

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM 5083-H111 MALZEMENİN DELİK DELME
İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre TEKE

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

OCAK 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM 5083-H111 MALZEMENİN DELİK DELME
İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR
AĞLARI İLE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre TEKE

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Neslihan ÖZSOY

OCAK 2024

Emre TEKE tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM 5083-H111 MALZEMENİN DELİK DELME İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE OPTİMİZASYONU ” adlı tez çalışması 23.01.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı **Makina Tasarım ve İmalat** Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Ekrem ALTUNCU Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Neslihan ÖZSOY (Danışman) Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Seçil EKŞİ Sakarya Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ALÜMİNYUM 5083-H111 MALZEMENİN DELİK DELME İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE OPTİMİZASYONU” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, etik kurul onay belgesi aldığımı, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(23/01/2024).

Emre TEKE



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde başlangıçtan son ana kadar bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, bana rehberlik eden, her konuda yardım ve destek veren başta değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÖZSOY olmak üzere; başta laboratuvar çalışmaları olmak üzere yüksek lisans tez yazım sürecimde beni bilgilendiren ve yönlendiren Doç. Dr. Murat ÖZSOY hocama teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen, üzerimde büyük emekleri olan aileme ve zor zamanlarımda yanımda olan, beni destekleyen arkadaşlarıma sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Emre TEKE



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Dövme Alüminyum Alaşımları.....	5
2.1.1. 5xxx alüminyum alaşımlar	6
2.1.2. Dökme alüminyum alaşımlar	6
2.2. 5083 Alüminyum Alaşımı.....	7
2.3. 5083 Alaşımında Magnezyumun Etkisi.....	12
2.4. Al-Mg Alaşımlarına Diğer Elementlerin Etkileri	13
3. DELİK DELME İŞLEMİ.....	15
3.1. Delik Delme.....	15
3.2. Sıcaklık ve Kesme Kuvvetinin Ölçümüyle İlgili Yapılan Çalışmalar	16
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Dairesellik Hakkında Yapılan Çalışmalar	18
3.4. Diğer Çalışmalar.....	19
3.5. Delik Delme Çeşitleri	20
3.6. Delik Çeşitleri.....	21
3.6.1. Doluya delik delme	22
3.6.2. Delik büyütme.....	23
3.6.3. Fatura açma	23
3.6.4. Raybalama.....	23
3.6.5. Derin delik delme	24
3.6.6. Mikro delik delme	25
3.7. Delme Mekanığı	25
3.7.1. Delik delmede kesme kuvveti ve parametreleri	28
3.8. Delik Kalitesi Değerlendirme Kriterleri	32
3.8.1. Yüzey pürüzlülüğü	33
3.8.2. Çapak	34
3.8.3. Dairesellik	35
3.8.4. Eksenel kaçıklık	35
3.8.5. Çapsallık.....	36
3.8.6. Boyutsal tolerans	36
3.9. Delik Delmeyi Etkileyen Faktörler	37

3.9.1. Takım geometrisi.....	37
3.9.2. Kesme hızı.....	39
3.9.3. İlerleme miktarı.....	40
3.9.4. Kesme Sıvısı.....	41
3.9.5. Tezgâh.....	42
4. YAPAY SİNİR AĞLARI	45
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	49
5.1. Kullanılan Materyal ve Metod.....	49
5.2. Deney Bulguları.....	52
5.2.1. Maksimum kuvvetlerin tespiti.....	53
5.3. Deney Sonuçları.....	56
5.3.1. Kuru delinen deliklere ait kesme kuvvetleri	56
5.3.2. Hava ile soğutularak delinen deliklere ait kesme kuvvetleri.....	57
5.3.3. Sıvı ile soğutularak delinen deliklere ait kesme kuvvetleri.....	59
5.4. Deney Sonuçlarının Analizi.....	61
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	73
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	833

KISALTMALAR

BP	: Back propogation (Geri yayılım)
CNC	: Computed numeric control (Bilgisayar destekli nümerik kontrol)
D.K.	: Deniz korozyonu
G.K.	: Gaz korozyonu
HSSE-CO5	: Kobaltlı süper yüksek hız çeliği
HSS-E	: Kobaltlı Yüksek Hız Çeliği
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
KSM	: Komple Sert Metal
LM	: Levenberg-Marquardt
MLP	: Multi Layer Perception
NC	: Numeric control (Nümerik kontrol)
O.K.	: Oksijen korozyonu
P	: Primary (Pürüzlülük değerleri ana profili)
R	: Roughness (Pürüzlülük profili)
W	: Waviness (Dalgalılık profili)
YSA	: Yapay sinir ağları



SİMGELER

a	: Yüzey pürüzlülük değeri
b	: İmalat metodu
c	: Ölçümde alınacak referans uzunluğu (mm)
d	: Kesici takım çapı (mm)
D	: Delik işlem çapı (mm)
D_R	: Rayba Delik Çapı
F_c	: Kesme kuvveti [N]
F_{max}	: Maksimum kuvvet [N]
f_n	: İlerleme (mm/devir)
F_t	: Eksenel kuvvet [N]
F_y	: Teğetsel kuvvet [N]
F_z	: Z eksenindeki kuvvet [N]
K	: Yüzey basınç değeri (N/mm ²)
k_c	: Özgül kesme kuvveti [N]
L	: Delik işlem boyu (mm)
L_t	: Referans boyu (mm)
M_c	: Kesme momenti [Nm]
M_f	: Sürtünme momenti [Nm]
MPa	: Basınç (Megapaskal)
M_{top}	: Toplam moment [Nm]
n	: İş mili hızı (devir/dakika)
N₀	: YSA çıkış seti verileri
N_i	: YSA giriş seti verileri
R_a	: Aritmetik ortalama pürüzlülük değeri
R_t	: En büyük pürüzlülük değeri
R_z	: Ortalama pürüzlülük değeri
s	: İlerleme miktarı (mm/dev)
V_c	: Kesme hızı (m/dakika)
V_f	: İlerleme hızı (mm/dakika)

x_1	: Deneysel veriler
x_2	: YSA tahmin verileri
Z	: Rayba payı
$\emptyset$	: Açı birimi (Fi)
Ψ	: Matkap uç açısı
μ	: Sürtünme katsayısı



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Dövme alüminyum alaşımlarının adlandırılması [10].	6
Tablo 2.2. Dökme alüminyum alaşımların adlandırılması [10].	7
Tablo 2.3. 5083 alüminyum alaşımının farklı işlemler sonrası mekanik özellikleri [21].	9
Tablo 2.4. 5083 Alüminyum alaşımının farklı sıcaklıklardaki mekanik özellikleri [20].	10
Tablo 2.5. 5083 alüminyum alaşımına uygulanan farklı temperleme sonrası korozyon ve eloksal kaplama özellikleri [21].	11
Tablo 2.6. AA5083'ün ekstrüzyon edilebilirlik ve mekanik özellikleri [21].	12
Tablo 2.7. AA5083 alaşımının kimyasal bileşim sınırları (% ağırlık olarak) [21].	12
Tablo 3.1. Çapa göre raybalamada tolerans değerleri [47].	24
Tablo 3.2. Kesme hızı ve ilerleme miktarı tablosu [53].	27
Tablo 3.3. Delik delmede özgül kesme kuvvetleri [27].	29
Tablo 3.4. Delik delmede malzeme çiftlerine göre μ değeri [27].	31
Tablo 5.1. Alüminyum 5083 H11 alaşımının kimyasal özellikleri [76].	50
Tablo 5.2. Alüminyum 5083 H111 alaşımının fiziksel özellikleri [76].	50
Tablo 5.3. Alüminyum 5083 H111 alaşımının mekanik özellikleri [76].	50
Tablo 5.4. Deney parametre ve seviyeleri.	50
Tablo 5.5. Deneylerde Kullanılan Matkabin Teknik Özellikleri.	51
Tablo 5.6 Kuru delinen deliklere ait parametreler ve maksimum kesme kuvveti.	56
Tablo 5.7. Hava ile soğutularak delinen deliklere ait parametreler ve maksimum kesme kuvveti.....	58
Tablo 5.8. Soğutma sıvısı kullanılarak delinen deliklere ait parametreler ve maksimum kesme kuvveti.....	60
Tablo 5.9. Deney parametre ve sonuçları.	62
Tablo 5.10. Deneysel ve YSA tahmini verileri arasındaki yüzde fark.....	66



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çift fazlı alüminyum-magnezyum diyagramı [19].	8
Şekil 2.2. Magnezyum eklentisinin Al 5xxx üzerindeki etkisi [20].	9
Şekil 2.3. Sıcaklık değişimiyle Al-Mg sistemi [21].	13
Şekil 3.1. Endüstri uygulamalarındaki bazı delik çeşitleri [27].	22
Şekil 3.2. Delme prosesi şematik gösterimi.	25
Şekil 3.3. Delik delmede ana parametreler [52].	26
Şekil 3.4. Takım ucuna etkiyen kuvvetler [27].	28
Şekil 3.5. Kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği kesme momenti [25].	30
Şekil 3.6. Takım ucu çalışma esnasında meydana gelen kuvvet ve momentler [25].	31
Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülük profili analiz grafiği [55].	33
Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülük değerinin imalat resminde gösterimi [56].	34
Şekil 3.9. Delik dairesellik görüntüsü [60].	35
Şekil 3.10. Delik eksen kaçıklığı şekilsel gösterimi [61].	36
Şekil 3.11. Matkap uçları genel yapısı [62].	37
Şekil 3.12. Genel matkap ucu geometrisi [62].	38
Şekil 3.13. Kesme hızı-ilerleme miktarı ile çapak oluşumunun değişimi [27].	41
Şekil 3.14. CNC işlem merkezi makine görüntüsü [68].	43
Şekil 5.1. Deneylerde Kullanılan Matkap.	51
Şekil 5.2. Deney Düzeneği.	52
Şekil 5.3. Tezgaha sabitlenen alüminyum 5083 H-111 alaşımı numune.	53
Şekil 5.4. Üstel düzeltme yöntemi uygulanan ve uygulanmayan Kuvvet-Deplasman grafiği.	54
Şekil 5.5. Matkap konumlarına göre maksimum kuvvetlerin Kuvvet-Deplasman grafiği üzerinde gösterimi.	55
Şekil 5.6. Kuru delinen Al 5083 H111 alaşım numunesi.	57
Şekil 5.7. Hava ile soğutularak delinen Al5083 H111 alaşım numunesi.	59
Şekil 5.8. Soğutma sıvısı ile soğutularak delinen Al5083 H111 alaşım numunesi.	61

Şekil 5.9. Yapay sinir ağı şeması.....	65
Şekil 5.10. Ortalama kare hatası grafiği.....	68
Şekil 5.11. Hata histogram grafiği.	69
Şekil 5.12. Regresyon grafiği.....	70
Şekil 5.13. Deneysel veriler ile YSA tahminlerinin histogram grafiğinde karşılaştırması.....	71



ALÜMİNYUM 5083-H111 MALZEMENİN DELİK DELME İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Alüminyum alaşımlar gerek hafif olmaları gerekse dayanıklılıkları ve fiziksel özellikleri dolayısıyla birçok yeni kompozit ve alaşım malzemenin yanında sıkça tercih edilir duruma gelmiştir. Bu alaşımlar daha çok otomotiv, uçak sanayii, denizcilik, inşaat gibi sektörlerde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Alüminyum alaşımlarının bu sektörlerde kullanılır hale gelmesiyle yine bu sektörlerin imalat aşamasında karşılaşılan bağlantı elemanlarının kullanımı noktasında delik delme ihtiyacı oldukça artmıştır. Nitekim delik delme işlemi talaşlı imalat sektöründe %33-40'lık bir bölümü kapsamaktadır. Bu durumda hem çok sayıda hem de seri bir şekilde delik delebilmek önem arz etmektedir. Bu esnada malzemenin yıpranma miktarı ve kesici takımların yorulma ömrü, kullanım ömrü gibi parametreler daha da önemli olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada alüminyum alaşıma delik delinmesi işleminde optimum parametrelerin belirlenmesi ve daha sağlıklı ve uzun ömürlü delik delme prosesi geliştirmek amaçlanmıştır.

Ayrıca bu çalışmada delik delme deneyleri haricinde yapay zekadan da faydalanılacaktır. YSA (Yapay Sinir Ağları) adı verilen yapay zeka destekli tahmin programı kullanılarak, yürütülen deneylerin güvenilirliği sorgulanacak, aynı zamanda tahmin sonuçlarıyla deney sonuçları da karşılaştırılarak yapay zekanın bu noktada ne kadar verimli çalıştığı görülebilecektir. Bu sayede bundan sonraki çalışmalarda yapay zeka yardımıyla belirli parametreler ile analizler yapılabilecek, belirli bir hata yüzdesi aralığında ne kadar kesme kuvveti ile karşı karşıya kalınabileceği kestirilebilecektir. Dolayısıyla hem malzeme, hem zaman hem de imalat maliyeti açısından avantajlı olunacaktır.

Bu çalışmada AA5083 H111 alaşımı ile çalışılmış ve deneylerde 3 parametre belirlenmiş, her bir parametre 3 ayrı seviyeye bölünmüştür. Bu kombinasyonlarla deneyler yürütülmüş olup toplamda 27 adet delik açılmıştır. Deneylerde 3 farklı kesme hızı (80,100,120 m/dk), 3 farklı diş başına ilerleme miktarı (0.06, 0.09, 0.12 mm/diş), 3 farklı soğutma tipi (kuru, hava soğutmalı ve sıvı soğutmalı) olmak üzere 3 parametre ile çalışılmıştır. TiAlN kaplamalı HSSE-Co5 matkap kullanılmıştır. Deneyler Taksan TMC-700 V marka ve model CNC dik işleme merkezi, ESİT AX3 yük hücresi, NI cDAQ-9188 veri toplama ünitesi ve FlexLogger yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Delinen her deliğin Z ekseninde kesici takımı maruz bıraktığı direnç kuvveti dikkate alınmıştır. Yapay zeka tahminleri ise MATLAB paket programının NNTools modülü aracılığıyla yürütülmüştür. Nitekim yapay zeka tahminleri, yapılan 3 farklı deneyde ortalama %3.63 hata oranıyla gerçek deneylere yaklaşmıştır.

Yapılan deneyler ve tahminler sonucu görülmüştür ki, çalışılan kesici takım ve malzeme şartlarında optimum parametreler 100 m/dk kesme hızı, 0,06 mm/diş, diş başı ilerleme ve sıvı soğutmalı olarak karşımıza çıkmaktadır.



OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS IN THE DRILLING PROCESS OF ALUMINUM 5083-H111 MATERIAL WITH ANN

SUMMARY

Aluminum alloys have become frequently preferred alongside many new composite and alloy materials due to their lightness, durability and physical properties. These alloys can be used in the automotive, aircraft industry, maritime and construction sectors. With the use of aluminum alloys in these sectors, the need for drilling has increased considerably in terms of the use of fasteners encountered in the manufacturing phase of these sectors.

Aluminum 5083 H111 alloy is mainly preferred in the maritime and aerospace industries because it is light and highly corrosion-resistant. In the manufacturing processes in these sectors, it is inevitable to apply thousands of hole drilling processes. In addition, in these areas where care is taken to produce with high precision and quality, the quality of fasteners and holes becomes more important than anything else. Keeping the quality and efficiency in these processes at the maximum level can be achieved by optimizing the parameters in the drilling process.

A safe working environment and sustainability are of great importance in engineering studies. For the product or system to be manufactured to be reasonable in terms of length, quality and cost, all forces acting on cutting tools and workbenches should be examined in detail and measured well and sensitively. When the results obtained as a result of theoretical calculations and the data obtained as a result of the application are compared, it is seen that most of the time, they do not overlap. For this reason, experimental analysis and measurement are of vital importance.

Among the machining methods, drilling processes include 33-40% of the methods. Hole quality in drilling processes varies depending on parameters such as circularity, axial misalignment, surface roughness, hole size and burr formation. The working conditions and the quality of the assembly processes depend on the hole quality. The higher the quality of the hole axis, the smoother the precision assembly process can be. Misalignment affects the stress distribution and causes the material to be subjected to excessive tensile forces. As a result of the roughness in the holes, abrasive deterioration occurs in the material. In designs with more than one sample, mandatory tolerances occur for the surface of the hole, its axes and the positions of these axes. In particular, tolerances such as hole axis, perpendicularity of the axis to the surface, eccentricity, roughness of the hole axis, and circularity are critical in sensitive industries such as aerospace.

In this study, AA5083 H111 alloy was studied and 3 parameters were determined in the experiments. Each parameter was divided into 3 different levels. Experiments were carried out with these combinations and 27 holes were drilled. In the experiments, 3 different cutting speeds (80,100,120 m/min), 3 different feed rates per tooth (0.06,

0.09, 0.12 mm/tooth), 3 different cooling types (dry, air cooled and liquid cooled) were studied with 3 parameters. TiAlN coated HSSE-Co5 drill was used. Experiments were made using Taksan TMC-700 V brand and model CNC vertical machining center, ESIT AX3 load cell, NI cDAQ-9188 data acquisition unit and FlexLogger software. The resistance force exerted by the cutting tool in the Z axis of each drilled hole was considered. Artificial intelligence predictions were carried out through the NNTools module of the MATLAB package program.

The estimation data obtained from the ANN were included in the text through the program's graphical outputs, the parameters' effects on the process were examined, and the estimations and the actual test results were interpreted with the help of graphics.

In this study, HSS (high speed tool steel) was studied with a drill. The reason for this is that it is more economical than carbide drills. The working set consists of TiAlN coated HSSE-Co5 drills. All experiments were done with a single drill.

Force-Displacement graph was drawn for the experiment performed in each cooling type. Exponential smoothing method was used since it was seen that there were signal noises in the data.

In addition, this study will also use artificial intelligence, apart from hole drilling experiments. The reliability of the experiments will be questioned by using the artificial intelligence-supported prediction program called ANN (Artificial Neural Networks). At the same time, it will be possible to see how efficiently the artificial intelligence works by comparing the prediction results with the experimental results. In this way, in future studies, analyzes can be made with specific parameters with the help of artificial intelligence, and it will be possible to predict how much cutting force can be encountered in a specific error percentage range. Therefore, it will be advantageous regarding material, time and manufacturing costs. The artificial neural networks (ANN) method is an approximate method that contains input and output data sets and defines the complex relationships between these sets. The ANN method is frequently used in the industry to create a model with the experimental parameters and results and to model the estimation structure to eliminate the necessity of repeating high-cost experiments with the data obtained from the experiments. Identify complex process properties of problems using empirical equations.

ANN has a structure consisting of an input layer, an output layer and one or more hidden layers. The input and output layers are sets of neurons that define these layers. Although there is no specific amount for hidden layers; generally, 1 or 2 are used. The output layer receives all the responses from the hidden layer and creates an output vector. While ANN models with a single output layer give better results, the efficiency of the results is affected since models with multiple output layers are more complex.

The analysis will be performed with the help of the MATLAB software Neural Net Fitting application. With the help of artificial intelligence, the cutting forces will be estimated and compared with the experimental results.

In the study using MLP (Multi-Layer perception) method, 3 parameters were entered as input and cutting force was requested as output. While the results of the experiments performed during drilling with all three cooling types were analyzed, it was understood that machine learning and analysis were more efficient by using the Levenberg-Marquardt backpropagation method, which is one of the methods available in the

application, So it was studied with this method. 15% of the data is reserved for testing, 15% for validation, and 70% for use in the training function. Working with 3 inputs, 1 output and 3 hidden layers, 6 neurons are assigned to the first hidden layer, 8 neurons to the second hidden layer, and 10 neurons to the third hidden layer.

Learning was tried 3 times with layers with 2-4-6, 4-6-8, 8-6-10, 6-8-10, 3-5-7, 8-10, 6-8, 6-10, 1-3-7 neuron arrays, respectively. However, no error rate below 10% could be obtained, and the least error rate and machine learning were obtained from the 6-8-10 arrayed alternative. These sequence selections are based on guesswork and trial and error based on previous studies. For each of these layers, logsig and tansig functions were tried with different combinations, and it was seen that the tansig function was more efficient for all layers.

Artificial intelligence predictions approached actual experiments with an average error rate of 3.63% in 3 different experiments. As a result of the experiments and estimations, it has been seen that the optimum parameters in the cutting tool and material conditions are 100 m/min cutting speed, 0.06 mm/tooth, feed per tooth and liquid cooling.

1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları günümüzde uçak sanayi, uzay ve havacılık, sağlık sektörü ve bilgisayar endüstrisi gibi alanlarda kullanılmak üzere mercek altına alınmıştır. Alüminyumun demirlerden üç kat hafifliği, korozyona karşı direncin fazlalığı ve kolay şekillendirilebilmesi kullanımı arttıran sebeplerdendir. Çelik ve diğer metallere kıyasla artı ve eksileri bulunan alüminyum alaşımların imalat için işlenebilirliği de önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Alüminyum malzemenin işleme esnasında gösterdiği davranışlar diğer metallere göre farklılık göstermektedir. Sıvanma özelliği bulunan bu metal kesim esnasında kesici takım üstüne yapışmak suretiyle kesme kuvvetlerini artırmaktadır. Bu ise prosesi olumsuz etkileyen bir durumdur.

Mühendislik çalışmalarında emniyetli bir çalışma ortamı ve sürdürülebilirlik büyük önem arz etmektedir. İmal edilecek ürün veya sistemin ömrünün uzunluğu, kalitesi ve maliyet açısından makul olması için kesici takımları ve tezgahlara etki eden bütün kuvvetler detaylıca incelenip iyi ve duyarlı bir şekilde ölçülmesi gereklidir. Kuramsal hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar ve uygulama sonucunda elde edilen veriler kıyaslandığında çoğu zaman birbirine örtüşmediği görülmektedir. Bu sebeple deneysel olarak analiz ve ölçüm hayati öneme sahiptir [1].

Talaşlı imalat yöntemleri arasında delik delme işlemleri, yöntemlerin %33-40'ını içermektedir. Delik delme işlemlerinde delik kalitesi dairesellik, eksenel kaçıklık, yüzey pürüzlülüğü, delik boyutu ve çapak oluşumu gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir [2,3]. Çalışma koşulları ve montaj işlemlerinin kalitesi ise delik kalitesine bağlıdır. Delik eksenine ne kadar kaliteliyse hassas montaj işlemi o kadar sorunsuz yapılabilir. Eksendeki kaçıklık gerilme dağılımını etkiler ve malzemenin fazla gerilme kuvvetleri altına girmesine neden olur. Deliklerdeki pürüzlülük sonucu malzemede abrazyon bozulma meydana gelir. Birden fazla numunenin konumlandırılacağı tasarımlarda deliğin yüzeyi, eksenleri ile bu eksenlerin konumları için zorunlu toleranslar meydana gelmektedir. Özellikle uçak ve uzay endüstrisi gibi hassas endüstrilerde delik eksenine, eksenin yüzeye dikliği, eksen kaçıklığı, delik ekseninin pürüzlülüğü, dairesellik gibi toleranslar önem arz etmektedir [2].

Alüminyum malzemenin işlemedeki temel problem talaşların kontrol edilmesidir. Alüminyumun ve bir kısım karışımlarının işlemede talaşın tipi devamlıdır, kalındır, dayanıklıdır ve bozulmaya dirençlidir [4]. Bu hususta delmede talaş sıkışması, sıvanma, takım aşınması ve takım kırılması gibi ciddi sorunlarla karşılaşılabilir. Bu malzemenin çok çeşitli özellik kombinasyonları bulunmakla beraber işleme sürecindeki davranışları ve soğutma yöntemleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle, kesme sıvısının insan sağlığına, çevreye ve maliyet üzerinde negatif etkilerinden dolayı kesme sıvısı kullanımını minimuma, kesme işlemindeki performansı da optimuma ulaştıracak çalışmalar üzerinde yoğunlaşmaktadır [5,6].

P.S Sreejith'in yaptığı çalışmada, 6061 alaşımının prosesinde elmas kaplamalı karbür takım kullanılmış ve proseslerde yağlama metotları ele alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takımların bozulması üzerine yoğunlaşıp MMY (minimum miktarda yağlama), soğutmasız kesme ve klasik soğutma metotları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ise MMY metodunun bir seçenek olabileceğini göstermiştir [5]. Kuan-Ming Li ve Shih-Yen Chou çalışmalarında takımlarda aşınma ve pürüzlülük üzerine yoğunlaşmışlar, MMY metodu üstünde çalışmışlardır. Yaptıkları ampirik çalışmada hususen MMY ile işlem esnasında takımların kalitesi, soğutucu akışkanın ve hava akımının takım elemanlarının performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarla MMY tekniği kullanmanın, mikro frezeleme işleminde kuru kesmeye oranla takım malzemeleri ömrü ve yüzey pürüzlülüğü noktalarında gözle görünür bir gelişme sağladığı saptanmıştır [6].

Talaş kaldırmada kesme kuvveti, takım ile talaş arasındaki temas uzunluğu ile ilgilidir. Bu yüzden takım üzerine yapışan talaş takım uç geometrisiyle de alakalıdır. Geometriye göre de kesici takıma gelen kesme kuvvetleri değişkenlik gösterir. Alüminyum malzemesi yumuşak bir malzeme olarak bilinmesine karşın kesici takımların ömrü beklenenden fazla etkilenmektedir. Kesici takım üzerine gelen kuvvetler talaş kaldırmada ehemmiyetli mesele olmakla beraber son zamanlarda bu konuda çok sayıda araştırmalar yapılmaktadır. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi kesmenin bilimsel analizi ve takım tasarımı optimizasyonu noktasında önem arz etmektedir. Bu hususta Shaw ve arkadaşları, delik delmede ilerleme kuvveti ve eğilme momentini hesaplama problemini boyuta nispeten hesaplayıp 2 boyutlu kesme kaideleri ortaya koymuştur. Yaptıkları deneylerde 1 adet kuvvet ölçer kullanmışlar,

belirli bir kesim hızı ile, altı farklı matkap, yedi farklı ilerleme değerleriyle basit bir delme prosesinde kuvvetin ve momentin çap ve ilerleme ile alakasını ortaya koymuşlardır [7].

Shin ve Waters çalışmalarında kesme kuvvetlerini inceleyip işleme kuvvetlerini saptamayı hedeflemişlerdir. Yapılan ampirik çalışmalarda; takım ve numunelerin, talaş akış açısının, kesme hızının, ilerleme oranının kuvvetler üstündeki etkilerini ele almışlardır. Bu çalışmada 2 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme hızı değerleriyle delme prosesini incelemişlerdir [8].

Korucu ve ark. AISI 1050 malzeme kullanarak bu numuneye delme işlemi esnasında takım üzerinde oluşan kuvvetleri inceleyecekleri bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Matematiksel bir model geliştirmek amacıyla kesici uçlarda meydana gelen gerilmeleri ANSYS programında analiz etmişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki, kesme ve ilerleme hızı arttıkça takıma etkiyen kuvvetler ve buna bağlı olarak gerilmelerde artış meydana gelmiştir [9].

Sonuç olarak yapılacak çalışmalarda özellikle matkap uçlarının alaşımları, kaplamalı veya kaplamasız olması, uç açısı gibi parametreler etkili iken; delik delme işleminde delik yüzeyi, yüzey eksenleri, yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık değişimi, dairesellikten sapma, eksenel kaçıklık, yağlama gibi hususların incelenmesi ve optimize edilmesi gereklidir.

Bu çalışmada ise 3 parametre (kesme hızı, diş başı ilerleme ve soğutma tipi) ile Al5083-H111 alaşımına delikler delinerek kesme kuvvetleri ölçülecektir. Her bir parametre 3 seviye halinde uygulanacaktır. Her bir soğutma tipinde 9'ar delik, toplamda 27 delik delinecektir. Proses esnasında kesme kuvvetleri ölçülecek ve bu veriler tablo halinde verilecektir. Ayrıca verilerin doğruluğu ve deneylerin kalitesini test etmek için yapay zeka destekli yapay sinir ağları ile kesme kuvvetleri tahmini yapılacaktır. Yapay zeka tahminleri ile deney verileri karşılaştırılacak, hata oranları tespit edilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Alüminyum, tabiatta kolaylıkla ve çok miktarda bulunabilen bir metal olduğundan mühendislik uygulamalarında da çelikten sonra en çok kullanılan metaller arasındadır. Oksijen ve silisyumdan sonra %8'lik bir oranla çok miktarda mevcuttur. Doğada en fazla alüminyum sülfat ve alüminyum oksit bileşikleri halinde bulunur. Alüminyumun yoğunluğunun $2,71 \text{ gr/cm}^3$, çeliğin yoğunluğunun ise $7,83 \text{ gr/cm}^3$ olması, dolayısıyla çeliğin yoğunluğunun 3'te 1'i kadar olması tercih edilirliliğini artırmaktadır [10-13]. Saf alüminyum 660°C 'de erimektedir. Dolayısıyla demir, bakır gibi birçok elementten daha düşük bir erime sıcaklığına sahiptir. Saf alüminyumun mukavemeti yüksek olmamakla birlikte, sünekliği yüksektir. Elastiklik modülü çeliğe oranla 3'te 1 oranında olduğundan çeliğe göre 3 kat fazla deforme olma ve enerji soğurma özelliğine sahiptir.

Alüminyum alaşımlandırılırken en fazla bakır, manganez, silikon, magnezyum ve çinko kullanılır. Tane küçültme ve diğer özellikleri iyileştirme için başka elementler de kullanılır. Alüminyum alaşımlarının çok farklı çeşitleri bulunduğundan dolayı Aluminium Association kurumu alaşımları ayırt edebilmek amacıyla metalürjik durum ve uygulanan ısı işlemleri belirtmek için alüminyumları sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırma alüminyum ve alaşımlarını imal usullerine göre iki ana gruba ayırmaktadır. Tablo 2.1. ve Tablo 2.2'de bu sınıflandırma görülebilmektedir [10].

2.1. Dövme Alüminyum Alaşımları

Tablo 2.1.'de dövme alüminyum alaşımlarının isimleri ve alaşım içeriği verilmiştir [10].

Tablo 2.1 Dövme alüminyum alaşımlarının adlandırılması [10].

Alaşıım	Alaşıım Elementi
1xx.x	Minimum %99 alüminyum
2xx.x	Bakır
3xx.x	Manganez
4xx.x	Silikon
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Magnezyum ve silikon
7xx.x	Çinko
8xx.x	Diğer element
9xx.x	Kullanılmayan seri

2.1.1. 5xxx alüminyum alaşımlar

5xxx karışımları pekleşebildikleri için üst düzey dayanıklılığa sahiptirler. Bu serideki metaller deniz suyunda bile üst düzey korozyon direncine ve sıfıra yakın sıcaklık değerlerinde dahi iyi bir tokluk değerini korur. Çekme dayanımları yüksek olmakla beraber 19 cm'den fazla kaynağa dayanıklıdır. Sahip olduğu özelliklerden dolayı gemi yapımı, otomobil imalatı, inşaat sektörü gibi birçok sektörde çokça kullanılmaktadır [11,14,15].

Dövme alüminyum alaşımlar Tablo 2.1.'de görüldüğü gibi 9 kısımdan oluşmaktadır.

2.1.2. Dökme alüminyum alaşımlar

Tablo 2.2.'de dökme alüminyum alaşımların genel adlandırması ve bu seri alaşımların içeriğindeki ana elementler gösterilmiştir. Dökme alaşımlar dövme alaşımlarla kıyaslandığında dökme alaşımlarda daha fazla bakır ve silikon alaşıım elementi bulunmaktadır. Bu sebepten dövme alaşımlara göre daha heterojen bir yapıya

sahiptirler. Bu heterojen yapı sebebiyle yorulma direnci dövme alaşımlardan düşüktür [10,11,16].

Tablo 2.2. Dökme alüminyum alaşımların adlandırılması [10].

Alaşım	Alaşım Elementi
1xx.x	Minimum %99 alüminyum
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silikon, bakır ve/veya magnezyum
4xx.x	Silikon
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmayan seri
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer element

2.2. 5083 Alüminyum Alaşımı

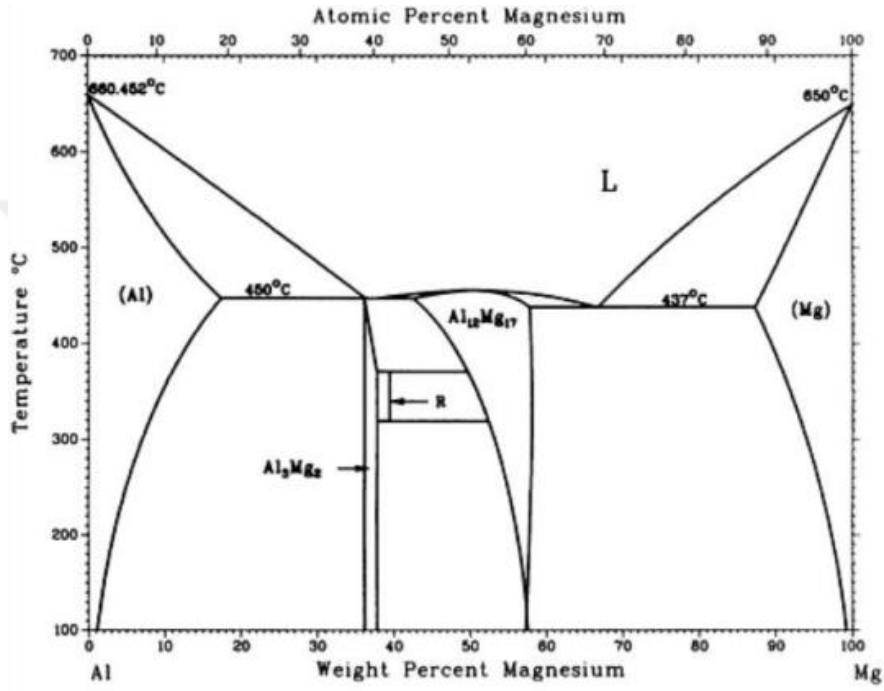
Alüminyum alaşım sisteminde ilk basamak alaşımın alaşım elementini tanımlar. İkinci hane temel alaşımdaki çeşitliliği gösterir. 3 ve 4. haneler ise seri içerisindeki belirli bir alaşımı ifade eder.

5083-H111 alüminyum alaşımının temel alaşım elementi magnezyumdur. Bu metal, serideki temel alaşımlar arasında sertleştirme işlemine tabi tutulmuş 83. varyasyondur fakat H111 için gerekli miktar bu miktarın daha üstündedir. H1 indisi ise gerilme sertleşmesi derecesini göstermektedir [17].

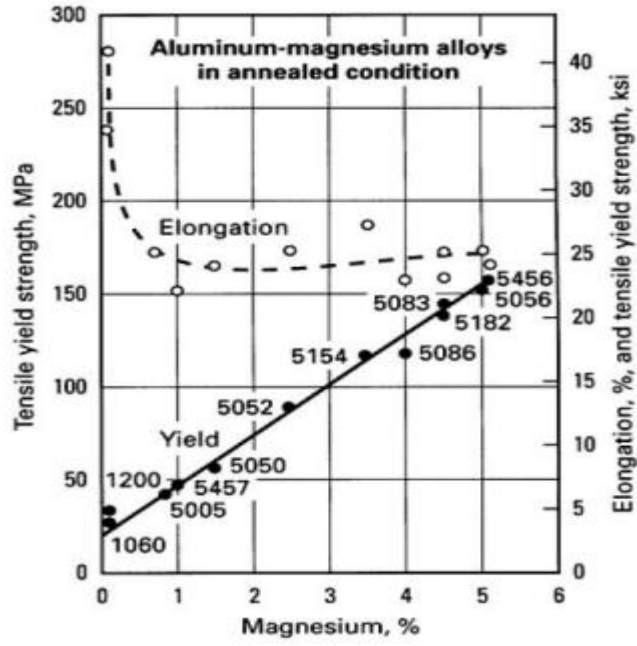
Alüminyum ve magnezyumun çift fazlı diyagramına bakıldığında (Şekil 2.1.) katı eğrisi çizgisinin eğimi pozitif görülmektedir. Bu da 5xxx serisinin çökelme sertleşmesine elverişliliğini gösterir. Halbuki bu durum yüzey merkez kübik

Al_3Mg_2 'nin ticarileşmesinin önündeki engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden bu metal ısıtıl işlem gerektirmeyen alaşım olarak karşımıza çıkmaktadır [18].

Magnezyum eklentisinin çekme gerilme dayanımı ve elastiklik miktarına katkıları Şekil 2.2.'de görülmektedir. 5xxx içerisindeki magnezyum korozyon direnci ve dayanıklılığı artırır. Manganezin eklenmesi ayrıca gayet iyi miktarda şekillendirilebilme yeteneği kazandırır [18].



Şekil 2.1. Çift fazlı alüminyum-magnezyum diyagramı [19].



Şekil 2.2. Magnezyum eklentisinin Al 5xxx üzerindeki etkisi [20].

Tablo 2.3. 5083 alüminyum alaşımasının farklı işlemler sonrası mekanik özellikleri [21].

Mekanik Özellikleri				
Temper	Akma Muk. MPa	Çekme Muk. MPa	Uzama (%50)	Sertlik (Brinell)
0/H111	125-145	275-300	22	70-75
HX2	205-240	310-330	16	85-90
HX4	270-275	340-360	14	100
HX6	305	380	9	105
HX8	335	400	8	110
HX9	370	420	0-5	115

Tablo 2.4. 'te 5083 alaşımasının farklı sıcaklıklardaki özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.4. 5083 Alüminyum alaşımasının farklı sıcaklıklardaki mekanik özellikleri [20].

Sıcaklık	Akma Dayanımı (% 0.2 tolerans) MPa	Çekme Dayanımı MPa	% Uzama
-195	165	405	36
-80	145	295	30
-30	145	290	27
25	145	290	25
100	145	275	36
150	130	215	50
205	115	150	60

5083 alüminyum alaşımına uygulanan farklı temperleme sonrası korozyon ve eloksal kaplama özellikleri Tablo 2.5.'te gösterilmiştir. Bu alaşımın tablodaki özellikleri dolayısıyla birçok ortamda kullanıma rahatlıkla imkan sağlamaktadır. Ayrıca bu özelliği sayesinde anodik kaplama ile dekoratif ürünler için de kullanılabilir [21].

Tablo 2.5. 5083 alüminyum alaşıma uygulanan farklı temperleme sonrası korozyon ve eloksal kaplama özellikleri [21].

Temper	KOROZYON					ELOKSAL KAPLAMA			
	G.K	D.K.	O.K.	Stres Kor.	Tane Kor.	Parlak	Renkli	Sert	Koruyucu
0/H111	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi	Orta	İyi	Çok iyi	Çok iyi
HX2	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi	İyi	Orta	İyi	Çok iyi	Çok iyi
HX4	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Orta	İyi	Orta	İyi	Çok iyi	Çok iyi
HX6	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi	İyi	Orta	İyi	Çok iyi	Çok iyi
HX8	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi	İyi	Orta	İyi	Çok iyi	Çok iyi
HX9	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Orta	İyi	Orta	İyi	Çok iyi	Çok iyi

O.K. oksijen korozyonunu, G.K. gaz korozyonunu, D.K. ise deniz suyu korozyonunu temsil etmektedir.

Sertliklerinin artışına göre sıralanan bazı AA5083'ün ekstrüzyon edilebilirlik ve mekanik özellikleri Tablo 2.5.'te, kimyasal bileşim sınırları ise Tablo 2.6.'da gösterilmiştir.

Bu çalışmada da ekstrüzyonla şekillendirilebilen alaşımlar arasında en çok tercih edilen AA5083 alaşımı ile çalışılacaktır.

Tablo 2.6. AA5083'ün ekstrüzyon edilebilirlik ve mekanik özellikleri [21].

Soğuk Şekillendirilebilme				Kaynak Kabiliyeti				
Temper	Bükme	Derin Ç.	Ekstrüzyon	İşlenebilirlik	Oksijen K.	K.Ark K.	D.K.	Lehimleme
O/H111	İyi	İyi	Orta	Orta	Orta	Çok iyi	Düşük	Düşük
HX2	İyi	Orta	Orta	Orta	Orta	Çok iyi	Düşük	Düşük
HX4	Orta	Orta	Orta	İyi	Orta	Çok iyi	Düşük	Düşük
HX6	Orta		Orta	İyi	Orta	Çok iyi	Düşük	Düşük
HX8	Düşük	Düşük	Orta	İyi	Orta	Çok iyi	Düşük	Düşük
HX9	Düşük		Orta	iyi	Orta	Çok iyi	Düşük	Düşük

Tablo 2.7. AA5083 alaşımının kimyasal bileşim sınırları (% ağırlık olarak) [21].

AA	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn	Cr	Ti
Alaşıımı								
5083	≤ 0.10	≤ 0.40	7.00	0.40	≤ 0.10	0.25	0.25	0.15
			4.90	1.00				

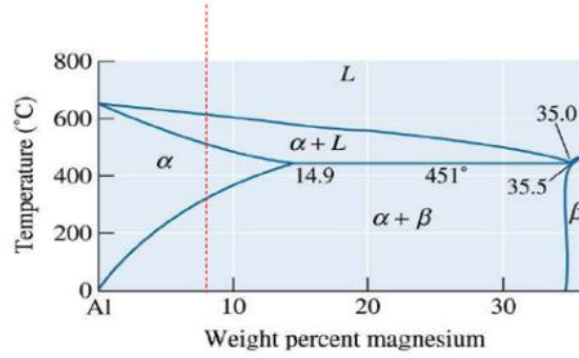
2.3. 5083 Alaşımında Magnezyumun Etkisi

Magnezyum elementi alüminyumun ergitme sıcaklığını düşürücü bir etkiye sahiptir. Magnezyum oranı %34.5 olduğunda elde edilen ötekiğin ergime sıcaklığı 451°C olur. Bu sıcaklıkta çözünürlük oranı %15.35'tir. Alaşımı sertleştirebilmek için Mg ile aynı zamanda Si de katılmalıdır. Ötekiğin ergime sıcaklığı 595 °C iken yaklaşık %1.8 Mg₂Si çözünebilirken, 200°C iken çözünebilirlik oranı yaklaşık %0.5'e düşmektedir.

Deniz suyuna dayanıklılık özelliği bakımından alüminyum alaşımlarında Mg önemli bir elementtir. Alaşımlandırılmamış alüminyum için pekleşmeyi ciddi oranda artıran bir olaydır. Bu sebepten Alüminyum-Magnezyum yoğrulmuş malzemesi kendinden sertleşebilen alüminyum alaşımlar arasındadır ve ısıtılma işleme ihtiyaç bırakmaz. Al-Mg

alaşımlarını stabilize etmek amacıyla Cr ve Mn katkısı yapılabilir ve taneciklerin inceltilmesi için Ti ilave edilir. Al-Mg alaşımları sade halde iken sertleştirilemez [21].

Ayrıca Al-Mg alaşımları çökeltme sertleşmesi gösterirler. Al-Mg sistemleri Şekil 2.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Sıcaklık değişimiyle Al-Mg sistemi [21].

2.4. Al-Mg Alaşımlarına Diğer Elementlerin Etkileri

Al-Mg alaşımlarında manganez, krom, zirkonyum gibi elementler gibi elementler bulunur ve bu elementler homojenleştirme işlemi yapılırken dispersoidler oluşmasına sebep olurlar. Bu durum her zaman sonrasındaki yapıyı korur. Meydana gelen yapı dayanımı artırır. Aynı zamanda altyapı oluşumu, su vermeye olan duyarlılığının artmasından gelecek kaybı, süneklik ve tokluğu artırarak dengeler [22].

MN₀₂ ve Zr katkısı tokluğu artırır. Silisyum ve bakır katkısı alaşımların dayanımını artırdığı bilindiği gibi birbirlerini dengeleyici rol oynarlar. Fakat, bakır sünekliği olumlu yönde etkiler, silisyumun fazla eklenmesi ise sünekliğin azalmasına sebep olur. Dolayısıyla denge miktar kadar bakır ilavesi bu alaşımlarda avantajlıdır. Öte yandan Si, Mg₂Si yapısını inceltir ve dayanımını artırırken sünekliğin azalmasına sebep olur. Bakır ise Mg₂Si çökelti morfolojisini etkiler ve dayanımını artırıp sünekliğini azaltır [23].

Rajesh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda yüksek dayanımlı 5083 alüminyum alaşımı tercih edilmiş ve farklı kütlelerde bor ve karbon elementlerinin pekleştirilmesiyle dayanımın artırılması amaçlanmıştır. Çalışma, AA5083-Bor Karbür(B₄C) kompozitlerinin 3 farklı faktör ile yüzey pürüzlülüğünü analiz etme üzerine yürütülmüştür. Alüminyum matriks kompozitleri karışım döküm yoluyla

imal edilmiştir. Karıştırma, kompozitin dayanımını artırmak ve imalat parametrelerini iyileştirmek için sürekli 600 rpm olarak uygulanmıştır. Bu çalışmadaki delik delme parametrelerini optimize için belirlenen değerler, delme hızı (1000rpm, 1500rpm ve 2000rpm), delme beslemesi (60mm/dk, 100mm/dk ve 140mm/dk) ve pekleştirme yüzdeleri (%5, %10 ve %15) olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak delme hızı, delme beslemesi ve pekleştirme yüzdesi gibi diğer iki faktöre kıyasla gözle görülür derecede daha fazla etkilenmiştir. Bu çalışma için optimum değerler, delme hızı için 1000 rpm, delme beslemesi için 140mm/dk ve pekleştirme yüzdesi için %15 olduğu görülmüştür.

3 faktör içerisinde delme beslemesi faktörü diğerlerini yüksek oranda etkilemiştir. Delme beslemesinin oransal katkısı %55.77, pekleştirme oranının %26.11 ve delme hızının ise %7.57 olarak saptanmıştır [24].

3. DELİK DELME İŞLEMİ

3.1. Delik Delme

Delik delme imalat sektöründe en çok uygulanan işlemlerden birisidir. Talaşlı imalatın yaklaşık %33'ünü kapsar [25]. Kesici takımların kullanıldığı talaş kaldırmada geçirilen vaktin 1/4'i delme esnasında geçmektedir [26]. Çoğunlukla talaşlı imalatın son adımı olarak karşımıza çıkar. Tornalama ve frezeleme işlemleri delik delme işlemleriyle karşılaştırılacak olursa, bu işlemlerin dinamik ve kinematik yapısının benzer olduğu görülmektedir. Delikler ya yalnızca delinir veya ekstra prosese tabi tutularak son halini alır. Pek çok numune bünyesinde hiç değilse 1 delik barındırır ve bu delik, fonksiyona göre farklı işlemlerin gerekliliğini beraberinde getirir [25].

Delikler iki teknik üzere açılabilir. Bunlar, tam delik, kör delik olarak adlandırılırlar. Delikler, sürekli delme, gagalama, bekleme yaparak delme, kademeli delme gibi teknikler ile delinir. Gagalama metodunu kullanmak kesme kuvvetlerini azaltıp delik kalitesini yükseltebilir. Düz yüzeylerin yanında düzensiz olmayan yüzeylerde de delik açılabilir. Bu tip durumlar delik başlangıç noktasında olduğu gibi tam tersi tarafta da olabilir. Böyle hususi durumlarda prosesin parametrelerine yeni parametreler eklenir. Yüzey eğim açısı, iç ve dış bükey yüzeylerin yarıçapları gibi değişkenler değerlendirilmek durumunda kalır. İş parçası üzerinde deliklerin kesişmesi, deliklerin çapraz olması, 2 veya daha çok parçanın istiflenip delme uygulandığı istifleyerek delme işlemleri de yapılır. Aynı parça üzerinde birden fazla delik delme işlemi uygulanabildiği gibi bu delikler farklı eksenler veya farklı düzlemler üzerinde de açılabilir.

Delğin eksenindeki tasarım dışı herhangi bir hata, sistemin hareketi esnasında delik ve bağlama elemanlarının tekrarlayan hareketleriyle gerilme yorulmasına ve abrazyon bozulmaya neden olur. Ayrıca numuneler üstünde normalden fazla bir şekilde aşınmaya, kırılmaya neden olabilmektedir. Delik kalitesindeki birtakım bozukluklar sistem üzerinde montajı imkansız hale getirebilmektedir [27].

Delik kalitesi ve ölçü tamlığının istenen düzeyde olması ve dolayısıyla ikincil işlemlere gerek duyulmadan toleranslar dahilinde bir imalat gerçekleştirilebilmesi zaman ve üretim kaybını önleyerek işleme maliyetinde düşüş sağlayabilir. Delik delmede böyle olumsuzlukları engellemek, bu sorunların üstesinden gelmek ve daha kaliteli imalat şartlarını tesis etmek amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmıştır [25].

Bu araştırmalar aşağıda belirli başlıklar altında incelenmiştir.

3.2. Sıcaklık ve Kesme Kuvvetinin Ölçümüyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yapılan bir çalışmada, kızılötesi görüntüleme kullanarak talaş kaldırma işlemi analiz edilmiştir. Isı deneyleri için AISI1050 ve AISI7075 numuneleri kullanılmıştır. Deneylerde, 6° ve 8° eğim açılarında, iki farklı takım geometrisinde, tabla ilerleme hızı ve kesme hızı farklı olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Termal deneyleri görüntüleme için kızılötesi kameralar kullanılmıştır. Kesme hızı ve tabla ilerleme hızı değerleri arttıkça takım/talaş ara yüzeyinde maksimum sıcaklığın da arttığı görülmüştür. Takım/talaş ara yüzeylerindeki maksimum sıcaklık ile takım eğim açılarının birbirlerini bağlayıcı etkenler olmadığı sonucuna varılmıştır [28].

Bono M. ve arkadaşları, matkap ağzındaki en yüksek sıcaklık konumunu belirlemeyi amaçlayan bir deney gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmaların sonucu göstermiştir ki, maksimum sıcaklık radyal ağızda ortaya çıkmaktadır. En nihayetinde görülmüştür ki, matkap radyal ağız dizaynı matkap en yüksek sıcaklığı hususunda belirleyici bir etkendir [29].

Kaynak Y.'nin yaptığı çalışma, kullanılan Al2024 malzemenin farklı parametreler, uç açıları ve uç kaplamalarının, kesme kuvvetleri ve sıcaklıklarını deneysel olarak incelemeye yöneliktir. Bu çalışmada numuneler 3 değişken kesme hızında (30,45,60 m/dk) ve 3 değişken ilerleme aralığında (0,15; 0,20; 0,25 dev/dk) deneye tabi tutulmuştur. Deneylerde sıcaklık ölçümü termokupl yardımıyla gerçekleştirilmiştir. İş parçasına bir delik açılmış, termokupl bu delikten salınarak kesici takıma 0.2 mm yaklaştırılarak ölçümler yapılmıştır. Bu delme işlemi esnasında kesici takımın sıcaklığı, iş parçasının içerisine üç farklı noktadan salınan termokupllar ile ölçülmüştür. Deneylerin sonucu göstermiştir ki, soğutmasız delme koşullarında

ölçülen kesme kuvveti ve sıcaklığı değerleri sayısal hesaplama sonuçlarıyla birbirine yakındır [30].

Soylu A. çalışmasında delik delmede ortaya çıkan itme kuvveti ve dönme momentini ölçecek olan bir ölçüm aleti tasarlayarak imal etmiş, verileri elektronik ortama aktarmıştır. İş parçaları, farklı geometride matkap uçları ve açılarla, hız ve itme miktarı parametreleriyle delinmiştir. Deneylerin sonuçları göstermiştir ki, Ç1040 imalat çeliğinin delme işlemi esnasında en iyi parametreler için helis açısı 30° , matkap ucunun açısı 118° , kesme hızı 28 mm/dk, itme hızı ise 0,2 mm/dev değerleridir [31].

Yapılan bir deneyde, Al2024 numunesinde delik delme işleminde kesme kuvvetlerini ölçmeyi hedeflemişlerdir. Deneylerde iki ağızlı matkap kullanmışlardır. Deneylerin sonucuna bakıldığında, çalışma şartlarını iyileştirme yönünde uygulanan parametre değerlerinin iyi olduğu tespit edilmiştir [32].

Zaquini L., Silisyum alaşımlı pirinç malzeme üzerinde delme deneyi yapmıştır. Meydana gelen kuvvetleri bir dinamometre ile ölçmüştür. Sonuç olarak görülmüştür ki, kullanılan takım açısından kaplamalı takımlarda, kaplama uygulanmayan takıma göre 2 kattan daha az eksenel kuvvet meydana gelmiştir [33].

Strenkowski J.S.; yaptığı çalışmada helisel matkap ile delik delme operasyonunda meydana gelen ilerleme (itme) kuvveti ve torku incelemek için bir sonlu elemanlar tekniği geliştirmiştir. Deneysel olarak ulaşılan ve tahmin edilen itme kuvveti ile tork değerleri verileri birbirine yakındır. Bu çalışmada deneylerde numune malzemesi AISI 1020 çeliği farklı ölçülerde, 2 parametre ile delinmiştir. Dik kesmede 6 farklı talaş açısı belirlenmiştir. Yatayda ise talaş açısı 0° iken eğim açısı 5° , 15° , 25° , 35° , 45° olarak belirlenmiştir. Strenkowski'nin yaptığı deneyler sonucunda elde ettiği verilere bakılırsa; talaş açısı artırıldığında, ilerleme kuvveti azalmakta; matkap çapı artırıldığında ise itme kuvveti artmakta olduğu saptanmıştır [34].

Armerego E.J.A. ve ark. daha önce de yapılan deneylerde seçilen farklı ölçülerdeki, iyileştirilmiş ve geleneksel matkaplara etkiyen kuvvetler ve momentleri incelemişler, geometrik benzerlikler yakalayarak moment ve kuvvet tahminlerini yapılan çalışmalarla tasdiklemişlerdir. Yapılan deneylerde 3 ayrı çapta uç ve 65S-T6 numuneyi 3 ayrı ilerleme hızıyla delmişler ve tepki kuvvetlerini bir dinamometre ile ölçmüşlerdir. Yapılan deneyler sonunda modifiye edilmiş matkaplar ile geleneksel matkapları

karşılaştırmışlardır. Bu kıyaslamaya göre geleneksel matkaplarda kuvvetler %40-42 oranında, moment ise %15 oranında azalış göstermiştir [35].

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve Dairesellik Hakkında Yapılan Çalışmalar

N. Canpolat yaptığı çalışmada, 3 ayrı kompozit malzeme ile delik delme işleminin performansını ve prosesin niteliğini belirlenen parametreler ile incelemiştir. Deneyler, 5mm, 10mm ve 15mm çaplarında matkaplar ile üç farklı kesme hızıyla ve 3 ayrı ilerleme hızıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler deney öncesi ve sonrasında elektro mikroskop (SEM) ile görüntülenmiş ve yüzey pürüzlülüğü durumları incelenmiştir. Yürütülen deneyler ve yapılan incelemeler sonunda görülmüştür ki, işleme boyunca devir sayısı ve ilerleme hızı arttıkça işlenen yüzeydeki yüzey pürüzlülüğü sorunu artmıştır. Öte yandan uç ölçüsü küçüldükçe pürüzlülük değeri iyileştiği görülmüştür [36].

Kıvak T.'nin çalışmasında 718 alaşımı olarak bilinen nikel alaşımı malzemede delme yeteneği hususunda soğutmasız ortamda en iyi delme parametreleri saptanmıştır. Delme işlemlerinde 4 ayrı kesme hızı ile 3 ayrı ilerleme kullanılmıştır. 718 alaşımın kuru kesme işleminde optimum değerler kaplamasız uçlardan alınırken en kötü değerler ise TiAlN kaplamalı matkaplarda görülmüştür. Parametrelerin yüksek değerlerinde ise proses kalitesi ve takım performansının azaldığı gözlenmiştir [37].

Tosun G. ve arkadaşını yaptığı başka bir çalışmada kompozitlerde delme işleminin yüzey bütünlüğüne etkisi incelenmiştir. 4 ayrı ısıtıl proses uygulanmış numuneler delinmiştir. Deneyler için üç farklı açıda (90°, 118° ve 130°) uçlar kullanılmıştır. Deneysel çalışmada 2 ayrı ilerleme miktarı ve iki farklı devir sayısı (260, 1330 dev/dak) ile delme prosesleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları göstermiştir ki, ısıtıl işlem uygulanmış tüm malzemelerde matkap uç açısı ve sertlik miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Yine yüzey pürüzlülüğü noktasında matkap çeşitleri içinde optimum sonucun 130° uç açılı ve 0,16 mm/dev ilerleme miktarında solid karbür matkaplardan alındığı görülmüştür [38].

Günay çalışmasında, diş açma işlemi esnasında meydana gelen kuvvetler ve pürüzlülükleri araştırmıştır. Radyal yüklerin bileşke kesme kuvvetlerinden büyük oranda etkilendiğini keşfetmiştir. Deneylerde oluşturduğu vida profilleri üzerinde

yaptığı sertlik ölçümleri sonucunda diş üstünden diş dibine gittikçe sertliğin arttığını gözlemlemiştir [39].

Nalbant ve arkadaşları yaptığı çalışmada AISI 1050 malzeme üzerinde kesme hızını değiştirmeden kılavuz giriş açılarındaki değişimin kuvvetlere etkisini araştırmışlardır. Sonuçta hususen radyal kuvvetlerin enerji sarfiyatında büyük etkisi olduğunu görmüşler, en verimli kılavuz giriş açısını 30° olarak saptamışlardır [40].

3.4. Diğer Çalışmalar

Y. Kayır yaptığı çalışmada AA5083 malzemesini 65x50x30 boyutlarında işleyerek deney numunesi haline getirmiştir. Deneyler, imalatta yaygın kullanılan standart metrik vida açma üzerine yürütülmüş, M10x1,5 ölçüsü üzerine yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu AA5083 malzemesi üzerinde kullanılabilen 4 farklı formda HSS kesici kılavuz kullanılmıştır. Kılavuzla vida dişi açma için belirli boyutsal özelliklere sahip delik açılması gerekmektedir. Gerekli delik çaplarının oluşturulabilmesi için farklı çaplarda iki ağızlı helisel HSS matkaplar tercih edilmiştir. Mevzu bahis M10x1,5 ölçüsü için deliğin çapının ise 8,376-8,678 bandında olması önerilir [41]. Pratikte 8,5 mm matkap çapı kullanılmaktadır.

Sonuçta, AA5083 alaşımına vida açılmasında, delik çapı küçüldükçe torkun yükseldiği, aksi halde ise düştüğü görülmüştür. Diş açmada kılavuzların kırılmasına en fazla sebep olan değer tork değeri olduğu göz önünde bulundurulduğunda küçük delik çaplarında artan tork kılavuzları daha da zorlayacaktır. Deneylerde kullanılan kaplamalı ve kaplamasız matkap uçları arasında 15° uçlu düz kanallı kılavuzun kırılmaya karşı daha dirençli olacağı görülmüştür. Tork değeriyle aynı şekilde delik çapı büyüdükçe tüm kılavuzlarda ilerleme kuvveti düşmüştür [42].

Doyle ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada AA5083 malzemeye kılavuz ile diş açmada oluşan kesme kuvvetleri incelenmiştir. Vida açmada kullanılan makine ve operatörün vidanın ölçü doğruluğunda etkisi olduğu görülmüştür. Vida profillerinde hatanın en aza indirilmesi için kesme kuvvetlerinin artırılması gerektiği anlaşılmıştır [43].

Literatür araştırması neticesinde görülmüştür ki AA5083 alüminyum alaşımı üzerinde delik delme ve kesme parametrelerini araştırma hususunda yeterli bilgi, kaynak ve deneysel çalışma bulunmamaktadır.

3.5. Delik Delme Çeşitleri

Delik delme prosesleri pek çok farklı şekillerde karşımıza çıkabilmektedir. Başlıca prosesler dolu delme, büyütme, kör delme, kademeli delme ve raybalama metotlarıdır [25]. Dolu delme işlemi malzemenin hepsinin belirli bir çapta delinmesidir. Kör delik delme prosesi iş parçasının ucundan delmeye başlanarak diğer yüzeyden çıkmamak kaydıyla yapılan işlemdir. Büyük çapta ve hassas toleranslı delikler için öncelikle küçük çapta bir delik açılır, ardından matkap ucu çapı istenilen son çap ölçüsüne doğru genişletilerek devam edilir. Bu işleme delik büyütme adı verilir. Deliklerde iki adet çap ölçüsünün istendiği durumlar olmaktadır. Deliğin giriş çapı ile kullanılacak delik çapı farklı ölçülerdedir. Bu çap ölçü farklarının her biri kademeli delik olarak isimlendirilir. Raybalama için istenilen ölçüde delik delinir. Ardından rayba ile deliğin iç yüzeyi raybalanır ve yüksek tolerans ve hassasiyette kaliteli bir delik elde edilir.

Delik delme için birçok yöntem uygulanabilir. Delme işlem miktarı, parçada beklenen tolerans ve hassasiyetine, çapa ve delik derinliği gibi parametrelere bağlı iken; kesici takım özellikleri, gerekli kesme kuvvetleri ise malzemenin kimyasal yapısına, mikro yapısına, fiziksel özelliklerine bağlı olarak tasarlanır. Kesme kuvveti ihtiyacı istenen delik çapı ve malzeme özellikleri neticesinde doğar. Tasarım sonucunda gerekli makine belirlenir. En fazla 13 mm'ye kadar olan ölçülerde el prosesi önerilir. Bu işlem için breyz gibi cihazlar uygun görülebilir. Endüstriyel uygulamalarda daha çeşitli makine seçenekleri vardır.

El breyzi ağırlığı az olan küçük çap istenen durumlarda kullanılır. Çap için 13 mm, malzeme cinsine bağlı olarak delik derinliği için 9-21 mm bandında işlem olanağı mümkündür. Kalite yüksek değildir.

Dik matkaplar sanayide çoklukla kullanılır ve kullanımı kolaydır. Makine kapasitesine bağlı olmak kaydıyla 30 mm'den 50 mm'ye kadar delik delme işlemi uygulamaya imkan sağlar. Kaba delik işlemlerinde için uygun olmakla beraber el breyzi ile delme işlerine oranla delik kalitesi daha iyidir.

Hacmi büyük olan parçaların delinmesinde radyal matkaplar tercih edilir. Parça sabit tutularak iş mili delik eksenine getirilerek uygulanır. Büyük çaptaki delme işlemleri ve istenilen değerlerde delik derinliğine ulaşmaya büyük oranda imkan sağlar. Delik kalite toleranslarının yoğun bir şekilde gözetildiği montaj ve birleştirme işleri için

istenen kalitelere imkan verir. Bu tezgahların tekrarlı delme kapasitesi fazladır. Torna tezgahında da bu işlem yapılabilir. Delinecek parça torna aynasına bağlanır. Matkap ucu punto ucuna takılır. Devir sayısı seçilir. Eksen ayarlaması yapıldıktan sonra punto belirli bir hız ile delinecek parçaya doğru ilerletilir. Büyük çaptaki deliklerde kademeli delik delme işlemi uygulanır. İş parçası sürekli döndüğü için delik eksen kalitesi, delik eksen kaçıklığı, delik eş merkezlik gibi parametrelere dikkat edilmelidir.

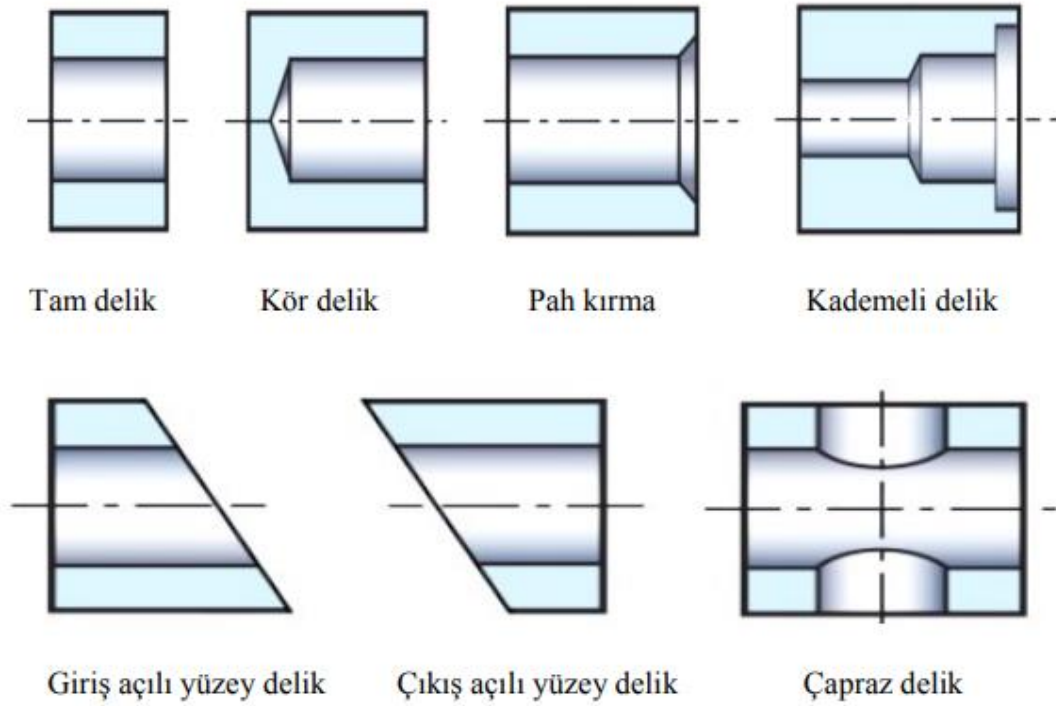
Frezelerde küçük, orta boy ve büyük parçaların delik delme işlemleri gerçekleştirilebilir. Tezgahın kapasitesine bağlı olarak işlenecek parça tezgah tablasına bağlanır. Malzeme özellikleri ve delik parametreleri göz önünde bulundurularak matkap veya freze çakısı ile delik delme uygulanır. Tezgah kalitesi, iş parçasının iyi konumlandırılması gibi parametreler uygun hale getirildikten sonra oldukça yüksek kalitede işlem yapılabilir.

CNC işleme merkezleri, delik delme, frezeleme, honlama, parça işleme, diş çekme ve ihtiyaç durumunda birçok işlemi sırasıyla ve birçok parçayı birlikte işleme için tasarlanmış makinelerdir. Makine hassasiyetine göre eksen hareketlerindeki hassasiyet 0,001 mm'ye kadar toleranslandırılabilir. Tezgah üzerinde iş mili hızının ayarlanabilmesi, ilerlemenin, eksen hareketlerinin programlanabilmesi pek çok pratik çözümü de arkasından getirmektedir. Delme işlemi adı altında mevcut birçok delme prosesini bu tezgahlarda uygulamak mümkündür.

Borwerk tezgahları oldukça büyük hacimli parçalar için ve yatay delik delme proseslerinde kullanılır. Numune hareketli tablaya konulur ve eksenler ayarlanır. İş mili devri delinecek delik çapı ve malzeme türüne göre belirlenir. Delik kalitesi yüksektir. Bununla beraber yüzey işlemleri ve her türlü delik delme işlemleri de bu tezgahlarda mümkündür [27].

3.6. Delik Çeşitleri

Delik çeşitleri; kademeli delik, kör delik, pah kırma, tam delik, matkap giriş yüzeyi açılı yüzeyde delik, çapraz delik, matkap çıkış yüzeyi açılı yüzeyde delik olarak sınıflandırılabilir. Endüstride uygulanan bazı delik uygulamaları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Özel hizmet alanları ve hususi tasarımlar için de farklı uygulamalar mevcuttur [44].



Şekil 3.1. Endüstri uygulamalarındaki bazı delik çeşitleri [27].

3.6.1. Doluya delik delme

Delik delme işlemlerinde delinen parçanın malzemesinin dolu ve katı cisim olup olmaması parametreleri tanımlar. Dolu malzemede delme için talaş geometrisi, talaş karakteri gibi meseleler oldukça ehemmiyetlidir. Bu tarz malzemelerde yapılacak prosesler için, $3xD_c$, $5xD_c$, $8xD_c$, $12xD_c$, $16xD_c$, $20xD_c$, $25xD_c$, $30xD_c$, $40xD_c$, $50xD_c$, $70xD_c$ ölçülerde matkap üretimi yapılmaktadır [44]. Bahsi geçen proses için farklı moment ve kuvvetler delik derinliğine bağlı olarak meydana gelmektedir. Malzemenin mikro yapısı, metalurjisi, bazı alaşımlar için üretim yöntemleri kesme ve ilerleme kuvvetini etkileyen ana etkenlerdir [27]. Derinliğin artması, malzemenin ve takımın üstünde birtakım termal olaylara sebep olur. Termal etkilerin iyi hesaplanıp ayarlanması delik kalitesi için önemli bir detaydır. Bu delik delme çeşidi endüstride en çok kullanılan delme uygulamasıdır. K r delikler, diş açılarak cıvata montajında, parçaların pim ile birleştirilmesinde vs. kullanılmaktadır [44]. Dolu tam delik, montaj bağlantılarda, mil yataklamaları, sıkı geçme montajlarda, perinlemeler gibi birçok uygulamada kullanılır [45].

3.6.2. Delik büyüme

Malzemelerde delik delme işlemi esnasında delik kalitesinin beklentiler dahilinde olması beklenir. Büyük çaplı delikler delinirken tek bir kesici takım ile işlemin yapılması takım üstüne gelen kuvvetlerin fazlalaşmasına, dolayısıyla takım ve malzeme üzerinde termal deformasyonlar oluşmasına sebep olur [25]. Bu parametreler ise takım, makine, malzeme üçlüsü üzerinde ciddi zorlanmalar ve gerilmeler meydana getirir. Bu nedenle büyük çapta istenen delikler önce küçük çapta delinir, çap büyütülerek en son istenen çapta uç ile delme işlemi bitirilir. Bu sayede delik delmede makine güçleri ve malzeme konstrüksiyonu kontrol altında tutulabilir [46].

3.6.3. Fatura açma

Delme prosesi tamamlandıktan sonra parçada ikinci bir delik delme işlemidir. İlk delik çapından büyük olmakla beraber ilk derinlikten daha az derinliğe sahip olur. Sıkça uygulanan bir prosestir. Sıkı geçme uygulanacak proseslerde sıkı geçecek parçanın oturması için oluşturulması gereken kademeyi elde etmek için uygulanır [46].

3.6.4. Raybalama

Yüksek yüzey kalitesi istenen uygulamada raybalama sıklıkla karşılaştığımız bir yöntemdir. Raybalama, delikte hassas bir yüzey kalitesi ile istenen ölçüyü elde edebilmek amacıyla uygulanan bir yöntemdir [47]. Matkapla delinmiş bir delik tam olarak istenen ölçüde olamadığı gibi yüzey kalitesi de istendiği gibi olamamaktadır. Delik küçük bir ölçüde açılır. Sonra istenen ölçüye tam bir şekilde getirebilmek için raybalanır. Meydana gelen talaş yapısı küçük ve incedir. Prosesin kalitesini pozitif yönde etkiler. Tablo 3.2.'de D_R tanımıyla raybalama toleransları verilmiştir. Bu değerlerden de anlaşılacağı gibi raybalama oldukça ince bir işçilik uygulamasıdır. Bu sayede de delikler istenen kalitede delinmiş olur. Raybalama hızı delik delme hızının $1/3$ 'ü oranında bir hıza ayarlanır. Bu uygulama ile 0,006 mm'den daha küçük toleranslarda delik delmek mümkün olmaktadır [48].

Tablo 3.1. Çapa göre raybalamada tolerans değerleri [47].

Rayba Delik Çapı (D_R)	Rayba Payı (Z)
<5 mm	0,1 – 0,2 mm
5 – 20 mm	0,2 – 0,3 mm
20 – 50 mm	0,3 – 0,5 mm

3.6.5. Derin delik delme

Delik boyunun delik çapının 10 katından daha büyük olduğu deliklere derin delik adı verilir. Malzeme biliminin gelişmesi, yüksek teknolojilerin ortaya çıkması ve müşterilerin yüksek kalite beklentileri delik işleminin önemini gittikçe artırmaktadır [49]. Özellikler derin delik delme işlemlerinde bu beklentiler karşılanır. Standart durumlar göz önüne alındığında delik çapının 10 katından fazla derin olan delikler 120 kat seviyelerine kadar çıkabilmektedir. Derin delik delme işlemleri, savunma sanayisi, petrol ve gaz arama ekipmanları, motorlar, havacılık ekipmanları gibi birçok işleme proseslerinde ortak bir uygulamadır. Bu proseslerin tümü için yüksek performanslı son ürün elde etmek delik kalitesine de bağlıdır. İşleme yöntemleri malzeme dışında olabildiği gibi, içinde de görebileceğimiz farklı yöntemler vardır [50].

Derin delik delmede merkezden kaçıklık sorununa karşı ve deliğin yüzey kalitesinin iyi düzeyde olması amacıyla devir sayısı ve takımların ilerleme parametreleri ince bir şekilde belirlenmelidir. Ayrıca delme işlemi sonrası meydana gelecek talaşlar da kesme işlemine özel kesme yağı ile yüksek basınçta tahliye edilebilmelidir. Derin delik delme torna tezgahlarında mümkün olmadığından derin delik delme tezgahları imal edilmiştir. Bu tezgahlarda da başta bahsedildiği üzere malzeme devir sayısı ve kesme takımlarının ilerleme hızı vs. gibi parametreler elektronik kontrol ile ayarlanabilmektedir [51].

Derin delik delme işleminin bazı uygulama alanları şöyledir:

1. Paslanmaz çubuktan paslanmaz boru elde edilmesi
2. Özel çapta, istenen et kalınlığında boru elde edilmesi
3. Silindirik malzeme içinde sensör veya ısıtıcı yuvası açılması

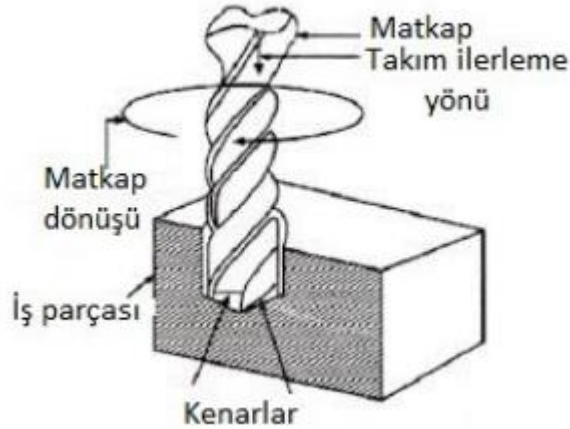
4. Fişek rezistans yuvaları imalatı
5. Tüfek namlusu imalatı
6. Motor bloklarında yağ kanallarının açılması [27].

3.6.6. Mikro delik delme

0,3mm-2,95mm arasında olan çaplardaki delikler mikro delik olarak adlandırılmaktadır. Bu çaplar çok küçük olduğundan kullanılan takımlar da küçük olacak ve yüklenecekleri kuvvetler de yüksek olacaktır. İlerleme hızları ve kesme kuvveti değerleri düşüktür. Kesme kuvveti ve eksenel ilerleme kuvveti sınır değerlere kadar artırılabilir. Saatçilikte, tıpta, mekanik parçaların imalatında, mikro robot imalatı alanlarında sıkça uygulanan bir prosestir [44].

3.7. Delme Mekaniği

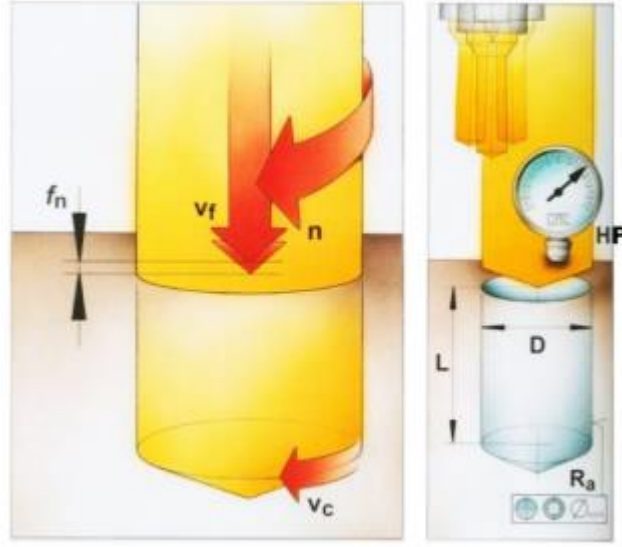
Delik delme bir çeşit talaş kaldırma işlemidir. Parça üzerinde talaş kaldırma suretiyle delik geometrisi oluşturulur. Delik delmede ana parametreler, takım, parça, dönme ve ilerleme hareketi, kesici yüzeylerdir. Şekil 3.2.'de delme prosesinde parça ve matkabın durumları görülmektedir [47].



Şekil 3.2. Delme prosesi şematik gösterimi.

Delik delmede malzeme çeşidi, mukavemet değerleri ve mikro yapıları işlem parametrelerini etkileyen ve değerlendirilmesi gereken ana parametrelerdendir [46]. Bütün parametreler ve tezgah seçimi delme maliyeti ve delik kalitesi açısından önem arz etmektedir. Fakat bunların arasında kesici takımın özellikleri ve kesme

kuvvetlerinin belirlenmesi en önemli kriterdir [47]. Kesici takımın malzemeden talaş kaldırmasında malzemeye bir kuvvet uygulanır. Bu sayede bir sürtünme meydana gelir. Talaş koparmanın devam etmesiyle delik oluşumu meydana gelir. Delme işlemindeki parametreler Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Delik delmede ana parametreler [52].

f_n : İlerleme (mm/dev)

V_c : Kesme hızı (m/dk)

n : İş mili hızı (dev/dk)

V_f : İlerleme hızı (mm/dk)

D : Delik işlem çapı (mm)

L : Delik işlem boyu (mm)

R_a : Delik yüzeyi

k_c : Özgül kesme kuvveti (N)

Kesici takım kullanılırken yukarıda bahsedilen parametrelerin bir kısmı imal eden firmanın verdiği bilgiler dahilinde ayarlanmalıdır. Takım ana malzemesi, kaplaması, takımın kesici ağız sayısı ve tasarım parametrelerine göre firma bu bilgileri paylaşmaktadır. Tablo 3.2.'de örnek bir firma değerleri tablosu verilmiştir [27].

Tablo 3.2. Kesme hızı ve ilerleme miktarı tablosu [53].

Çaplara göre ilerleme (Devir başına ilerleme) mm/devir								
Malzeme tanımı	$V_c(m/dk)$	$\varnothing 1 f_n$	$\varnothing 2 f_n$	$\varnothing 3 f_n$	$\varnothing 5 f_n$	$\varnothing 8 f_n$	$\varnothing 12 f_n$	$\varnothing 16 f_n$
	Kesme hızı	$\varnothing 2 f_n$	$\varnothing 3 f_n$	$\varnothing 5 f_n$	$\varnothing 8 f_n$	$\varnothing 12 f_n$	$\varnothing 16 f_n$	$\varnothing 20 f_n$
Alüminyum- Dövme	50-150	0,04- 0,07	0,01- 0,15	0,15- 0,25	0,20- 0,30	0,25- 0,40	0,35- 0,50	0,40— 0,60
Alüminyum alaşımli döküm ($< \%10 Si$)	100-250		0,05- 0,12	0,15- 0,25	0,20- 0,30	0,25- 0,40	0,35- 0,50	0,40- 0,60
Alüminyum alaşımli döküm ($> \%10 Si$)	100-200	0,60- 0,80	0,60- 0,10	0,12- 0,20	0,18- 0,22	0,20- 0,28	0,26- 0,30	0,25- 0,32

Yukarıdaki veriler vasıtasıyla dönme sayısı olan iş milinin birim zamandaki devir sayısı verilen formülle hesaplanabilir;

Kesme hızı için:

$$V_c = \frac{D_c * \pi * n}{1000} \quad (3.1)$$

(3.1)'de gösterilen V_c kesme hızını (m/dak), D_c matkap çapını (mm), n iş mili devir sayısını (dev/dak) göstermektedir.

İş mili devri için:

$$n = \frac{V_c * 10000}{D_c * \pi} \quad (3.2)$$

(3.2)'de gösterilen ' n ' iş mili devir sayısını (dev/dak), ' V_c ' kesme hızını (m/dak), ' D_c ' matkap çapını (mm) göstermektedir.

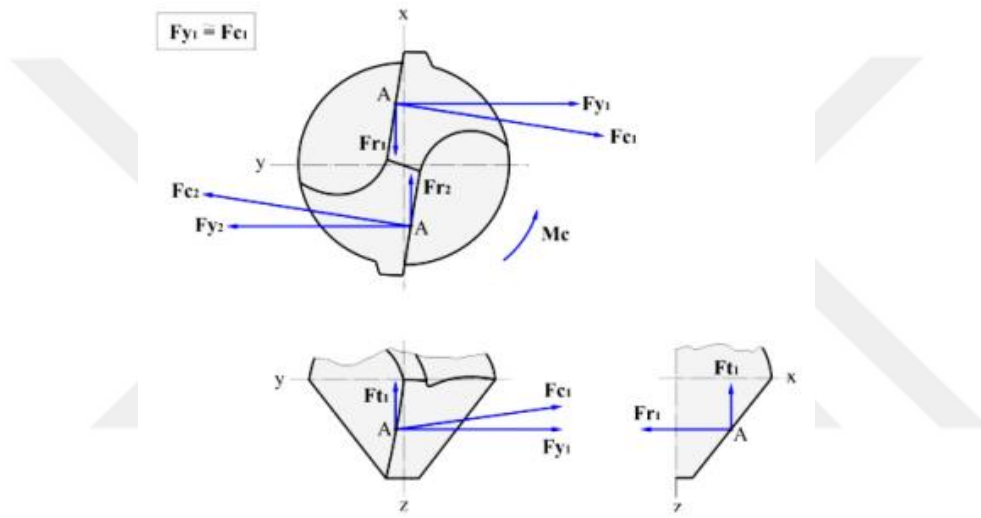
İlerleme hızı için:

$$V_f = f_n * n \quad (3.3)$$

(3.3)'te gösterilen f_n ilerleme miktarı (mm/dev), n iş mili devri (dev/dak), V_f ilerleme hızını (mm/dak) göstermektedir.

3.7.1. Delik delmede kesme kuvveti ve parametreleri

Delme prosesinde takım parçada ilerlerken bir enerji sarfıyatı mevcuttur. Talaş kaldırma başlayınca kesme kuvveti takım ucuna etkimeye başlar. Bu kuvvete karşı lazım olan güç, delinen malzemenin türüne göre değişiklik gösterdiğinden bu işlemde moment ve ilerleme kuvveti hesaplanırken özgül kesme kuvvetine (k_c - N/mm²) ihtiyaç duyulmaktadır [49]. Kuvvetler ve kuvvet oluşumu Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Takım ucuna etkiyen kuvvetler [27].

Matkap ucundaki ağızların konumu dolayısıyla her bir ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengeleyici durumdadır. Bu sebeple yalnızca F_c ve F_t kuvvetleri dikkate alınmaktadır. Takım ucu incelenirse, ağızların yalnızca tekinin bütün kuvvetlerin etkisinde kaldığı görülecektir. Takımlar 2 kesici ağızdan oluştuğundan dolayı, aşağıdaki bağıntıları yazabiliriz;

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} \quad (\text{eksenel kuvvet}) \quad (3.4)$$

$$F_{y1} = F_{y2} \quad (\text{teğetsel kuvvet}) \quad (3.5)$$

$$F_{c1} = F_{c2} \quad (\text{kesme kuvveti}) \quad (3.6)$$

(3.4), (3.5) ve (3.6) eşitliklerinde görülen ilerleme kuvveti (F_t) genel itibariyle deneysel yöntemlerle belirlenmektedir. F_c kesme kuvveti ile F_y teğetsel kuvveti ise pratikte birbirine eşit kabul edilmektedir. Buraya kadarki değerlendirmeler sonucunda elde edilen ilerleme kuvveti;

$$F_t = 2F_c * \sin \frac{\psi}{2} \quad (3.7)$$

(3.7)'de gösterilen F_t teğetsel kesme kuvvetini (N), F_c kesme kuvvetini (N), ψ uç açısını göstermektedir.

$$F_t = K * s * d * 0,8 \quad (3.8)$$

(3.8)'de gösterilen F_t teğetsel kesme kuvvetini (N), K yüzey basınç değerini (N/mm^2), d kesici takım çapını (mm), s ilerleme miktarını (mm/dev) ifade etmektedir.

Literatüre bakıldığında bu iki eşitliğin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Eşitlik 3.8'den daha gerçekçi çıktılar alındığı görüldüğünden bu kuvvetin hesabında daha sık kullanılmaktadır [27]. Tablo 3.4.'te özgül kesme kuvvetleri görülmektedir.

Tablo 3.3. Delik delmede özgül kesme kuvvetleri [27].

Delik delinecek malzeme	K (N/mm^2)
Çelikler	1650
Dökümler	800
Hafif metal alaşımlar	900

Delmede kesme kuvvetlerinden ortaya çıkan momentler 2 farklı yönden incelenir. Bunlardan birincisi kesme momenti (M_c), diğeri sürtünme momenti (M_f)'dir ve toplam moment bu parametrelerin birleşiminden ibarettir. Bu olay Şekil 3.5.'te görülmektedir. Delme momenti aşağıdaki formülasyon ile elde edilebilir;

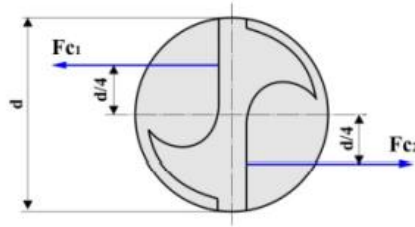
$$M_c = F_{c1} * \left(\frac{d}{4}\right) + F_{c2} * \left(\frac{d}{4}\right) \quad (3.9)$$

$$F_{c1} = F_{c2} = F_c \quad (3.10)$$

$$M_c = 2F_c * d/4 \quad (3.11)$$

$$M_c = F_c * d/2 \quad (3.12)$$

(3.9), (3.10), (3.10) ve (3.12)'de gösterilen M_c kesme (delme) momenti (Nm), F_c kesme kuvvetini (N) ve d kesici takım çapını (m) ifade etmektedir [27].

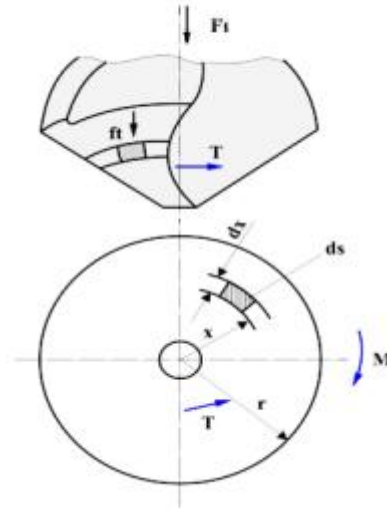


Şekil 3.5. Kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği kesme momenti [25].

Şekil 3.6.'ya bakıldığında, d_s elemanter yüzeye etkiyen teğetsel ve eksenel kuvvetin diferansiyelleri alınırsa işlemler neticesinde;

$$M_f = \mu * F_t * d/3 \quad (3.13)$$

(3.13)'te gösterilen μ sürtünme katsayısını, M_f sürtünme momentini (Nm), d kesici takım çapını (m) ve F_t eksenel kuvveti (N) göstermektedir.



Şekil 3.6. Takım ucu çalışma esnasında meydana gelen kuvvet ve momentler [25].

Yukarıdaki gösterilen μ , Tablo 3.4.'te gösterilen işlenen malzeme çifti gruplarına göre değişik değerler alır. Delik delmede toplam moment, sürtünme kuvvetinin momenti ve kesme kuvveti momenti değerlerinin toplamına eşittir.

$$M_{Top} = M_c + M_f \text{ (Nm)} \quad (3.14)$$

(3.14)'te gösterilen M_{Top} moment toplamını, M_c kesme (delme) momenti, M_f sürtünme momentini göstermektedir.

Tablo 3.4. Delik delmede malzeme çiftlerine göre μ değeri [27].

Malzeme çifti için sürtünme katsayısı	μ
Çelik / Çelik	0,10
Çelik / Döküm	0,16
Çelik / Bronz	0,18
Çelik / Hafif metal alaşım	0,20
Çelik / Ağaç	0,5 – 0,6

$$M_{Top} = \left(F_c * \frac{d}{2} \right) + \mu * (F_t * d/3) \quad (\text{Nm}) \quad (3.15)$$

(3.15)'te gösterilen M_c delme (kesme) momentini (Nm), F_c kesme kuvvetini (N), μ sürtünme katsayısını, d kesici takım çapını (m) ve F_t ise eksenel kuvveti (N) göstermektedir.

3.8. Delik Kalitesi Değerlendirme Kriterleri

Talaşlı imalatta proses esnasında performansı etkileyen faktörler; takım malzemesi ile geometrisi, kesme parametreleri, parçanın metalurjik yapısı, çalışılan tezgâh özellikleri, soğutma şartları vb. şeklinde söylenebilir. Diğer proses işlemlerini de etkileyen bu faktörler:

1. Delik ölçüsü
2. Delik doğruluğu
3. Delik yüzeyi
4. Matkap ömrü
5. İşleme zamanı
6. Matkap
7. Soğutma sıvısı
8. Tezgah
9. Kesme parametreleri
10. İş parçası olarak sıralanabilir [54].

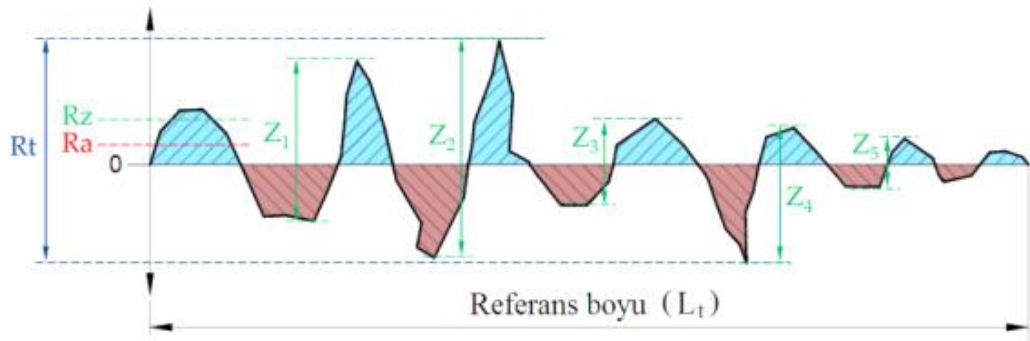
Delik delmede delik kalitesi; delik yüzeyi hassasiyeti, delik çap ölçüsü doğruluğu, delik geometrisi doğruluğu, işlem zamanı, matkap ömrü gibi parametreler incelenerek tasarımda toleranslarla belirlenmektedir. Bu işlemlerde üzerinde durulan esas konu performansı etkileyen faktörler olmaktadır ve bu faktörlerin seçimi titizlikle yapılmaktadır. Soğutma sıvısının seçimi; soğutma sıvısının kimyasal bileşenleri, soğutma sıvısı karakteri, sıvının miktarı ve özellikleri, sıvının uygulanması gibi konular ele alınarak seçilir. Matkap ve matkap ucu da titizlikle seçilmesi gereken bir diğer elemandır. Uygun tezgah maliyetlerin azalması, delik kalitesinin artması ve işlem süresinin azalması gibi avantajlar sağlar [27].

3.8.1. Yüzey pürüzlülüğü

Makine imal edilirken talaşlı ve talaşsız işlemlerde şekillendirilen yüzeyler mutlaka pürüzler kalır. Hiçbir imalat yöntemi sonucunda pürüzsüz bir yüzeyden söz edilemez. Pürüzsüz iki yüzey birbirinden ayrılmak istendiğinde yüksek kuvvet gerekir. Bunun sebebi yüzey gerilmeleridir. Pürüzlülükler, istenen geometride, tasarıma uygun bir şekilde malzeme üzerinde gözlenebilir, hissedilebilir, cihaz vasıtasıyla istenen hassasiyetlerde ölçülebilir.

Makinelerin çalışması esnasında aşınmaların azalması için tasarım ve uygulamada pürüzlülüklerin belli standartlarda olması önemlidir. Yüzeylerin kalite durumu tasarımda belirlenir. Yüzeylerin durumu, parçanın imalat resmi üzerinde grafik, rakam ve sembollerle gösterilir. Parçanın işleme yönüne bağlı olarak dik ve ekstenel yöndeki profiller de farklılık gösterebilir. İmal edilen parçanın durumu da teknik resim ile gösterilir.

Yüzey pürüzlülük değerlendirmesinden sonra grafik değerlendirmesi yapılır. Bunlar yüzey pürüzlülüğü değerlendirmesi esnasında standart kullanım için geliştirilen bir takım metotlardan ibarettir. Şekil 3.8.'de dalgalılık profili W (waviness), yüzey pürüzlülük değerleri ana profili P (Primary), pürüzlülük profili R (Roughness) tanımlanmıştır [55].

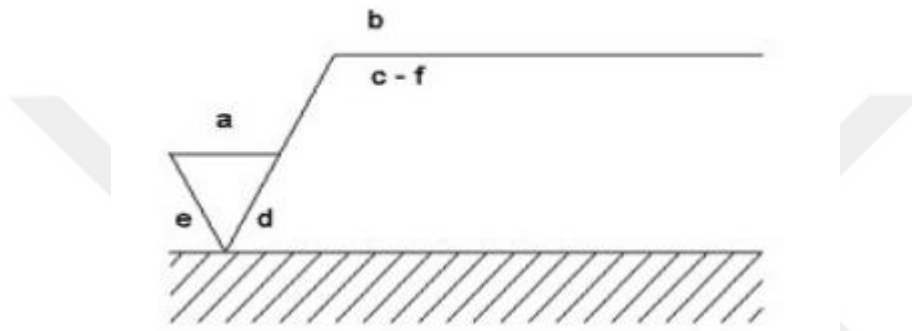


Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülük profili analiz grafiği [55].

R_t en büyük pürüzlülük değerini, R_z ortalama pürüzlülük değerini, R_a aritmetik ortalama pürüzlülük değerini ifade eder.

İmalatta tasarımcı, pürüzlülük ölçüm gereksinimi ve pürüzlülük değerini belirtmelidir. Yüzey pürüzlülüğünden yana yüksek performans bekleniyor ise R_t değeri ölçümlerde

kullanılır. Hassas ölçüm durumlarında R_z dikkate alınır. R_z ölçümünde en düşük ve en yüksek 5 adet noktadan ortalama değer alınır. Standart kullanım ve hassasiyetin çok önemli olmadığı durumlarda R_a değerinin alınması yeterli görülür. Genel makine imalatında R_a değeri ölçümlerde dikkate alınırken; havacılık, otomotiv sanayi ve savunma sanayii gibi alanlarda ise R_z ve R_t değerleri daha çok göz önünde bulundurulur. Yüzey pürüzlülük değerinin imalat resimlerinde gösterimi Şekil 3.9.'da verilmiştir [27].



Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülük değerinin imalat resminde gösterimi [56].

a: yüzey pürüzlülük değerini, b: imalat metodunu, c: ölçümde alınacak referans uzunluğunu, d: işleme izlerinin yönünü göstermektedir.

3.8.2. Çapak

Bütün proseslerde çapak, istenmeyen bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sorunu gidermeye yönelik birçok çalışma yapılmasına rağmen herhangi bir üretimde mutlaka az veya çok miktarda çapak çıkacaktır. Hassas üretimlerde çok önemli bir problem teşkil etmekte ve temizlenmesi gerekmektedir. Öte yandan malzeme cinsi, üretim yöntemi, proses parametreleri ve kesici takım geometrisiyle alakalı olarak değişken formlarda ortaya çıkabilmektedir [57].

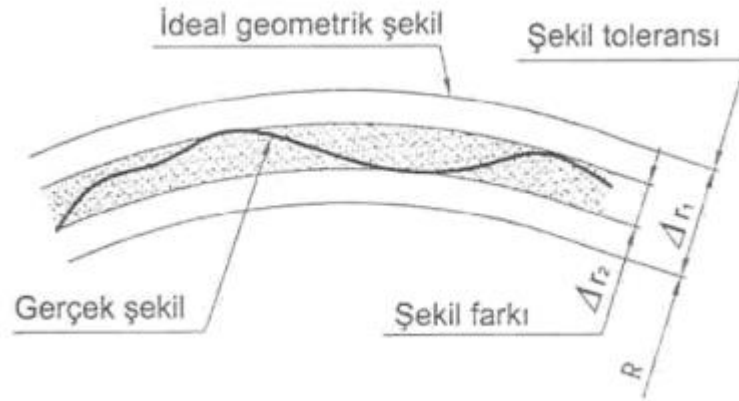
Metal sanayiinde metallere farklı şekiller vermek üzere pek çok farklı yöntem uygulanır. Örneğin metal, döküm, kaynak, freze, torna gibi farklı proseslere tabi tutulabilir. Bu işlemler uygulanırken metallerin kenarlarında birtakım kaba çıkıntılar meydana gelir. Bu çıkıntılara çapak adı verilir. Çapaklar, köşelerde keskin bir tel formunda olabileceği gibi yüzeyde çıkıntı olarak da görülebilir. Çapak oluşumu,

tasarım aşamasında mühendislik çalışmalarıyla ve işleme esnasında elimine edilebilir [58].

Delme işleminde de çapaklanmanın tahmini yapılmalı ve talaş kaldırmada oluşacak kuvvetler modellenmelidir. Çapak miktarı, delik kalitesinin düşmesi, kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olması, kesicide oluşacak istenmeyen sıcaklık ve kesicide deformasyona sebep olması cihetinden dikkate alınmalıdır [59].

3.8.3. Dairesellik

Delik delinirken kullanılan matkap ucunun bir çapı ve çap geometrisi vardır. Normalde tam daire olarak ele aldığımız bazı geometrik değerler en nihayetinde hata barındıran ve gözle görülemeyen bozukluklar içerir. Bu bozukluklar, delik delme işleminde delinen delikte dairesellikte geometrik bozukluklara yol açar. Şekil 3.10.'da gerçek delik ile ideal delik eğrileri gösterilmiştir.

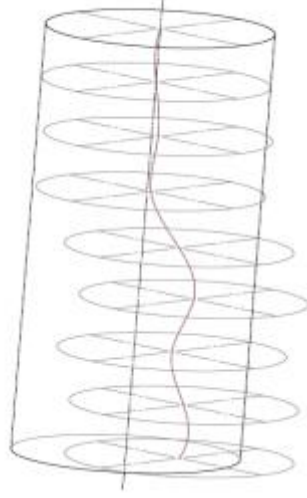


Şekil 3.9. Delik dairesellik görüntüsü [60].

Şekil farkı toleransı, ideal geometrik şekil toleransından küçük ise deliğin geometrik üretim toleransı istenen düzeyde denilebilir [27].

3.8.4. Eksenel kaçıklık

Delik delinirken belirli bir iş parçasında belli bir eksen üzerinde istenen çap ölçüsünde delinmeye başlanan delik ilk giriş ekseninde büyük doğrulukla delinebilir. Takım ilerlerken delme kuvveti ve ilerleme kuvveti gibi kuvvetlerle karşı karşıya kaldığından delme işlemi eksenden uzaklaşarak devam edebilmektedir. Şekil 3.11.'de delik eksenel kaçıklığı şekilsel olarak gösterilmiştir [27].



Şekil 3.10. Delik eksen kaçıklığı şekilsel gösterimi [61].

3.8.5. Çapsallık

Delik delinirken kullanılan matkap uçları delinmek istenen çaptan mikron düzeyinde daha küçük olacak şekilde ve belirli toleranslarla imal edilmektedir. Delik delme esnasında matkabın titreşim, tezgâh, balans, iş mili rijitliği parametrelerine dayalı olarak istenen nominal uç çapında nihai delik çapına ulaşmak amaçlanır. İşleme maliyetini düşürmek, işlenebilirlik ve en az ekipman kullanımı için tek seferde istenen çapta deliğin açılabilmesi önemlidir. Bunun için de matkap ucu çapının istenen ölçülerde olması hayati önem taşımaktadır [61].

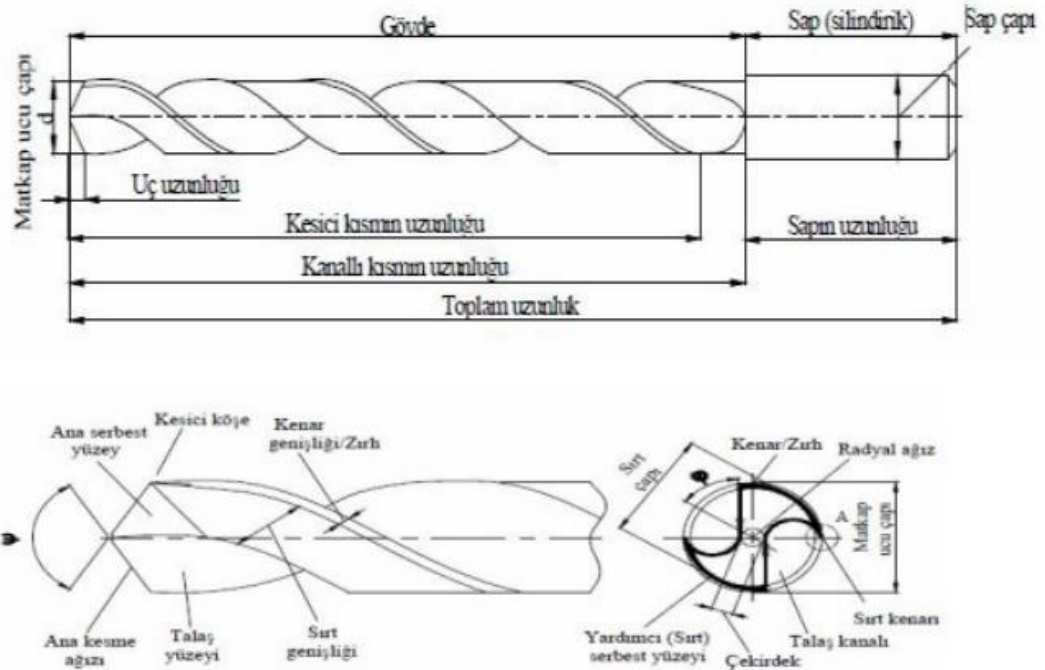
3.8.6. Boyutsal tolerans

Delik delmede malzeme 3 boyutlu değerlendirilir. Tasarım, imalat ve montajda 3 boyutlu tasarlanır ve toleranslandırılır, imalatı da buna göre yapılır [27]. Delik ekseninde değişim, yüzeyin delik eksenine dikliği, delik çapındaki değişim, delikteki dairesellik değişimi, 3D ölçüm cihazlarıyla tespiti kolaylaşmış ve boyutsal toleranslandırmada da olumlu gelişmeler olmuştur. Deliğin boyutsal olarak ölçülebilmesi, delme parametrelerinin optimizasyonu noktasında önem arz etmektedir [63].

3.9. Delik Delmeyi Etkileyen Faktörler

3.9.1. Takım geometrisi

Matkaplar delik delme işleminde ana ekipmandır. Zaman içinde gelişimini sürdüren bu ekipmanlar maliyet, sürdürülebilirlik ve işlevsellik noktasında gelişmeye de devam etmektedir. Matkap uçlarının genel yapısı Şekil 3.12.'de verilmiştir. Delik delinecek materyalin yapısına bağlı olarak kullanılacak matkap ve matkap ucu yapısı değişir. Performans optimizasyonu açısından tüm matkaplar için kanal formu büyük önem arz etmektedir. Kanal formu, talaş kaldırma şekli, talaşı ortamdan uzaklaştırma ve ısıyı yönlendirme noktalarında önemli rol oynar. Performansı yüksek, yekpare karbür matkapların kesme performansını en üst seviyeye çıkarabilmek için kanallar nümerik olarak hesaplanmıştır. Takım ucu otomatik merkezleme sağladığı gibi takviyeli matkap köşesi dayanımı güçlendirilmiş ve işlem güvenliği universal matkapların da ötesine taşınmıştır. Yeni kanal şekli ve yeni geometri bir araya geldiğinde, yüksek penetrasyon hızlarında dahi iyi bir talaş boşluğu için optimal bir kesme kenarı sağlamaktadır.



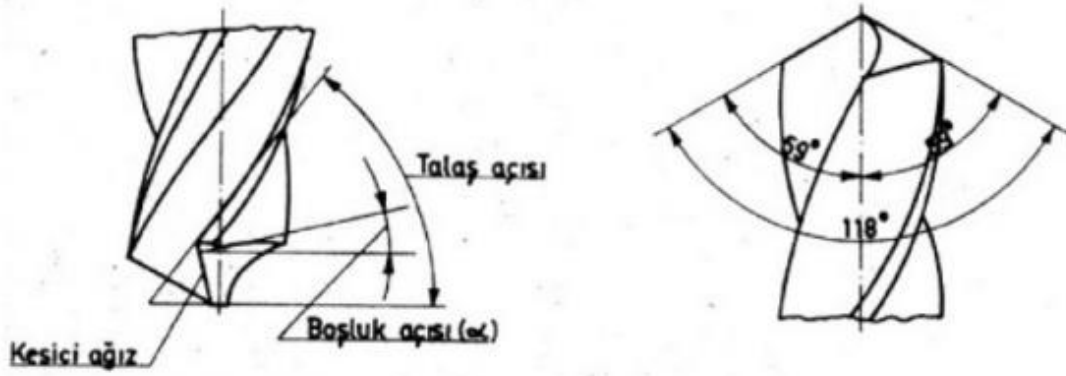
Şekil 3.11. Matkap uçları genel yapısı [62].

Matkapların kesici ağızları tek ağız, 2 ağız, 3 ağız ve 4 ağızlı olmak üzere imal edilirler. Şekil 3.13'te 2 ağızlı bir matkabın yapısı gösterilmiştir. Malzeme ve işleme ortamına dayalı olarak uygun ağız seçilir. Ağız sayısı ne kadar az olursa çıkan talaşlar o kadar rahat atılabilir. Kesici ağız sayısı işleme tipi ve talaş tipine bağlı olarak da seçilmelidir. Matkap helis geometrisi üç farklı çeşitte uygulanır. Pratikte karşımıza çıkan tipler N tipi, H tipi ve W tipleridir [51].

Matkap uçlarının ana malzemesi 3 ana grupta toplanabilir:

1. HSS Yüksek Hız Çeliği (High Speed Steel)
2. HSS-E Kobaltlı Yüksek Hız Çeliği (High Speed Steel with Co)
3. KSM Komple Sert Metal (Solid Carbide)

Uluslararası DIN standartlarına göre matkap ölçülerine bağlı olarak kontrolleri sağlamak amaçlı DIN 9, DIN 338, DIN 6539 ve DIN 8094 standartları belirlenmiştir. Matkaplar kesme uç açılarına göre de sınıflandırılmaktadırlar. Bu açılar standart olarak 80°, 90°, 118°, 125°, 130° ve 140°'dir. Şekil 3.13.'te genel matkap uç geometrisi gösterilmiştir. Matkap ile delik delmede en çok kullanılan uç açısı 118°'dir [27].



Şekil 3.12. Genel matkap ucu geometrisi [62].

Matkapla delik delmede el aletleri veya endüstriyel tezgahlar kullanılır. Bu nedenle matkaplarda silindirik, SDS maxi form, SDS plus form ve konik formlarda matkap sapları kullanılmaktadır. Bunlar konik havşa matkabı, kobra başlı havşa matkabı, punta matkabı, helis havşa matkabı, kademeli matkap şeklindedir. Matkaplar kaplama cinslerine göre de sınıflandırılırlar. Standart olarak kullanılanlar şu şekildedir:

TiC : Titanyum Karbür

TiN : Titanyum Nitrür

TiCN : Titanyum Karbürnitrür

Al₂O₃ : Alüminyumoksit

TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrür

AA2024 malzeme ile yapılan bir çalışmada üç ayrı ilerleme miktarı ve üç ayrı kesme hızı ile 5 ayrı kaplamalı HSS uç ile uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Matkap kaplamasına göre çap nominal ölçüsünden kaçıklık, yüzey pürüzlülükleri ve dairesellik üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Kesme hızı arttıkça pürüzlülüğün arttığı, kaplamanın aynı parametre üstünde etkisi olduğu gözlenmiştir [27].

AA7075-T6 alaşımı ile yapılan bir başka çalışmada ilerleme hızı olarak beş farklı değer ve beş farklı matkap tepe ucu açısı parametrelerinin ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu iki parametrenin de artması kuvvet ve pürüzlülüğü artırdığı gözlenmiştir [63].

3.9.2. Kesme hızı

Kesme hızı, kesici takım üzerindeki bir noktanın birim zamanda metre cinsinden katettiği yol olarak tanımlanabilir. Kesme hızı, talaşlı imalat yöntemlerinde birçok parametreyi etkileyen bir parametredir [66]. Kesme hızı temelde üretici firma tarafından önerilmekle beraber bu öneri, talaş kaldırılarak imal edilecek malzeme cinsi, tek seferde kaldırılacak talaşın miktarı gibi parametrelere göre şekillenir. Kesme hızının yüksek tutulması kesici takım ömrünü kısaltır. Aynı zamanda hızın düşük tutulması da prosesi geciktirecektir. Kesme hızının belirlenmesindeki ana faktörler; kesici takımın malzemesinin özellikleri, kesici takım kaplamasının özellikleri, kesici takım ile malzemenin bağlama teknolojisi, tezgâh rijitliği ve tezgah gücüdür. Takım imalatçıları hızı arttırma ve takım ömrünü uzatma noktasında çalışmaları daima devam ettirmektedir. Özellikle takımı soğutma ve kaplama teknolojileri üzerinde özel çalışmalar yürütülmektedir. Son zamanlarda yüksek teknoloji ile tasarlanan takım iç kısmından delik açılarak soğutma sıvısı uygulanan kesici takımlar; yüksek kesme hızında çalışabilmekle beraber uzun ömürlü olmakta ve delik kalitesinde de iyi sonuçlar vermektedirler [27].

Yapılan bir çalışmada, kesme hızının artırılmasının matkap üstünde hızlı yüzey serbest aşınmasına, kesme kenarlarında plastik deformasyona, istenen toleransların dışında değerlere, delik kalitesinde düşüşe sebep olduğu; hızın düşük tutulmasının ise talaş tahliyesinin olumsuz sonuçlar vermesine, matkap üstünde talaş birikmesine, delik başına fazla maliyete ve verimlilikte düşüşe sebep olduğu görülmüştür [25].

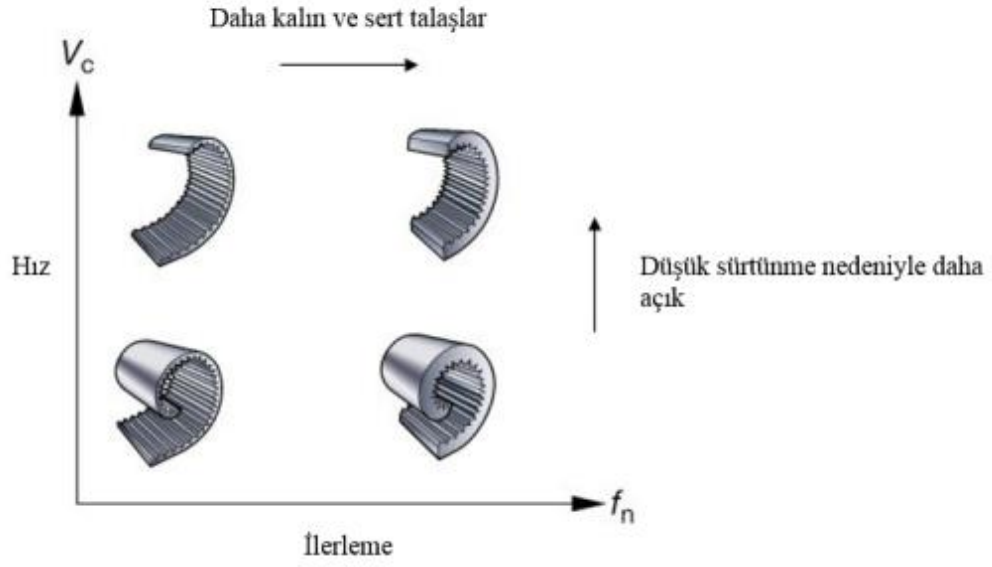
Yapılan bir çalışmada ise kesme hızının beraberinde getirdiği momentlerin ciddi bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir [27].

3.9.3. İlerleme miktarı

İlerleme miktarı, kesici takımın, işlenen malzeme üzerinde bir devirde aldığı mesafeye denir. Çıkarılan talaş kesiti, talaş derinliği ve ilerleme değerlerine bağlıdır. İlerleme değeri mm/dev birimi ile ifade edilir. İlerleme miktarı değeri kesici takım üreticisinin belirttiği değerlerde ayarlanırsa takımın ömrü daha uzun olacaktır. İlerleme miktarının belirlenmesinde işlenecek malzemenin metalurjik durumu, ısıtma işlem durumu ve sertliği önemli parametrelerdir. İlerleme miktarının artırılması ilerleme kuvvetinin de artmasına sebep olur [63].

Yapılan bir çalışmada, ilerleme miktarının ilerleme kuvvetini etkileyen en önemli faktör olduğunu, ilerleme miktarının artmasıyla, delik yüzey pürüzlülüğünün arttığını; ilerleme kuvveti ve momentinin artışıyla da matkabın kesici kenarlarında aşınmaların meydana geldiği görülmüştür [2].

Yapılan başka bir çalışmada, ilerleme miktarının artırılmasıyla talaş kontrolünün iyileştiği, takım aşınmasında düşüş olduğu, kesme kuvvetinin düştüğü, delik kalitesinin düştüğü görülmüştür. Ayrıca ilerleme miktarının düşürülmesiyle takım aşınmasında artış olduğu, delik kalitesinin iyileştiği, talaş uzunluğunun arttığı, kesme zamanının arttığı ve bu sebeplerle de işleme maliyetinin arttığı gözlenmiştir [25]. İlerleme hızı-kesme miktarı ile çapaktaki değişim Şekil 3.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Kesme hızı-ilerleme miktarı ile çapak oluşumunun değişimi [27].

3.9.4. Kesme Sıvısı

Talaşlı imalatlarda kesme sıvısı, soğutmayı ve yağlamayı sağlamak ve sıcaklığı kontrol altında tutmak amacıyla kullanılır. Bu sıvıların başka önemli işlevleri de vardır. Bu işlevler başlıca şu şekilde sıralanabilir:

1. Takım ve malzemeyi soğutmak, ısıyı uzaklaştırmak,
2. Takım-talaş ve takım-iş parçası yüzeyini yağlamak, kayganlığın sağlanması,
3. Meydana gelen talaşın uzaklaştırılması, çapakların yapışmasının önüne geçmek,
4. Kaynak oluşmasının önüne geçmek,
5. Güç sarfiyatını düşürmek, ortaya çıkacak kuvvetleri azaltmak,
6. Korozyonun engellenmesi,
7. Takım ömrünün ve verimliliğin artırılması,
8. Meydana gelen talaş formunu istediğimiz hale getirebilmek [54].

Talaş kaldırma işlemlerinin hepsinde çok miktarda ısı açığa çıkar. Kesme hareketiyle beraber oluşan ısı, kesici takımın ucundaki metalin plastik deformasyonundan ve takım-talaş ara yüzeyi boyunca kayan talaşların sürtünmesinden dolayı açığa çıkmaktadır [64]. Kesme sıvısının bir görevi de takım, talaş ve iş parçasını yağlamaktır. Kesme sıvılarının birçoğu sürtünmeyi azaltıp bir malzemeyi işlemek için

gerekli güç miktarını azaltır. Bu ise yalnızca enerji tasarrufu manasına gelmemekle beraber meydana gelen ısıyı azaltmak manasına da gelir. Daha az ısı oluşumu ise takım ömrünü uzatmakla birlikte işlenen parçanın yüzey bütünlüğünün korunması demektir [65]. Bu sıvılarının bir diğer görevi ise talaş parçalarını kesme bölgesinden uzaklaştırmak, talaşı soğutmak, toz gibi küçük parçacıkların havaya karışmasını önleyip sıvı içerisinde hapsolmasını ve kontrollü bir şekilde yönlendirilmesini sağlamaktır [66]. Kesme sıvısının kullanılmasıyla talaşın iş parçası ile takım arasında sıkışması önlenmiş, yüzeyde meydana gelebilecek olası çizilmelerin önüne geçilmiş olur.

Kesme sıvısı kullanımı çıkan talaşı da etkiler. Yüksek basınçlı sistemlerde adeta bir sıvı talaş kırıcı görevi görür. Talaşın ardından püskürtülen sıvı, talaşı sadece uzaklaştırmış olmakla kalmaz, aynı zamanda talaşı parçalamış da olur. Talaşı soğutmak ve küçük parçalara ayırmakla kalmayıp talaşı delik içerisinde hızlı bir şekilde dışarıya tahliye etmiş de olur. Bu şekilde delik içerisinde oluşabilecek çizikler ve takım helislerinin içerisinde talaş sıkışmasından kaynaklanabilecek sürtünme ve dolayısıyla fazladan ısı oluşumu da engellenmiş olur [67, 69].

3.9.5. Tezgâh

Delik delme işlemi imalat sanayiinde önemli bir proses olduğundan bu işlem için birçok çeşitli makineler geliştirilmiştir ve kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları, masa matkapları, el matkapları, işlem sıralı matkap tezgâhı, çok milli matkap tezgahı, radyal matkap, sütunlu matkap, yatay delik delme tezgahlarıdır [67].

Delik delme işlemi NC ve CNC kontrollü işleme merkezlerinde, freze tezgahlarında, torna tezgahlarında da yapılabilmektedir. CNC kontrollü işleme merkezlerinde iş parçası makineye bir kez bağlandıktan sonra parça, işlem sırasına göre otomatik olarak işlenir. Şekil 3.15.'te CNC kontrollü işleme merkezinin bir örneği gösterilmiştir [27].



Şekil 3.14. CNC işlem merkezi makine görüntüsü [68].

Tezgâh çalışırken sonsuz vidaların birbirine sürtünmesi ve yüksek hızlarda yataklarda meydana gelen ısıнын olumsuz etkileri vardır. Bu ısıнын yataklardan uzaklaştırılması gerekir. Parça işleme esnasında ortaya çıkan bir diğer önemli problem de titreşimlerdir. Meydana gelen titreşimler takım ömrünü kısaltır, yüzeyi bozar, tezgâh elemanlarına zarar verir. Titreşimleri önlemek amacıyla tezgâh gövdesine birtakım sensörler yerleştirilmiştir. Bu sensörler titreşimleri algılayarak analiz eder, hesaplamalara göre iş mili için en uygun hızını bulup mili saniyeler içinde iş mili hızını günceller. Ayrıca tezgâhın kabiliyetine göre titreşimin olmadığı zamanlarda bir veya iki üst iş mili hızı atanır ve kesme zamanları da azaltılmış olur. Yeni teknolojiler sayesinde tezgahlar, sıcaklık kontrolü sağlanmasa da yüksek işleme kabiliyetlerine sahiptirler [27].

İş mili rulmanları özel imal edilirler. Devir sayısı 12000 dev/dk üzerine çıktığı zaman, tezgâh milinde ortaya çıkabilecek sürtünmeleri azaltmak, hafifliği sağlamak, ataleti artırmak, dayanıklılığı sağlamak için seramik (silikon-nitrit) ve çelik karışımı rulmanlı yataklar kullanılmaya başlanmıştır [69]. Bu tür yatakların elastiklik modülü (31400MPa), çelik yataklı rulmanlara nazaran çok daha yüksektir. Tezgâh mili yataklarında seramik bilye kullanımı %20-%50 daha fazla devir sayısına imkan

sağlamaktadır. Doğru seçim dahilinde seramik yatakların ömrü de çelik olanlara oranla daha uzun olmaktadır [27].

İş mili motorunun ürettiği titreşim de oldukça önemlidir. Bu motorun titreşimi, kullanılan rulmanın özellikleri ve vibrasyon talaş kaldırmada takım üzerinde ilave yüklerin bulunması demektir. Bu yükler talaşlı imalat esnasında boyutlarda olumsuz etki yapmaktadır. Tezgâh eksen toleransları da gözetilmesi gereken bir diğer meseledir. Tezgâh eksen toleransları işlenecek parçanın işleme toleranslarından daha hassas olmalıdır [69].



4. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağı (YSA) metodu, giriş ve çıkış veri setlerinin bulunduğu ve bu setler arasındaki kompleks ilişkileri tanımlayan bir yaklaşımsal metottur. YSA metodu endüstride, yapılan deneylerden elde edilen verilerle, yüksek maliyetli olan deneylerin tekrar tekrar yapılmasının gerekliliğini ortadan kaldırmak için, deney parametre ve sonuçlarıyla bir model oluşturup tahmin yapısı modellemek amacıyla sıkça kullanılır. Ampirik denklemler kullanarak problemlerin zor olan proses özelliklerini belirler [70].

YSA, bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve bir veya daha fazla gizli katmanlardan oluşan bir yapıya sahiptir. Giriş ve çıkış katmanları, bu katmanları tanımlayan nöron setlerinden meydana gelir. Gizli katmanlar için belirli bir miktar bulunmasa da genel itibarıyla 1 veya 2 adet kullanılır [71]. Çıkış katmanı, gizli katmandan bütün cevapları alır ve bir çıkış vektörü oluşturur. Tek çıkış katmanlı YSA modelleri daha iyi sonuçlar verirken birden fazla çıkış katmanlı modeller daha kompleks olduğundan sonuçların verimliliği etkilenmektedir [72].

YSA, arka planında matematiksel bir operasyon bulunduran tahmin ağıdır. Farklı öğrenme algoritmalarıyla birlikte çalışır. YSA'nın en temel elemanı nöronlardır. Nöronların şekli, görevi ve sayısı her proseste değişebilir. Bütün proses elemanları veri topluluğu şeklinde yer alır. Bu topluluklar verileri işler ve ilgili sonuç elemanına aldığı sonuçları aktarır. Bütün işlem, giriş verileri, ağırlıklar, toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış verileri olarak şematize edilebilir [73].

Bir YSA modelinde giriş setinden sonra 'Hidden Layers' (Gizli Katmanlar) adı verilen bir katman bulunur. Bu katmandaki nöron sayısı deneyi gerçekleştiren operatörün tercihinə göre değişebilir. Bir gizli katmandaki nöron sayısı değişebildiği gibi gizli katman sayısı da değişebilir. İşlemin amacı regresyon veya hata oranı gibi değerleri saptamak olduğundan gizli katmanlar ve nöron sayıları optimum değerleri alabildiğimiz noktaya kadar deneme-yanılma yoluyla, birbirine yakın regresyon veya hata oranı değerleri alınana kadar değiştirilir. Gizli katmanlardaki nöron sayısı

hususunda her ne kadar deneme-yanılma yolu tercih edilse de bir çalışmada bu sayının bir formüle dayandırılarak bulunduğu da söylenmektedir. Bu formül aşağıdaki gibidir:

$$N_h = \frac{2 + 0.5N_0(N_0^2 + N_i) + (N_0 \times N_i) - 3}{N_i + N_0} \quad (4.1)$$

$$N_h = \sqrt{N_0 \times N_i} \quad (4.2)$$

Burada N_0 çıkış değerlerinin sayısını temsil ederken; N_i ise giriş seti verilerinin sayısını göstermektedir [74].

YSA'da en çok kullanılan metotlardan biri olan BP (Back-Propogation) metodu bu çalışmada da uygulanacaktır. YSA'nın çalışma mantığı olarak giriş setindeki verilerin her biri gizli katmandaki her bir nöron üzerinde farklı ağırlıklar ile çarpılarak çıkış fonksiyonu ve toplam fonksiyonuna aktarılarak çıkış verisi elde edilmeye çalışılır. Bu sayede her bir nöron üzerinde bir öğrenme gerçekleşir ve optimum öğrenme en nihayetinde ortaya çıkar. Hata oranı en az olup en çok kullanılan ve çıkış verilerine en yakın olan bu öğrenme BP metoduyla tekrar giriş katmanı-gizli katman-çıkış fonksiyonu yollarını takip ederek tekrar tekrar çözülür ve optimum olan yol belirlenerek her parametre için bir formülasyon elde edilir. Bu çalışmada da metot olarak back-propogation kullanılacaktır.

Bir YSA'da modele 2 farklı algoritma ile yaklaşılır. Bunlar LM (Levenberg-Marquardt) ve MLP (Multi Layer Perception) algoritmalarıdır. İki yöntem de sıklıkla kullanılmakla beraber bu çalışmada MLP yöntemi de LM yöntemi de denenip back-propogation için optimum olan seçilecektir.

Ayrıca bir YSA'da yapay zeka içerisinde standart olarak üç farklı transfer fonksiyonu bulunur. Yapay zeka verileri nöronlar üzerinde ağırlıkları değişmek kaydıyla bu fonksiyonlar ile çözer. Bu fonksiyonlar logsig, tansig ve purelin fonksiyonlarıdır ve aşağıdaki gibidirler:

$$a = \text{tansig}(n) = \frac{2}{(1 + e^{-2n})} - 1 \quad (4.3)$$

$$a = \text{logsig}(n) = \frac{1}{(1 + e^{-n})} \quad (4.4)$$

$$a = \text{purelin}(n) \quad (4.5)$$

Burada ‘n’ bir önceki katmandan alınan veri sayısını gösterir [73]. Bu çalışmada tansig ve logsig fonksiyonları ile çalışılacaktır.

YSA için en ideal programlar olarak görülen MATLAB ve RapidMiner programlarından MATLAB programı ile ve bu program içerisinde bulunan YSA modülüyle, dolayısıyla Matlab NNtool aracılığıyla çalışılacaktır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Kullanılan Materyal ve Metod

Alüminyum alaşımlar gerek hafif olmaları gerekse dayanıklılıkları ve fiziksel özellikleri dolayısıyla birçok yeni kompozit ve alaşım malzemenin yanında sıkça tercih edilir duruma gelmiştir. Bu alaşımlar daha çok otomotiv, uçak sanayii, denizcilik, inşaat gibi sektörlerde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Alüminyum alaşımlarının bu sektörlerde kullanılır hale gelmesiyle yine bu sektörlerin imalat aşamasında karşılaşılan bağlantı elemanlarının kullanımı noktasında delik delme ihtiyacı oldukça artmıştır [75].

Alüminyum 5083 H111 alaşımı hem hafif olması hem korozyona karşı oldukça dirençli bir yapıya sahip olmasından dolayı denizcilik ve uzay sektörlerinde çoklukla tercih edilir durumdadır. Bu sektörlerdeki imalat proseslerinde ise binlerce delik delme işleminin uygulanması kaçınılmazdır. Ayrıca yüksek hassasiyet ve kalite ile üretilmeye özen gösterilen bu alanlarda bağlantı elemanlarının ve deliklerinin kalitesi her şeyden önemli hale gelmektedir. Bu işlemlerdeki kalite ve verimin maksimum düzeyde tutulması ise delme işlemindeki parametrelerin optimizasyonu ile sağlanabilir. Alüminyum 5083 H111 alaşımına ait bazı kimyasal özellikler Tablo 5.1.'de, fiziksel özellikler Tablo 5.2.'de, mekanik özellikleri ise Tablo 5.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Alüminyum 5083 H11 alaşımasının kimyasal özellikleri [76].

Element Adı	Silikon (Si)	Krom (Cr)	Magnezyum (Mg)	Bakır (Cu)	Titanyum (Ti)	Demir (Fe)	Çinko (Zn)	Alüminyum (Al)
Bileşim Oranı (%)	0,00-0,40	0,05-0,25	4,00-4,90	0,00-0,10	0,00-0,15	0,00-0,40	0,00-0,25	93,0

Tablo 5.2. Alüminyum 5083 H11 alaşımasının fiziksel özellikleri [76].

Fiziksel Özellik	Yoğunluk	Erime Noktası	Termal Genleşme	Esneklik Modülü	Termal İletkenlik	Elektriksel Dirençlilik
Değer	2,66 g/cm ³	574 °C	23.9x10 ⁻⁶ K	71 GPa	120 W/mK	%29 IACS

Tablo 5.3. Alüminyum 5083 H11 alaşımasının mekanik özellikleri [76].

Mekanik Özellik	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Uzama	Esneklik Modülü
Değer	170 (MPa)	310 (MPa)	%16-%17	71 GPa

Bu çalışmada Tablo 5.4.'te görüldüğü gibi 3 adet parametre ve 3 seviye seçilmiştir. Kesme hızı, diş başı ilerleme ve soğutma tipi giriş parametreleridir. Çıkış parametreleri olarak ise delik delme sırasında meydana gelen kuvvet alınacaktır.

Tablo 5.4. Deney parametre ve seviyeleri.

Parametreler	Seviyeler			
	Sembol	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
Kesme Hızı	V_c (m/dk)	80	100	120
Diş Başı İlerleme	f_z (mm/diş)	0,06	0,09	0,12
Soğutma Tipi		Kuru	Hava soğutmalı	Sıvı soğutmalı

Bu çalışmada HSS (yüksek hız takım çeliği) matkapla çalışılmıştır. Bunun sebebi ise karbür matkaplara kıyasla daha ekonomik olmasıdır. Çalışılan takım TiAlN kaplamalı HSSE-Co5'tir. Tüm deneyler tek tip matkapla yapılmıştır. Kesici takımın teknik özellikleri Tablo 5.4.'te, görseli ise şekil 5.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Deneylerde Kullanılan Matkabın Teknik Özellikleri.

Kesici Takım	Çap (mm)	Toplam Uzunluk (mm)	Kanal Uzunluğu (mm)	Tepe Açısı	Helis Açısı
HSSE-Co5 (Kaplamasız)	8	117	75	130°	36°



Şekil 5.1. Deneylerde Kullanılan Matkap.

Deneylerin gerçekleştirildiği düzenek Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



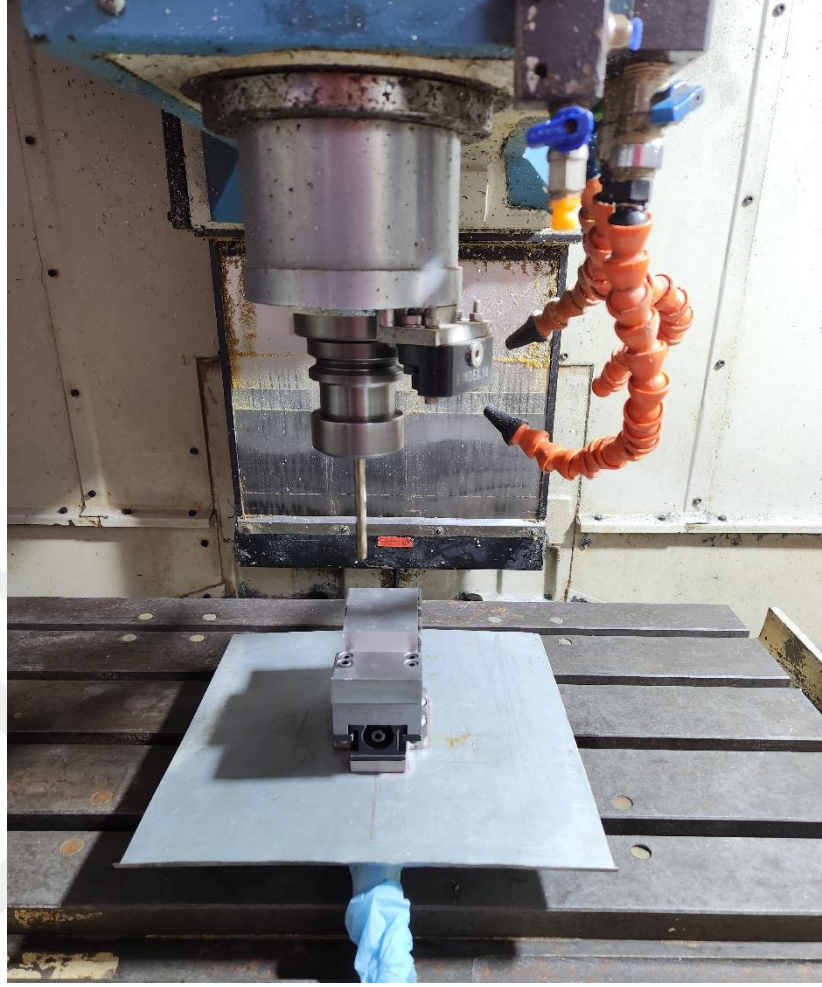
Şekil 5.2. Deney Düzeneği.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Taksan TMC-700 V marka modelindeki CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Bu işleme merkezi FANUC (O-M Serisi) kontrol paneline sahiptir. ESİT AX3 yük hücresi, NI cDAQ-9188 veri toplama ünitesi NI 9237 modülü ve Flexlogger adlı yazılımla kuvvet verileri toplanmıştır.

Deney verilerinin sonucunda çıkarım yapılmakla beraber sonuçlar Bölüm 4'te bahsedilen YSA yöntemiyle de yapay zekayla yorumlanacaktır.

5.2. Deney Bulguları

Deneyler, 8 mm çaplı kesici takımlar ile 60x70 mm ölçülerindeki 20 mm kalınlığındaki Alüminyum 5083 H-111 numuneler ile gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımı ve numunenin bağlantısı Şekil 5.2.'de gösterildiği gibidir.



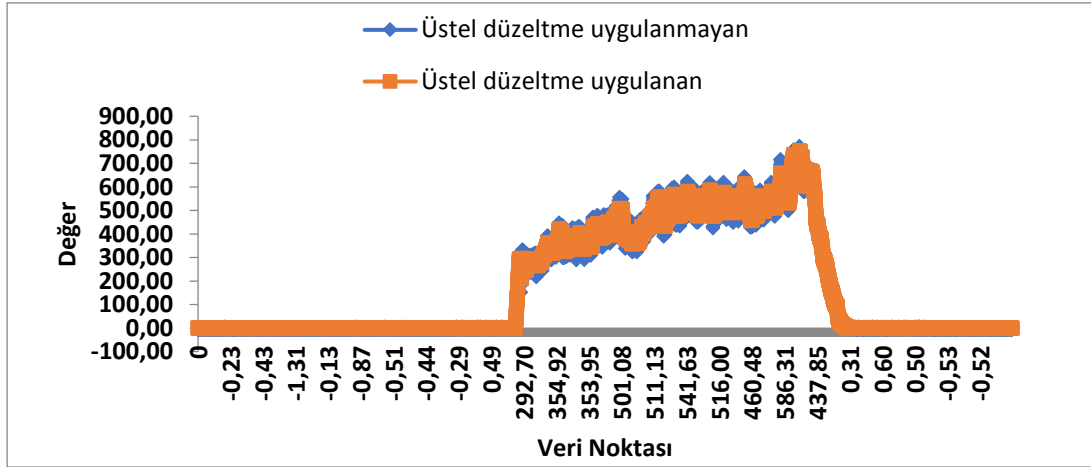
Şekil 5.3. Tezgaha sabitlenen alüminyum 5083 H-111 alaşımı numune.

Delme deneyleri esnasında ölçülen kuvvetler 0,0006 saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Her ne kadar kuvvet ölçümü 3 eksende (f_x , f_y , f_z) yapılmış olsa da z eksenindeki maksimum kuvvetler dikkate alınarak optimizasyon işlemleri yürütülmüştür. Yalnızca z eksenindeki kuvvetlerin baz alınmasının sebebi ise x ve y eksenlerinde meydana gelen kuvvetlerin z eksenine kıyasla çok daha düşük olmasıdır.

5.2.1. Maksimum kuvvetlerin tespiti

Her bir soğutma türünde gerçekleştirilen deney için Kuvvet-Deplasman grafiği çıkarılmıştır. Verilerde sinyal gürültüleri olduğu görüldüğünden üstel düzeltme yöntemi kullanılmıştır.

Şekil 5.4.'te üstel düzeltme yöntemi uygulanan ve sinyal gürültüleri mevcut olan Kuvvet-Deplasman grafiği ile üstel düzeltme uygulanmamış sinyal gürültüleri mevcut olmayan grafik birlikte gösterilmiştir.

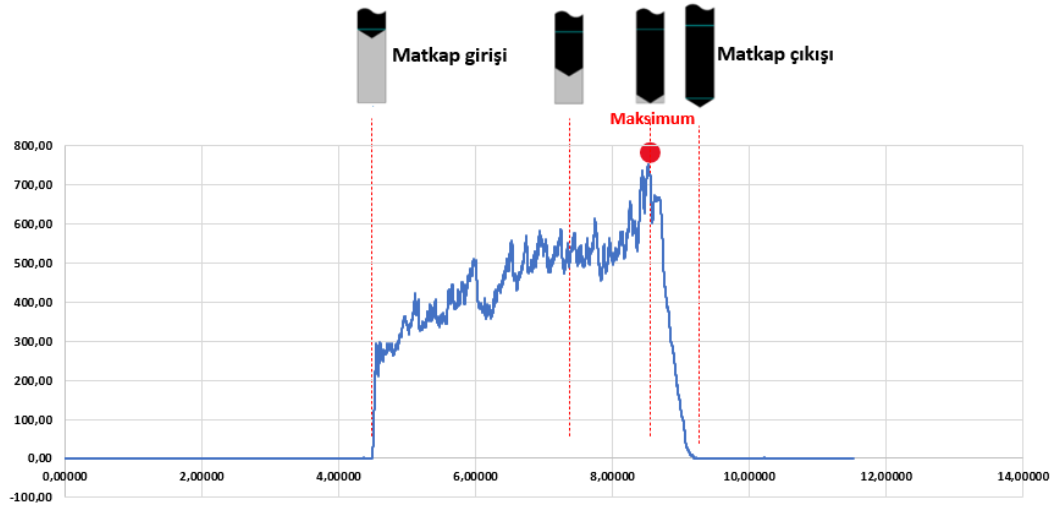


Şekil 5.4. Üstel düzeltme yöntemi uygulanan ve uygulanmayan Kuvvet-Deplasman grafiği.

Elde edilen deney verilerinden maksimum kuvvetlerin tespitini belirtmek amacıyla 5 no'lu deliğe ait Kuvvet-Deplasman grafiği örnek olarak gösterilmiştir. Bu metot delinen deliklerin tümüne ayrı ayrı uygulanmış ve Z eksenindeki (işleme yönündeki) maksimum kuvvetler belirlenmiştir.

Grafiklerin birçoğunda Şekil 5.4.'teki grafikte olduğu gibi kesici takımın numunenin içine dalışta boyun verme sonrasında devam etme eğilimi olduğu gözlenmiştir. Fakat bu durum her delikte görülmemiştir. Kesici takımın numuneyi terk etmeden hemen önceki konumunda ise kuvvet artışı bu grafikte olduğu gibi hemen her işlemde görülmüştür.

Şekil 5.5.'te üstel düzeltme yöntemi uygulanan Kuvvet-Deplasman grafiğinde maksimum kuvvetin belirlenmesi ve matkabın numuneye göre konumları gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Matkap konumlarına göre maksimum kuvvetlerin Kuvvet-Deplasman grafiği üzerinde gösterimi.

Deneylerde kullanılan matkabın omuz yüksekliği 2,4 mm'dir. 2,4 mm deplasman değerinde matkabın omuz kısmının tamamen parçaya girmiş olduğu görülmektedir. Omuz kısmının tam girdiği aralıkta kesme kuvvetinin arttığı gözlenmektedir. 2,4 mm'den 20 mm'ye kadar olan deplasman aralığında matkap, numuneyi boşaltmaya devam etmiştir ve aralıklarla yaklaşık 150 N bandında kuvvet artış ve düşüşleri mevcuttur. 20 mm deplasman değerinde artık matkabın ucu numunenin en alt noktasındadır ve bu nokta maksimum kuvvetin görüldüğü noktadır. Matkabın omuz kısmı 20 mm'yi aştıktan sonra (20-22,4 mm aralığında) numunenin dışına çıkmaya başladığı zaman dilimi olmakla beraber kuvvetin yavaşlayarak azaldığı görülmüştür. 22,4 mm deplasman değerinde ise omuz kısmı tamamıyla parça dışında kalmıştır. Bu sebeple deliğin tamamen açılmış olduğu ve numune ve matkap üzerinde herhangi bir kuvvet etkisinin kalmadığı söylenebilir.

Deneyler dahilinde delinen tüm deliklerin grafik çıktıları Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.'e yakın grafikler olduğu fakat tüm deliklerin Kuvvet-Deplasman grafiğinin bu tarz bir karakteristiğe sahip olmayabileceği unutulmamalıdır. Maksimum kesme kuvvetinin ise 22 mm deplasman değerinden başka deplasman değerlerinde tespit edildiği deneyler mevcut olduğundan, maksimum kuvvet takım uç noktasının numunenin dip noktasında meydana geleceği genellemesinin yapılması hatalı olacaktır.

5.3. Deney Sonuçları

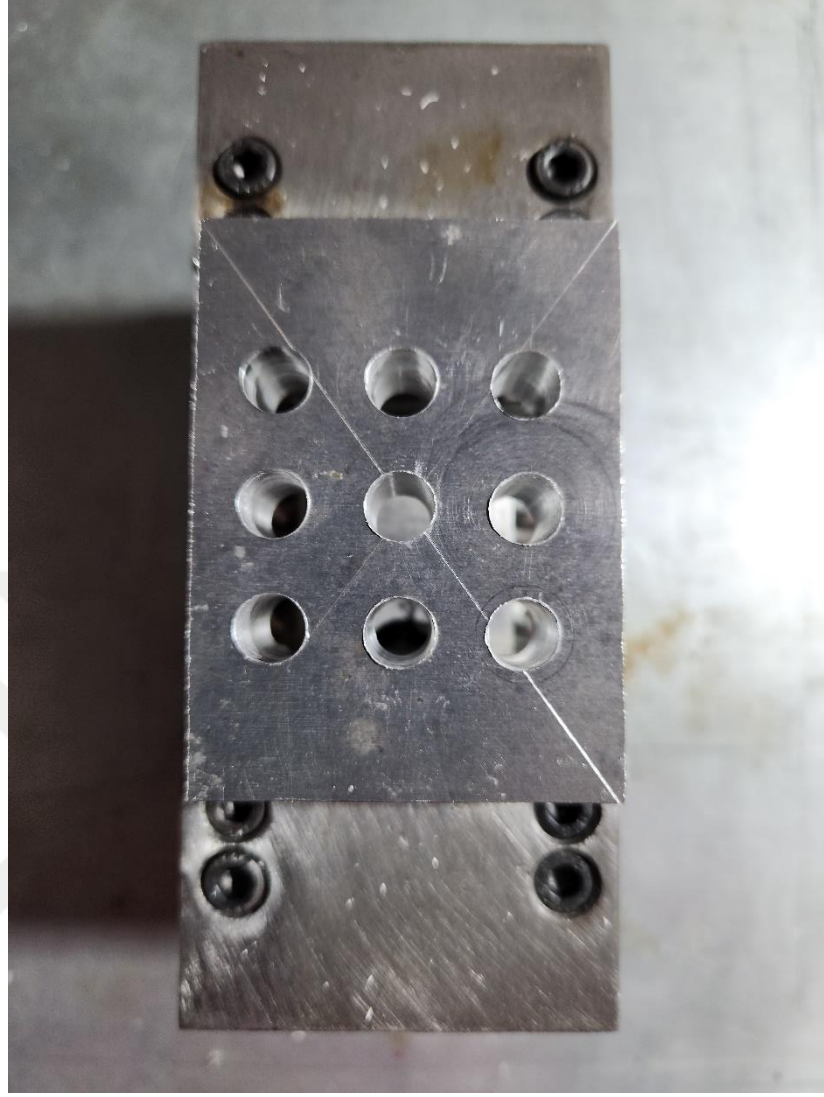
5.3.1. Kuru delinen deliklere ait kesme kuvvetleri

Tablo 5.5.'te HSSE-Co5 (kaplamasız) matkapla, herhangi bir soğutma işlemi uygulanmadan, kuru delinen deliklerden elde edilen maksimum kesme kuvvetleri gösterilmiştir. Z eksenindeki maksimum kuvvet değeri üstel düzeltme yöntemi kullanıldıktan sonra tespit edilip tabloya dahil edilmiştir. Tablodaki deney numaralarının her biri numune üzerinde açılan bir deliğe karşılık gelmektedir. V_c kesme hızını, f_z diş başına ilerleme miktarını, n devir sayısını, V_f ilerleme hızını ve $f_{z,maks}$ maksimum kesme kuvvetini göstermektedir.

Tablo 5.6. Kuru delinen deliklere ait parametreler ve maksimum kesme kuvveti.

Deney no	V_c m/min	f_z mm/diş	Soğutma	N rpm	V_f mm/min	f_z maks (N)
1	80	0,06	Yok	3183	191	429,78
2	80	0,09	Yok	3183	286	847,99
3	80	0,12	Yok	3183	382	1029,17
4	100	0,06	Yok	3979	239	813,63
5	100	0,09	Yok	3979	358	899,73
6	100	0,12	Yok	3979	477	971,2
7	120	0,06	Yok	4775	286	763,08
8	120	0,09	Yok	4775	430	854,92
9	120	0,12	Yok	4775	573	929,59

Kaplamasız HSSE-Co5 matkap ile kuru delinen deliklere ait görsel Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Kuru delinen Al 5083 H111 alaşım numunesi.

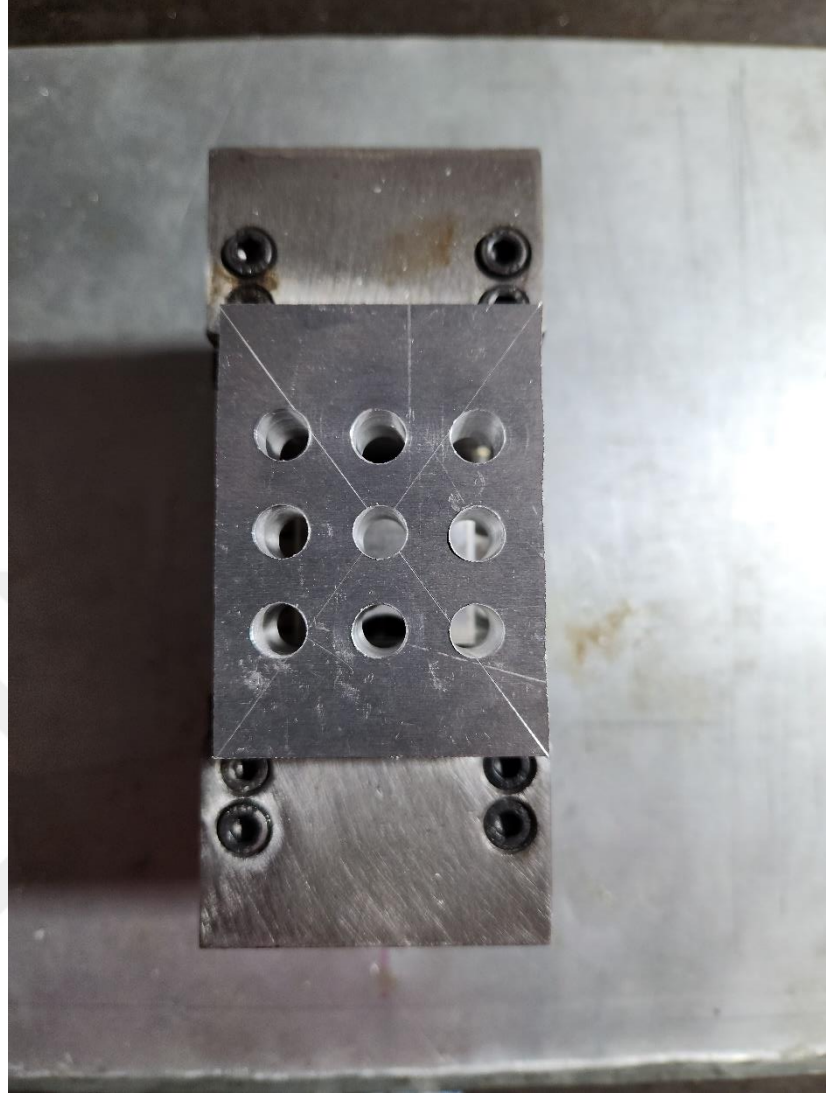
5.3.2. Hava ile soğutularak delinen deliklere ait kesme kuvvetleri

Tablo 5.6.'da HSSE-Co5 (kaplamasız) matkapla, hava ile soğutularak delinen deliklerden elde edilen maksimum kesme kuvvetleri gösterilmiştir. Z eksenindeki maksimum kuvvet değeri üstel düzeltme yöntemi kullanıldıktan sonra tespit edilip tabloya dahil edilmiştir. Tablodaki deney numaralarının her biri numune üzerinde açılan bir deliğe karşılık gelmektedir. V_c kesme hızını, f_z diş başına ilerleme miktarını, n devir sayısını, V_f ilerleme hızını ve $f_{z,maks}$ maksimum kesme kuvvetini göstermektedir.

Tablo 5.7. Hava ile soğutularak delinen deliklere ait parametreler ve maksimum kesme kuvveti.

Deney no	V_c m/min	f_z mm/diş	Soğutma	N rpm	V_f mm/min	f_z maks (N)
1	80	0,06	Hava	3183	191	430,43
2	80	0,09	Hava	3183	286	771,93
3	80	0,12	Hava	3183	382	1.026,17
4	100	0,06	Hava	3979	239	771,82
5	100	0,09	Hava	3979	358	913,46
6	100	0,12	Hava	3979	477	980,75
7	120	0,06	Hava	4775	286	773,76
8	120	0,09	Hava	4775	430	922,81
9	120	0,12	Hava	4775	573	928,16

Kaplamasız HSSE-Co5 matkap ile hava ile soğutma uygulanarak delinen deliklere ait görsel Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Hava ile soğutularak delinen Al5083 H111 alaşım numunesi.

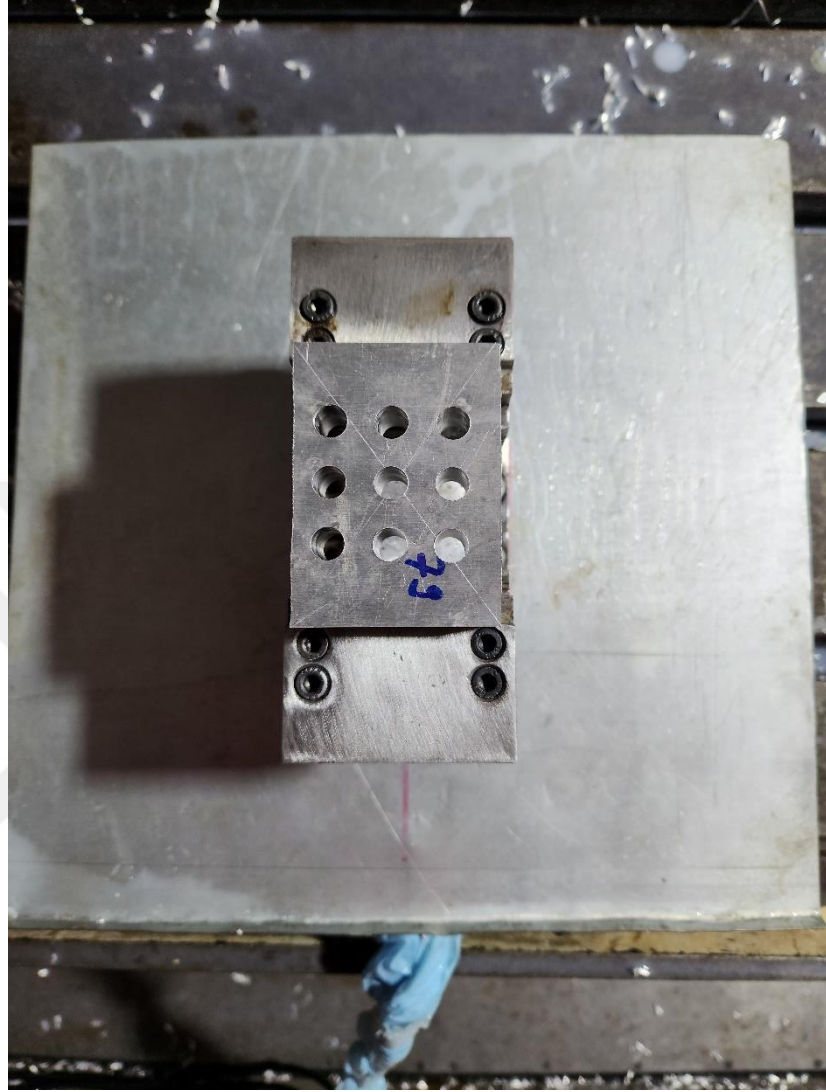
5.3.3. Sıvı ile soğutularak delinen deliklere ait kesme kuvvetleri

Tablo 5.7.'de HSSE-Co5 (kaplamasız) matkapla, soğutma sıvısı ile soğutularak delinen deliklerden elde edilen maksimum kesme kuvvetleri gösterilmiştir. Z eksenindeki maksimum kuvvet değeri üstel düzeltme yöntemi kullanıldıktan sonra tespit edilip tabloya dahil edilmiştir. Tablodaki deney numaralarının her biri numune üzerinde açılan bir deliğe karşılık gelmektedir. V_c kesme hızını, f_z diş başına ilerleme miktarını, n devir sayısını, V_f ilerleme hızını ve $f_{z,maks}$ maksimum kesme kuvvetini göstermektedir.

Tablo 5.8. Soğutma sıvısı kullanılarak delinen deliklere ait parametreler ve maksimum kesme kuvveti.

Deney no	V_c m/min	f_z mm/diş	Soğutma	N rpm	V_f mm/min	f_z maks (N)
1	80	0,06	Sıvı	3183	191	313,55
2	80	0,09	Sıvı	3183	286	485,72
3	80	0,12	Sıvı	3183	382	743,53
4	100	0,06	Sıvı	3979	239	440,49
5	100	0,09	Sıvı	3979	358	556,12
6	100	0,12	Sıvı	3979	477	905,36
7	120	0,06	Sıvı	4775	286	516,68
8	120	0,09	Sıvı	4775	430	713,96
9	120	0,12	Sıvı	4775	573	841,25

Kaplamasız HSSE-Co5 matkap ile sıvı soğutma uygulanarak delinen deliklere ait görsel Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Soğutma sıvısı ile soğutularak delinen Al5083 H111 alaşım numunesi.

5.4. Deney Sonuçlarının Analizi

Deney sonuçları, bu çalışmanın asıl amacı olan AA5083-H111 alaşımının kuru, hava ve sıvı soğutma dahilinde kesme kuvveti ölçümü ve karşılaştırma yapılması amacıyla analiz edilecektir. Analiz, MATLAB yazılımı Neural Net Fitting uygulaması yardımıyla gerçekleştirilecektir. Yapay zeka yardımıyla kesme kuvvetleri tahmin edilecek, deney sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Toplamda 27 delik delinmiş ve Z ekseninde alınan kesme kuvvetleri 3 ana parametre ve 2 proses parametresiyle birlikte Tablo 5.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9. Deney parametre ve sonuçları.

Deney no.	Vc (m/dk)	f _z (mm/diş)	Soğutma Tipi	n (rpm)	Vf (mm/dk)	Fmax (Z ekseni) (N)
1	80	0,06	Kuru	3183	191	429,78
2	80	0,09	Kuru	3183	286	847,99
3	80	0,12	Kuru	3183	382	1029,17
4	80	0,06	Hava	3183	191	430,43
5	80	0,09	Hava	3183	286	771,93
6	80	0,12	Hava	3183	382	1.026,17
7	80	0,06	Sıvı	3183	191	313,55
8	80	0,09	Sıvı	3183	286	485,72
9	80	0,12	Sıvı	3183	382	743,53
10	100	0,06	Kuru	3979	239	813,63
11	100	0,09	Kuru	3979	358	899,73
12	100	0,12	Kuru	3979	477	971,2
13	100	0,06	Hava	3979	239	771,82
14	100	0,09	Hava	3979	358	913,46
15	100	0,12	Hava	3979	477	980,75
16	100	0,06	Sıvı	3979	239	440,49
17	100	0,09	Sıvı	3979	358	556,12

Tablo 5.9.(Devamı) Deney parametre ve sonuçları

18	100	0,12	Sıvı	3979	477	905,36
19	120	0,06	Kuru	4775	286	763,08
20	120	0,09	Kuru	4775	430	854,92
21	120	0,12	Kuru	4775	573	929,59
22	120	0,06	Hava	4775	286	773,76
23	120	0,09	Hava	4775	430	922,81
24	120	0,12	Hava	4775	573	928,16
25	120	0,06	Sıvı	4775	286	516,68
26	120	0,09	Sıvı	4775	430	713,96
27	120	0,12	Sıvı	4775	573	841,25

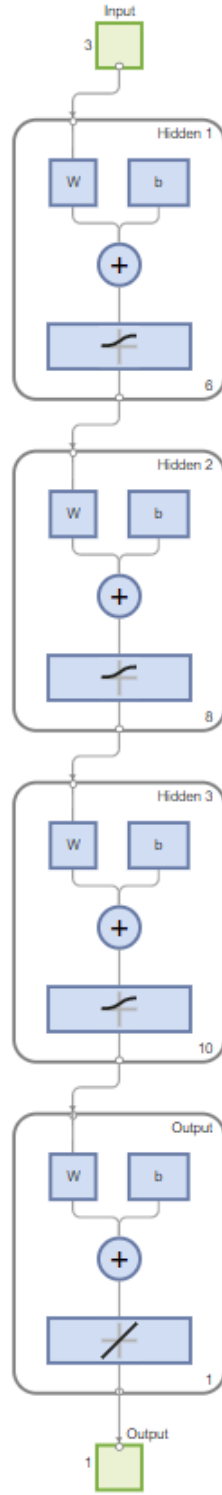
Burada V_c kesme hızını, f_z ilerleme miktarını, n devir sayısını, V_f ilerleme hızını F_{max} ise Z eksenindeki maksimum kesme kuvvetini temsil etmektedir.

MLP metodu kullanılan çalışmada girdi olarak 3 adet parametre girilmiş, çıktı olarak kesme kuvveti istenmiştir.

Bu çalışmada her üç soğutma tipiyle delme esnasında yapılan deneylerin sonuçları analiz edilirken aplikasyon içerisinde bulunan metotlardan Levenberg-Marquardt backpropagation metodunu kullanarak makine öğrenmesinin ve analizin daha verimli olduğu anlaşılmış, dolayısıyla bu metotla çalışılmıştır. Verilerin %15'i test için, %15'i doğrulama için, %70'i ise eğitim fonksiyonunda kullanmak için ayrılmıştır. 3 girdi, 1 çıktı ve 3 adet gizli katman ile çalışılmış, ilk gizli katmana 6, ikinci gizli katmana 8, üçüncü gizli katmana ise 10 adet nöron atanmıştır.

Sırasıyla 2-4-6, 4-6-8, 8-6-10, 6-8-10, 3-5-7, 8-10, 6-8, 6-10, 1-3-7 nöron dizilimli katmanlar ile 3'er kez öğrenme denenmiş fakat %10'un altında hata oranı elde edilememiş, en az hata oranı ve makine öğrenmesi 6-8-10 dizilimli alternatiften elde edilmiştir. Bu dizilim seçimleri önceki çalışmaları baz alarak tahmin ve deneme-yanılma temellidir. Bu katmanların her birisi için logsig ve tansig fonksiyonları farklı kombinasyonlarla denenmiş, tüm katmanlar için tansig fonksiyonunun daha verimli olduğu görülmüştür. Çalışılan yapay sinir ağı şeması Şekil 5.9.'da gösterilmiştir.





Şekil 5.9. Yapay sinir ağı şeması.

Tablo 5.10. Deneysel ve YSA tahmini verileri arasındaki yüzde fark.

Deney no.	Deneysel f_z	YSA Sonucu f_z	Yüzde Fark
1	429,78	429,76	0
2	847,99	847,99	0
3	1029,17	906,88	13
4	430,43	475,21	9
5	771,93	771,92	0
6	1.026,17	1.026,09	0
7	313,55	436,77	28
8	485,72	487,19	0
9	743,53	743,28	0
10	813,63	813,64	0
11	899,73	919,38	2
12	971,2	918,33	6
13	771,82	771,80	0
14	913,46	1.051,87	13
15	980,75	980,69	0
16	440,49	440,75	0
17	556,12	470,53	18
18	905,36	905,38	0

Tablo 5.10.(Devamı) Deneysel ve YSA tahmini verileri arasındaki yüzde fark.

19	763,08	822,51	7
20	854,92	854,96	0
21	929,59	929,59	0
22	773,76	773,76	0
23	922,81	922,77	0
24	928,16	928,18	0
25	516,68	517,12	0
26	713,96	714,10	0
27	841,25	841,22	0

Tablo 5.10.'da deneysel olarak elde edilen kesme kuvveti verileri ve YSA ile elde edilen kesme kuvveti verileri birlikte verilmiş, iki değer arasındaki farkın yüzde cinsinden karşılığı gösterilmiştir. 27 adet delikten 19'unda yapay zekanın %0'a çok yakın bir hata farkıyla tahmin ettiği, ortalama olarak ise %3,63 hata farkıyla 27 adet delikte oluşacak kesme kuvvetini tahmin ettiği görülmektedir.

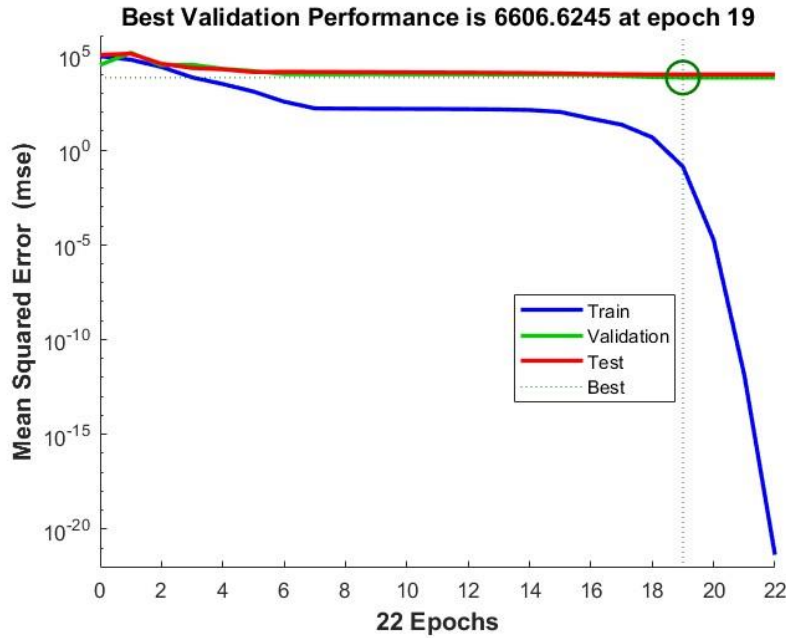
Veriler arasındaki yüzde fark aşağıdaki formül vasıtasıyla saptanmıştır.

$$\frac{(x_1 - x_2)}{x_2} \times 100 \quad (5.1)$$

Burada x_1 deneysel veriyi, x_2 ise YSA ile elde edilen veriyi temsil etmektedir.

Şekil 5.10.'da görülen ortalama kare hatası grafiğinden anlaşılabileceği üzere yazılım 22 iterasyonu yeterli görmüş, en iyi değer 19.iterasyonda elde edildiğini söylemiştir.

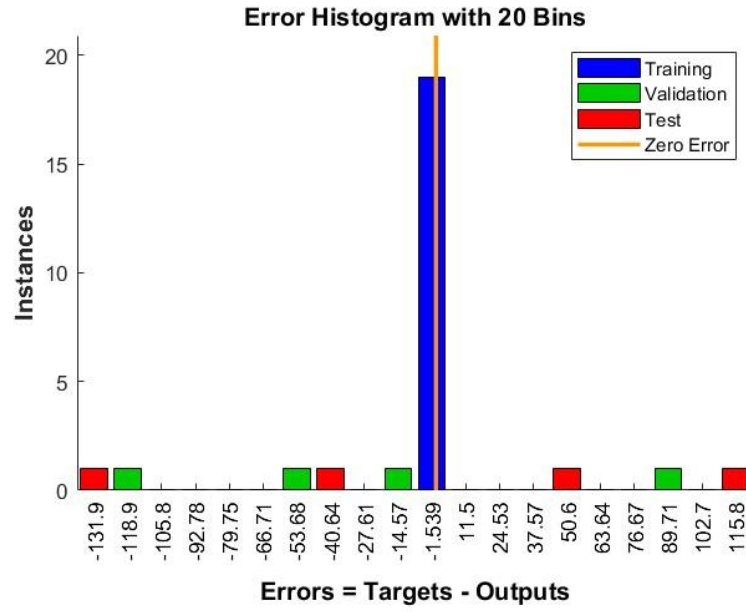
Test ve doğrulama değerleri 19.iterasyondan itibaren kararlı bir hale gelmişken eğitim değerleri kararlı hali yakalayamamakla beraber hata oranının azalarak devam ettiği ve sıfır noktasına ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5.10. Ortalama kare hatası grafiği.

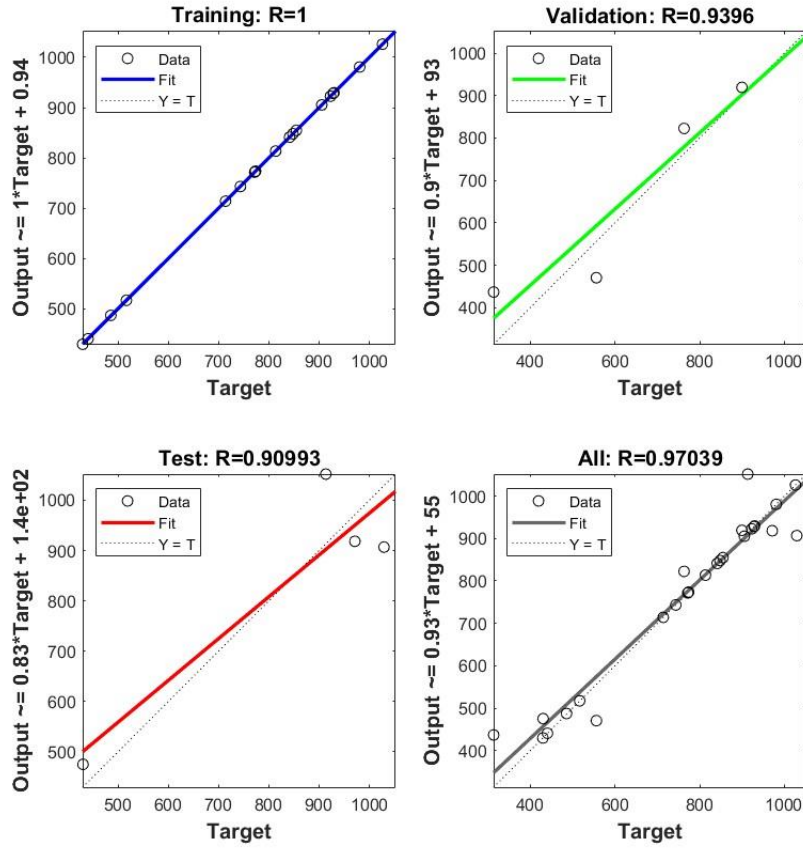
Şekil 5.11.'de hata histogram grafiği verilmiştir. Bu grafikte, eğitim verilerinin hata oranının sıfır çizgisine yakın olduğu ve bu oranın kabul edilebilir seviyede olduğu söylenebilir.

Öte yandan grafik test ve doğrulama değerlerinin hata oranının müstakil olarak daha yüksek olduğunu göstermektedir. Eğitim verilerinin ortalama %1.53 hatayla deney sonuçlarına yaklaştığı görülmektedir.



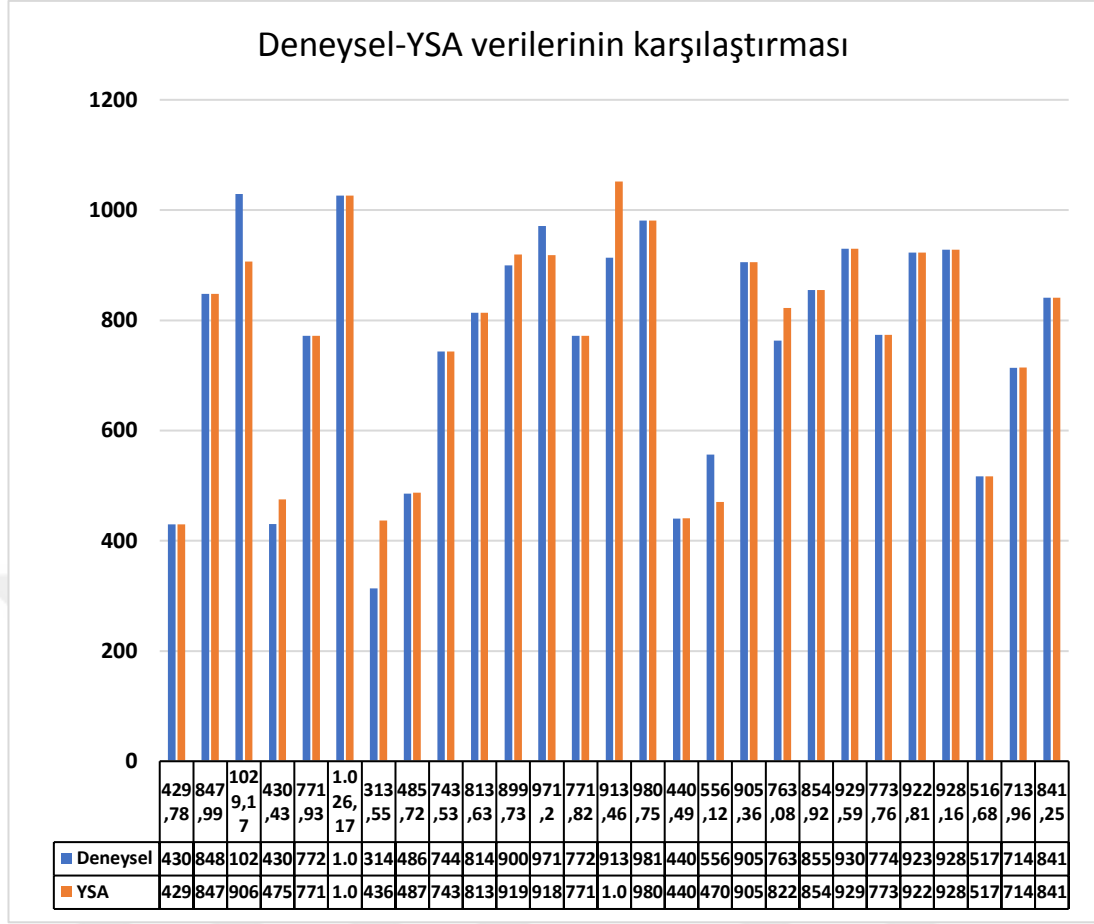
Şekil 5.11. Hata histogram grafiği.

Şekil 5.12.'de YSA analizi sonucu elde edilen regresyon grafiği görülmektedir. Grafikteki mavi şerit eğitim verilerinin çıktılarını gösterir. Görüldüğü üzere eğitim verileri ve deneysel veriler neredeyse tamamen örtüşmektedir. Bununla beraber doğrulama ve test verilerinde hata oranı daha yüksek seyretmiştir. Regresyon genel grafiğine bakıldığında ise 8 tahminin deneylere göre daha uzakta kaldığı görülebilmektedir. Bu sonuç, Tablo 5.10.'da karşılaştığımız sonucun grafik üzerinde gösterimi niteliğindedir. Regresyon grafiğinde bu 8 veri dışındaki tahminlerin ise tolere edilebilir seviyelerde gerçekleştiği görülebilmektedir. Ayrıca genel grafik, YSA tahmininin 0,97 oranında bir gerçeklikle gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 5.12. Regresyon grafiği.

Şekil 5.7.'de deneysel veriler ile YSA tahminlerinin histogram grafiği üzerinde gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.13. Deneysel veriler ile YSA tahminlerinin histogram grafiğinde karşılaştırması.

Elde edilen deneysel ve YSA tahmin verileri ayrıca MAPE değeri formatında değerlendirilmiştir. MAPE formülü 5.1’de verilmiştir.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}}{Y_i} \right| \quad (5.1)$$

Modellerin MAPE değeri %10'un altında ise çok iyi, %10-20 arası iyi, %20-50 arası kabul edilebilir, %50'nin üzerinde ise yanlış olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın MAPE değeri %3,63 seviyesinde gerçekleşmiştir ve çok iyi olarak değerlendirilebilir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez kapsamında Al5083-H111 alaşımına delik delme prosesi çerçevesinde kesme kuvveti ölçümü deneyleri yürütülmüş, gerekli ölçümler yapılmıştır. Bu prosesler esnasında 3 farklı kesme hızı (80,100,120 m/dk), 3 farklı diş başına ilerleme miktarı (0.06, 0.09, 0.12 mm/diş), 3 farklı soğutma tipi (kuru, hava soğutmalı ve sıvı soğutmalı) olmak üzere 3 adet parametre ile çalışılmıştır. Deneyler kuru ortamda, hava soğutması ile ve soğutma sıvısı ile soğutularak 3 farklı ortam şartında gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında TiAlN kaplamalı HSSE-Co5 matkap kullanılmıştır. Taksan TMC-700 V marka ve model CNC dik işleme merkezinde yapılan deneyler ile bahsi geçen alaşımın delik delme işlemi esnasında takımlara karşı gösterdiği direnç, yani kesme kuvvetini saptamak amaçlanmıştır. Bu sayede çalışılan matkap ile bu malzeme üzerinde çalışırken optimum kesme parametrelerini belirlemek hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında ayrıca MATLAB programında bulunan NNTools aracılığıyla yapay sinir ağları kullanılmış, çalışılan parametreler dahilinde normal şartlar altında alınabilecek muhtemel sonuçlar makine öğrenmesi vasıtasıyla yapay zekaya tahmin ettirilmiştir. Bu sayede hem yapılan deneylerin sıhhati analiz edilmiş, hem de yapay zekanın bu noktada verimliliği ölçülmüştür. Nitekim yapay zeka tahminleri, yapılan 3 farklı deneyde ortalama %3.63 hata oranıyla gerçek deneylere yaklaşmıştır. En nihayetinde YSA vasıtasıyla elde edilen veriler ile deneylerden alınan veriler karşılaştırılmıştır. Varılan sonuçlar şu şekildedir:

- Kuru şartlarda delme için sabit kesme hızı ve devir sayısında diş başı ilerleme ve ilerleme hızı arttıkça meydana gelen kesme kuvveti artmıştır. 3 kademe içerisinde kademe artırdıkça kesme kuvveti artış oranı ortalama 300 N'dur. Kuru delmede 80 m/dk ve 3183 dev/dk sabit parametreleri için optimum değere ulaşılan diğer iki parametre 0,06 mm/diş ve 191 mm/dk'dır.
- Kuru delme şartlarında sabit 100 m/dk hız ve 3979 dev/dk için diş başı ilerleme ve ilerleme hızı arttıkça meydana gelen kesme kuvveti artmıştır. Optimum

parametreler 0,06 mm/diş ve 191 mm/dk'dır. Kademe atladıkça ortalama artış 79 N olarak ölçülmüştür ve artış miktarları birbirine oldukça yakındır.

- Kuru delme şartlarında sabit 120 m/dk ve 4774 dev/dk için diş başı ilerleme ve ilerleme hızı arttıkça meydana gelen kesme kuvveti artmıştır. Optimum parametreler 0,06 mm/diş ve 191 mm/dk'dır. Kademe atladıkça ortalama artış 83 N olarak ölçülmüştür. Artış oranları birbirine yakındır.
- Hava ile soğutularak delinen deliklerde 80 m/dk ve 3183 dev/dk için diş başı ilerleme ve ilerleme hızının artışıyla kesme kuvvetinde de artış gözlenmiştir. Optimum parametreler yine 0,06 mm/diş ve 191 mm/dk'dır. Bu parametreler arttıkça kesme kuvvetindeki ortalama artış yaklaşık 293 N'dur. Artış oranları birbirine yakındır.
- Hava ile soğutularak delinen deliklerde 100 m/dk ve 3979 dev/dk için diş başı ilerleme ve ilerleme hızının artışıyla kesme kuvvetinde de artış gözlenmiştir. Optimum parametreler yine 0,06 mm/diş ve 239 mm/dk'dır. Bu parametreler arttıkça kesme kuvvetindeki ortalama artış yaklaşık 102 N'dur.
- Hava ile soğutularak delinen deliklerde 120 m/dk ve 4775 dev/dk için diş başı ilerleme ve ilerleme hızının artışıyla kesme kuvvetinde de artış gözlenmiştir. Optimum parametreler yine 0,06 mm/diş ve 286 mm/dk'dır. Bu parametreler arttıkça kesme kuvvetindeki ortalama artış yaklaşık 72 N'dur. Artış oranları birbirine yakındır.
- Sıvı ile soğutularak delinen deliklerde 80 m/dk ve 3183 dev/dk için diş başı ilerleme ve ilerleme hızının artışıyla kesme kuvvetinde de artış gözlenmiştir. Optimum parametreler yine 0,06 mm/diş ve 191 mm/dk'dır. Bu parametreler arttıkça kesme kuvvetindeki ortalama artış yaklaşık 230 N'dur. Artış oranları birbirinden nispeten uzaktır.
- Sıvı ile soğutularak delinen deliklerde 100 m/dk ve 3979 dev/dk için diş başı ilerleme ve ilerleme hızının artışıyla kesme kuvvetinde de artış gözlenmiştir. Optimum parametreler yine 0,06 mm/diş ve 239 mm/dk'dır. Bu parametreler arttıkça kesme kuvvetindeki ortalama artış yaklaşık 243 N'dur. Artış oranları arasında yaklaşık 240 N fark olduğu görülmüştür.
- Sıvı ile soğutularak delinen deliklerde 120 m/dk ve 4775 dev/dk için diş başı ilerleme ve ilerleme hızının artışıyla kesme kuvvetinde de artış gözlenmiştir.

Optimum parametreler yine 0,06 mm/diş ve 286 mm/dk'dır. Bu parametreler arttıkça kesme kuvvetindeki ortalama artış yaklaşık 176 N'dur. Artış oranları birbirinden nispeten uzaktır.

- YSA ile yapılan tahminlerde en verimli gizli katman diziliminin 6-8-10 nöron dizilimi olduğu görülmüştür.
- Bu gizli katmanlarda ise en verimli fonksiyonun tansig fonksiyonu olduğu saptanmıştır.
- Tüm deney verileri ile YSA tahmin verileri karşılaştırıldığında MAPE değerinin %3,63 seviyesinde olduğu görülmüştür.
- Bütün soğutma tiplerinde ilerleme hızı ve kesme hızı artırıldıkça kesme kuvvetinin arttığı açıkça görülmektedir.
- Soğutma tipinden bağımsız olarak da ilerleme hızı ve kesme hızı artışında kesme kuvvetinin arttığı gözlenmiştir.
- En düşük parametre değerlerinde kuru-hava ve hava-sıvı soğutma tipleri arasındaki değişime yüzde olarak bakıldığında kuru-hava soğutma arasında kademeler arasında sırasıyla %0,001, %0,5 ve %0,01 fark olduğu; hava-sıvı soğutma tipleri arasında ise her kademede sırasıyla %27, %42,9 ve %33,2 fark olduğu gözlenmiştir.
- Hem bu sonuçlar ışığında, hem de sıvı soğutmalı delinen 3 kademe dahilindeki deliklerden alınan verilerden anlaşılabilir ki; AA5083 H-111 alaşımının yukarıda bahsedilen şartlar ve teçhizatlar ile delinmesinde optimum parametreler 100 m/dk kesme hızı, 0,06 mm/diş, diş başı ilerleme ve sıvı soğutmalı olarak karşımıza çıkmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] Şeker, U. (2000). Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı. [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- [2] Bayraktar, Ş., Siyambaş, Ş., Turgut, Y.. (2017). Delik delme prosesi: bir araştırma. *Sakarya University Journal of Science*. 21/2, 120-130. <https://doi.org/10.16984/sofenbilder.296833>
- [3] Giasin, K., Hodzic, A., Phadnis, V., Soberanis, S.A.. (2016). “Assessment of cutting forces and hole quality in drilling Al2024 aluminium alloy”, experimental and finite element study”, *Int J Adv Manuf Technoloji*, 87, 2041–2061. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8563-y>
- [4] Erdoğan, M. (Ed). (1983). *Demir Dışı Alaşımlar, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- [5] Sreejith, P.S. (2008). Machining of 6061 aluminium alloy with MMS, dry and flooded lubricant conditions. *Material Letters*. 62. 276–278. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.05.019>
- [6] Li, K-M, Chou, S-Y. (2010). Experimental evaluation of minimum quantity lubrication in near micro-milling. *Journal of Materials Processing Technology*. 210. 2163–2170. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.07.031>
- [7] Oxford, JR., Shaw, M.C. (1955). On The Drilling Of Metals II- The Torque and Thrust in Drilling. *The American Society of Mechanical Engineers*. 3:68, 127. <https://doi.org/10.1115/1.4012944>
- [8] Shin, Y.C., Waters, A.J. (1997). A New Procedure to Determine Instantaneous Cutting Force Coefficients for Machining Force Prediction. *Int. J. Tools Manufact.* 37:1337,1351. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(96\)00093-4](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(96)00093-4)
- [9] Korucu, S., Günay, M., Kurt A., Şeker U. (2009). Yekpare takma uçlu matkaplarla delme işlemlerinde kesici takım üzerindeki gerilmelerin matematiksel modellenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09). Karabük, Türkiye.
- [10] Totten, G. E., Mackenzie, D. S. (2003). *Handbook of Aluminum. Vol. 1 Physical Metallurgy and Processes*. 1, CRC press.
- [11] Dwight, J. (2002). *Aluminium Design and Construction*. (1) CRC Press.
- [12] Kaufman, J. G. (2000). *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*, 1. ASM International.
- [13] Witkowska, M. (2013). *Interogation of the Manufacturing Route of Aluminium AA 1050 Used in Lithographic Application*. [Doktora Tezi]. The University of Manchester (United Kingdom).

- [14] Mandal, N. R. (2001). *Aluminium Welding*. (1) Woodhead Publishing.
- [15] Lumley, R. (2010). *Fundamentals of Aluminium Metallurgy: Production, Processing and Applications*. [Doktora Tezi]. La Trobe University.
- [16] Kaufman, J. G., Rooy E. L. (2004). *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications*. (1) ASM International.
- [17] Kaufman, G. (2000). *Aluminum alloys and Tempers, Materials Park O.H.* (1) ASM International.
- [18] Singh, R.. (2012). *Applied Welding Engineering, Butterworth-Heinemann* (3) Elsevier.
- [19] Ashby, M. and Jones D. (1999). *Engineering Material 2 An Introduction to Microstructure, Processing and Design*. (4). Cambridge: Butterworth-Heinemann.
- [20] Adams, J. and et. al. (1992). Volume 2 Properties and Selction of Non-ferrous Alloys. içinde *ASM Handbook* (1, 250-562). Ohio, ASM International.
- [21] Mısırlı, C. (2011). *5083 kalite alüminyum alaşımının homojenize edilerek sertlik değerlerinin ve mikroyapılarının incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi]. Trakya Üniversitesi.
- [22] Horita, Z., Fujinami, T., Nemoto, M., Langton,T.G. (2001). Improvement of mechanical properties for Al alloys using equal-channel angular pressing. *Journal of Materials Processing Tecnology*. 117(1), 288-292. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00783-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00783-X).
- [23] Anver, S.H. (1984). *Introduction to Physical Metallurgy*. (2), Mc Graw-Hill Book Company.
- [24] Rajesh, S., Chandramohan, D., & Sathish, T. (2020). Machining parameters optimization of surface roughness analysis for AA5083 - Boron carbide (B4C) composites. *Materials Today: Proceedings*, 33(1), 15-48. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.296>
- [25] Meral, G., (2010). *1050 malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- [26] Tonshoff, H.L., Spintig, W., Konig, W., Neises, A. (1994). Machining of Holes Developments in Drilling Techonolgy, *Annals of the CIRP*. 43-2, 551-560. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60501-0](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60501-0)
- [27] Batman, Ö. (2019). *2011-T6 Alüminyum alüminyum alaşımının delik delme işleminde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi] Sakarya Üniversitesi.
- [28] Dinç, C., Lazoglu, I., Serpenguzel A., (2008). Analysis Of Thermal Fields İn Orthogonal Machining With İnfrared İmaging. *Journal of Materials Processing Technology*. 198(1-3), 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.07.002>

- [29] Bono, M. (2006). The Location Of The Maximum Temperature On The Cutting Edges Of A Drill. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46(7-8), 901-907. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.04.020>
- [30] Kaynak, Y. (2006). *Matkap İle Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- [31] Soylu, A. (2007). *Bir Delme Dinamometresi Tasarım ve İmalatı İle HSS-1040 Malzeme Çiftinde İlerleme Kuvveti ve Döndürme Momentinden Analiz*. [Yüksek Lisans Tezi]. Selçuk Üniversitesi.
- [32] Kim, K.W., Ahn, T.K. (2005). Force Prediction and Stress Analysis of a Twist Drill from Tool Geometry and Cutting Conditions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 6(1), 65-72. G704-001391.2005.6.1.001
- [33] Zaquini, L. (2006). Expert System for The Definition of The Cutting Parameters and Machining Strategies. *Expert Systems with Applications*. 40(17), 6877-6884. 10.1016/j.eswa.2013.06.051
- [34] Strenkowski, J.S. (2004). An Analytical Finite Element Technique for Predicting Thrust Force and Torque in Drilling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44(12-13), 1421. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.01.005>
- [35] Armerago, E.J.A., Cheng, O.Y. (1972). Drilling With Flat Face and Conventional Twist Drill-II. Experimental Investigation. *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* 12(1), 37- 54. [https://doi.org/10.1016/0020-7357\(72\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0020-7357(72)90010-8)
- [36] Canpolat, N. (2008). *Değişik Takviyeli Kompozit Malzemenin Matkapla Delinebilirliğinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi] Fırat Üniversitesi.
- [37] Kıvak, T. (2007). *Inconel 718'in Delinebilirliğinin Araştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- [38] Tosun, G. (2004). The Drilling of An Al/SiCp Metal-Matrix Composites. Part I: Microstructure. *Composites Science and Technology*, 64(2), 299-308. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00290-2](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00290-2)
- [39] Günay, M. (2011). Investigation of the effects on screw thread of infeed angle during external threading. *Gazi University Journal of Science*, 24(1), 153- 160.
- [40] Nalbant, M., Günay, M. and Yıldız, Y. (2008). Modelling of the effect of different infeed angles and cutting areas on the cutting forces in external threading,. *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 35(3), 153-161.
- [41] Kibbe, R., Neely, J.E., Meyer, R.O., White, W.T. (2002). *Machine Tool Practices* (10) Pearson Publishing.
- [42] Kayır, Y. (2010). Kılavuz Kesici Takımları ile AA5083 Malzemesine Vida Açılmasında Matkap Delik Çapının Kesme Kuvvetlerine Etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 25(4), 671-679.

- [43] Doyle, E.D., Dean, S.K., (1974). Effect of axial forces on dimensional accuracy during tapping. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 14(4), 325-333. [https://doi.org/10.1016/0020-7357\(74\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0020-7357(74)90021-3)
- [44] <https://www.sandvik.coromant.com> adresinden 27 Ağustos 2022 tarihinde alınmıştır.
- [45] Çakır, A. (2015). *AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum malzemelerine delik delinmesinde soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerinin incelenmesi*. [Doktora Tezi], Gazi Üniversitesi.
- [46] <https://www.sandvik.coromant.com> adresinden 29 Ağustos 2022 tarihinde alınmıştır.
- [47] <https://www.makinaegitimi.com/rayba-ve-raybalama-nasil-yapilir/> adresinden 29 Ağustos 2022 tarihinde alınmıştır.
- [48] <https://www.bilgiustam.com/raybalama-nedir-nasil-yapilir/> adresinden 29 Ağustos tarihinde alınmıştır.
- [49] Kaplan, Y. (2010). *Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri*. [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- [50] Kara, Y. (2015). *TiAlN ve TiN kaplamalı matkaplarla C38 dövme çelik malzemesinin derin delik delme işleminin incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi] Karabük Üniversitesi.
- [51] Yaman, K., Bıçakçı, N., Özgedik, A. (2017). Matkap boyunun delik toleranslarına etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 20 (4), 765-775. 10.2339/politeknik.368982
- [52] Automotive aluminium solutions. (2008). *Sandvik Coromant Kesici Takım El Klavuzu*, İsveç.
- [53] www.atateknik.com.tr/wp-content/uploads/2016/09/52-Son-isleme-icinonerilen-Kesme-Degerleri.pdf adresinden 12 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [54] http://tdemir.etu.edu.tr/MAK%20102_dosyalar/mak102geometrik_toleranslar_04.pdf adresinden 19 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [55] Milli Eğitim Bakanlığı (2007). MEGEP. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/%C3%96l%C3%A7%C3%BClendirme%20Ve%20Y%C3%BCzey%20%C4%B0%C5%9Flemleri.pdf adresinden 25 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [56] Toleranslar ve ölçümlendirme, www.guven-kutay.ch adresinden 25 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- [57] El Naser, Y.H., Karayel, D., Özkan, S.S., Atali, G. (2017). Talaşlı İmalatta Otomatik Çapak Alma İşlemi için Endüstriyel Robot Kol Tasarımı. *Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science* 1289-1297.

- [58] Çapak alma mekanığı. http://www.aksan-tm.com/makale/capak_alma_nedir.php adresinden 20 Ekim 2022 tarihinde alınmıştır.
- [59] Mellinger, J.C., Özdoğanlar, O.B., Devor, R.E., Kapoor, S.G. (2002). Modelling chip evacuation forces and prediction of chip-clogging in drilling. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 51(3), 61-80. 10.1115/1.1473146
- [60] Geometrik toleranslar. http://tdemir.etu.edu.tr/MAK%20102_dosyalar/mak102geometrik_toleranslar_04.pdf adresinden 22 Ekim 2022 tarihinde alınmıştır.
- [61] Kurt, M, Kaynak, Y., Bağcı, E. (2008). Evaluation of drilled hole quality in Al 2024 alloy. *Int J Adv Manuf Technoloji*. 37, 1051-1060.
- [62] Akkurt, M. (1998). Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezğahları. Birsan Yayınevi.
- [63] Çaydaş, U., Çelik, M. (2017). AA 7075-T6 Alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*. 20(2), 419-425.
- [64] Sahin, Y. (2000). *Talaş Kaldırma Prensipleri II*. Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Sti.
- [65] J.P. Byers. (2006). *Metalworking Fluids*. Taylor & Francis.
- [66] Iowa Waste Reduction Center. (2003). *Cutting Fluid Management in Small Machine Shop Operations (3)*. University of Northern Iowa.
- [67] Arslantaş K. (2016). *Üretim yöntemleri-2 ders notu*. Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- [68] Mazak CNC makinesi. <https://www.mazakeu.com/da/machines/vtc-300c/> adresinden 1 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.
- [69] <http://www.ses3000.com/makinalar/ycm-cnc/ycm-cnc-islem-merkezleri/ycmnsvl06a-yuksek-hassasiyetli-ve-hizli-cnc-dik-isleme-merkezi-g/> adresinden 1 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.
- [70] [Jantan, H. (2010). Human talent prediction in HRM using C4.5 classification algorithm. *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.* 2(8), 2526–2534.
- [71] Sumathi, S., Paneerselvam S. (2019). Computational Intelligence Paradigms: Theory and Applications Using MATLAB (1). CRC Press.
- [72] Dedekayaoğulları, H., Kaçal, A., Keser, K. (2022). Modeling and prediction of surface roughness at the drilling of SLM-Ti6Al4V parts manufactured with pre-hole with optimized ANN and ANFIS. *Measurement* 203, 112029. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112029>
- [73] Toktas I., Ozkan M. T., Erdemir F. and Yuksel N. (2020) Determination of stress concentration factor (Kt) for a crankshaft under bending loading: an artificial neural networks approach. *Politeknik Dergisi*, 23(3), 813-819. 10.2339/politeknik.683270

- [74] Solati A., Hamed M., Safarabadi M. (2009). Combined GA-ANN approach for prediction of HAZ and bearing strength in laser drilling of GFRP composite. Optics and Laser Technology. 113, 104-115. 10.2339/politeknik.683270
- [75] Aamir, M., Giasin, K., Tolouei-Rad, M. & 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. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.003>
- [76] AA5083-H111 Mekanik özellikleri. <https://www.prizmametal.com/5083-h111-13.html> adresinden 3 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Emre TEKE

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2020, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Makine Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Teke E., Özsoy N., Diren D.D., Özsoy M. 2024. Prediction of Cutting Force With ANN In The Drilling Process of Aluminium 5083-H111 Material, *Journal of Intelligent Manufacturing*,