşı direncin önemli bir tasarım parametresi olduğu uçağın gövde derisinde ve alt kanatlarında tercih edilirken, Al7075-T6 alaşımının mukavemetin birincil tasarım faktörü olduğu üst kanat kaplamaları için daha iyi bir seçim olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları araştırmalar sonucu, doğru matkap seçimin elmas kaplı takım olduğunu, ancak pahalı olduğunu ifade etmişlerdir. Delme parametreleri ile ilgili olarak, düşük itme kuvveti oluşturmak ve düşük tork üretmek için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme hızı gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca yaptıkları araştırmalar sırasında, düşük yüzey pürüzlülüğü, daha az çapak ve nominal boyuttan daha az sapma veya minimum dairesellik hatası dahil olmak üzere daha iyi delik kalitesi için yapılan çalışmaların çoğunda, düşük bir kesme hızı, düşük ilerleme hızı, 130°-140° aralığında daha yüksek bir uç açısı, 30°'lik bir helis açısı ve perçin ve delik oluşturmak için havacılık alaşımlarında genellikle 5 ila 10 mm arasında ortak aralığa sahip düşük bir matkap çapı önermiş olduklarını gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, kesme hızı ve ilerleme hızının etkisinin, uç açısı ve matkap boyutunu takiben bu çıktı parametreleri üzerinde daha fazla bulunmuş olduğunu tespit etmişlerdir (Aamir vd., 2020).

Çaydaş ve Çelik, çalışmalarında 1500 dev/dak sabit devir sayısı, 5, 10, 15, 20, 25 mm/dak olmak üzere 5 farklı ilerleme miktarı ve 118°, 125°, 130°, 135°, 140° uç açılarına sahip

K20 kalitesinde 8 mm çapında karbür matkaplar kullanarak AA 7075 – T6 alaşımında soğutma sıvısı olmadan sürekli delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. İlerleme hızı ve kesici takım uç açısının artmasıyla, eksenel ilerleme kuvvetinde ve ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış g zlemlerlerken, takım uç sıcaklıklarında düşüş görmüşlerdir (aydaş ve elik, 2017).

 zdemir, çalışmasında 0,05, 0,1, 0,15 mm/dev ilerleme miktarları ve 40, 70, 100 m/dak kesme hızları belirleyerek 120  uç açısına sahip 15 , 30 , 45  helis açıları olan 10 mm çapında   özel üretim kaplamasız sert metal uç (WC-karbür) matkaplar kullanarak Al6061-T6 alüminyum alaşımı malzeme üzerinde delik delme deneyleri gerçekleştirmiştir. ANOVA, Sinyal/Gürültü, Regresyon ve Gri ilişkisel analizlerini uygulamıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, helis açısının ve kesme hızının artmasıyla azalış eğilimi gösterirken, ilerleme miktarının artışıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığını gözlemlemiştir. Genel olarak kesme hızının, ilerleme miktarının ve helis açısının artışı ile kesme sıcaklığının arttığı sonucunu elde etmiştir. Enerji t ketimeinin, kesme hızının ve ilerleme miktarının artışı ile azaldığı görülürken, helis açısının artışı ile enerji t ketimeinin arttığını görmüştür ( zdemir, 2022).

Kutlu, alışmasında Al 2024 alaşımı ile 6, 8 ve 10 mm boyutlarında üç farklı çap değerine sahip DLC kaplanmış matkaplarla 0,20, 0,25 ve 0,30 mm/dev ilerleme oranları ve 40, 50 ve 60 m/dak kesme hızları belirleyerek delme deneyleri gerçekleştirmiştir. Kesme parametrelerinin ve matkap çaplarındaki değişimlerin kesme kuvvetlerine, yüzey pürüzlülüğüne ve delme sıcaklığına etkisini incelemiştir. İtme kuvveti değerlerinin, matkap çapının ve ilerleme oranının artışıyla doğru orantılı bir artış gösterdiğini gözlemlemiştir. Yüksek kesme hızlarında ilerleme oranının ve matkap çapı değişiminin yüzey kalitesini önemli ölçüde etkilediğini görmüştür. DLC matkapların kullanımının, geleneksel kesici takımları soğutma sıvısı ile kullanarak yapılan delme işlemlerinden daha avantajlı olabileceğini belirtmiştir (Kutlu, 2009).

Nouari ve arkadaşları, çalışmalarında kesme hızı ve kaplama malzemesine bağlı olarak aşınma mekanizmalarındaki değişimi tartışmışlardır. AA2024 alaşımını, sementit tungsten karbür ve HSS takımların aşınma mekanizmalarını araştırmak için kullanmışlardır. Deneylerde   kesme hızı (25, 65 ve 165 m/dak) ve 0,04 mm/dev sabit ilerleme hızı

seçmişlerdir. Maksimum ve minimum delik çapı sapmaları ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçlar kaplamasız ve kaplamalı tungsten karbür matkaplarda elde etmişlerdir. Ayrıca HSS takımının AA2024 alaşımının kuru işlenmesi için uygun olmadığını belirtmişlerdir (Nouari vd., 2005).

Turgut, çalışmasında 0,06, 0,08, 0,1 ve 0,12 mm/diş diş başı ilerleme miktarları ve 50, 70, 90 ve 110 m/dak kesme hızları belirleyerek Al 2024 T351 alaşımı ile delik delme deneyleri gerçekleştirmiştir. 8 mm çapında olan HSS, HSSE-Co5 ve TiAlN kaplamalı HSSE-Co5 matkap uçları kullanmıştır. Diş başı ilerleme miktarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkili parametre olduğunu tespit etmiştir. 0,06 mm/diş diş başı ilerleme ve 110 m/dak kesme hızı koşullarında yapılan deneyler sonucunda seçilen kesme parametrelerinin en yüksek kesme kuvvetini ve işlem süresini minimize eden parametreler olduğuna ulaşmıştır (Turgut, 2023).

Das ve arkadaşları, çalışmalarında Al 2024 alaşımının delinmesi için mil hızı, ilerleme hızı ve matkap ucu çapı belirlemişlerdir. Çıktı parametreleri olarak kesme süresi, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine bakmışlardır. Delme işlemlerinde 6, 8 ve 10 mm boyutlarında yüksek hız çeliğinden (HSS) yapılmış üç farklı matkap ucu çapı kullanmışlardır ve deneyleri kuru işleme şartlarında yapmışlardır. Delme işleminden sonra delik morfolojisi ayrıntılarının derinliğini bilmek için yüzey morfolojik çalışması yapmışlardır. Yüksek mil hızının yüksek ilerleme hızıyla birlikte kesme süresini azalttığını, buna karşın kesme sıcaklığını artırdığını görmüşlerdir. Daha iyi yüzey kalitesi için düşük ilerleme hızıyla birlikte orta mil hızı önermişlerdir. Mil hızı ve ilerlemenin, kesme süresi, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili parametreler olduğunu gözlemlemişlerdir. Yüksek mil hızında yüzey taneciklerinin daha fazla inceltildiğini gözlemlemişler ve bu durumun da daha iyi bir yüzey kalitesi sağladığını belirtmişlerdir (Das vd., 2024).

Teke, çalışmasında TiAlN kaplamalı HSSE-Co5 matkap ile AA5083 H111 alaşımında delik delme işlemleri gerçekleştirmiştir. Deneyler için 0,06, 0,09 ve 0,12 mm/diş diş başına ilerleme miktarları ve 80, 100 ve 120 m/dak kesme hızları belirlemiş olup kuru, hava soğutmalı ve sıvı soğutmalı olmak üzere üç farklı soğutma tipi kullanmıştır. Ayrıca MATLAB paket programının NNTools modülü ile yapay zeka tahminleri almıştır. 0,06

mm/diş diş başı ilerleme, 100 m/dak kesme hızı ve sıvı soğutma yöntemi optimum parametreler olarak gözlemlenmiştir. Kesme kuvvetinin, ilerleme hızı ve kesme hızı artışı ile artış gösterdiğini tespit etmiştir (Teke, 2024).

Krishna ve Sheriff F, çalışmalarında AA6351-T6 alaşımı üzerinde CNC delme işleminde HSS M35 ve TiN kaplamalı takımların yüzey pürüzlülüğünü karşılaştırmışlardır. Çalışmaları, her biri her iki matkap takımı kullanılarak delinmiş 20 numuneden oluşan iki gruptan oluşmaktadır. Kontrollü değişkenler arasında hız (dev/dak), kesme derinliği (mm) ve ilerleme hızı (mm^3/dev) yer almaktadır. Giriş hızı, ilerleme ve kesme derinliği sırasıyla 2200, 200 ve 10'dur. Her numunenin yüzey pürüzlülüğü, %95 önem düzeyine sahip Mitutoyo Surface Roughness tester SJ-410 ekipmanını kullanarak değerlendirmişlerdir ve SPSS v.26 yazılımını kullanarak analiz etmişlerdir. HSS M35 için ortalama değer 0,02438609 standart sapma ile 0,855 iken, TiN için ortalama değer 0,411 ve standart sapma 0,06010208'dir. Yüzey pürüzlülüğü için elde ettikleri önem değeri 0,01'dir ve 0,05'ten küçüktür. Aynı giriş hızı, ilerleme ve kesme derinliği için TiN kaplamalı takım ile gözledikleri yüzey pürüzlülük değerleri HSS M35 takımla karşılaştırıldığında daha azdır (Krishna ve Sheriff , 2022).

Kuzucu, 0,5, 0,7 ve 0,9 mm/diş ilerleme hızları, 75, 95 ve 115 m/dak kesme hızları ve kuru, hava ve sıvı olmak üzere üç farklı soğutma yöntemi belirleyerek 8 mm çapında HSSE-Co5 matkap kullanarak alüminyum 6061 T651 alaşımının delinmesi üzerine çalışmıştır. Kesme kuvveti üzerindeki en etkili parametrenin kesme hızı olduğunu tespit etmiştir. Deneyler sonucu en optimal değerlerin diş başı ilerleme için 0,05 mm/diş, kesme hızı için 75 m/dak ve soğutma yöntemi olarak sıvı soğutmanın olduğunu elde etmiştir (Kuzucu, 2024).

Akdulum, farklı özellikleri olan 20 mm nominal çaplı U matkaplar ile AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 alaşımlarının delinmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Deneyler için 0,06, 0,09 ve 0,12 mm/dev ilerleme miktarları, 200, 250 ve 300 m/dak kesme hızları ve 3D, 4D, 4De ve 5D olmak üzere dört farklı U matkap belirlemiştir. Deneyleri ıslak ve kuru şartlarda yapmış olup, 40 mm derinliğinde delikler elde etmiştir. 4De U matkap ile yüzey pürüzlülüğünü, silindiriklikten sapmayı, sıcaklık değerini ve iş mili yükünü en minimal olarak ölçerken, itme kuvveti değerini en yüksek

ölçmüştür. 4De AA 6061-T651 malzeme hariç diğer iş parçalarında çoğunlukla tırlamalar görmüştür (Akdulum, 2022).

Özbek, çalışmasında üç farklı çap değerlerine ve 118° uç açısına sahip TiAlN kaplamalı Karbür, TiN kaplamalı HSS ve DLC kaplamalı matkaplar kullanarak 350x250x30 mm boyutlarında Al 7075-T651 alaşımı ile delik delme deneyleri gerçekleştirmiştir. Kesme parametreleri olarak 200, 400 ve 500 mm/dak ilerleme hızları ve 2000, 3000 ve 4000 dev/dak devir sayıları belirlemiştir. Elde edilen deliklerin yüzey kalitesini, matkap uç aşınmalarını ve talaşları incelemiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü DLC kaplamalı takımlarla meydana gelmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki en etkili parametrenin matkap uç tipi olduğunu görmüştür (Özbek, 2020).

Özger, çalışmasında 100x50x50 mm ebatlarında AA 7075-T6 alaşımı ile 5,8 mm çapında tungsten karbür matkap uçları kullanarak delik delme işlemi yapmıştır. Deneyler için 0,04, 0,06, 0,08 mm/diş ilerleme miktarları ve 40, 60, 80 m/dak kesme hızları belirlemiştir. Deneysel ve istatistiksel olarak, kriyojenik işlem uygulanan matkaplar ile belirlenen alüminyum alaşımı iş parçasında kuru, hava ve MQL destekli işleme şartlarında delik delinmesinde işleme performansını incelemiştir. İstatistiksel analizi için sırasıyla S/N gürültü, varyans (ANOVA) ve regrasyon uygulamıştır. Yapılan kriyojenik işlemin kullanılan takımın mikrosertliğinde artışa neden olduğunu ve işlenebilirlik performansında olumlu bir etki oluşturduğunu görmüştür. Yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve çaptan sapma değerlerinde kriyojenik işlemin olumlu etkileri olduğunu belirtmiştir. Yüzey kalitesinin iyi olması için en önemli parametrenin soğutucu işleme şartının olduğunu gözlemlemiştir. Çaptan ve dairesellikten sapma değerlerinde, MQL işleme şartında yapılan deneylerde azalma eğilimi olduğu sonucuna varmıştır (Özger, 2024).

Dahnel ve arkadaşları, çalışmalarında kesme hızlarının ve delme koşullarının Al 7075'in çapak oluşumu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Delme deneylerini, 0,15 mm/dev sabit ilerleme hızında ve 22, 44, 66 m/dak kesme hızlarında, 6 mm çapında yüksek hız çeliği matkaplar kullanılarak kuru ve geleneksel kesme sıvısı ile gerçekleştirmişlerdir. Al 7075 alüminyum alaşımının delinmesinde kesme sıvısının kullanılması, kuru delmeye kıyasla 22, 44 ve 66 m/dk kesme hızlarında sırasıyla %42, %38 ve %30 daha düşük takım aşınmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Al 7075'in kesme sıvısı ile 44 m/dak kesme

hızı kullanılarak delinmesinin, en az takım aşınması ve minimum çapak oluşumu ile sonuçlandığını görmüşlerdir (Dahnel vd., 2022).

Çakır ve arkadaşları, çalışmalarında AA7075 ve AA6013 alüminyum alaşımları ile 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 mm/dev ilerleme miktarları ve 35, 50, 65, 80 m/dak kesme hızları belirleyerek HSS ve Karbür takımlarla delik delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. İlerleme kuvvetinin ve momentin, ilerleme oranının artışıyla doğru orantılı bir davranış gösterdiğini görmüşlerdir. Genel anlamda her iki alüminyum alaşımını HSS takımlarla delinmesinde kesme hızının artışıyla ilerleme kuvvetlerinde artış ve moment değerlerinde azalış olduğunu belirtmişlerdir. Yine her iki alaşımın karbür takımlarla delinmesinde kesme hızının artması ile kuvvetlerde artış olduğu elde ederlerken, AA6013 alaşımında moment değerlerinde artış ve AA7075 alaşımında moment değerlerinde ise azalış olduğunu görmüşlerdir. HSS takımlarla yapılan deneylerde kesme hızının artışıyla elde edilen kuvvet ve moment artışının, karbür takıma göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Çakır vd., 2012).

Pramanik ve arkadaşları, Al6061-T6 alaşımı iş parçası ile farklı hızlar ve ilerlemeler altında kuru, minimum miktarda yağlama (MQL), sıvı nitrojen (LN2) ve hava soğutma (AIR) gibi farklı soğutma yöntemleri için aktif tepe gücü, çapak oluşumu, çap hatası, dairesellik hatası, silindiriklik ve yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. Soğutma yöntemlerinin, hız ve ilerlemenin artmasıyla artan aktif güç tüketimi üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Yüzey pürüzlülüğünün, ilerleme ve hızların artmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir. Talaş kalınlığı oranının, hızın artması ve ilerlemenin azalmasıyla birlikte artma eğiliminde olduğunu görmüşlerdir. İstenilen sonucu elde etmek için belirli bir hız ve ilerlemede belirli bir soğutma sıvısının gerekli olduğunu belirtmişlerdir (Pramanik vd., 2022).

Kaynak, çalışmasında Al 2024-T4 iş parçası, üç farklı ilerleme oranı (0,15, 0,20, 0,25 mm/dev) ve üç farklı kesme hızı (30, 45, 60 m/dak) belirleyerek 10 mm çapındaki üç tane 118° uç açısına sahip (taşlanmış HSS, TiAlN kaplamalı HSS, TiN kaplamalı HSS) ve iki tane 130° uça açısına sahip (%5 Co HSS, TiN kaplamalı HSS) matkaplar ile kuru delik delme deneyleri gerçekleştirmiştir. Kesme parametrelerinin, matkap kaplamalarının ve uç açılarının kesme sıcaklığına ve kuvvetine etkilerini incelemiştir. DeneySEL ve nümerik

yaklaşımlar belirtmiştir. Matkaplardaki kaplamalardan TiN kaplama ile en düşük sıcaklık değerine ulaşıldığını gözlemlemiştir. Genellikle 130° uç açısına sahip matkaplarla daha az kesme sıcaklıklarının elde edildiğini görmüştür. Oluşan delme sıcaklığının ilerleme oranıyla birlikte artış gösterdiğini belirtmiştir. Kaplamalı matkaplarla yapılan deneylerde, kaplamasız takımlarla yapılan deneylere göre daha düşük kesme kuvvetleri elde etmiştir. Deneyler sonucu elde edilen verilerle, sonlu elemanlar analizi ile ulaşılan verilerin birbirine oldukça benzer olduğunu belirtmiştir (Kaynak, 2006).

Akyüz ve Şenaysoy, çalışmalarında AA6013 ve AA6082 alüminyum malzemelerinde yaşlandırma işlemi yaparak mekanik ve işlenebilirlik özellikleri açısından etkilerine bakmışlardır. Kesme kuvvetleri kesme hızı arttıkça düşüş eğilimi gösterirken, talaş derinliği ve yaşlandırma süresi arttıkça artış eğilimi gösterdiğini görmüşlerdir. İşlenebilirliğin yaşlandırma süresi arttıkça düştüğü sonucunu elde etmişlerdir. Kesme hızının ve yaşlandırma işlem süresinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Yaşlandırma işlemiyle her iki alüminyum alaşımının da mekanik özelliklerinin iyileştiğini görmüşlerdir (Akyüz ve Şenaysoy, 2014).

Çakıroğlu, çalışmasında Al6061 alüminyum alaşımı malzeme kullanarak 0,1, 0,2, 0,3 mm/dev ilerleme oranları ve 170, 200, 230 m/dak kesme hızları belirleyerek kaplamalı ve kaplamasız yekpare helisel karbür matkaplar ile Taguchi metoduna göre delik delme deneyleri gerçekleştirmiştir. Regresyon, ANOVA, Taguchi ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri ile en iyi sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır. Yapılan deneyler sırasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklık ilerleme arttıkça ve kesici takıma yapılan kaplama etkisiyle hemen hemen bütün deneylerde azalma eğilimi göstermiştir. Kesme hızının artışı ile ise doğru orantılı olarak sıcaklığın artış gösterdiğini tespit etmiştir. Kesme sırasında oluşan kuvvetler ilerleme oranı artışı ile yükselme eğilimi gösterirken, kesme hızının artmasıyla kuvvetlerin azaldığını gözlemlemiştir. Kaplamasız takımlar ile yapılan deneylerde oluşan kesme kuvvetlerini daha düşük elde etmiştir (Çakıroğlu, 2011).

Korkmaz ve arkadaşları, deneysel ve simülasyon sonuçlarını karşılaştırabilmek amaçlı kaplamasız sementit karbür takım kullanarak 0,1, 0,2, 0,3 mm/dev ilerleme miktarları ve 170, 200, 230 m/dak kesme hızları belirleyerek Al2014 alaşımı ile delik delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. İtme kuvvetinin, kesme hızının artması durumunda azalma, ilerleme

miktarının artması ile artış eğilimi gösterdiğini görmüşlerdir. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılabilirliğini doğrulamışlardır (Korkmaz vd., 2019).

Özsar, çalışmasında ekstrüzyon yöntemi ile imal edilmiş hem ısıtma işlem görmemiş hem de üç farklı ısıtma işlem görmüş AA7075 alüminyum alaşımı malzeme ve üç farklı matkap kullanarak, sabit olarak belirlenmiş 1720 dev/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ile delik delme deneyleri gerçekleştirmiştir. Hem soğutma sıvısı kullanılarak hem de kullanılmayarak deneyler yapmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüğü değerlerini ve sıcaklığı incelemiştir. Soğutma sıvısının kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık üzerinde azaltıcı etki oluşturduğunu gözlemlemiştir. Ortalama kesme kuvvetleri incelendiğinde en fazla kesme kuvveti TiN kaplamalı HSS takım ile ve en düşük kesme kuvveti kaplamasız karbür takım ile meydana gelmiştir. Aynı zamanda en iyi yüzeyin TiN kaplamalı HSS takım ile elde edildiğini belirtmiştir (Özsar, 2020).

Batman, çalışmasında belirlemiş olduğu 0,09, 0,12, 0,15, 0,18 mm/dev ilerleme miktarları ve 160, 200, 240, 280 m/dak kesme hızları ile 14 mm çapında kaplamasız karbür matkap kullanarak AA2011-T6 alüminyum alaşımı malzeme ile delik delme deneyleri yapmıştır. Deneyler sırasında soğutma sıvısı kullanmıştır. Kesme hızının ve ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğü ve eksenel sapma değerlerinde artış gözlemlerken, dairesellik ve yuvarlaklık değerlerinde ise iyileşme gözlemlenmiştir. Delik çıkışıdaki çapsallık değerlerinin, kesme hızı ve ilerleme miktarlarının artışı ile olumlu etkilenmiş olduğunu belirtmiştir. Dairesellik değerlerinde ilerleme miktarı artışı ile iyileşme eğilimi görürken, kesme hızının artışı ile aksi bir eğilim görmüştür (Batman, 2019).

Aslan, çalışmasında 118°, 124°, 130° uç açısı değerlerine sahip HSS matkaplar kullanılarak Al 7050 alaşımı ile delik delme deneylerini 0,1, 0,15, 0,2 mm/dev ilerleme miktarları ve 80, 100, 120 m/dak kesme hızları belirleyerek gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucu oluşan itme kuvvetlerini ve momentleri sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. İtme kuvvetlerinde, ilerleme miktarı artışı ile yükseliş görülürken, uç açılarının artması ile azalma görüldüğünü elde etmiştir. Kesme momentlerinde, artan uç açıları ve ilerleme miktarları artış sağlarken, kesme hızının azaltıcı bir etkisi olduğunu gözlemlemiştir (Aslan, 2022).

Bayraklılar, çalışmasında yapay yaşlandırılma işlemi yapılmış AA6082 alüminyum alaşımıyla 3 farklı HSS matkap ucu kullanarak belirlemiş olduğu 0,1 mm/dev sabit ilerleme hızı ve 315, 760 dev/dak olmak üzere iki farklı kesme hızı ile delik delme deneyleri yapmıştır. Deneyler sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin artmasıyla yüzey kalitesinin olumsuz etkilendiğini gözlemlemiştir. En kötü ovalite, silindiriklik, doğrusalılık sonuçlarının ve en yüksek kesme kuvvetinin HSS-G TiN matkap ucu ile elde edildiği, aynı zamanda yine HSS-G TiN takımıyla çok pürüzlü bir yüzeyin oluştuğunu belirtmiştir. En olumlu sonuçları HSS-G Co takımıyla elde edildiğini görmüştür. Yaşlandırma işleminin yüzey kalitesine ve kuvvetlere olumlu etki sağladığı sonucunu elde etmiştir (Bayraklılar, 2014).

Yakut, çalışmasında Al7075-T6 alüminyum alaşımı üzerinde DLC kaplamalı matkaplar ile kuru olarak delik delme deneyleri yapmıştır. Belirlenmiş olan 0,2, 0,25, 0,3 mm/dev ilerleme miktarlarını ve 50, 60, 70 m/dak kesme hızlarını kullanmıştır. Regresyon ve ANOVA analizlerini yapmıştır. İlerleme oranının, delme sırasında oluşan sıcaklığın ve matkap ilerleme yönüne karşı oluşan itme kuvvetinin en etkili parametresi olarak tespit etmiştir. İlerleme oranının artması ile sıcaklık ve itme kuvvetinde artış gözlemlemiştir. Kesme hızı artışı ile sıcaklık artışı olduğunu görmüştür (Yakut, 2009).

Bozkurt, çalışmasında belirlemiş olduğu 0,05, 0,1, 0,25 mm/dev ilerleme miktarları, 100, 200, 300, 400 m/dak kesme hızları ve 0,5, 1,5, 3 mm kesme derinliği değerleri ile AA7075 T651 alüminyum alaşımı malzeme üzerinde tornalama yapmıştır. Kesme parametrelerinin, geometrik toleranslara ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine olan etkisini gözlemlemiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve geometrik tolerans değerlerinde, ilerleme miktarı artışı ile artış eğilimi görmüştür. Kesme hızının ve kesme derinliğinin artışının, yüzey pürüzlülüğü ve geometrik tolerans değerlerinde dalgalı bir etkisi olduğunu belirtmiştir (Bozkurt, 2019).

Denkena ve arkadaşları, talaşlı imalat operasyonlarının etkisini azaltmayı hedefleyerek enerji verimliliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sanayiden kaynaklanan artan küresel enerji talebinin, önemli ekolojik ve ekonomik maliyetlere neden olduğunu belirtmişlerdir. Projelerinde enerji verimli takım tezgahları ve talaşlı imalat süreçleri ile ilgili artan sayıda araştırma faaliyeti ve tanıtım literatürlerinde yer almaktadır (Denkena vd., 2020).

Geng ve Evans, çalışmasında 1976'dan Şubat 2022'ye kadar olan yayınları kapsayan bir araştırma yaparak, enerji israfını azaltmak ve hatta ortadan kaldırmak için enerji israfının dar ve geniş tanımlarını ve teorik bir çerçeveyi önermek için bir literatür taraması yapmışlardır. Enerji israfının içeriğini anlamak ve mevcut enerji ile ilgili kavramlarla olan bağlantıları keşfetmek için ortak kelime tabanlı bir tematik analiz ve bir ortak alıntı analizi yapmışlardır (Geng ve Evans, 2022).

Bagaber ve Yusoff, çalışmalarında kesme parametrelerinin, yani kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin enerji, maliyet ve takım aşınması üzerindeki etkilerini ilk olarak analiz etmişlerdir. Daha sonra enerji ve işleme maliyetini en aza indirmek için çok yanıtlı bir parametre optimize etmişler ve bu parametre NSGA II algoritmasını kullanarak çözmüşlerdir. Son olarak, önerilen modeli doğrulamak için bir doğrulama testi yapmışlardır. Bu yöntem aynı zamanda kesme sıvı kullanılmadan ve diğer yöntemlere göre daha az enerji gerektirerek çevresel etkileri etkin bir şekilde azaltmıştır ve bu azalma sürdürülebilir işleme ile sonuçlanmıştır. Enerji tasarrufunu %33,46 olarak elde etmişlerdir ve işleme maliyetinin %17,81 oranında azaldığını görmüşlerdir. Önerilen model, işleme maliyetini ve enerjisini etkin bir şekilde en aza indirmiştir ve böylece sürdürülebilir işlemenin genel olarak iyileştirilmesini sağlamıştır (Bagaber ve Yusoff, 2018).

Khanna ve arkadaşları, çalışmalarında VT-20 titanyum alaşımını delmek için enerji tüketimi ve ekolojik etkilere dayalı dört kesme koşulunu analiz etmişlerdir. Diğerlerine kıyasla LCO_2 için daha düşük kesme ve toplam enerji tüketildiğini tespit etmişlerdir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi analizi, kesme koşullarının ekosistem, insan sağlığı ve doğal kaynaklar üzerindeki etkisini belirlemek için ReCiPe 2016 orta noktasını (H) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. LN_2 içeren kriyojenik ortamın, kuru işlemeden sonraki en ekolojik kesme koşulu olduğu, sel tipi soğutma sıvısının ise tüm kesme koşulları dikkate alındığında toplam etkinin %94-99'una sahip olduğunu bulmuşlardır (Khanna vd., 2021).

Bhushan, çalışmasında AA7075/10 ağırlıkça %SiC (partikül boyutu 10–20 μ m), AA7075/15 wt% SiC (partikül boyutu 10–20 μ m), AA7075/10 wt% SiC (partikül boyutu m) ve AA7075/15 wt.% SiC (partikül boyutu 20–40 m) kompozitin tornalama işlemi sırasında güç tüketiminin deneysel bir incelemesini sunmuştur. AA7075 / ağırlıkça% 10 SiC ve AA7075 / ağırlıkça% 15 SiC kompozit çubukların işlenmesini, çeşitli kesme

parametrelerinde karbür uç CNMG 120404, 08,12EM, kalite 6615 kullanarak yapmıştır. Çalışma, AA7075/SiC kompozitlerin tornalama işlemi sırasında kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı ve burun yarıçapı gibi kesme parametrelerinin güç tüketimi üzerindeki etkilerini göstermiştir. Bu araştırmada bahsedilen 04 tipi AA7075/SiC kompozitlerin tornalanması sırasında, tornalama işlemi 90 m/dak kesme hızında, 0,15 mm/dev ilerlemede, 0,20 mm kesme derinliğinde ve 0,40 mm burun yarıçapında yapıldığında minimum güç tüketildiğini belirtmiştir (Bhushan, 2022).

Fernando ve arkadaşları, endüstriyel sektörün enerji tüketimine etkisine odaklanmışlardır. Özellikle işleme sektörünün, enerji ve kaynak kullanımı nedeniyle önemli bir çevresel ayak izi oluşturduğuna dikkat çekmişlerdir. Çalışmalarında, bunları azaltmak için etkili stratejiler belirlemek amacıyla torna operasyonlarına ve torna operasyonları sırasında çevresel etkilere en çok katkıda bulunanlara odaklanmışlardır. Yapılan literatür analizi sonuçlarına dayanarak, çalışma daha sürdürülebilir tornalama operasyonları elde etmek için çeşitli stratejiler önermektedir (Fernando vd., 2021).

Bhushan, CNC torna tezgahında gerçekleştirilen işleme operasyonları sırasında güç tüketimini en aza indirmenin, takım ömrünü en üst düzeye çıkarmanın önemli olduğunu ama üretim sistemlerinin karmaşıklığı ve işlenen malzemenin doğası nedeniyle zor olduğunu ifade etmiştir. Çalışmasında, 7075 Al alaşımı %15 ağırlıkça SiC (partikül boyutu 20–40 μ m) kompozitinin CNC tornalamasında kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve köşe radyüsünün etkilerine ilişkin deneysel araştırmaların bulgularını sunmuştur (Bhushan, 2013).

Negrete, çalışmasında minimum enerji tüketimini elde etmek amacıyla AISI 6061 T6'nın kaba işleme koşulları altında tornalanması sırasında kesme parametrelerini optimize etmek için yapılan deneysel bir çalışmayı özetlemiştir. Kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızının yanıt değişkeni üzerindeki etkilerini ve katkılarını analiz etmek için ortogonal bir dizi, sinyal gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanmıştır. İşleme işlemi sırasında kesme gücünü, kesme enerjisini, tüketilen güç ve tüketilen enerjiyi optimize etmek için gereken kesme parametrelerinin değerlerinin farklılığından dolayı analiz edilecek yanıt değişkeninin doğru seçilmesinin önemini vurgulamak için bir karşılaştırma yapmıştır. Ayrıca minimum enerji tüketimine ve minimum yüzey pürüzlülüğüne yol açan

kesme parametrelerinin seviyelerini belirlemek amacıyla kesme parametreleri, enerji tüketimi ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Bu araştırma çalışmasının sonuçları, ilerleme hızının enerji tüketimini ve yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için en önemli faktör olduğunu göstermiştir. Daha yüksek ilerleme hızının, minimum enerji tüketimi sağladığını ancak daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne yol açacağını tespit etmiştir (Negrete, 2013).

Boğa ve arkadaşları, Al 7075 alüminyum alaşımını kuru ortam şartlarında CNC frezeleme işlemine tabi tutmuşlardır. Çalışmalarında, Taguchi yöntemi ile yüzey pürüzlülüğü ve kesme enerjisi için en ideal kesme parametrelerinin belirlenmesini hedeflemişlerdir. İlerleme hızının, kesme hızının ve kesme derinliğinin, yüzey pürüzlülüğüne, akım miktarına ve kullanılan enerjiye etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı, en az etkili parametrenin ise kesme hızı olduğunu görmüşlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda, şebekeden çekilen akım miktarı üzerinde en etkili parametrenin kesme derinliği, en az etkili parametrenin ise kesme hızı olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, kesme derinliği yüksek olduğunda, kesme hızı yüksek olduğunda ve ilerleme hızı düşük olduğunda işlem sırasında tüketilen enerji miktarının maksimum olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca tüketilen enerji miktarı üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğunu bulmuşlardır. Bunun nedeni, ilerleme hızı düşük olduğunda işleme süresinin artması nedeniyle tüketilen enerji miktarının yüksek olmasıdır. Deney sonuçlarına göre, kesme derinliğinin düşük tutulmasının düşük yüzey pürüzlülüğü ve düşük enerji tüketimi sağladığını görmüşlerdir (Boğa vd., 2020).

Bayraktar ve arkadaşları, farklı malzemeler üzerinde yapılan delik delme işlemleriyle ilgili araştırmalar yaparak derleme bir çalışma oluşturmuşlardır. İlerleme hızı ilerleme kuvveti için en önemli parametre olurken, ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Matkaplara uygulanan kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğünü ve ilerleme kuvvetlerini azaltıcı etki sağladığını görmüşlerdir. Matkaplara kaplama işlemi yapılmasının sürtünme katsayısını düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Moment değerlerinde talaş kesitinin artışı ile artış görmüşlerdir (Bayraktar vd., 2016).

Buytoz, çalışmasında AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzeme üzerinde uç açıları 90° , 118° ve 130° olan HSS, TiN kaplamalı HSS ve K20 karbür matkaplar ile 515, 716 ve 955 d/dak devir sayıları ve 0,06, 0,12 ve 0,24 mm/dev ilerleme miktarları kullanarak delik delme işlemleri gerçekleştirmiştir. Deneyler sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerine, takım aşınmasına, çıkış çapak yüksekliklerine ve ölçü tamlıklarına bakmıştır. Kesicilerin SEM görüntülerini almıştır. Minitab R 15 paket programı yardımı ile elde edilen değerleri değerlendirmiştir. İlerleme miktarının arttığı ve devir sayısının azaldığı durumlarda yüzey kalitesinin düştüğü, kesme hızı artışı ile kesme kuvvetinin azaldığı, delinen delik sayısının artışıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artış gösterdiği, kesici takım üzerindeki aşınmaların ve yüzey pürüzlülüğünün delik sayısı ile doğru orantılı arttığı, en ideal yüzey pürüzlülüğü değerlerinin matkapın uç açısı 118° olduğu deneylerde elde edildiği, kesme hızının yükselmesi ile çapak yüksekliğinin arttığı, en az aşınan takımın K20 karbür takım olduğunu belirtmiştir. TiN kaplamalı HSS takımlarla en düşük, K20 karbür takımlarla en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri elde etmiştir. İlerleme miktarının ve devir sayısının artışının yanak aşınmasını arttırdığı, matkap uç açısının artışının ise azalttığını tespit etmiştir. Ölçü tamlığı anlamında en optimal değerler 716 dev/dak, 0,12 mm/dev ve 118° uç açısı parametrelerinde elde edildiğini görmüştür (Buytoz, 2010).

Kaplan, çalışmasında 5, 10 ve 15 m/dak kesme hızı ve 0,04, 0,05 ve 0,06 mm/dev ilerleme miktarları belirleyerek farklı çap ve uzunluktaki HSS takımlar kullanarak AISI D2 ve AISI D3 malzemeleri ile delik delme işlemleri gerçekleştirmiştir. Seçilen parametrelerin moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma, ilerleme kuvveti ve çapak oluşumu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kesme momentinin, ilerleme kuvvetinin ve titreşim genliğinin; malzemenin sertliği, matkapların boyları ve çapları, ilerleme ve delik sayısı artışı ile arttığını görmüştür. Kesme hızının artışı kesme momentinde ve ilerleme kuvvetinde azaltıcı bir etki gösterirken, titreşim genliğinde artırıcı bir etki oluşturmuştur. Malzeme sertliği, matkap boyu ve delik sayısı artışı ile yüzey pürüzlülüğünün, çapak yüksekliğinin ve aşınmanın arttığını belirtmiştir. İlerlemenin artışı yüzey pürüzlülüğü ve aşınmada artış etkisi gösterirken, çapak yüksekliğinde azaltıcı bir etkisi olduğunu tespit etmiştir. Kesme hızı artışı ile çapak yüksekliğinde ve aşınmada artış oluşmuştur. Matkap çapının artması aşınma için azaltıcı bir faktör olmuştur (Kaplan, 2010).

Literatürde yapılan çalışmalarda, alüminyum alaşımları ile tornalama, frezeleme ve delik delme işlemlerinin yapıldığı görülmüştür. Kesme parametreleri, sıcaklık etkisi, soğutma sıvılarının etkisi, yorulma ve yaşlandırma etkileri, kriyojenik işlem etkisi, matkap uçlarının helis açıları ve uçların kaplamalı kaplamasız versiyonlarının etkilerinin araştırıldığı görülmüştür. Al 7075 alaşımı ile delik delme işlemlerinde enerji ve güç tüketimi üzerine az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, Al 7075 alaşımı ile literatür araştırmaları ve kesici takım üreticileri tavsiyeleri doğrultusunda kesme parametreleri belirlenerek delik delme deneyleri yapıp, işlemler sırasında kesme parametrelerinin enerji tüketimine, yüzey pürüzlülüğüne, geometrik toleranslara, kuvvet ve moment değerlerine etkisini incelemektir. Sonuçlar değerlendirilerek en ideal kesme parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat, uygun kesici takımlar ve tezgahlar ile malzemeye istenilen geometrik şeklin verilebilmesi için yapılan işlem olarak tanımlanabilmektedir. Yapılan kesme işlemi sırasında, elastik ve plastik şekil değişimi, talaş, sürtünme ve ısı oluşumu gerçekleşmektedir. Malzemeye uygulanan son işlem çoğu zaman talaşlı imalat olmaktadır. Metal malzemelerin işlenmesinde en önemli yöntemdir. Talaşlı imalat kesici takım ve iş parçasının birbirine bağlı hareketleri ile gerçekleşmektedir. Bu hareketler neticesinde malzeme plastik deformasyona uğrar ve bu kısım talaş olarak isimlendirilir. Tornalama, frezeleme ve delik açma en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemleridir. Talaşlı imalat işlemleri çok çeşitli malzemeler için uygulanabilirliğe sahiptir. Dar tolerans değerlerine ulaşılabilir. Dezavantaj olarak, işlem sırasında malzemeden kaldırılan talaş israfı ve kontrolü olabilmektedir (Çakıroğlu, 2011; Meral, 2010; Yılmaz, 2022).

3.1.1. Delik delme

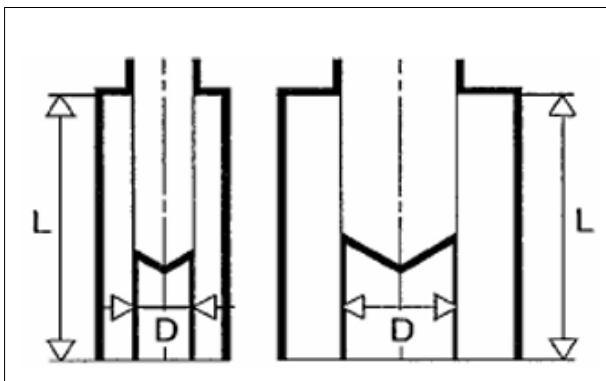
Delik delme işlemi en çok uygulanan talaşlı imalat yöntemlerinden biridir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında yaklaşık %33'lük bir işlem sayısı oranına sahiptir. Delme işlemi aynı zamanda kılavuz çekme ve honlama gibi başka talaşlı imalat yöntemlerini uygulamadan önce de gerektiği için yaygın kullanılan bir yöntemdir. Özellikle perçin ve cıvata bağlantıları için delikler bir hayli önem teşkil etmektedir. Delik delme uygulaması, iş parçasında uygun kesici takımlar ile yuvarlak delikler açmak için yapılan bir işlemdir (Yılmaz, 2022).

Delme işlemi, takımın kesme ve ilerleme hareketi ile mümkün olmaktadır. Kesme hareketi kesici takımın dönmesi ile ilerleme hareketi ise takımın yaptığı lineer hareket ile gerçekleşmektedir (Yılmaz, 2022). Bu tekniğe sahip işlemler olan doluya delik delme, delik büyütme, kademeli delik işleme (fatura açma), raybalama ve havşalama delik delme kapsamında bulunmaktadır (Yağmur, 2011; Yılmaz, 2022).

Kesici takım olarak delik delme işlemlerinde çoğunlukla matkaplar kullanılmaktadır. Birden fazla kesme kenarı olan bu kesici takımların silindirik bir yapısı vardır. Uçlarının geometrisi, malzemeye batabilmesi için konik yapılmıştır. Oluşan talaşları tahliye edilebilmesi için kanallara sahiptir. Bu kanallar helisel veya düz olabilmektedir. Helisel kanallı matkap takımları yapılan uygulamalar için daha çok tercih edilmektedir (Yılmaz, 2022).

Delik delme işlemi sırasında dönen takım iş parçasında eksenel bir yön izleyerek talaş kaldırır ve yuvarlak delikler oluşmasını sağlar (Yağmur, 2011; Yılmaz, 2022). Delik delme işlemleri diğer talaşlı imalat yöntemleri olan tornalama ve frezeleme işlemlerine benzese de kendine has bazı durumları vardır. Kapalı bir alanda çalışma yapıldığı için talaşın kontrolü zor olmaktadır. Tahliye edilirken oluşan talaşın sıkışması halinde takımın kırılması olasıdır. Oluşan fazla ısının takıma ve çalışılan malzemeye bazı etkileri olmaktadır (Yılmaz, 2022).

Kısa, normal ve derin delik delme, Şekil 3.1 de verilen delik boyunun (L) matkap çapına (D) oranı ile belirlenmektedir. $L/D \leq 3$ ise kısa delik, $10 \geq L/D \geq 4$ ise normal delik ve $L/D \geq 10$ ise derin delik olarak tanımlanmaktadır. Delinen delik boyu (L) arttıkça çıkan talaşların tahliyesi zorlaşmaktadır (Yağmur, 2011; Yılmaz, 2022).



Şekil 3.1. Delik çapı ve boyu (Çakır, 2000)

En çok kullanılan delik delme yöntemi, dolu bir malzemede bir tek işlem yaparak silindirik geometriye sahip boşluk oluşturmaktır. Bunun yanı sıra çevreden kesme metodu ise hem

içten hem dıştan kesici takımlar kullanılarak büyük çaplı delikler oluşturabilmek için kullanılan bir yöntemdir (Yağmur, 2011).

Delik delme işlemlerinin tek bir aşamada istenilen ebatlarda yapılabilmesi, raybalama gibi ikinci bir işlem gerektirmemesi enerji tüketiminin az ve işlemin mali olarak daha ekonomik olmasını sağlar (Meral, 2010).

Temel tanımlar

Delme işlemi yapılırken ana hareket, kesici takımlardan ya da iş parçasından sağlanan dönme hareketidir. Fener milinin dönüşü ile dakikadaki devir sayısı (n) ana mil hızıdır. Kesme hızı, çevresel hız (V_c) olarak kabul edilir (Yağmur, 2011).

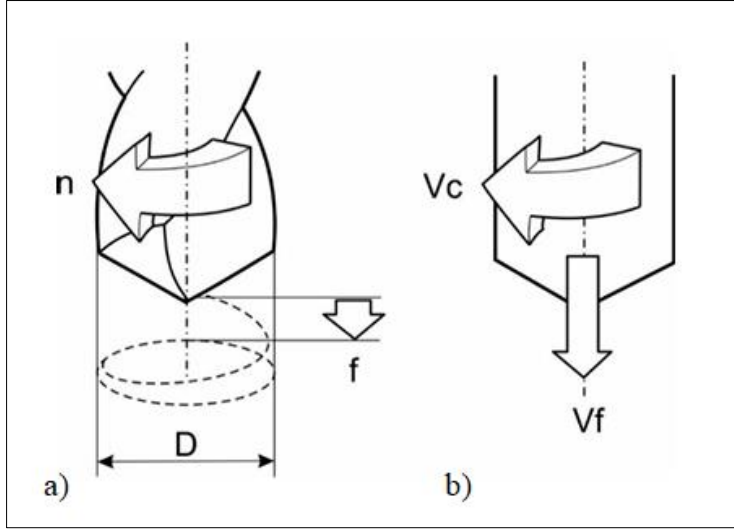
Kesme hızının veya dakikadaki devir sayısının bilinmesi durumunda, bir diğer parametre kolaylıkla hesaplanabilir. D sembolü matkap çapını temsil eder.

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

İlerleme hızı ($V_f - \text{mm/dak}$), çoğunlukla takımın iş parçasına doğru ilerlemesi durumundaki birim zamanda alınan yol olarak açıklanır (Çakır, 2015).

İlerleme miktarı ($f - \text{mm/dev}$) ise takımın bir devirdeki ilerlemesidir (Çakır, 2015). İlerleme miktarının ve devir sayısının bilinmesi ile ilerleme hızı hesaplanabilir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve ilerleme miktarı şematik olarak Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

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



Şekil 3.2. Kesme hızı, ilerleme hızı ve ilerleme miktarı a) İlerleme miktarı (f) b) Kesme hızı (V_c) ve ilerleme hızı (V_f) (Çakır, 2000)

Talaş genişliği veya radyal talaş derinliği ($a_p - mm$) takımın işlem yapacağı iş parçası yüzeyidir. Tornalama operasyonlarında işleme başlamadan önceki ve işlem sonrası çapların farkının yarısı olarak ifade edilirken, delme işlemlerinde yalnızca matkabin çap değerinin ($D - mm$) yarısı olarak hesaplanır. (Yağmur, 2011; Yılmaz, 2022)

$$a_p = \frac{D}{2} \quad (3.3)$$

Talaş hacminin elde edilmesinde talaş kesit alanının bilinmesi gerekir. Talaş kesit alanı ($A - mm^2$), radyal talaş derinliğinin ($a_p - mm$) ve diş başı ilerlemenin (f_t) çarpımı ile bulunur (Yılmaz, 2022).

$$A_t = a_p * f_t = D * f_t / 2 = D * V_f / 4 \quad (3.4)$$

$$A = 2 * A_t = D * f_t = D * V_f / 2 \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte, A: toplam talaş kesit alanı (mm^2), A_t : ağız başı talaş kesit alanı (mm^2), f_t : ağız başı ilerleme oranı ($mm/diş$) ve V_f : ilerleme hızı (mm/dak) 'dır (Yılmaz, 2022).

Toplam talaş kesit alanı (A) bulunduğundan sonra Eş. 3.6'da yerine yazılıp gerekli hesaplamalar yapıldığında talaş kaldırma debisi ($V - mm^3/dak$) bulunur (Yılmaz, 2022).

$$V = A * V_c * 1000 \quad (3.6)$$

Eşitliğin 1000 ile çarpılması, kesme hızının birimi m/dak olduğundan dolayı, talaş kaldırma debisinin mm cinsinden tanımlanması için yapılan bir işlemdir (Yılmaz, 2022).

İlerleme miktarı ile talaş kaldırma debisinin bulunması için uygulanan formül Eş. 3.7 de verilmiştir (Yılmaz, 2022).

$$V = \frac{\pi * D^2 * V_f}{4} \quad (3.7)$$

D : matkap çapı (mm) ve V_f : ilerleme hızı (mm/dak) 'dır (Yılmaz, 2022).

Delik tipleri

Dolu delik delme, kör delik delme, delik büyütme, kademeli delik delme, raybalama, derin delik delme ve mikro delik delme tipleri vardır.

Dolu delik delme: en çok kullanılan delik delme yöntemidir. Dolu olan malzemeye tek bir işlemde belirlenen çap değerinde kesici takımlarla delik açmayı içerir. Malzeme kalınlığı boyunca delik oluşturulur (Özsar, 2020; Yağmur, 2011).

Kör delik delme: dolu delik delme ile benzer bir yöntemi vardır fakat bu yöntemde malzeme kalınlığı tamamen delinmez, yani matkap ucu diğer yüzeyden çıkmadan belirli bir uzunluk ölçüsünde delme işlemi gerçekleştirilir (Özsar, 2020).

Delik büyütme: öncelikle küçük çaplı bir delik açılmasının akabinde, hassas toleranslar sağlayabilmek için delik çapının büyütülmesi yöntemidir (Özsar, 2020).

Kademeli delik delme (fatura açma): hali hazırda bulunan bir deliğin işlendiği çap dışında aynı delikte başka bir çap değeri istenmesi halinde uygulanan bir yöntemdir (Özsar, 2020; Yağmur, 2011).

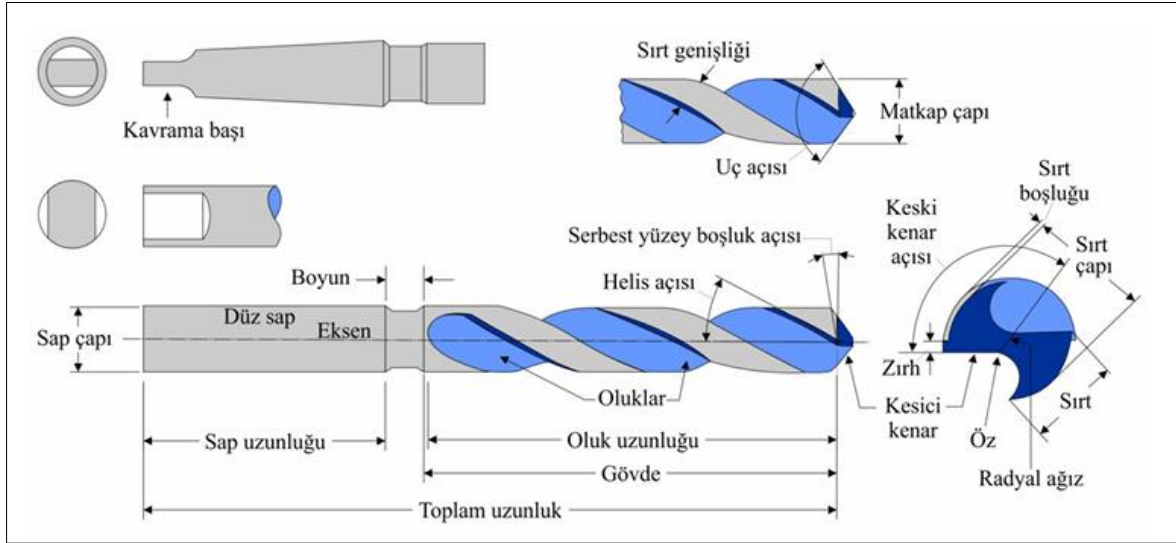
Raybalama: ilk açılan ve hassas tolerans değerleri olmayan deliğin ince işlemi için uygulanan bir yöntemdir. Dar tolerans değerleri ve daha iyi yüzey kalitesi beklenen durumlarda, küçük çalışma toleranslarında işlem yapmayı gerektirir. Maliyette kayda değer bir artışa neden olabilmektedir (Özsar, 2020; Yağmur, 2011).

Derin delik delme: matkap çapının 10 katından büyük delik uzunluğuna sahip delikler oluşturmak için kullanılan yöntemdir. 10 katından 120 kata kadar çıkabilmektedir. Yüzey kalitesi ve merkezin sapmadan delinmesi için hassas olunmalıdır. Örneğin motor bloklarının yağlanabilmesi için açılan kanalların elde edilebilmesi için yapılan bir işlemdir (Batman, 2019).

Mikro delik delme: 0,3 mm çap değerinden 2,95 mm çap değerine kadar açılan delikleri kapsayan bir yöntemdir. Örneğin saatlerde bulunan deliklerin ve mekanik bazı parçalarda istenen ufak deliklerin delinebilmesi bu yöntem ile sağlanabilmektedir (Batman, 2019).

Kesici takımlar

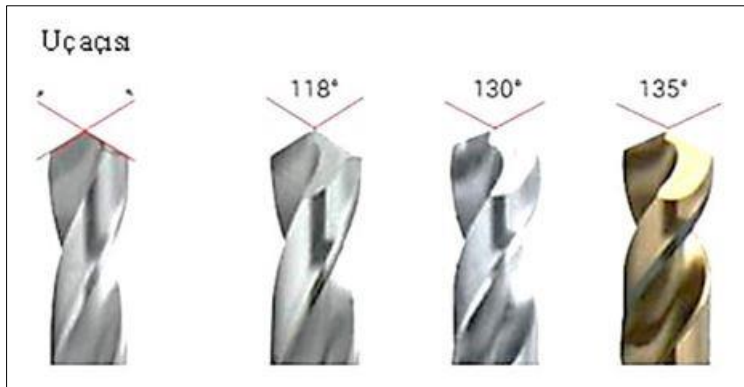
Delik delmede çoğunlukla kesici takım olarak matkaplar kullanılmaktadır. Şekil 3.3 de matkabın geometrisi ve bölümleri görülmektedir. Talaşlı imalat uygulamalarında matkapların çok önemli bir yeri vardır. Matkaplar delik delme işleminde, kendi eksenleri etrafında döner ve eksenini doğrultusunda ilerlerler. Çoğu matkap iki kesici ağızlıdır. İki tane helis kanalına sahip olup silindirik bir yapıları bulunmaktadır. Matkapların dayanımlarını ve ömürlerini arttırmak için kaplama işlemleri yapılabilmektedir. Matkaplara dair malzeme, tolerans ve geometriler TS ISO 235 ve TS 62 standartları ile belirtilebilir. Matkaplar imal edilirken yüksek hız çeliği (HSS) ve karbür çubuklar kullanılır ve taşlama yöntemi ile geometrileri oluşturulur (Yağmur, 2011; Yılmaz, 2022).



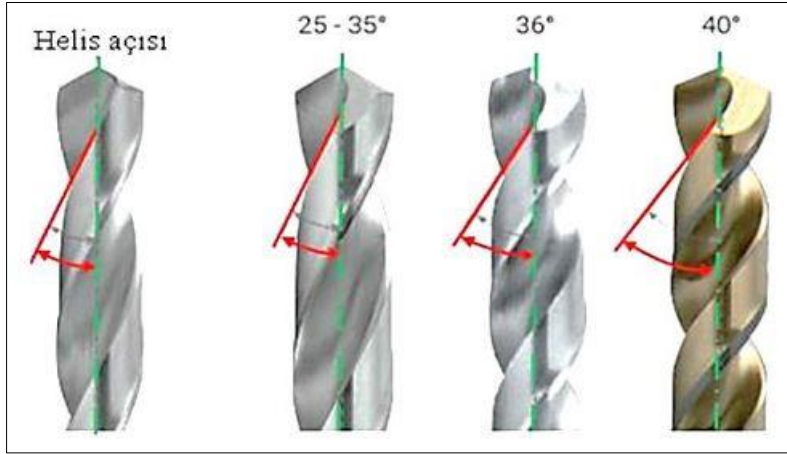
Şekil 3.3. Matkabın bölümleri (Schneider, 2002)

Matkaplar uç, gövde ve sap olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

Uç: Matkabın işlem yapılacak malzeme ile ilk temasta bulunacağı kısımdır. Kesici ağızlar bu bölümde bulunur. Matkaplar çoğunlukla iki kesici ağız içermektedir ama üç ağız bulunduran matkaplarda kullanılmaktadır. Taşlama işlemi ile matkabın uç geometrisi oluşturulur. İşlem sonucunda matkabın kesme ağızları oluşurken, uç ve arka boşluk açısı verilir. Normal işleme için matkapların uç açısı 118° ve kesme kenar arka boşluk açısı 8° - 12° aralığındadır. İşlenecek malzemenin sertlik değeri arttıkça matkabın da uç açısı artarak düzleşirken, malzemenin sertlik değeri azaldıkça matkabın uç açısı azalarak sivrileşir (Yağmur, 2011; Yılmaz, 2022). Farklı matkap uç açıları ve helis açıları Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 te verilmiştir.

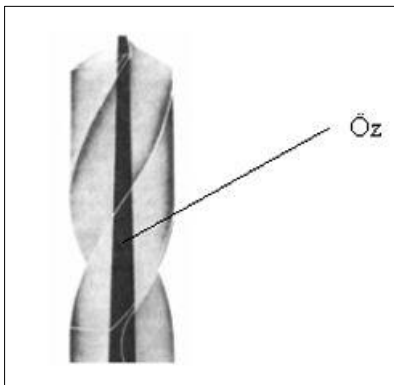


Şekil 3.4. Farklı matkap uç açıları (Özdemir, 2022)



Şekil 3.5. Farklı matkap helis açıları (Özdemir, 2022)

Gövde: Kesici uçtan itibaren matkabın sapına kadar olan kısımdır. Helisel kanallar gövdede yer almaktadır. Kesici ağız sayısı kadar helisel kanal bulunmaktadır ve kesme sonucu oluşan talaşların dışarı atılabilmesi bu kanallar ile sağlanır. Helisel oluklarında farklı açı değerleri vardır ve talaş açılarını oluşturmaktadır. Helisel kanalların arka kısımları kendine has bir taşlama işlemi ile oluşturulur. Taşlama sonucu setler oluşur ve bu setler zırh olarak tanımlanır. Daha düşük sürtünme yüzeyi ve daha az ısı oluşumu sağlamaktadır. Matkap özü, helisel oluklar arasında olan kısımdır ve konik bir geometrisi vardır (Şekil 3.6). Konik olmasının nedeni, kesme kuvvetleri sonucu oluşan momentlere matkabın dayanabilmesini sağlamaktır (Yağmur, 2011; Yılmaz, 2022).



Şekil 3.6. Matkap özü (Şeker, 1997)

Sap: Bu kısım ile matkabın tezgaha bağlanabilmesini sağlar. Genellikle bir matkabın sap kısmı geometri olarak silindirik ama özellikle daha büyük çaplardaki matkapların sap kısımları konik olabilmektedir (Yağmur, 2011; Yılmaz, 2022).

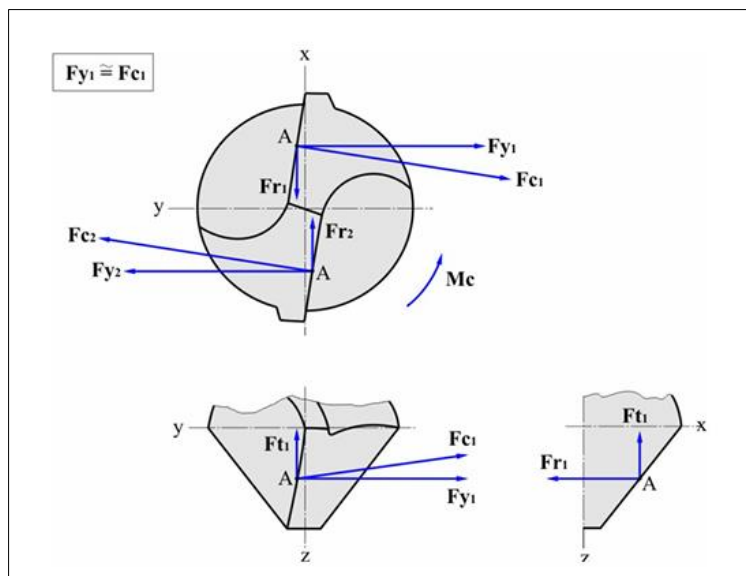
3.1.2. Delik delmede kuvvet ve enerji tüketimi

Kesici takımlar ile işleme sırasında işlenen malzeme delik delmeye karşı bir direnç gösterir. Bu durumda kesici takım olan matkaplara talaş kaldırma kuvvetleri etki eder (Yılmaz, 2022).

Matkap geometrisi, kesme parametreleri, sıcaklıklar, soğutma sıvısı ve talaş tahliyesi gibi faktörler kuvvetlerin oluşumunda etkili olmaktadır (Çakır, 2015).

Delme işleminin gerçekleştirilebilmesi için belli bir enerjiye ihtiyaç duyulur. Gerekli olan enerji iş parçasına göre farklılık göstermektedir. Enerji hesaplanırken malzemeye dair özgül bir kesme kuvveti ele alınmalıdır. Özgül kesme kuvveti ($k_c - N/mm^2$), belirlenen talaş kalınlığı ve açısı için belirli bir malzemenin işlenebilirlik ölçüsüdür (Yağmur, 2011; Yılmaz, 2022).

Kesme kuvveti ($F_c = F_y$), ilerleme kuvveti (F_t) ve radyal kuvvet (F_r) operasyon sırasında bir matkap ağzına denk gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleridir. Kuvvetler ve yönleri Şekil 3.7 de gösterilmiştir. Radyal kuvvetler birbirini dengelediği için, delik delme işlemini kesme ve ilerleme kuvvetleri etkilemektedir (Çakır, 2015; Yağmur, 2011).



Şekil 3.7. Talaş kaldırma kuvvetleri (Mendi, 1996)

Kesme kuvveti (F_c) üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar teğetsel, radyal ve eksenel yönlerde etki gösteren bileşenlerdir. Malzeme, ilerleme ve takım geometrisi gibi etkenlere göre varyasyon gösterirler (Yağmur, 2011).

Matkap ucunun sahip olduğu kesici ağızlardan birine üç kuvvet etki ettiği görülür. Kesici takım olan matkabın iki ağızdan oluştuğunu varsayarsak aşağıdaki eşitlikler yazılabilir (Çakır, 2015).

$$\text{Eksenel Kuvvet: } F_t = F_{t1} + F_{t2} \quad (3.8)$$

$$\text{Teğetsel Kuvvet: } F_{y1} = F_{y2} \quad (3.9)$$

$$\text{Kesme Kuvveti: } F_{c1} = F_{c2} \quad (3.10)$$

Teğetsel kuvvet (F_y) ve kesme kuvveti (F_c) pratikte eşit kabul edilmektedir (Çakır, 2015).

İlerleme kuvvetinin (F_t) hesaplanması Eş. 3.12 de verilmiştir (Çakır, 2015).

$$F_t = 2 * F_c * \sin \psi / 2 \quad (N) \quad (3.11)$$

$$F_t = K * (s * d)^{0.8} \quad (N) \quad (3.12)$$

Eşitliklerdeki F_c : Esas kesme kuvveti (N), s: İlerleme miktarı (mm/dev), d: Takım çapı (mm), ψ : Uç açısı, K: Çizelge 3.1 deki K sabitini ifade etmektedir (Çakır, 2015).

Çizelge 3.1. K değerleri (Çakır, 2015)

Delinecek malzeme cinsi	K (N/mm^2)
Çelikler	1650
Döküm gereçler	800
Hafif metal alaşımlar	900

Momentin hesaplanması

Kesme momenti (M_c) ve sürtünme momenti (M_f) olmak üzere iki ayrı moment değeri vardır. Toplam momente bu iki momenti toplayarak ulaşılmaktadır. Aşağıdaki eşitlikler ile momentlerin hesaplanması mümkündür (Çakır, 2015).

$$M_c = F_c * (d/4) + F_c * (d/4) \text{ (Nm)} \quad (3.13)$$

$$M_c = 2 * F_c * (d/4) \text{ (Nm)} \quad (3.14)$$

$$M_c = F_c * \frac{d}{2} \text{ (Nm)} \quad (3.15)$$

$$M_f = \mu * F_t * \frac{d}{3} \text{ (Nm)} \quad (3.16)$$

Sürtünme katsayısı (μ), Çizelge 3.2 den seçilir (Çakır, 2015).

Çizelge 3.2. Sürtünme katsayısı değerleri (Çakır, 2015)

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

Toplam moment değeri Eş. 3.17 ile elde edilir (Çakır, 2015).

$$M_{Top} = M_c + M_f \text{ (Nm)} \quad (3.17)$$

Kesme gücünün hesaplanması

Döndürme momenti ile açısal hız (ω) çarpımı ile kesme gücü (P_c) hesaplanabilmektedir (Yağmur, 2011).

$$P_c = M * \omega \text{ (kW)} \quad (3.18)$$

$$\omega = 2 * \Pi * n \quad (3.19)$$

$$n = \frac{V_c * 1000}{\Pi * d} \quad (3.20)$$

$$P_c = k_c * \frac{f}{1000} * \frac{(D^2 - d^2)}{8} * \frac{2 * \Pi * V_c * 100}{\Pi * D * 60 * 100} \text{ (kW)} \quad (3.21)$$

$$P_c = k_c * f * \frac{V_c * (D^2 - d^2)}{D * 240000} \text{ (kW)} \quad (3.22)$$

3.1.3. Delik delmede delik kalitesi

Delik delme işlemleri sonucunda oluşan delik kalitesi çok önem arz etmektedir. Deliğin yüzey kalitesi, çaptan sapma değeri, dairesellikten sapma değeri, diklikten sapma değeri ve silindiriklikten sapma değeri deliğin kalitesini belirlemek için bakılan özellikler olarak söylenebilir (Çakır, 2015).

Yüzey pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, işlem yapılan yüzeyin mikro yapısıdır ve profilometre adı verilen cihaz ile ölçülür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra sembolü ile gösterilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü kesme parametrelerine, kesici kenar ve iş parçasının kalitesine göre değişir. Çalışılan malzemenin işlenebilirliği hakkında bilgi vermesi açısından yüzey pürüzlülüğü değerinin önemli bir yeri vardır. Nihai ürünün yüzey pürüzlülüğü az olup dolayısıyla yüzey kalitesi iyi olursa estetik görünümü, korozyona karşı direnci, yorulma dayanımı ve tribolojik özelliği de iyi olmaktadır (Çakır, 2015; Özdemir, 2022).

Geometrik toleranslar

Delme işlemi sonucu oluşan deliğin ebatlarının, istenilen geometrik tolerans sınırlarında olması beklenir. Çaptan sapma, dairesellikten sapma, diklikten sapma ve silindiriklikten sapma değeri elde edilen deliğin kalitesini belirlemede önemli rol oynar. Havacılık gibi

hassas alanlarda kullanılan malzemelerde delinen deliklerin ölçü doğruluğu çok önemlidir (Çakır, 2015).

Delinen deliklerle yapılacak montaj işlemlerinde ve birbirine göre çalışacak parçalar için deliklerin çaplarının belirlenen tolerans değer aralığında olması beklenir. Oluşturulan deliğin çapının nominal çapı ile arasındaki fark çaptan sapma olarak değerlendirilir (Yılmaz, 2022). İlerleme hızlarının yüksek olması, kesici takımın merkezden sapması ve tezgaha düzgün bağlanmaması çaptan sapma miktarını arttırabilmektedir (Çakır, 2015; Yılmaz, 2022).

Bir merkez noktadan ölçülen en küçük ve büyük yarıçap değerleri arasındaki fark dairesellikten sapma miktarını göstermektedir. Kesme parametrelerinin seçimi ve titreşimler dairesellikten sapma değerini arttırabilir (Çakır, 2015).

Delğin düşey ilerleme ekseninde oluşan kaçıklık silindiriklikten sapma olarak tanımlanır. Derin delik uygulamalarında çok önemli bir kriterdir (Çakır, 2015).

Delik ekseninin, belirlenen referans yüzeyine dik olan düzlem üzerinde bir birine paralel iki düzlem arasında bulunması diklik toleransıdır (Yılmaz, 2022).

3.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum, Oksijen ve Silisyum elementlerinin ardından tabiatta en fazla bulunan üçüncü element olma özelliğine sahiptir. Yeryüzü kabuğunun %8'ini oluşturmaktadır ve atom numarası 13'tür (Aslan, 2022). Yüzey merkezli kübik kristal yapısına sahiptir (Callister ve Rethwisch, 2015/2011). Oksidasyona direnci yüksek bir malzeme olarak bilinir (Şevik, 2021). Boksit cevheri alüminyumun en mühim kaynağıdır. Alüminyumun mat gümüşümsü bir rengi vardır (Şevik, 2021). Alüminyumun keşfi 19. yüzyılın başlarında olmuştur ve sonrasında endüstride aktif kullanılan bir malzeme olarak yerini almıştır (Şevik, 2021). Çelikten sonra mühendislik uygulamalarında en fazla kullanılan metaldir (Batman, 2019).

Alüminyum, yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine, üstün korozyon dirençlerine ve kolayca şekillendirilebilme özelliklerine sahiptir (Callister ve Rethwisch, 2015/2011). Alüminyum alaşımlarının birçok üstün özelliklerinin olmasının yanında işlenebilirlik açısından bazı problemleri bulunmaktadır. Aynı zamanda dezavantaj olarak yaklaşık 660° C ergime noktasına sahip olduğu için daha fazla sıcaklık olan işlemlerde kullanılamamaktadır (Callister ve Rethwisch, 2015/2011).

Alüminyum ve alaşımları yaklaşık $2,7 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk değerine sahiptirler ve bu özellikleriyle yaklaşık olarak $7,9 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk değerine sahip olan çeliğe göre daha hafif malzemelerdir. Tüketilen yakıt miktarının daha düşük seviyelerde tutulması için ulaşım araçlarının yapısında alüminyum yaygın olarak tercih edilmektedir (Callister ve Rethwisch, 2015/2011). Uçaklarda, otomobillerde, trenlerde, deniz araçlarında ve gemi sanayisinde alüminyuma sıklıkla rastlanmaktadır (Bayraklılar, 2014). Ayrıca alüminyum ulaşım sektörünün yanı sıra, inşaat, kimya, gıda, elektrik elektronik, makine ve imalat sektörlerinde kullanılmaktadır (Eroğlu ve Şahiner, 2018). Birçok alanda kullanılabilen alüminyum, dünya ekonomisi için çok değerli bir malzemedir (Yakut, 2009).

Alüminyum her ne kadar çelik gibi malzemelerin çekme dayanım değerine sahip olmasa da, çekme dayanımının özgül ağırlığa bölünmesiyle elde edilen özgül dayanımı ile ağırlık açısından daha fazla miktarda kuvvetlere dayanım gösterebilmektedir (Callister ve Rethwisch, 2015/2011).

Tekrar kullanılabilirliği ile neredeyse %100 geri dönüşüm avantajıyla diğer metallere oranla daha çevre dostu bir tavır sergilemektedir. Alüminyumun ayrıca dövülebilirlik ve ısı ve ışık yansıtılma özellikleri de bulunmaktadır (Bayraklılar, 2014; Özsar, 2020).

Alüminyum alaşımları

Saf alüminyumun sünek ve yumuşak bir malzeme olması nedeniyle çoğunlukla alaşımlandırma işlemi yapılarak kullanıldığı görülür (Şevik, 2021). Alüminyumun, alaşımlandırma ve soğuk şekil değişimi işlemleri ile mekanik özellikleri iyileştirilebilirken korozyon direnci bir miktar azalmaktadır. Bakır, çinko, magnezyum, mangan ve silisyum

alüminyum alaşımlarında kullanılan ana alaşım elementleridir (Callister ve Rethwisch, 2015/2011). Alüminyum alaşımlarında yoğunluk artışı nispeten mukavemet artışına göre daha düşük olmaktadır (Şevik, 2021). Alüminyum alaşımlarının tanımları Çizelge 3.3 te verilmiştir.

Alüminyum alaşımları döküm ve dövme olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Dövme alüminyum alaşımlarına, Amerikan Alüminyum Derneği'ne göre dört rakamlı bir numaralandırma işlemi yapılmaktadır (Aslan, 2022; Şevik, 2021).

Her iki grubunda elemanları, ısıtıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan alaşımlar şeklinde iki alt gruba ayrılmaktadır. Alüminyum dövme alaşımlarından 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileri ısıtıl işlem uygulamaya uygundur (Özer, 2017).

Çizelge 3.3. Alüminyum alaşımlarının tanımı (Aamir vd., 2020; Şevik, 2021)

Seriler	Ana Alaşım Elementleri	Uygulamaları
1XXX	Ticari olarak saf alüminyum >%99 saflık	Düşük maliyetli, ticari olarak saf, alaşım elementleri içermeyen seridir. Kimyasal saldırılara ve korozyona karşı direnci nedeniyle çoğunlukla kimya endüstrisinde kullanılır. Ayrıca, üstün iletkenliği nedeniyle elektrikli cihazlarda kullanılır.
2XXX	Bakır	Uçak uygulamalarında kullanılır, diğer alaşımlara kıyasla korozyona karşı hassastır. Al2024 gibi alaşımlar üstün işlenebilirliğe sahiptir.
3XXX	Manganez	Eloksal ve kaynak uygulamalarında kullanılır.
4XXX	Silikon	Alüminyum birleştirmek için kaynak telleri ve lehim alaşımı olarak ve çoğunlukla mimari uygulamalarda kullanılır.
5XXX	Magnezyum	Deniz suyu uygulamalarında iyi kaynak kabiliyetine ve korozyon direncine sahip bir seridir.
6XXX	Magnezyum ve Silikon	Magnezyum ve silisyumun eşit miktarda bulunduğu bu serideki alaşımlar otomotiv uygulamalarında kullanılır, iyi şekillendirilebilirlik, işlenebilirlik ve korozyon direncine sahiptirler.
7XXX	Çinko	Tüm seriler arasında en yüksek mukavemete sahip seridir. Özellikle uçak yapılarında ve mobil uygulamalarda kullanılır.
8XXX	Diğer elementler (lityum dahil)	Demir, nikel, alüminyum-lityum alaşımı gibi Al2xxx ile 7xxx için kullanılanların dışındaki alaşım elementleri için ayrılmış seridir.
9XXX		İleride kullanılabilmek için belirlenmiştir.
Alüminyum alaşımı için temperleme tanımı: "F", "H", "O", "T" veya "W" eki temel işlem koşullarını belirtir. F: İmal edildiği durumda. O: Yumuşatma tavı uygulanmış. W: Çözeltiye tabi tutulmuş. H: Soğuk şekil değişimine tabi tutulmuş. T: Yaşlandırma ile sertleştirilmiş. T1: Üretim sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış. T2: Üretim sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış.		

Çizelge 3.3. (devam) Alüminyum alaşımlarının tanımı (Aamir vd., 2020; Şevik, 2021)

T3: Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış.
T4: Çözeltiye alınmış ve doğal olarak yaşlandırılmış.
T5: Üretim sıcaklığından soğutulmuş ve yapay olarak yaşlandırılmış.
T6: Çözeltiye alınmış ve yapay olarak yaşlandırılmış.
T7: Çözeltiye alınmış ve aşırı yaşlandırma ile stabilize edilmiş.
T8: Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış.
T9: Çözeltiye alınmış, yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş.
T10: Üretim sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış.

3.2.1. Al 7075 alaşımı

7XXX serisi diğer alüminyum alaşım serileri arasında en fazla mukavemet, sertlik ve dayanıma sahip olabilen alüminyum alaşım serisidir (Özer, 2017; Özsar, 2020; Şevik, 2021). Bu avantajından dolayı otomotiv, havacılık ve uzay sanayisinde çokça tercih edilmektedir (Özer, 2017). 7XXX serisinin kimyasal bileşiminde çinko (Zn) ağırlıkça en çok bulunan elementtir (Özsar, 2020).

Al 7075, 7XXX serisi grubunun bir alaşımıdır. Al7075 alaşımı Japon firma Sumitomo Metal tarafından geliştirilen bir malzemedir (Özer, 2017). Bileşiminde çinko dışında, demir, silisyum, manganez, krom, titanyum, bakır ve magnezyum da içermektedir (Seykoç). Al 7075 alaşımında elementlerin bulunma yüzdeleri Çizelge 3.4 te ve Al 7075 alaşımının temperli ve tempersiz mekanik özellikleri Çizelge 3.5 te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Al 7075 alaşımında elementlerin bulunma yüzdeleri (Seykoç)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,5	0,4	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	5,1-6,1	0,18-0,28	0,20	0,15	Kalan

Çizelge 3.5. Al 7075 alaşımının temperli ve tempersiz mekanik özellikleri (Seykoç)

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) min-max	Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	Uzama (%50) min-max	Sertlik(Brinel) min-max
0	105	225	17	60
T6	460-505	530-570	10	140-160

3.2.2. Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği

Alüminyum alaşımlarının işlenmesi, saf alüminyumun işlenmesinden daha kolaydır. Saf alüminyum işlenirken oluşan uzun tel tel talaşların aşındırıcı etkisi ile yüzey kalitesi olumsuz etkilenir. Yüksek kesme hızları ile alüminyum alaşımlarının işlenmesi durumunda daha iyi yüzey kalitesi ve aynı zamanda takım ömrünün daha uzun olabilmesi sağlanır. Yaşlandırma işlemi uygulanmış olan alüminyum alaşımları, tavlanmış alüminyum alaşımlarından daha kolay işlenmektedir. Alüminyum bir malzeme işlenirken işleme şartları ve iş parçasının metalürjik yapısı işlenebilirliği etkilemektedir. Alüminyum alaşımları pozitif talaş açılı kesici takımlar ile işlenir. İş parçasının sertliği ele alınarak talaş açısının değeri $0-30^\circ$ aralığındadır. Alüminyum parça işlenirken kesici takıma gelen kuvvetler az olmaktadır. Kesme hızı artışı ile kuvvetlerin azaldığı görülmektedir. Talaşların kontrolü, alüminyumun işlenebilirlik sorunlarından birisidir. Alüminyum ve bazı alaşımlarının işlenmesi ile oluşan talaşlar sürekli, kalın ve zor kırılan bir yapıya sahiptir. Talaş kontrolü sağlayabilmek için farklı takım tasarımları yapılmıştır. İlerleme kuvvetinin, takım talaş ara yüzeyi temas alanı çok olduğunda yüksek bir değeri olmaktadır ve kalın talaşlar ile düşük kayma düzlem açısı oluşturmaktadır. Dolayısıyla yüksek kesme kuvveti ve çok güç tüketimine yol açmaktadır. Alüminyum alaşımlarının çoğunluğu birçok faz içermektedir ve işlenirken düşük kesme hızları kullanıldığında kesici kenarlarda BUE (yığıntı talaş) oluşmasına neden olur (Çakır, 2015; Çakıroğlu, 2011; Yakut, 2009).

Alüminyumun sıvanma özelliği çok olduğu için operasyon sırasında kesici takım üzerine yapışmak suretiyle kesme kuvvetlerinde artış olmasına sebep olur (Çakır vd, 2012).

Yapısında silisyum bulunduran alaşımların işlenmesi daha güçtür, çünkü talaş kaymak yerine yırtılır ve akabinde yüzey kalitesi düşer (Çakıroğlu, 2011).

3.2.3. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları

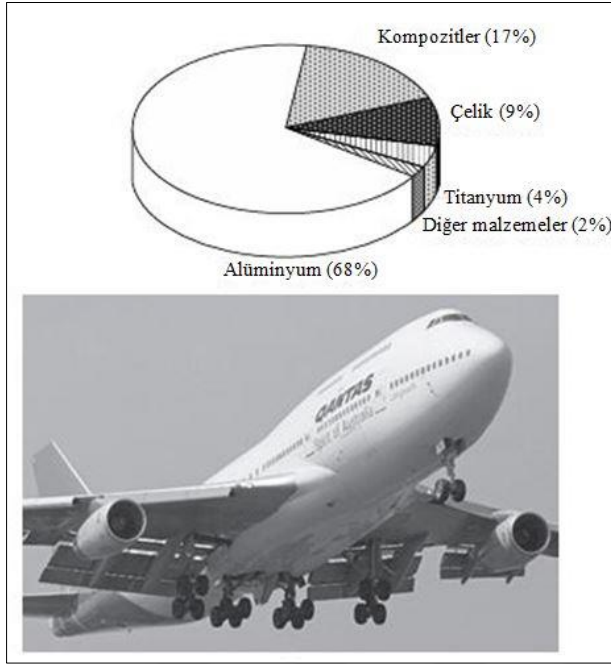
Alüminyum sahip olduğu avantajları ile kendine birçok alanda kullanım yeri bulmaktadır. Yüksek elektrik iletkenliği özelliği ile elektrik iletim hatlarında, iyi ısı ve ışık yansıtmasıyla aydınlatma aksamalarında, mikro parça halde yanacak seviyede ısı açığa çıkabilmesiyle roket yakıtlarında kullanılmaktadır (Özsar, 2020).

Özellikle ulaşım sektöründe daha hafif malzemeler kullanılarak enerji tüketimini azaltmak çok mühim bir konudur. Alüminyum alaşımları hafif olsa da aynı zamanda sahip olduğu yüksek çekme dayanımları ile ulaşım sektöründe önemli bir yere sahiptir (Bayraklılar, 2014).

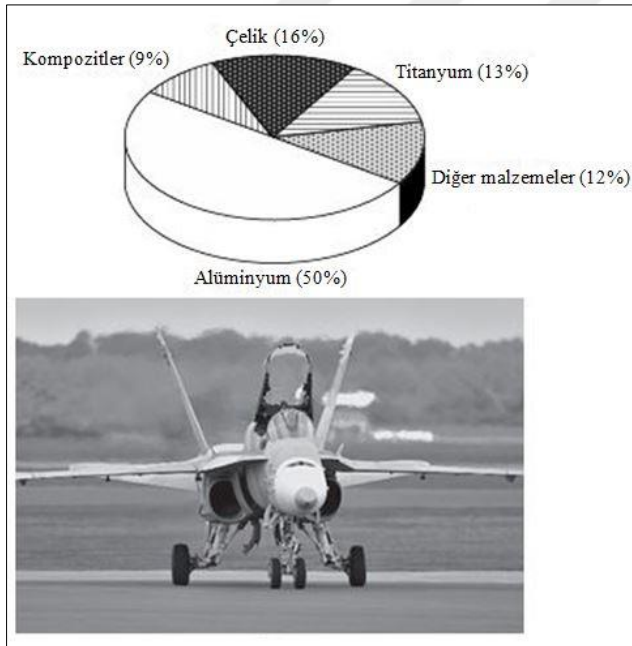
Alüminyum, 1930'lardan beri uçaklar için ağırlık açısından verimli gövdelerin geliştirilmesinde önemli bir havacılık yapısal malzemesi olmuştur. Gövde ve kanatlar gibi ana gövde bileşenlerinde yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının kullanılmaması durumunda yüksek hızlarda ve yüksek irtifalarda uçabilen uçakların geliştirilmesi zor olurdu. Magnezyum, titanyum, çelik ve elyaf takviyeli polimer kompozit gibi diğer ana havacılık malzemeleriyle karşılaştırıldığında alüminyum, uçakların çoğunda daha fazla miktarda kullanılmaktadır. Boeing 747'de kullanılan yapısal malzemeler Resim 3.1 de ve Hornet F/A-18'de kullanılan yapısal malzemeler ise Resim 3.2 de verilmiştir (Mouritz, 2012).

Alüminyum, çoğu modern uçağın, helikopterin ve uzay aracının gövde ağırlığının %60-80'ini oluşturur. Airbus 380 ve 350XWB ve Boeing 787 gibi büyük yolcu uçaklarında kompozitlerin artan kullanımına rağmen alüminyum önemli bir yapısal malzeme olmaya devam etmektedir (Mouritz, 2012).

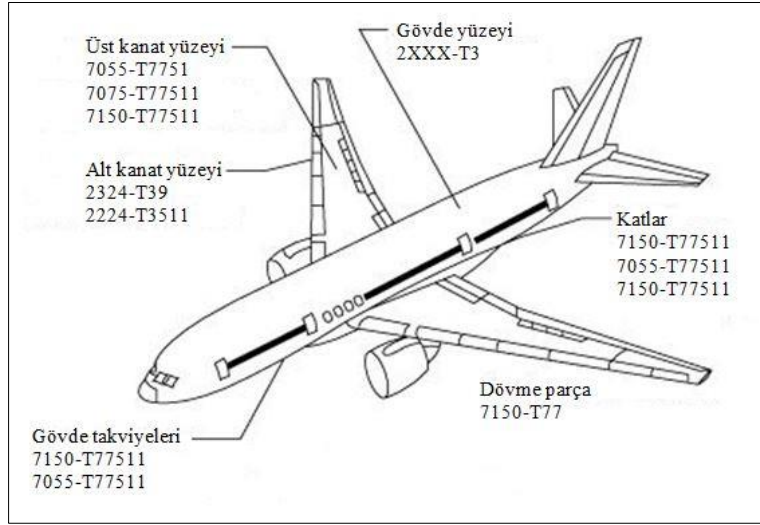
2XXX ve 7XXX serisi alüminyum alaşımlarının Boeing 777'de kullanıldığı bölümler Resim 3.3 te verilmiştir.



Resim 3.1. Boeing 747’de kullanılan yapısal malzemeler (Mouritz, 2012)



Resim 3.2. Hornet F/A-18'de kullanılan yapısal malzemeler (Mouritz, 2012)



Resim 3.3. Boeing 777'de kullanılan yeni alüminyum alaşımları ve temperleme işlemleri (Mouritz, 2012)

4. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında Al 7075-T6 alaşımı HSS ve Karbür matkap takımları kullanılarak, literatür taraması ve kesici takım firmasının önerileri sonucunda seçilmiş kesme parametreleri olan ilerleme miktarları ve kesme hızları ile delik delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde kullanılan iş parçasının, kesici takımların, tezgahın ve ölçüm cihazlarının özellikleri verilmiştir.

Çalışmanın amacı, delik delme işlemi sonrası elde edilen kuvvetler, moment değerleri, enerji tüketimi ve delik kalitesi üzerinde kesme parametrelerinin etkisini anlayabilmek ve en uygun değerlerin belirlenebilmesidir.

4.1. Deney Numunesi

Bu çalışma kapsamında yapılan delik delme işlemlerinde Al 7075 T6 alaşımı kullanılmıştır. İş parçasının boyutları 100x80x20 mm'dir. Deney numunesinin kimyasal analizi Çizelge 4.1 de, mekanik özellikleri ise Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Al 7075 Alaşımının kimyasal analizi

	Elementler (%)								
	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
Değerler	0,29	0,09	0,14	0,19	0,04	1,69	2,44	5,89	Kalan

Çizelge 4.2. Al 7075 Alaşımının mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler			
1 Mpa = 1 N/mm ² = 0.145 ksi = 0.102 kgf/mm ²			
	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)
Değerler	559	489	6,8

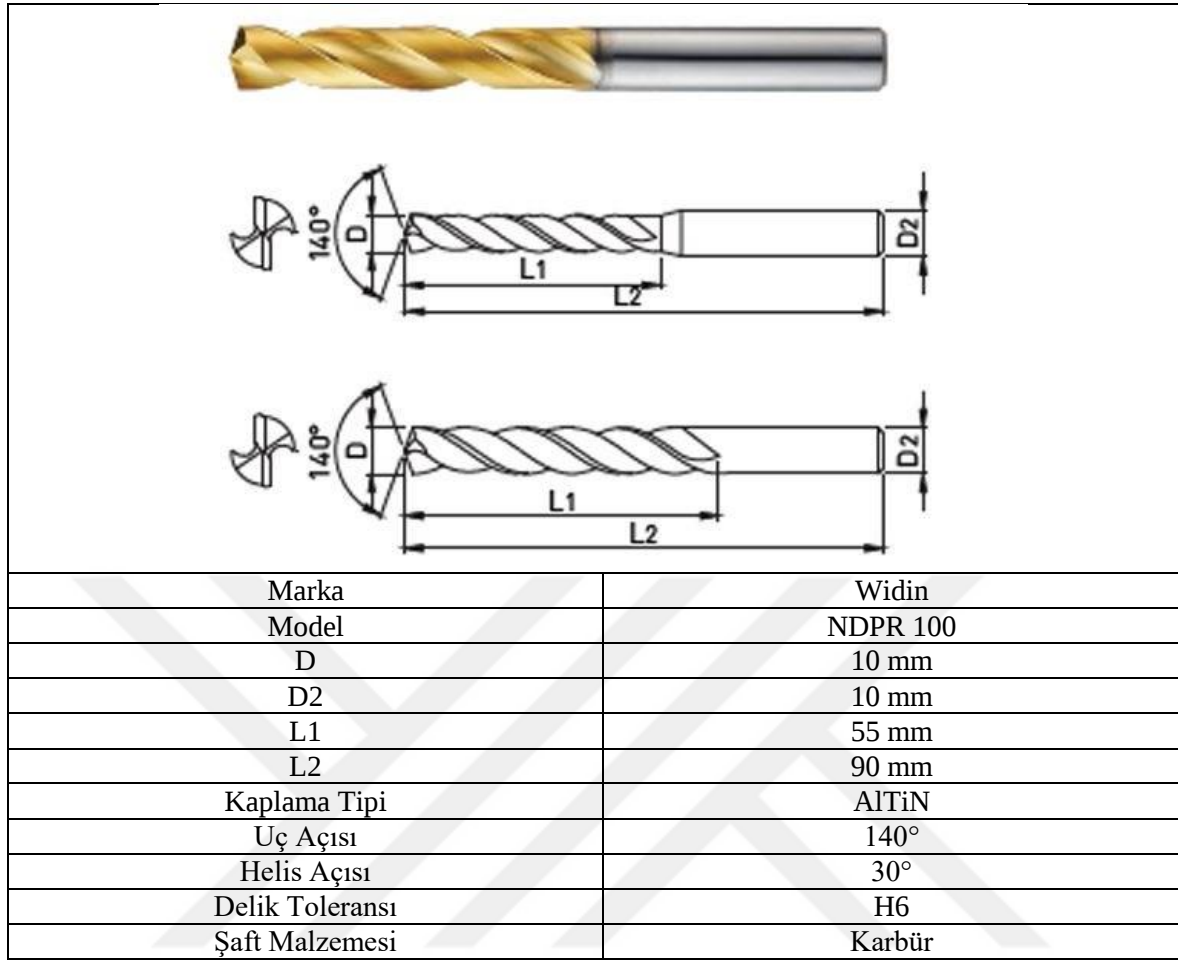
4.2. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar

Yapılan deneylerde 10 mm çapında iki farklı matkap ucu kullanılmıştır. Matkap uçlarından birisi TiN kaplamalı HSSE Co5 ve diğer matkap ucu AlTiN kaplamalı Karbür'dür. Şekil

4.1 de HSS matkap ve Şekil 4.2 de de Karbür matkap hakkında teknik bilgiler verilmiştir. Delikler 20 mm kalınlığı olan iş parçası üzerinde boydan boya delinmiştir.



Şekil 4.1. HSS matkap ucu teknik resmi ve özellikleri



Şekil 4.2. Karbür matkap ucu teknik resmi ve özellikleri

Kesme parametreleri

Çalışmada dört farklı ilerleme miktarı (0,15 mm/dev, 0,2 mm/dev, 0,25 mm/dev, 0,3 mm/dev) ve dört farklı kesme hızı (125 m/dak, 150 m/dak, 180 m/dak, 215 m/dak) kullanılmıştır. Deneyler kuru şartlarda gerçekleştirilmiştir.

Tüm deneyler yeni bir matkap kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri, kesici takım firmasının tavsiyeleri ve literatür araştırması neticesinde seçilmiştir.

4.3. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgahı

Delik delme işlemleri, Haas VF-2SS CNC 5 eksen dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. İşleme merkezinin teknik özellikleri Çizelge 4.3 te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deneyler için kullanılan işleme merkezinin teknik özellikleri

Donanım/Cihazın Adı	CNC 5 Eksen İşleme Merkezi (Haas VF 2 SS)
Donanım/Cihazın Özellikleri	• Tezgah kapasitesi X,Y,Z eksenlerinde 762, 406 ve 508 mm hareket limiti • Maksimum tezgah deviri 12000 rpm • Tabla boyutu 914 mm uzunluk, 356 mm genişlik • Takım kapasitesi 30+1 • En yüksek takım ağırlığı 5.4 kg • İçten soğutma basıncı 1000 psi • Soğutma sıvısı kapasitesi 208 L

4.4. Kuvvet ve Moment Ölçümleri

Deneyler esnasında meydana gelen kesme kuvveti ve moment değerlerinin ölçümü için Kistler 9272 dinamometre ve Kistler 5070 amplifier kullanılmıştır. Değerlerin ölçülmesinden sonra DynoWare programı sayesinde sayısal veriler elde edilmiştir.

4.5. Enerji Tüketim Ölçümleri

Enerji tüketim ölçümleri anlık olarak deneyler sırasında tezgah kontrol panelinden izlenmektedir. Deneyler esnasında tezgah kontrol panelinde enerji tüketim değerleri video ile kayıt altına alınmıştır ve daha sonrasında yavaşlatılarak kesme esnasındaki tüm anlık enerji tüketimi bulunmuş ve bunların ortalaması alınarak her bir deney için enerji tüketim değeri hesaplanmıştır. Anlık enerji tüketim değerlerinin tezgah panelinden görünümü Şekil 4.3 te verilmiştir.



Şekil 4.3. Anlık enerji tüketim değerlerinin tezgah panelinden görünümü

4.6. Delik Kalitesi Ölçümleri

4.6.1. Yüzey pürüzlülük ölçümleri

Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri Mitutoyo SJ-410 Profilometre ile yapılmıştır. Delinen deliğin 90° aralıklarla dört farklı yüzeyinden ayrı ayrı ölçümler alınmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) tespit edilmiştir. Ölçüm uzunluğu 5,6 mm'dir. Deliklerin yüzey pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı cihazın teknik özellikleri Çizelge 4.4 te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Delinen deliklerin yüzey pürüzlülük ölçümlerinin yapıldığı cihazın teknik özellikleri

Donanım/Cihazın Adı	Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı Profilometre (Mitutoyo SJ-410)
Donanım/Cihazın Özellikleri	- Ölçme uzunluğu 25 mm - Tarama kuvveti 0,75 mN - Tarama hızı 0,05 - 1 mm/sn - Başta Ra, Rz ve Rq olmak üzere farklı ölçüm özellikleri 5,6 mm örnekleme uzunluğu

4.6.2. Geometrik tolerans ölçümleri

Delik delme deneyleri sonrasında çaptan sapma, dairesellikten sapma, diklikten sapma ve silindiriklikten sapma değerlerinin ölçülebilmesi için Şekil 4.4 te verilen CMM ölçüm cihazı kullanılmıştır.

İş parçasının delik delme deneylerinden sonraki nihai durumunun CAD programında 3D katı modellemesi yapılmıştır. Yüzeyi referans alıp -4, -7, -10, -13 ve -16 olmak üzere 3'er mm arayla deliğin 5 farklı bölgesinden dairesel olarak ölçüm alınmıştır. Her bir deliğin üzerinden alınan 5 farklı ölçüm ile program üzerinden silindirler oluşturulmuştur.



Donanım/Cihazın Adı	CMM Ölçüm Cihazı (Hexagon Global Performance)
Donanım/Cihazın Özellikleri	• 1,5 – 6 mm arasında değişen 6 adet prob • X ekseninde 700 mm ölçüm kapasitesi • Y ekseninde 1000 mm ölçüm kapasitesi • Z ekseninde 660 mm ölçüm kapasitesi • Programlanabilir ölçüm kabiliyeti

Şekil 4.4. Geometrik tolerans değerlerinin ölçüldüğü cihazın teknik özellikleri

Deney düzeneği Resim 4.1 de verilmiştir.



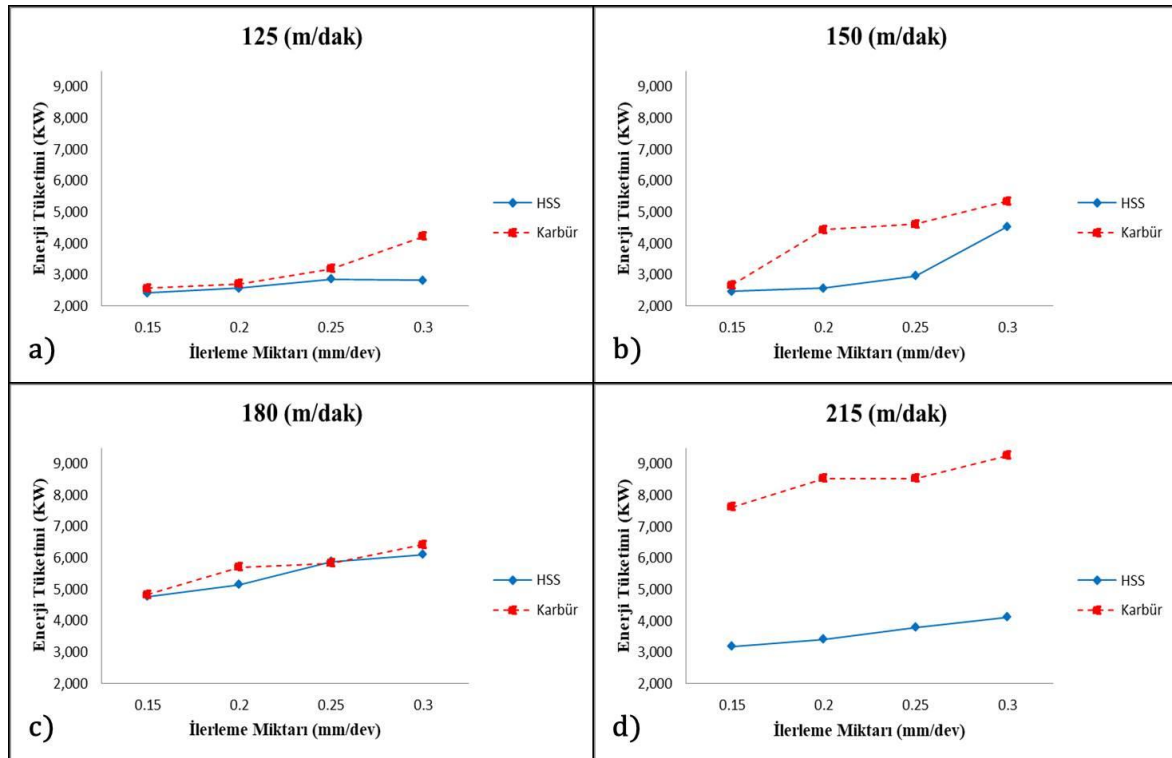
Resim 4.1. Deney düzeneği



5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

5.1. Enerji Tüketiminin Değerlendirilmesi

Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre enerji tüketim değerlerindeki değişim grafikleri Şekil 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.1. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre enerji tüketim değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak

Kesme hızlarının artmasıyla genel anlamda enerji tüketiminin arttığı Şekil 5.1 deki grafiklerde görülmektedir. Hemen hemen tüm ilerleme miktarı artışlarında da enerji tüketiminin artış gösterdiği yine Şekil 5.1 de gözlenmektedir.

HSS takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük enerji tüketim değeri 125 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 2,415 kW ve en yüksek enerji tüketim değeri ise 180 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 6,092 kW olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük enerji tüketim değeri 125 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 2,568 kW ve en yüksek enerji tüketim değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 9,258 kW olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük enerji tüketim değeri HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük enerji tüketim değeri sonucundan yaklaşık %6 daha fazla ölçülmüştür. Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek enerji tüketim değeri de HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek enerji tüketim değeri sonucundan yaklaşık %50 daha fazla ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde enerji tüketim değeri 2,415 kW olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev’de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %6 artış ile 2,57 kW ölçülmüştür. 0,25 mm/dev’de, 0,2 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %25 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %10 artış ile 2,85 kW ölçülmüştür. 0,3 mm/dev’de, 0,25 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %20 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %1 azalış ile 2,813 kW ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde enerji tüketim değeri 2,568 kW olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev’de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %5 artış ile 2,708 kW ölçülmüştür. 0,25 mm/dev’de, 0,2 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %25 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %17 artış ile 3,181 kW ölçülmüştür. 0,3 mm/dev’de, 0,25 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %20 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %32 artış ile 4,213 kW ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde enerji tüketim değeri 2,469 kW olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev’de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %3 artış ile 2,567 kW ölçülmüştür. 0,25 mm/dev’de, 0,2 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %25 artması ile

enerji tüketim değeri yaklaşık %15 artış ile 2,955 kW ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %53 artış ile 4,531 kW ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde enerji tüketim değeri 2,672 kW olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %65 artış ile 4,432 kW ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %3 artış ile 4,604 kW ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %15 artış ile 5,335 kW ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde enerji tüketim değeri 4,756 kW olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %8 artış ile 5,141 kW ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %14 artış ile 5,872 kW ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %3 artış ile 6,092 kW ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde enerji tüketim değeri 4,839 kW olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %17 artış ile 5,707 kW ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %2 artış ile 5,825 kW ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %10 artış ile 6,419 kW ölçülmüştür.

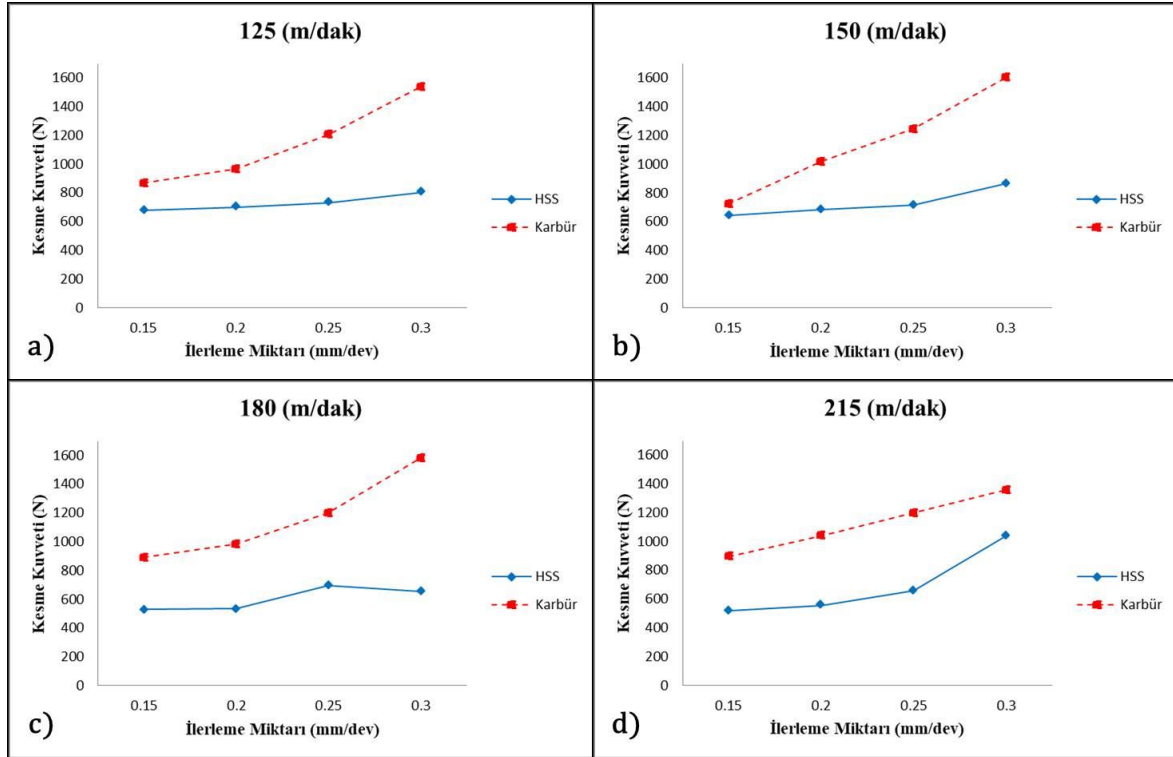
215 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde enerji tüketim değeri 3,182 kW olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %7 artış ile 3,405 kW ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile

enerji tüketim değeri yaklaşık %11 artış ile 3,794 kW ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %8 artış ile 4,113 kW ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde enerji tüketim değeri 7,618 kW olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %12 artış ile 8,534 kW ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %0,1 azalış ile 8,523 kW ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile enerji tüketim değeri yaklaşık %8 artış ile 9,258 kW ölçülmüştür.

5.2. Kesme Kuvvetlerinin ve Momentin Değerlendirilmesi

Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre kesme kuvvetlerindeki değişim grafikleri Şekil 5.2 de, sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre moment değerlerindeki değişim grafikleri ise Şekil 5.4 te verilmiştir. Kesme kuvveti olarak itme kuvveti değeri kullanılmıştır.



Şekil 5.2. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre kesme kuvvetlerindeki değişim
a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak

Kesme hızlarının artışı ile özellikle HSS takımlarla yapılan delik delme deneylerinde, kesme kuvvetlerinde düşüş gözlenmiştir. Artan kesme hızları ile kesme kuvvetlerinin azaldığı literatürde de yer almaktadır (Atak ve Yağmur, 2024; Çakıroğlu, 2011). Kesme hızının artışı işlem yapılan bölgede sıcaklığı arttırarak atomlar arasındaki enerjinin zayıflayıp plastik deformasyonun kolaylaşmasını sağlamış bununla beraber kesmenin daha kolay bir şekilde gerçekleşmesine yardımcı olmuştur. Kesme kuvvetleri de buna bağlı olarak düşüş göstermiştir (Meral, 2010).

İlerleme miktarının artışı ile kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür. Birim zamanda kaldırılan talaş hacmi ilerleme miktarı artışı ile artacaktır ve dolayısıyla tüketilecek enerji miktarı da artacağından kesme kuvvetleri de artmaktadır. Bu durum literatürde de yer almaktadır (Atak ve Yağmur, 2024; Çakıroğlu, 2011).

Genel olarak HSS ve karbür takımlar kıyaslandığında tüm parametrelerde HSS takımlarda daha düşük kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Deneyler esnasında özellikle karbür takımlarda sıvanmanın HSS takımlara göre oldukça fazla olduğu görülmüştür (Şekil 5.3).

Bu durum karbür takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerinin HSS takımlara göre daha fazla meydana gelmesine sebep olmuştur.



Şekil 5.3. Aynı kesme parametrelerinde Karbür ve HSS takımlarda BUE oluşumu
a) Karbür takım b) HSS takım

HSS takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük kesme kuvveti değeri 215 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 519 N ve en yüksek kesme kuvveti değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 1040 N olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük kesme kuvveti değeri 150 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 724 N ve en yüksek kesme kuvveti değeri ise 150 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 1605 N olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük kesme kuvveti değeri HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük kesme kuvveti değeri sonucundan yaklaşık %40 daha fazla ölçülmüştür. Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek kesme kuvveti değeri de HSS takım ile

yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek kesme kuvveti değeri sonucundan yaklaşık %55 daha fazla ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme kuvveti değeri 678 N olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %3 artış ile 701 N ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %4 artış ile 734 N ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %9 artış ile 806 N ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme kuvveti değeri 870 N olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %11 artış ile 967 N ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %24 artış ile 1207 N ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %27 artış ile 1540 N ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme kuvveti değeri 642 N olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %6 artış ile 685 N ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %4 artış ile 715 N ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %20 artış ile 865 N ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme kuvveti değeri 724 N olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %40 artış ile 1018 N ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %22 artış ile 1247 N ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25

mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %28 artış ile 1605 N ölçülmüştür.

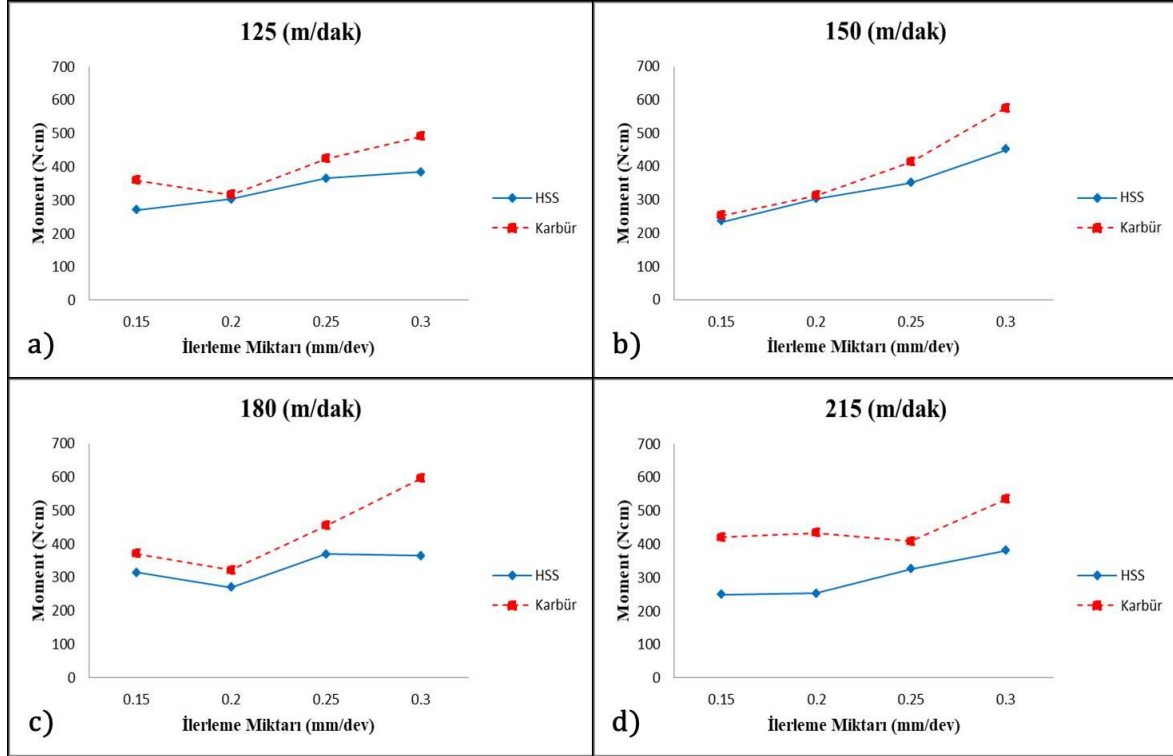
180 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme kuvveti değeri 529 N olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %1 artış ile 535 N ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %30 artış ile 698 N ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %6 azalış ile 656 N ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme kuvveti değeri 891 N olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %10 artış ile 983 N ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %22 artış ile 1200 N ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %31 artış ile 1581 N ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme kuvveti değeri 519 N olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %7 artış ile 558 N ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %17 artış ile 657 N ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %58 artış ile 1040 N ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme kuvveti değeri 898 N olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %16 artış ile 1042 N ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %15 artış ile 1200 N ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25

mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile kesme kuvveti değeri yaklaşık %13 artış ile 1360 N ölçülmüştür.



Şekil 5.4. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre moment değerlerindeki değişim
a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak

Delik delme deneyleri sonucu elde edilen moment değerlerinin, kesme kuvvetleri ile benzer bir tavır sergilediği görülmüştür. HSS takımlar ile elde edilen moment karbür takımlara göre daha düşük meydana gelmiştir. Bu durumun nedeninin kesme kuvvetlerinde olduğu gibi yığıntı talaş oluşumu olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.3).

HSS takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük moment değeri 150 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 235 Ncm ve en yüksek moment değeri ise 150 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 450 Ncm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük moment değeri 150 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 254 Ncm ve en yüksek moment

değeri ise 180 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 596 Ncm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük moment değeri HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük moment değeri sonucundan yaklaşık %8 daha fazla ölçülmüştür. Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek moment değeri de HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek moment değeri sonucundan yaklaşık %33 daha fazla ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde moment değeri 270 Ncm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile moment değeri yaklaşık %12 artış ile 303 Ncm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile moment değeri yaklaşık %20 artış ile 365 Ncm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile moment değeri yaklaşık %5 artış ile 384 Ncm ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde moment değeri 359 Ncm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile moment değeri yaklaşık %11 azalış ile 316 Ncm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile moment değeri yaklaşık %33 artış ile 423 Ncm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile moment değeri yaklaşık %15 artış ile 490 Ncm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde moment değeri 235 Ncm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile moment değeri yaklaşık %28 artış ile 303 Ncm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile moment değeri yaklaşık %15 artış ile 350 Ncm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile moment değeri yaklaşık %28 artış ile 450 Ncm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde moment değeri 254 Ncm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile moment değeri yaklaşık %23 artış ile 314 Ncm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile moment değeri yaklaşık %31 artış ile 414 Ncm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile moment değeri yaklaşık %39 artış ile 576 Ncm ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde moment değeri 315 Ncm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile moment değeri yaklaşık %14 azalış ile 270 Ncm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile moment değeri yaklaşık %37 artış ile 370 Ncm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile moment değeri yaklaşık %1 azalış ile 365 Ncm ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde moment değeri 371 Ncm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile moment değeri yaklaşık %13 azalış ile 322 Ncm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile moment değeri yaklaşık %41 artış ile 455 Ncm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile moment değeri yaklaşık %30 artış ile 596 Ncm ölçülmüştür.

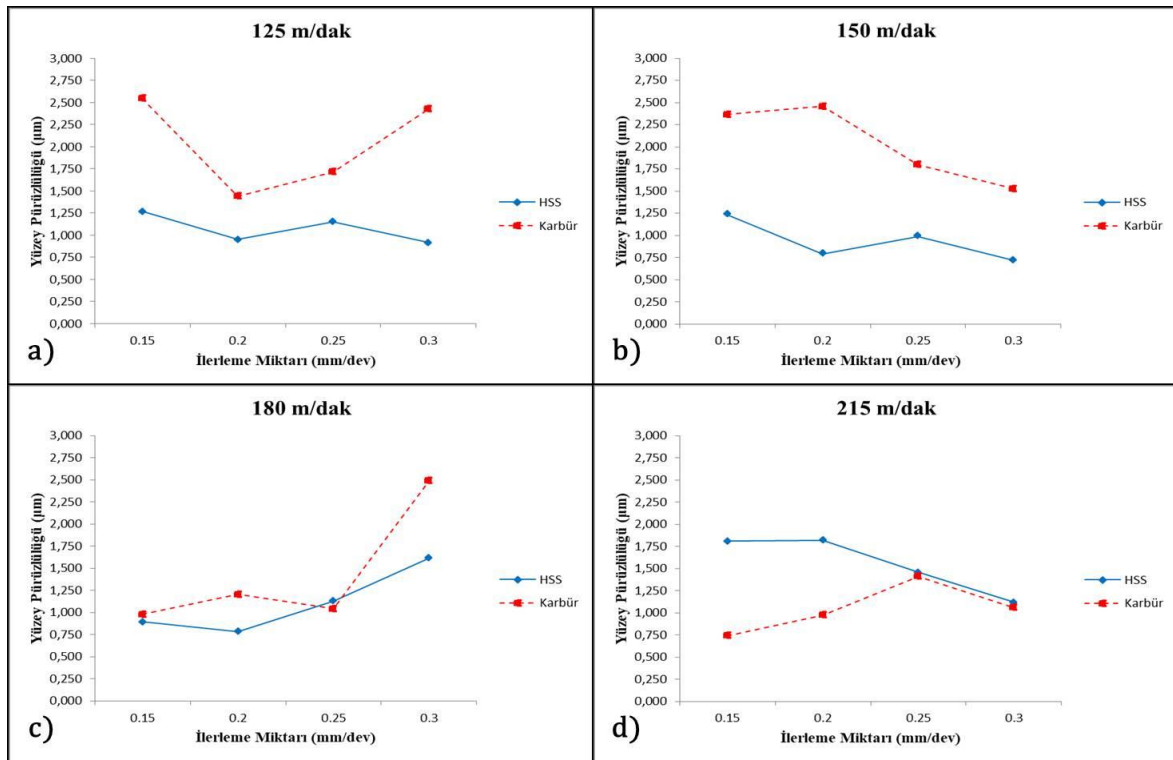
215 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde moment değeri 249 Ncm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile moment değeri yaklaşık %1 artış ile 252 Ncm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile moment değeri yaklaşık %28 artış ile 325 Ncm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile moment değeri yaklaşık %16 artış ile 380 Ncm ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde moment değeri 420 Ncm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile moment değeri yaklaşık %3 artış ile 433 Ncm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile moment değeri

yaklaşık %5 azalış ile 408 Ncm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev’de, 0,25 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %20 artması ile moment değeri yaklaşık %30 artış ile 533 Ncm ölçülmüştür.

5.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişim grafikleri Şekil 5.5 te verilmiştir.



Şekil 5.5. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak

Düşük kesme hızlarında HSS takımların Karbür takımlara göre yüzey kalitesi anlamında daha iyi performans gösterdiği Şekil 5.5 teki grafiklerde görülmektedir. Fakat kesme hızlarının artmasıyla Karbür takımların performansının HSS takımlara göre daha iyi olduğu gözlemlenmektedir. Karbür takımın aşınma direncinin daha yüksek olması sebebiyle HSS takıma göre daha iyi performans sergilediği düşünülmektedir (Buytoz, 2010).

Seçilen kesme hızları arasında özellikle 125 ve 150 m/dak'da HSS takımların Karbür takımlara göre daha iyi performans gösterdiği Şekil 5.5 a ve b'deki grafiklerde görülmektedir. Yine kullanılan kesme hızları içerisinde artan kesme hızlarıyla beraber Karbür takımların özellikle 215 m/dak kesme hızında HSS takımlara göre daha iyi performans gösterdiği de Şekil 5.5 d'de görülmüştür.

Artan kesme hızlarıyla birlikte takım aşınmasının arttığı bilinmektedir. Bu durum literatürde de yer almaktadır (Kaplan, 2010). Yüksek kesme hızlarında (180 ve 215 m/dak) Karbür takımların HSS takımlara göre daha iyi performans göstermesi artan kesme hızıyla birlikte Karbür takımların aşınma direncinin daha yüksek olduğuna ve HSS takımlara göre daha az aşındığına atfedilmektedir (Buytoz, 2010).

Kesme hızının artışıyla beraber yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Genel anlamda kesme hızının artmasıyla beraber yüzey pürüzlülük değerlerinde olumlu bir değişim olduğu görülmektedir. Artan kesme hızıyla beraber kesme bölgesi sıcaklığının artması talaşlı imalatla bilinen bir durumdur (akıroğlu, 2011; Gökkaya ve Nalbant, 2009; Yakut, 2009). Artan kesme hızıyla plastik deformasyonun ve kesme işleminin kolaylaşması yüzey kalitesini olumlu yönde etkilemektedir (akıroğlu, 2011; Meral, 2010).

Şekil 5.5 'teki grafikte grldği üzere düşük kesme hızlarında artan ilerlemeyle beraber yüzey przllği iyileşmiş fakat kesme hızının artmasıyla beraber yüksek kesme hızlarında artan ilerlemeyle beraber yüzey kalitesi olumsuz etkilenmiştir. Bunun sebebi düşük kesme hızlarında BUE oluşumu meydana gelmiş fakat buradaki artan ilerlemeyle beraber talaş kesiti arttığı için bir miktar BUE'nin önüne geçilmiştir. Bu durum kendini kesme kuvvetlerinde de göstermektedir.

Yüksek kesme hızlarında, artan ilerleme miktarlarıyla beraber yüzey kalitesinin olumsuz etkilendiği görülmektedir. Bu durum talaşlı imalatla beklenen bir durumdur. İlerleme miktarının artması ile Eş. 5.1 deki formüle göre ortalama yüzey przllği değerinde artış görülür. Artan ilerleme miktarı talaş kesitinin artmasına ve böylece kuvvet ve güç değerlerinde de artışa neden olmaktadır (Yılmaz, 2022).

$$Ra = \frac{f^2}{32 * r} \quad (5.1)$$

Düşük ve orta kesme hızlarında yumuşak ve sünek malzemelerin işlenmesinde BUE oluşumu kaçınılmazdır. Fakat artan ilerleme miktarıyla beraber artan talaş kesiti basıncı arttırdığı için o bölgedeki BUE oluşumunun kopmasına sebep olmuştur. Talaşı kopmaya zorlayacağı için BUE oluşumunun önüne geçtiği bu sebeple de artan ilerleme miktarlarıyla beraber yüzey kalitesinin olumlu yönde etkilendiği görülmektedir.

Artan talaş kesitiyle beraber talaşın kırılmasının kolaylaşması BUE oluşumunun bir miktar önüne geçilmesini sağlamıştır.

Kesme hızlarının artmasıyla beraber BUE oluşumunun önüne geçildiği literatürde bilinen bir durumdur (Özdemir, 2022). İlerleme miktarının ve kesme hızının artmasıyla beraber takım aşınma eğiliminin arttığı düşünülmektedir (Kaplan, 2010; Kaplan, 2012).

HSS takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri 150 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 0,717 µm ve en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 1,820 µm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri 215 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 0,742 µm ve en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 125 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 2,545 µm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri sonucundan yaklaşık %3 daha fazla ölçülmüştür. Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek yüzey pürüzlülük değeri de HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek yüzey pürüzlülük değeri sonucundan yaklaşık %40 daha fazla ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri 1,268 μm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %25 azalış ile 0,951 μm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %21 artış ile 1,152 μm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %20 azalış ile 0,916 μm ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri 2,545 μm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %43 azalış ile 1,441 μm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %18 artış ile 1,713 μm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %41 artış ile 2,428 μm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri 1,237 μm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %35 azalış ile 0,792 μm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %25 artış ile 0,991 μm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %27 azalış ile 0,717 μm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri 2,367 μm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %3 artış ile 2,457 μm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %26 azalış ile 1,799 μm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %15 azalış ile 1,527 μm ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri 0,896 μm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %12 azalış ile 0,786 μm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %44 artış ile 1,132 μm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %42 artış ile 1,617 μm ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri 0,98 μm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %22 artış ile 1,204 μm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %13 azalış ile 1,042 μm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %139 artış ile 2,491 μm ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri 1,809 μm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %0,6 artış ile 1,82 μm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %19 azalış ile 1,459 μm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %23 azalış ile 1,119 μm ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri 0,742 μm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %31 artış ile 0,974 μm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %44 artış ile 1,41 μm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %24 azalış ile 1,061 μm ölçülmüştür.

Delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri, HSS takım ile 150 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 0,717 μm olarak, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise Karbür takım ile 125 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 2,545 μm olarak ölçülmüştür.

5.4. Geometrik Toleransların Değerlendirilmesi

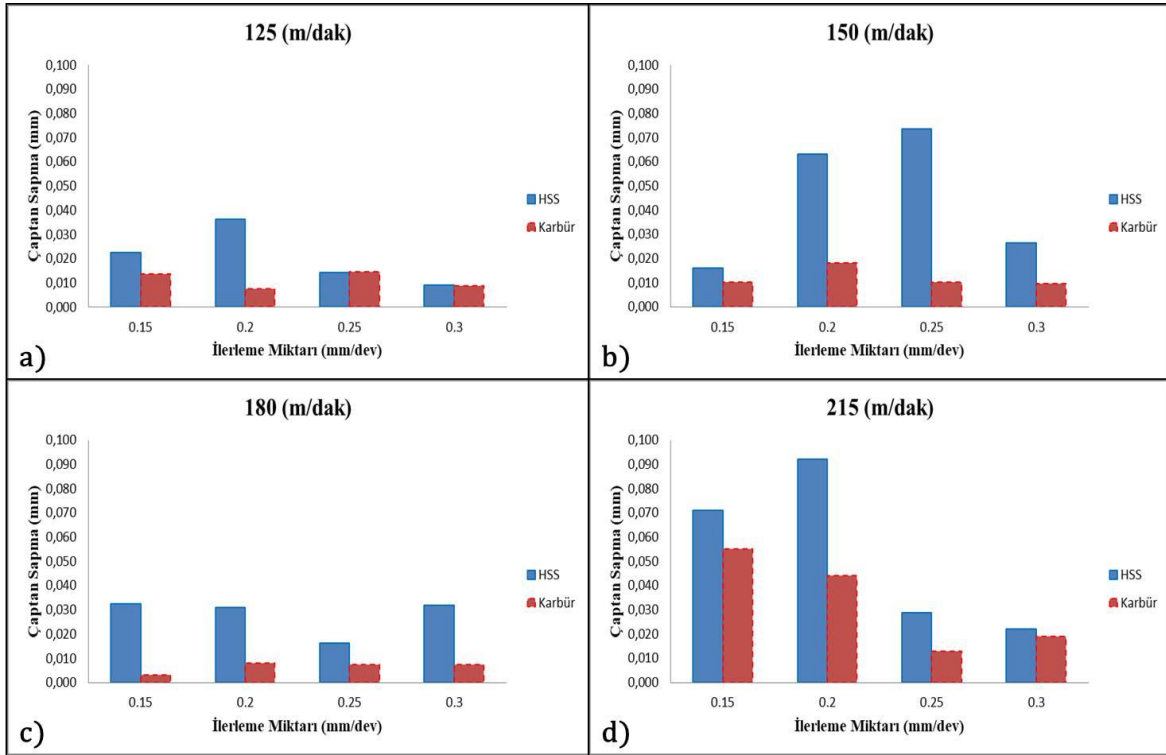
Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre çaptan sapma, dairesellikten sapma, diklikten sapma ve silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim grafikleri sırasıyla Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 da verilmiştir. Deneyler sonrası ulaşılan geometrik tolerans değerleri Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Al 7075 T6 alaşımı ile yapılan delik delme deneyleri sonucunda elde edilen geometrik tolerans değerleri

Deney No	Malzeme	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Çaptan Sapma (mm)	Dairesellikten Sapma (mm)	Diklikten Sapma (mm)	Silindiriklikten Sapma (mm)
1	HSS	125	0,15	0,022	0,013	0,079	0,047
2			0,2	0,036	0,016	0,079	0,059
3			0,25	0,014	0,014	0,078	0,055
4			0,3	0,009	0,009	0,107	0,037
5		150	0,15	0,016	0,010	0,072	0,043
6			0,2	0,063	0,014	0,092	0,060
7			0,25	0,074	0,018	0,099	0,077
8			0,3	0,026	0,009	0,095	0,030
9		180	0,15	0,032	0,009	0,085	0,025
10			0,2	0,031	0,011	0,087	0,046
11			0,25	0,016	0,015	0,087	0,047
12			0,3	0,032	0,012	0,094	0,044
13		215	0,15	0,071	0,017	0,082	0,058
14			0,2	0,092	0,023	0,076	0,062
15			0,25	0,029	0,011	0,097	0,045
16			0,3	0,022	0,009	0,092	0,020
17	Karbür	125	0,15	0,013	0,015	0,063	0,035
18			0,2	0,008	0,012	0,071	0,027
19			0,25	0,015	0,018	0,060	0,036
20			0,3	0,009	0,016	0,047	0,033
21		150	0,15	0,010	0,014	0,054	0,032
22			0,2	0,018	0,024	0,074	0,033
23			0,25	0,010	0,011	0,071	0,033
24			0,3	0,010	0,018	0,082	0,034
25		180	0,15	0,003	0,018	0,061	0,032
26			0,2	0,008	0,019	0,055	0,041
27			0,25	0,008	0,010	0,054	0,034
28			0,3	0,008	0,030	0,074	0,048
29		215	0,15	0,055	0,028	0,081	0,042
30			0,2	0,044	0,019	0,069	0,080
31			0,25	0,013	0,018	0,050	0,038
32			0,3	0,019	0,011	0,064	0,047

5.4.1. Çaptan sapma

Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre çaptan sapma değerlerindeki değişim grafikleri Şekil 5.6 da verilmiştir.



Şekil 5.6. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre çaptan sapma değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak

Karbür takımların çaptan sapma değerlerinde daha stabil bir eğilim seyrettiği, HSS takımlara oranla çaptan sapma değerlerinde değişimin daha az olduğu Şekil 5.6 da görülmektedir. Bu durumun sebebi Karbür takımın aşınma direncinin HSS takıma göre daha yüksek olduğuna ve bu nedenle Karbür takımlarda çaptan sapma anlamında HSS takımlara göre daha stabil bir durumun meydana geldiği düşünülmektedir.

Kesme hızının artmasıyla beraber her iki takımda da çaptan sapma değerleri artmıştır (Meral, 2010). Bunun sebebi kesme hızının artmasıyla beraber iki takımında aşınmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir (Kaplan, 2010; Yılmaz, 2022). Kesme hızının artmasıyla beraber titreşimin de artması literatürde de bilinen bir durumdur (Kaplan, 2010). Titreşimin artmasıyla çaptan sapma değerleri olumsuz yönde etkilenmektedir.

HSS takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük çaptan sapma değeri 125 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 0,009 mm ve en yüksek çaptan sapma değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 0,092 mm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük çaptan sapma değeri 180 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 0,003 mm ve en yüksek çaptan sapma değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 0,055 mm olarak ölçülmüştür.

HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük çaptan sapma değeri Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük çaptan sapma değeri sonucundan yaklaşık %67 daha fazla ölçülmüştür. HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek çaptan sapma değeri de Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek çaptan sapma değeri sonucundan yaklaşık %40 daha fazla ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde çaptan sapma değeri 0,022 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev’de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %63 artış ile 0,036 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev’de, 0,2 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %25 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %61 azalış ile 0,014 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev’de, 0,25 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %20 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %35 azalış ile 0,009 mm ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde çaptan sapma değeri 0,013 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev’de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %38 azalış ile 0,008 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev’de, 0,2 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %25 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %87 artış ile 0,015 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev’de, 0,25 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %20 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %40 azalış ile 0,009 mm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde çaptan sapma değeri 0,016 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %293 artış ile 0,063 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %17 artış ile 0,074 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %64 azalış ile 0,026 mm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde çaptan sapma değeri 0,010 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %80 artış ile 0,018 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %44 azalış ile 0,01 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile çaptan sapma değeri 0,25 mm/dev'de olduğu gibi değerde bir değişim olmadan 0,01 mm olarak ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde çaptan sapma değeri 0,032 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %3 azalış ile 0,031 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %48 azalış ile 0,016 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %100 artış ile 0,032 mm ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde çaptan sapma değeri 0,003 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %166 artış ile 0,008 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile çaptan sapma değeri 0,2 mm/dev'de olduğu gibi değerde bir değişim olmadan 0,008 mm olarak ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması

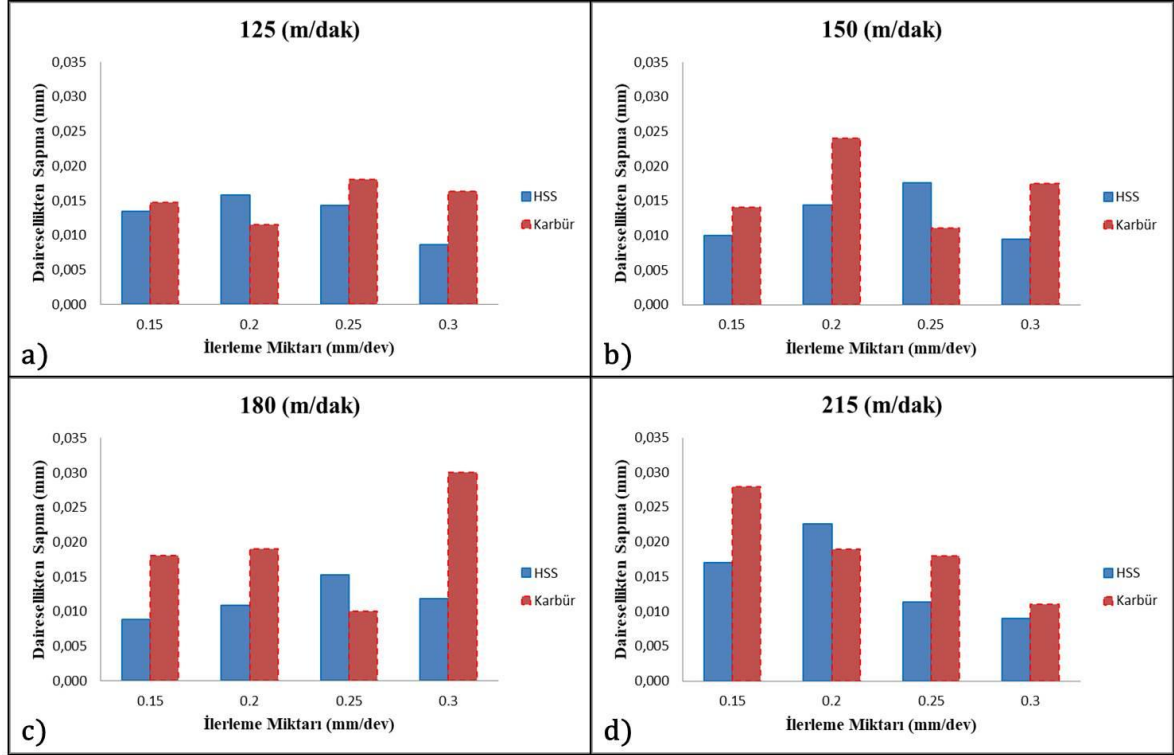
ile çaptan sapma değeri 0,25 mm/dev'de olduğu gibi değerde bir değişim olmadan 0,008 mm olarak ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde çaptan sapma değeri 0,071 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %29 artış ile 0,092 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %68 azalış ile 0,029 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %24 azalış ile 0,022 mm ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde çaptan sapma değeri 0,055 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %20 azalış ile 0,044 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %70 azalış ile 0,013 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile çaptan sapma değeri yaklaşık %46 artış ile 0,019 mm ölçülmüştür.

5.4.2. Dairesellikten sapma

Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre dairesellikten sapma değerlerindeki değişim grafikleri Şekil 5.7 de verilmiştir.



Şekil 5.7. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre dairesellikten sapma değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak

Çaptan sapma değerlerinde olduğu gibi dairesellikten sapma değerlerinde de iki takımın da birbirine yakın eğilimler gösterdiği Şekil 5.7 de görülmektedir.

215 m/dak'da artan kesme hızı takım aşınmasını olumsuz yönde etkilemiştir ve dairesellikten sapma değerlerini arttıran bir etki göstermiştir. Aynı zamanda artan kesme hızıyla birlikte devir sayısının artması tezgah titreşiminin artmasına sebep olmuştur. Bu sebeple de çaptan sapmada olduğu gibi dairesellikten sapmada da 215 m/dak kesme hızında nispeten yüksek dairesellikten sapma değerlerinin olduğu görülmüştür.

HSS takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük dairesellikten sapma değeri 125, 150 ve 215 m/dak kesme hızlarında 0,3 mm/dev ilerleme miktarında ve 180 m/dak kesme hızında 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 0,009 mm ve en yüksek dairesellikten sapma değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 0,023 mm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük dairesellikten sapma değeri 180 m/dak kesme hızında ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında 0,010 mm ve en yüksek dairesellikten sapma değeri ise 180 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 0,030 mm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük dairesellikten sapma değeri HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük dairesellikten sapma değeri sonucundan yaklaşık %10 daha fazla ölçülmüştür. Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek dairesellikten sapma değeri de HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek dairesellikten sapma değeri sonucundan yaklaşık %30 daha fazla ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde dairesellikten sapma değeri 0,013 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %23 artış ile 0,016 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %12 azalış ile 0,014 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %35 azalış ile 0,009 mm ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde dairesellikten sapma değeri 0,015 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %20 azalış ile 0,012 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %50 artış ile 0,018 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %11 azalış ile 0,016 mm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde dairesellikten sapma değeri 0,01 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %40 artış ile 0,014 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25

artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %28 artış ile 0,018 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %50 azalış ile 0,009 mm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde dairesellikten sapma değeri 0,014 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %71 artış ile 0,024 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %54 azalış ile 0,011 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %63 artış ile 0,018 mm ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde dairesellikten sapma değeri 0,009 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %22 artış ile 0,011 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %36 artış ile 0,015 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %20 azalış ile 0,012 mm ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde dairesellikten sapma değeri 0,018 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %5 artış ile 0,019 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %47 azalış ile 0,01 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %200 artış ile 0,03 mm ölçülmüştür.

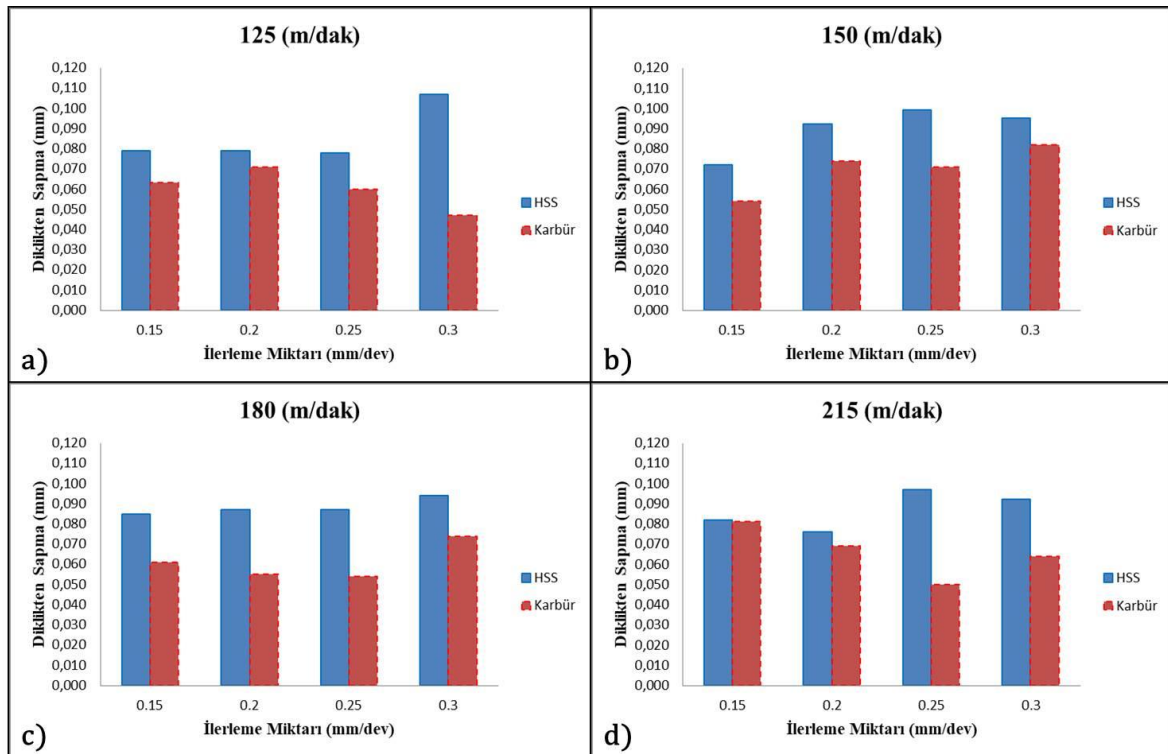
215 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde dairesellikten sapma değeri 0,017 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %35 artış ile 0,023 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25

artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %52 azalış ile 0,011 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %18 azalış ile 0,009 mm ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde dairesellikten sapma değeri 0,028 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %32 azalış ile 0,019 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %5 azalış ile 0,018 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile dairesellikten sapma değeri yaklaşık %38 azalış ile 0,011 mm ölçülmüştür.

5.4.3. Diklikten sapma

Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre diklikten sapma değerlerindeki değişim grafikleri Şekil 5.8 de verilmiştir.



Şekil 5.8. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre diklikten sapma değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak

Diklikten sapma için seçilen parametreler arasında kesme hızının diklikten sapma için çok büyük bir etken olmadığı görülmüştür. Artan kesme hızlarıyla beraber diklikten sapma değerlerinin neredeyse hiçbir farkı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. İki takım arasında da çok fazla fark olmadığı için diklikten sapma anlamında, Karbür takımların hemen hemen tüm parametrelerde diklikten sapma açısından HSS takımlara göre daha iyi performans gösterdiğini söylemek mümkündür.

İlerleme artışıyla beraber özellikle 150 m/dak ve 180 m/dak kesme hızlarında diklikten sapma değerlerinde artış olurken, 125 m/dak ve 215 m/dak'da azalış olduğu görülmüştür. Fakat artışın ve azalmanın çok kayda değer büyük bir artma ya da azalma olmadığı görülmektedir.

HSS takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük diklikten sapma değeri 150 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 0,072 mm ve en yüksek diklikten sapma değeri ise 125 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 0,107 mm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük diklikten sapma değeri 125 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 0,047 mm ve en yüksek diklikten sapma değeri ise 150 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 0,082 mm olarak ölçülmüştür.

HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük diklikten sapma değeri Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük diklikten sapma değeri sonucundan yaklaşık %35 daha fazla ölçülmüştür. HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek diklikten sapma değeri de Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek diklikten sapma değeri sonucundan yaklaşık %25 daha fazla ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde diklikten sapma değeri 0,079 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile diklikten sapma değeri 0,15 mm/dev'de olduğu gibi değerde

bir değişim olmadan 0,079 mm olarak ölçölmüştür. 0,25 mm/dev’de, 0,2 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %25 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %1 azalış ile 0,078 mm ölçölmüştür. 0,3 mm/dev’de, 0,25 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %20 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %37 artış ile 0,107 mm ölçölmüştür.

125 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde diklikten sapma değeri 0,063 mm olarak ölçölmüştür. 0,2 mm/dev’de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %12 artış ile 0,071 mm ölçölmüştür. 0,25 mm/dev’de, 0,2 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %25 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %15 azalış ile 0,06 mm ölçölmüştür. 0,3 mm/dev’de, 0,25 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %20 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %21 azalış ile 0,047 mm ölçölmüştür.

150 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde diklikten sapma değeri 0,072 mm olarak ölçölmüştür. 0,2 mm/dev’de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %27 artış ile 0,092 mm ölçölmüştür. 0,25 mm/dev’de, 0,2 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %25 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %7 artış ile 0,099 mm ölçölmüştür. 0,3 mm/dev’de, 0,25 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %20 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %4 azalış ile 0,095 mm ölçölmüştür.

150 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde diklikten sapma değeri 0,054 mm olarak ölçölmüştür. 0,2 mm/dev’de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %37 artış ile 0,074 mm ölçölmüştür. 0,25 mm/dev’de, 0,2 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %25 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %4 azalış ile 0,071 mm ölçölmüştür. 0,3 mm/dev’de, 0,25 mm/dev’e göre ilerleme miktarının %20 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %15 artış ile 0,082 mm ölçölmüştür.

180 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde diklikten sapma değeri 0,085 mm olarak ölçölmüştür. 0,2 mm/dev’de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %2 artış ile 0,087 mm

ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile diklikten sapma değeri 0,2 mm/dev'de olduğu gibi değerle bir değişim olmadan 0,087 mm olarak ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %8 artış ile 0,094 mm ölçülmüştür.

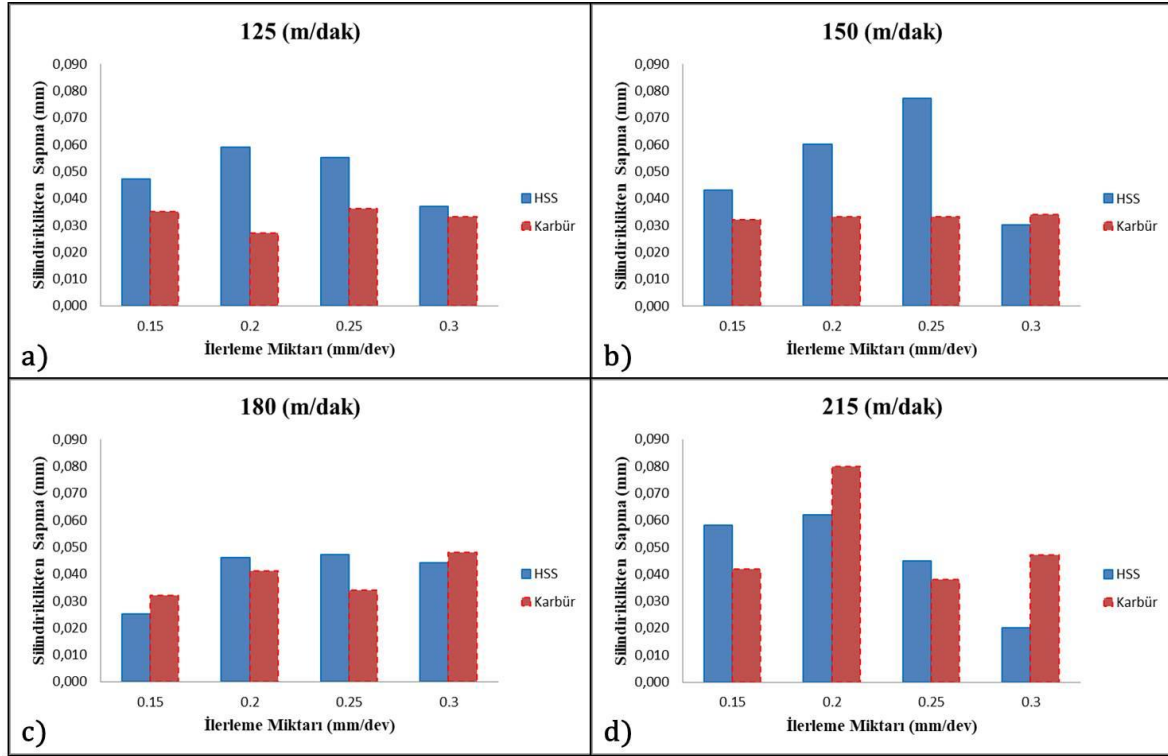
180 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde diklikten sapma değeri 0,061 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %9 azalış ile 0,055 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %1 azalış ile 0,054 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %37 artış ile 0,074 mm ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde diklikten sapma değeri 0,082 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %7 azalış ile 0,076 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %27 artış ile 0,097 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %5 azalış ile 0,092 mm ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde diklikten sapma değeri 0,081 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %14 azalış ile 0,069 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %27 azalış ile 0,05 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile diklikten sapma değeri yaklaşık %28 artış ile 0,064 mm ölçülmüştür.

5.4.4. Silindiriklikten sapma

Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim grafikleri Şekil 5.9 da verilmiştir.



Şekil 5.9. Sabit kesme hızında ilerleme miktarına göre silindiriklikten sapma değerlerindeki değişim a) 125 m/dak b) 150 m/dak c) 180 m/dak d) 215 m/dak

Silindiriklikten sapma değerlerinde, HSS ve Karbür takımlar arasında özellikle 0,3 mm/dev ilerleme miktarında neredeyse bir fark olmadığı Şekil 5.9 da görülmektedir. Genel anlamda 150 m/dak kesme hızı haricinde diğer 3 kesme hızında Karbür ve HSS takımların birbirine yakın seyrettiği ve paralellik gösterdiği söylenebilir.

HSS takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük silindiriklikten sapma değeri 215 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 0,020 mm ve en yüksek silindiriklikten sapma değeri ise 150 m/dak kesme hızında ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında 0,077 mm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük silindiriklikten sapma değeri 125 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 0,027 mm ve en yüksek silindiriklikten sapma değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 0,080 mm olarak ölçülmüştür.

Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük silindiriklikten sapma değeri HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en düşük silindiriklikten sapma değeri sonucundan yaklaşık %35 daha fazla ölçülmüştür. Karbür takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek silindiriklikten sapma değeri de HSS takım ile yapılan delik delme deneyleri sonucu elde edilen en yüksek silindiriklikten sapma değeri sonucundan yaklaşık %5 daha fazla ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde silindiriklikten sapma değeri 0,047 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %25 artış ile 0,059 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %6 azalış ile 0,055 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %32 azalış ile 0,037 mm ölçülmüştür.

125 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde silindiriklikten sapma değeri 0,035 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %22 azalış ile 0,027 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %33 artış ile 0,036 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %8 azalış ile 0,033 mm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde silindiriklikten sapma değeri 0,043 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %39 artış ile 0,06 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25

artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %28 artış ile 0,077 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %61 azalış ile 0,03 mm ölçülmüştür.

150 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde silindiriklikten sapma değeri 0,032 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %3 artış ile 0,033 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile silindiriklikten sapma değeri 0,2 mm/dev'de olduğu gibi değerinde bir değişim olmadan 0,033 mm olarak ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %3 artış ile 0,034 mm ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde silindiriklikten sapma değeri 0,025 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %84 artış ile 0,046 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %2 artış ile 0,047 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %6 azalış ile 0,044 mm ölçülmüştür.

180 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde silindiriklikten sapma değeri 0,032 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %28 artış ile 0,041 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %17 azalış ile 0,034 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %41 artış ile 0,048 mm ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında HSS takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde silindiriklikten sapma değeri 0,058 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %6 artış ile

0,062 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %27 azalış ile 0,045 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile silindiriklikten sapma değeri yaklaşık %55 azalış ile 0,02 mm ölçülmüştür.

215 m/dak kesme hızında Karbür takımlarda, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde silindiriklikten sapma değeri 0,042 mm olarak ölçülmüştür. 0,2 mm/dev'de, ilerleme miktarının %33,3 artması ile silindiriklikten sapma değeri %90,476 artış ile 0,08 mm ölçülmüştür. 0,25 mm/dev'de, 0,2 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %25 artması ile silindiriklikten sapma değeri %52,5 azalış ile 0,038 mm ölçülmüştür. 0,3 mm/dev'de, 0,25 mm/dev'e göre ilerleme miktarının %20 artması ile silindiriklikten sapma değeri %23,684 artış ile 0,047 mm ölçülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Al 7075 alaşımının matkaplarla delinmesinde kesme kuvvetleri, moment, enerji tüketimi, yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma, diklikten sapma ve silindiriklikten sapmanın değerlendirildiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

En düşük kesme kuvveti değeri 215 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında HSS takım ile 519 N, en yüksek kesme kuvveti değeri ise 150 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında Karbür takım ile 1605 N olarak ölçülmüştür.

En düşük moment değeri 150 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında HSS takım ile 235 Ncm, en yüksek moment değeri ise 180 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında Karbür takım ile 596 Ncm olarak ölçülmüştür.

En düşük enerji tüketim değeri 125 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında HSS takım ile 2,415 kW, en yüksek enerji tüketim değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında Karbür takım ile 9,258 kW olarak ölçülmüştür.

En düşük yüzey pürüzlülük değeri 150 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında HSS takım ile 0,717 μm , en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri ise 125 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında Karbür takım ile 2,545 μm olarak ölçülmüştür.

En düşük çaptan sapma değeri 180 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarında Karbür takım ile 0,003 mm, en yüksek çaptan sapma değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında HSS takım ile 0,092 mm olarak ölçülmüştür.

En düşük dairesellikten sapma değeri 125, 150 ve 215 m/dak kesme hızlarında 0,3 mm/dev ilerleme miktarında ve 180 m/dak kesme hızında 0,15 mm/dev ilerleme miktarında HSS

takım ile 0,009 mm, en yüksek dairesellikten sapma değeri ise 180 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında Karbür takım ile 0,030 mm olarak ölçülmüştür.

En düşük diklikten sapma değeri 125 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında Karbür takım ile 0,047 mm, en yüksek diklikten sapma değeri ise 125 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında HSS takım ile 0,107 mm olarak ölçülmüştür.

En düşük silindiriklikten sapma değeri 215 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında HSS takım ile 0,020 mm, en yüksek silindiriklikten sapma değeri ise 215 m/dak kesme hızında ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında Karbür takım ile 0,080 mm olarak ölçülmüştür.

Öneriler

Farklı malzemelerde yapılan delik delme deneylerinde enerji tüketimleri araştırılabilir.

Enerji tüketimine soğutma uygulamalarının etkileri araştırılabilir.

Farklı takım geometrilerinin enerji tüketimine etkisi araştırılabilir.

Karbür takımlarda farklı kaplama uygulamalarının özellikle enerji tüketimi üzerinde etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aamir, M., Giasin, K., Tolouei-Rad, M. ve Vafadar, A. (2020). A Review: Drilling Performance And Hole Quality Of Aluminium Alloys For Aerospace Applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 12484-12500.
- Akdulum, A., (2022). *Değiştirilebilir Uçlu Matkapların (U-Drill) Farklı Alüminyum Alaşımlarında Uygulanabilirliğinin DeneySEL Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akyüz, B. ve Şenaysoy, S. (2014). Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerindeki Etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1-9.
- Aslan, E., (2022). *Alüminyum 7050 Alaşımının Delinmesinde Uç Açısının Etkilerinin DeneySEL Ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atak, Ş. ve Yağmur, S. (2024). Alüminyum 7075 Alaşımının Delinmesinde Kesici Takım Malzemesi ve Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. *14. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi (ICAR)*, 414-423.
- Bagaber, S.A. ve Yusoff, A.R. (2018). Sustainable Optimization of Dry Turning of Stainless Steel based on Energy Consumption and Machining Cost. *8th CIRP Conference on High Performance Cutting*, 397-400.
- Batman, Ö., (2019). *2011-T6 Alüminyum Alaşımının Delik Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Bayraklılar, M.S., (2014). *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.
- Bayraktar, Ş., Siyambaş, Y. ve Turgut, Y. (2016). Delik Delme Prosesi: Bir Araştırma. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 120-130.
- Bhushan, R.K. (2013). Optimization Of Cutting Parameters For Minimizing Power Consumption and Maximizing Tool Life During Machining Of Al Alloy SiC Particle Composites. *Journal Of Cleaner Production*, 39, 242-254.
- Bhushan, R.K. (2022). Effect Of SiC Particle Size And Weight Percentage On Power Consumption During Turning Of AA7075/ SiC Composite. *Composites Part C: Open Access* 8, 100270.
- Boğa, C., Pınarbaşı, A., Külekçi, M.K. ve Eşme, U. (2020). Optimization of the Effect of Processing Parameters on Surface Roughness and Cutting Energy in CNC Milling of Al-7075 Material. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 345-355.

- Bozkurt, S., (2019). *AA7075 T651 Alüminyum Alaşımının Tornada İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Geometrik Toleranslara Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Buytoz, Ö., (2010). *AISI 304 Paslanmaz Çeliğini Matkapla Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Callister, W.D. ve Rethwisch, D.G. (2015) . Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. (Çev. K. Genel , C. Bindal , M. Demirkol , R. Artır , M. Bakkal , A. Parasız) . Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık. (Eserin orijinali 2011’de yayımlandı).
- Çakır, A., (2015). *AA 7075 Ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çakır, A. , Nalbant, M. , Duran, A. ve Ulaş, H.B. (2012). *AA 7075 ve AA 6013 Alüminyum Malzemelere Delik Delme Operasyonu Sürecinde Kesme Parametrelerinin İncelenmesi*. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu’nda sunuldu, Ankara.
- Çakır, M.C. (2000). *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*. Bursa: Vipaş A.Ş, 350-390.
- Çakıroğlu, R., (2011). *Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çaydaş, U. ve Çelik, M. (2017). AA 7075-T6 Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Sıcaklığı Ve İlerleme Kuvvetine Etkilerinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20 (2), 419-425.
- Dahnel, A.N., Fauzi, M.H., Raof, N.A., Mokhtar, S. ve Khairussaleh, N.K.M. (2022). Tool Wear And Burr Formation During Drilling Of Aluminum Alloy 7075 In Dry And With Cutting Fluid. *Materials Today: Proceedings* 59, 808-813.
- Das, B., Rajbongshi S.K., Rudra, P., Choppy, K.S. ve Syiemlieh, D. (2024). Modeling And Surface Morphological Study In Drilling Of Al 2024 Alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 109, 615-627.
- Denkena, B., Abele,E., Brecher, C., Dittrich, M., Kara, S. ve Mori, M. (2020). Energy Efficient Machine Tools. *CIRP Annals- Manufacturing Technology* 69, 646-667.
- Eroğlu, G. ve Şahiner, M. (2018). *Dünyada ve Türkiye’de Alüminyum*, Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.
- Fernando W.L.R., Karunathilake H.P. ve Gamage J.R. (2021). Strategies To Reduce Energy And Metalworking Fluid Consumption For The Sustainability Of Turning Operation: A Review. *Cleaner Engineering and Technology* 3, 100100.
- Geng, D. ve Evans, S. (2022). A Literature Review Of Energy Waste In The Manufacturing Industry. *Computers & Industrial Engineering*, 173, 108713.

- Gökkaya, H. ve Nalbant, M. (2009). *Kaplama Çeşidi Ve İşleme Parametrelerine Bağlı Olarak Takım-Talaş Arayüzey Sıcaklığı Ve Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 1332-1339.
- İnternet: Semtrio. URL: <https://www.semtrio.com/blog/cevresel-surdurulebilirlik-tanimi-ve-kapsadigi-alanlar>, Son Erişim Tarihi: 24 Ekim 2023.
- İnternet: Seykoç. URL: <https://www.seykoc.com.tr/icerik/7075?dil=tr>. Son Erişim Tarihi: 20.02.2025.
- Kaplan, S., (2012). *AISI 1045 Malzemesinin Matkap Ucu İle Delinmesinde Kaplamanın Takım Performansına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Kaplan, Y., (2010). *Delik Delmede Farklı Parametrelerin Kesme Kuvveti, Moment, Titreşim, Yüzey Pürüzlülüğü, Aşınma Ve Çapak Oluşumuna Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kaynak, Y., (2006). *Matkap İle Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin DeneySEL Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Khanna, N., Shah, P., Wadhwa, J., Pitroda, A., Schoop, J. ve Pusavec, F. (2021). Energy Consumption and Lifecycle Assessment Comparison of Cutting Fluids for Drilling Titanium Alloy. *28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, 175-180.
- Korkmaz, M.E., Çakıroğlu, R., Yaşar, N., Özmen, R. Ve Günay, M. (2019). Al2014 Alüminyum Alaşımının Delinmesinde İtme Kuvvetinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 193-199.
- Krishna, R.V.V.S.S. ve Sheriff F, M.A. (2022). Comparison Of HSS M35 And Titanium-Nitride Coated Tool In Novel CNC Drilling Operation Of Aluminium Alloy AA6351-T6 Material On Surface Roughness. *Materials Today: Proceedings* 69, 1014-1018.
- Kutlu, L., (2009). *Al 2024-T4 Alüminyumun Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin DeneySEL İncelenmesi Ve Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuzucu, T.K., (2024). *Alüminyum 6061 T651 Alaşımının Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Mendi, F., (1996). *Takım tezgahları teori ve hesapları*. Ankara: Gazi Kitabevi, 5-40.
- Meral, G., (2010). *AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri Ve Delik Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Mouritz, A.P. (2012). *Introduction to aerospace materials*. Cambridge: Woodhead Publishing.

- Negrete, C.C. (2013). Optimization Of Cutting Parameters For Minimizing Energy Consumption In Turning Of AISI 6061 T6 Using Taguchi Methodology And ANOVA. *Journal of Cleaner Production*, 53, 195-203.
- Nouari, M., List, G., Girot, F. ve Géhin, D. (2005). Effect Of Machining Parameters And Coating On Wear Mechanisms In Dry Drilling Of Aluminium Alloys. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45, 1436–1442.
- Özbek, Y., (2020). *Havacılık Ve Uzay Sektöründe Kullanılan 7075 – T651 Alüminyum Alaşımının İşlenmesi İçin Özel İmalat Matkap Uçlarının Deney Tasarımı Yöntemi İle Performansının Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, C., (2022). *Al 6061-T6 Alaşımının Delinmesi Esnasında Kesme Bölgesindeki Sıcaklığa, Yüzey Pürüzlülüğüne Ve Enerji Tüketimine Etki Eden Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Özer, G., (2017). *AA7075 Alüminyum Alaşımında Yaşlandırma Ve Yeniden Çözeltiye Alma Sonrası Yeniden Yaşlandırma (RRA) İşlemleri İle Özellik Değişimlerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özger, G., (2024). *Kriyojenik İşlem Görmüş Matkaplar İle AA 7075 Alüminyum Alaşımının MQL Destekli Delinmesinde Kesme Performansının Deneysel Ve İstatistiksel Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Özsar, O.Ö., (2020). *Ekstrüzyon Yöntemi İle Üretilen AA7075 Alüminyum Alaşımının Isıl İşlem Öncesinde Ve Sonrasında Farklı Kaplamalı Matkap Takımları İle Delme Performansının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Pramanik, A., Basak, A.K., Prakash, C., Shankar, S. ve Chattopadhyaya, S. (2022). Sustainability In Drilling Of Aluminum Alloy. *Cleaner Materials* 3, 100048.
- Schneider, G., (2002). Cutting Tool Applications, ASM international, 8-2, U.S.A.
- Sekmen, M., Günay, M. ve Şeker, U. (2015). Alüminyum Alaşımının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi. *Journal of Polytechnic*, 18(3), 141-148.
- Söğüt, Z. ve Oktay, Z. (2006). Sanayi Sektöründe Enerji Taramasının Enerji Verimliliğine Etkisi ve Bir Uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 151-162.
- Şeker, U., (1997). Takım Tasarımı Ders Notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 5-11.
- Şevik, U., (2021). *Aşırı Plastik Deformasyon Ve Yaşlandırma İşlemleri Uygulanan AA7075 Malzemenin İşlenebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

- Tatlı, H. Ve Koç, B. (2018). Enerji Tüketimi Ve Enerji Fiyatları Bağlamında Türkiye'nin OECD Ülkeleri İçindeki Yeri. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 353-375.
- Teke, E., (2024). *Alüminyum 5083-H111 Malzemenin Delik Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları İle Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Turgut, Y.Z., (2023). *Alüminyum 2024 T351 Malzemenin Delik Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Ölçümü İle Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yağmur, S., (2011). *Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yağmur, S., Çakıroğlu, R., Acır, A. ve Şeker, U. (2017). AISI 1050 Çeliğinin Delinmesinde İtme Kuvvetinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part-C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2), 241-246.
- Yakut, H., (2009). *Al 7075 Alüminyumun Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametreleri İle Sıcaklık Arasındaki İlişkinin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, A. (2012). *Türkiye'de Sektörel Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler Ve Alternatif Enerji Politikaları*, Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- Yılmaz, B., (2022). *Ti6Al4V Malzemesinin Delinmesinde Farklı Soğutma Yöntemlerinin Etkileri Ve YSA İle Modellenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.





EKLER

EK-1. Uygunluk sertifikası

 SEYKOÇ ALÜMİNYUM "TÜRKİYE NİN ALÜMİNYUM YEDİRCİSİ"	UYGUNLUK SERTİFİKASI (Certificate of Conformity)		Document No : FR.061 Publishing Date : 01.10.2016 Revision Date : 15.03.2018 Revision No : 2 Page No : 1/1								
Sertifika No (Certificate Number)		Tarih (Date)									
04-93837-23		04.05.2023									
Genel Bilgi (General Information)											
Formu (Form)	PLAKA	Lot No (Lot/Batch No)	70913								
Ölçüleri (Dimensions)	20X1520X3020	Miktar (Kg) (Quantity)	2350								
Alaşım (Alloy)	7075	Adet (Pieces)	3								
Temper (Temper)	T651	Standartlar (Standards)	EN 485-1 -2 -3, EN 573-3								
Kimyasal Analiz (Chemical Analysis)											
DEĞERLER (VALUES)	ELEMENTLER (%) (Elements)										
STANDART	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Each	Total	Al
Min.				0,18		1,2	2,1	5,1			
Max.	0,5	0,4	0,3	0,28	0,2	2	2,9	6,1	0,05	0,15	REM.
TEST SONUÇLARI (%) (Test Results)											
	0,29	0,09	0,14	0,19	0,04	1,69	2,44	5,89			
Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)											
1 Mpa = 1 N/mm ² = 0.145 ksi = 0.102 kgf/mm ²											
STANDART	Çekme Dayanımı (Mpa) (Tensile Strength)			Akma Dayanımı (Mpa) (Yield Strength)			Uzama (%) (Elongation)		Sertlik (HB) (Hardness)		
Min.	540			470			6		-		
Max.											
TEST SONUÇLARI (%) (Test Results)											
	559			489			6,8		-		
Ultrasonik Muayene (Ultrasonic Inspection)											
Uygulandı (Done)	Uygulandı İse, Standartı (If Done, Standards)					Uygulanmadı (Not Done)			X		
Onay (Approval)											
Seykoç Alüminyum bu uygunluk sertifikası ile, müşteriye teslim edilen ve yukarıda özellikleri tanımlanan ürünlerin, müşteri sipariş şartlarını sağladığını, rapor üzerinde belirtilen teknik değerlerin doğruluğunu ve uluslararası standart şartlarına uygunluğunu beyan ve taahhüt eder. Seykoç Alüminyum with this conformity certificate, the products delivered to the customer and defined above features; customer order conditions, the accuracy of the technical values stated on the report and compliance with international standard requirements. Bu Uygunluk Sertifikası, TS EN 10204 standardının 3.1 formatına uygun olarak hazırlanmıştır. This Conformity of Certificate was prepared in format 3.1 in accordance with TS EN 10204 standart Bu Uygunluk Sertifikası, üretici firmanın orijinal sertifika bilgilerini içermektedir. This Conformity of Certificate contains the information of the manufacturer's original certificate.											
Kalite Kontrol Departmanı (Quality Control Department)											



Gazili olmak ayrıcalıktır