



**PARMAK FREZE TAKIMLARI İLE HARDOX
ÇELİK MALZEME ÜZERİNE KANAL AÇMADA
TAKIM GEOMETRİSİ VE TAKIM YOLUNUN
İŞLENEBİLİRLİK GÖSTERGELERİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Anıl AYYILDIZ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Gökhan SUR**

**PARMAK FREZE TAKIMLARI İLE HARDOX ÇELİK MALZEME
ÜZERİNE KANAL AÇMADA TAKIM GEOMETRİSİ VE TAKIM
YOLUNUN İŞLENEBİLİRLİK GÖSTERGELERİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Anıl AYYILDIZ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Gökhan SUR**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Nisan 2024**

Anıl AYYILDIZ tarafından hazırlanan “PARMAK FREZE TAKIMLARI İLE HARDOX ÇELİK MALZEME ÜZERİNE KANAL AÇMADA TAKIM GEOMETRİSİ VE TAKIM YOLUNUN İŞLENEBİLİRLİK GÖSTERGELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Gökhan SUR

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/04/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hakan GÜRÜN (GÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĞDU (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Anıl AYYILDIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PARMAK FREZE TAKIMLARI İLE HARDOX ÇELİK MALZEME ÜZERİNE KANAL AÇMADA TAKIM GEOMETRİSİ VE TAKIM YOLUNUN İŞLENEBİLİRLİK GÖSTERGELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Anıl AYYILDIZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Gökhan SUR

Nisan 2024, 81 sayfa

Bu çalışmada, Hardox 450 çeliği, sabit helis ve değişken helis açılı parmak frezeler ile kanal frezeleme metodu ile CNC freze tezgahında işlenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde dört ağızlı 10 mm çapında PVD yöntemi ile AlCrN kaplanmış sementit karbür parmak frezeler kullanılmıştır. Sementit karbür frezeler; iki farklı sabit helis açılı (35° ve 38°) ve değişken helis açılıdır ($35^\circ/38^\circ$). İşleme deneyleri sabit kesme hızı (50 m/dk), üç farklı ilerleme miktarında (0.06, 0.08 ve 0.1 mm/diş) ve iki farklı kesme metoduyla (rampalı dalış ve rampalı kalkmalı dalış) kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler esnasında oluşan kesme kuvvetleri, piezo-elektrik sensör içeren dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Ayrıca frezelenen kanal yüzeylerinin pürüzlülük değerleri de (R_a ve R_z) ölçülmüştür.

Deney sonuçları incelendiğinde, değişken helisli parmak frezede kesme esnasında oluşan kesme kuvveti değerlerinin, sabit helisli parmak frezelere kıyasla daha düşük değerlerde oluştuğu tespit edilmiştir. Kesici takım türü ve seçilen işleme koşulları açısından kesme kuvvetinin en düşük olduğu deney 0,06 mm/dış ilerleme miktarında, rampalı kalkmalı kesme metodunda ve 35°/38° helis açısına sahip parmak freze ile işleme esnasında 551,05 N Değerde oluştuğu tespit edilmiştir. Taban yüzey kalitesinin en iyi olduğu deney 0,06 mm/dış ilerleme miktarında, rampalı kalkmalı kesme metodunda ve 35° sabit helis açısına sahip parmak freze ile işleme esnasında oluştuğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : İşlenebilirlik, Hardox 450, Kesme kuvveti, Rampalı kanal açma, Yüzey pürüzlülüğü, Değişken helis açılı parmak freze

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CUTTER GEOMETRY AND TOOL PATH ON MACHINABILITY INDICATORS IN CHANNEL MILLING ON HARDOX STEEL MATERIAL WITH FINGER MILLING TOOLS

Anıl AYYILDIZ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Gökhan SUR

April 2024, 81 pages

In this study, Hardox 450 steel was processed on a CNC milling machine with fixed helix and variable helix angle end mills and channel milling method. In the machinability experiments, four-flute 10 mm diameter cementite carbide end mills coated with AlCrN by PVD method were used. Cementite carbide end mills; It has two different fixed helix angles (35° and 38°) and variable helix angles ($35^\circ/38^\circ$). Machining experiments were carried out under dry machining conditions with a constant cutting speed (50 m/min), three different feed rates (0.06, 0.08 and 0.1 mm/tooth) and two different cutting methods (ramp diving and ramp lift dive). The cutting forces occurring during the experiments were measured with the help of a dynamometer containing a piezo-electric sensor. Additionally, the roughness values (Ra and Rz) of the milled channel surfaces were measured.

When the test results were examined, it was determined that the cutting force values occurring during cutting in the variable helix end mill were lower than those in the fixed helix end mill. In terms of cutting tool type and selected processing conditions, it was determined that the lowest cutting force occurred at 0.06 mm/tooth feed rate, ramp-lift cutting method and 551.05 N value during machining with an end mill with 35°/38° helix angle. It was determined that the best base surface quality occurred during machining with an end mill with a feed rate of 0.06 mm/tooth, ramp-lift cutting method and a fixed helix angle of 35°.

Key Word : Machinability, Hardox 450, Cutting force, Ramping slot milling, Surface roughness, Variable helix end mill.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, emeği geçen herkese en içten şükranlarımı sunmak isterim. Bu süreçte bana rehberlik eden danışmanım Doç. Dr. Gökhan SUR'a kalbimden gelen minnettarlığı ifade etmek isterim. Kendisinin bilgi birikimi, sabrı ve destekleri sayesinde bu çalışma gerçekleştirilebilmiştir.

Ayrıca, beni bu yoğun ve zorlu süreçte destekleyen aileme ve sevdiklerime teşekkür etmek isterim. Sabırları, cesaretleri ve motivasyonlarıyla beni bu hedefe ulaştırmada büyük bir etkileri oldu.

Tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar için gerekli olan malzemeleri temin etmemde yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Gökhan SUR'a, Tor Çelik Başmühendisi ve ekibine de teşekkür ederim. Ayrıca, bu çalışmanın gerçekleşmesine katkı sağlayan diğer herkese teşekkürlerimi iletmek isterim.

Son olarak, bu süreçte kılavuzluğunu hissettiğim akademik camianın değerli üyelerine, beni bilimsel anlamda yönlendiren dostlarıma ve bu tezin oluşmasında emeği geçen herkese tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. TEZİN KONUSU VE ÖNEMİ	1
1.2. LİTERATÜR TARAMASI.....	2
1.3. TEZİN AMACI VE HEDEFLERİ.....	2
1.4. TEZİN KAPSAMI VE SINIRLAMALARI.....	2
1.5. TEZİN YAPISI.....	3
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	4
2.1. LİTERATÜR İNCELEMESİ GENEL DEĞERLENDİRME ÖZETİ	16
BÖLÜM 3	17
KURAMSAL KAVRAMLAR	17
3.1. PARMAK FREZE TAKIMLARI	17
3.1.1. Tanım ve Özellikler	17
3.1.1.1. Temel Tanım ve Genel Özellikler.....	17
3.1.1.2. Takım Geometrisi ve Tasarım Özellikleri	18
3.1.1.3. Malzeme Çeşitliliği ve İşleme Kapasitesi.....	20

	<u>Sayfa</u>
3.1.1.4. Uygulama Esnekliği ve Çeşitliliği	20
3.1.2. Kullanım Alanları	20
3.1.2.1. Metal İşleme Uygulamaları.....	21
3.1.2.2. Plastik ve Kompozit İşleme	21
3.1.2.3. Sert Malzemelerin İşlenmesi.....	21
3.1.2.4. Özel Kaplamalar ve Malzeme İşleme Performansı	21
3.1.3. İşleme Performansı	21
3.1.3.1. Kesme Hızı, İlerleme Hızı ve Diğer İşleme Parametreleri	21
3.1.3.2. Kesme Kuvvetleri ve Enerji Tüketimi	22
3.1.3.3. Takım Aşınması ve Ömrü.....	22
3.1.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü ve İş Parçası Kalitesi.....	22
3.1.4. CNC İşleme Uygulamaları	22
3.1.4.1. Hassas İşleme ve Detaylı Çalışmalar	22
3.1.4.2. Endüstriyel Sektörlerde Kullanım Örnekleri	22
3.2. HARDOX ÇELİK MALZEME	23
3.2.1. Genel Özellikler.....	23
3.2.2. Endüstriyel Kullanımı.....	23
3.3. KANAL AÇMA İŞLEMLERİ	24
3.3.1. Temel İlkeler.....	24
3.3.2. Endüstriyel Uygulamalar	26
3.4. TAKIM GEOMETRİSİ VE TAKIM YOLU	26
3.4.1. Temel Kavramlar	26
3.4.2. İşleme Performansına Etkileri	27
3.5. PARMAK FREZE TAKIMLARI İLE HARDOX ÇELİK ÜZERİNDE KANAL AÇMA	28
3.5.1. Takım Geometrisinin Rolü	28
3.5.2. Takım Yolunun İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri.....	28
BÖLÜM 4	30
MATERYAL VE YÖNTEM	30
4.1. DENEY MALZEMESİ	30
4.2. KESİCİ TAKIMLAR	32

	<u>Sayfa</u>
4.3. TAKIM TUTUCU	34
4.4. TAKIM TEZGÂHI.....	35
4.5. KESME KUVVETİ ÖLÇÜM CİHAZI VE DENEY DÜZENEĞİ.....	36
4.6. DENEY PARAMETRELERİ	38
4.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM CİHAZI VE ÖLÇME YÖNTEMİ	41
BÖLÜM 5	43
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
5.1. KESME KUVVETİ ÖLÇÜM SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME.....	43
5.1.1. Sabit Helisli Parmak Frezelerin Kesme Kuvveti Deney Sonuçları ve Değerlendirme	44
5.1.2. Değişken Helisli Parmak Frezelerin Kesme Kuvveti Deney Sonuçları ve Değerlendirme	51
5.1.3. İlerleme Miktarına Göre Kesme Kuvveti Deney Sonuçları ve Değerlendirme	53
5.1.4. Bileşke Kesme Kuvveti Deney Sonuçlarına Ait Çizimle Kuvvet Büyüklükleri	61
5.2. TAKIM YOLU DEĞİŞİKLİKLERİNİN ETKİLERİ.....	63
5.3. İŞLEME PARAMETRELERİNİN ROLÜ	65
5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME	65
BÖLÜM 6	74
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	74
KAYNAKÇA.....	77
ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Diş sayısına göre freze ön geometrileri [26].	18
Şekil 3.2. Talaş Açısı [26].	19
Şekil 3.3. Helis açısı [26].	19
Şekil 3.4. Ön kesme açıları [26].	20
Şekil 3.5. Kesici parçaya dik yönde dalarak kanal açma [29].....	25
Şekil 3.6. Rampa açısı ile kanal açma [29]	25
Şekil 3.7. Modifiye edilmiş rampalı kanal açma [29]	25
Şekil 4.1. Hardox 450 çeliğinin SEM mikroskobu ile çekilmiş görüntüsü [31].	31
Şekil 4.2. GNR S1 MiniLAB 150 Metal Analiz Spektrometre Cihazı.	31
Şekil 4.3. Hardox 450 çeliğinin deneyden önceki görseli.	32
Şekil 4.4. Hardox 450 çeliğinin deneyden sonraki görseli.	32
Şekil 4.5. Deneyde kullanılan parmak frezelerin gerçek görseli; a) 35°, b) 38°, c) 35/38°.	34
Şekil 4.6. Hidrolik takım tutucu [32].....	34
Şekil 4.7. Deneylerin yapıldığı CNC dik işleme merkezinin gerçek görünümü.	36
Şekil 4.8. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.	37
Şekil 4.9. Mengene içine yerleştirilmiş Hardox 450 çeliği deney malzemesi, dinamometre, kesici takım ve deney düzeneğinin genel görünümü.	37
Şekil 4.10. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı ölçülen kesme kuvvetleri grafiği ve kanal açma sürecinde takım yolu-talaş hacmi ile ilgili görseller	38
Şekil 4.11. Deney malzemesi ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının gerçek görünümü.	42
Şekil 5.1. “35° Sabit Helis” kanal açma deneyi kesme kuvveti bileşenleri değer grafiği.	45
Şekil 5.2. “35° Sabit Helis” deneylerinde bileşke kesme kuvvetleri.....	46
Şekil 5.3. Tüm “38° Sabit Helis” deneylerinin dinamometre ile ölçülen kuvvet bileşenleri.	47
Şekil 5.4. “38° Sabit Helis” deneylerindeki bileşke kesme kuvvetleri.....	48

Şekil 5.5. Tüm “35° Sabit Helis” ve “38° Sabit Helis” deneylerinin dinamometre ile ölçülen kuvvet bileşenleri.....	49
Şekil 5.6. “35° Sabit Helis” ve “38° Sabit Helis” deneylerindeki bileşke kesme kuvvetleri.....	50
Şekil 5.7. Tüm “35/38° Değişken Helis” deneylerinin dinamometre ile ölçülen kuvvet bileşenleri.	51
Şekil 5.8. “35/38° Değişken Helis” deneylerindeki bileşke kesme kuvvetleri.	52
Şekil 5.9. Tüm “0,06 mm/diş” ilerleme miktarı kullanılan deneyler için kuvvet bileşenleri.	53
Şekil 5.10. “0,06 mm/diş” ilerleme miktarındaki deneylerin bileşke kesme kuvvetleri.....	55
Şekil 5.11. Tüm “0,08 mm/diş” ilerleme miktarı kullanılan deneyler için kuvvet bileşenleri.	56
Şekil 5.12. “0,08 mm/diş” ilerleme miktarındaki deneylerin bileşke kesme kuvvetleri.....	57
Şekil 5.13. Tüm “0,10 mm/diş” ilerleme miktarı kullanılan deneyler için kuvvet bileşenleri.	59
Şekil 5.14. “0,10 mm/diş” ilerleme miktarındaki deneylerin bileşke kesme kuvvetleri.....	60
Şekil 5.15. “35° sabit helis” kesici takıma ait en düşük ve en yüksek bileşke kesme kuvveti çizimi.....	61
Şekil 5.16. “38° sabit helis” kesici takıma ait en düşük ve en yüksek bileşke kesme kuvveti çizimi.....	62
Şekil 5.17. “35/38° değişken helis” kesici takıma ait en düşük ve en yüksek bileşke kesme kuvveti çizimi.....	63
Şekil 5.18. Rampalı kanal açma işlemindeki bileşke kesme kuvvetleri.....	64
Şekil 5.19. Rampalı kalkmalı kanal açma işlemindeki bileşke kesme kuvvetleri.....	64
Şekil 5.20. “35° Sabit Helis” Kesici Takıma ait İlerleme miktarı ve kesme metoduna bağlı Taban Yüzey Pürüzlülüğü değerlendirilmesi.	68
Şekil 5.21. “38° Sabit Helis” Kesici Takıma ait İlerleme miktarı ve kesme metoduna bağlı Taban Yüzey Pürüzlülüğü değerlendirilmesi.	68
Şekil 5.22. “35/38° Değişken Helis” Kesici Takıma ait İlerleme miktarı ve kesme metoduna bağlı Taban Yüzey Pürüzlülüğü değerlendirilmesi.	69
Şekil 5.23. Kanal frezeleme ölçü kontrollerinin yapıldığı dijital kumpasın gerçek görüntüsü.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Hardox 450 çeliği kimyasal bileşimi.....	30
Çizelge 4.2. Hardox 450 çeliği bazı mekanik özellikleri [28].....	31
Çizelge 4.3. İşleme deneylerinde kullanılan sabit helisli parmak frezelerin özellikleri.....	33
Çizelge 4.4. İşleme deneylerinde kullanılan değişken helisli parmak frezeler.	33
Çizelge 4.5. CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.....	35
Çizelge 4.6. Sabit helis açılı parmak frezelerin kesme parametreleri.	40
Çizelge 4.7. Değişken helis açılı parmak frezelerin kesme parametreleri.....	40
Çizelge 5.1. Deney şablonuna uygun rampalı kanal açma takım yolu ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen kesme kuvveti verileri.....	43
Çizelge 5.2. Deney şablonuna uygun rampalı kalkmalı kanal açma takım yolu ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen kesme kuvveti verileri.....	44
Çizelge 5.3. Deney şablonuna uygun gerçekleştirilen rampalı kanal açma deneylerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri.	66
Çizelge 5.4. Deney şablonuna uygun gerçekleştirilen rampalı kalkmalı kanal açma deneylerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri.	67
Çizelge 5.5. Kanal frezeleme ölçü kontrolleri.....	72
Çizelge 5.6. Kanal frezeleme çıkan talaş görselleri.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

- a_e : Talaş genişliği (mm)
 a_p : Talaş derinliği (mm)
 B : Kalınlık (mm)
 dk : Dakika
 D : Şaft Çapı
 d_1 : Kesici takım işleme çapı
 F_a : Aksenal kesme kuvveti bileşeni
 f_z : İlerleme miktarı (mm/diş)
 F_x : X ekseninde oluşan kesme kuvveti (N)
 F_y : Y ekseninde oluşan kesme kuvveti (N)
 F_z : Z ekseninde oluşan kesme kuvveti (N)
 H : Yükseklik (mm)
 kN : Kilonewton
 kW : Kilowatt
 L : Kesici takım boyu (mm)
 L_1 : Kesme boyu (mm)
 mN : Milinewton
 M_z : Dönme Momenti (N)
 R_a : Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
 R : Rampa açısı ($^\circ$)
 R_z : Ortalama pürüzlülük derinliği (μm)
 T_p : Takım Yolu
 V_c : Kesme Hızı (m/dk.)
 W : Genişlik (mm)
 Z : Kesme kenar sayısı
 β : Helis Açısı ($^\circ$)

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)

CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

CAM: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)

CFRP: Carbon Fiber Reinforced Polymer (karbon fiber takviyeli polimer)

CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)

DH : Değişken Helis

DHA : Değişken Helis Açısı

DIN : Deutsches Institut für Normung e.V. (Alman Standardizasyon Enstitüsü)

EEC : Electrical Energy Consumption (Elektrik Enerjisi Tüketimi)

HBW: Hardness Brinell Tungsten (Sertlik Brinell Tungsten)

HRC : Hardness Rockwell Scale (Rockwell Sertlik Ölçeği)

HSS : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)

MPa : Mega Paskal

MRR : Material Removal Rate (Malzeme Kaldırma Oranı)

OMA: Operasyonel Modal Analiz

PVD : Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)

R.P.M: Revolutions Per Minute (Dakikada Dönme Sayısı)

RSM : Response Surface Method (Yanıt Yüzey Yöntemi)

SH : Sabit Helis

SHA : Sabit Helis Açısı

S/N : Sinyal Gürültü Oranı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde, endüstriyel üretimde malzeme işleme süreçleri, özellikle metal kesme ve şekillendirme işlemleri, teknolojik ilerlemelerle birlikte önemli bir evrim geçirmiştir. Bu evrimde, kesme araçları ve takım teknolojileri, malzeme işleme performansını artırmak ve dayanıklılığını optimize etmek amacıyla sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu bağlamda, parmak freze takımları, özellikle Hardox çelik gibi yüksek mukavemetli malzemelerin işlenmesinde kullanılan önemli araçlardan biridir.

Bu tez, özellikle parmak freze takımları ile Hardox çelik malzeme üzerine kanal açma işlemlerinde takım geometrisi ve takım yolunun işlenebilirlik göstergeleri üzerindeki etkilerin deneysel olarak araştırılmasını amaçlamaktadır. Bu çalışma, endüstriyel üretim süreçlerinde kesme işlemlerinin daha etkili ve verimli hale getirilmesi adına önemli bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

1.1. TEZİN KONUSU VE ÖNEMİ

Bu araştırmanın temel odak noktası, parmak freze takımları kullanılarak gerçekleştirilen kanal açma işlemlerinde takım geometrisi ve takım yolunun işlenebilirlik göstergelerine olan etkileridir. Hardox çelik gibi yüksek mukavemetli malzemelerin bu tür işlemlerinde, takımın geometrik özellikleri ve işleme yolu, kesme kalitesi, takım ömrü ve genel işleme performansı üzerinde belirleyici olabilir.

Bu araştırma, endüstriyel uygulamalarda daha etkili ve optimize edilmiş kesme süreçlerinin tasarlanması ve uygulanması için temel bilgiler sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, bu çalışma, metal işleme endüstrisinde takım teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik genel bir anlayışın oluşturulmasına da katkıda bulunacaktır.

1.2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışmanın yapıldığı bağlamda, parmak freze takımları, Hardox çelik malzeme ve benzeri konulara dair mevcut literatür taraması, bu tezin temelini oluşturan bilgileri içermektedir. Literatürdeki bu eksiklikleri gidermek ve var olan bilgileri daha da derinleştirmek adına bu araştırmanın önemine vurgu yapılacaktır.

Devam eden bölümlerde, mevcut literatürdeki boşlukları doldurmak amacıyla yapılan deneysel çalışmaların nasıl bir katkı sağlayabileceği ele alınacaktır.

1.3. TEZİN AMACI VE HEDEFLERİ

Bu tezin temel amacı, parmak freze takımları kullanılarak gerçekleştirilen kanal açma işlemlerinde takım geometrisi ve takım yolunun işlenebilirlik göstergelerini deneysel olarak araştırmaktır. Bu genel amaç çerçevesinde belirlenen spesifik hedefler şunlardır:

1. Belirli takım geometrisi değişkenlerinin işleme kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek.
2. Farklı takım yollarının kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü üzerindeki etkilerini değerlendirmek.
3. Elde edilen sonuçları literatürdeki bilgilerle karşılaştırarak, endüstriyel uygulamalara yönelik pratik önerilerde bulunmak.

Bu hedefler, çalışmanın özgünlüğünü ve endüstriyel uygulamalara sağladığı katkıyı belirtmektedir.

1.4. TEZİN KAPSAMI VE SINIRLAMALARI

Bu tez, parmak freze takımları ile Hardox çelik malzeme üzerine kanal açma işlemlerini ele almaktadır. Ancak, bu çalışma belirli sınırlamalarla karşılaşacaktır. Bunlar arasında:

1. Tezin sınırlı zaman ve kaynaklar içinde gerçekleştirilmiş olması.
2. Sadece belirli bir Hardox çelik türünün kullanılması ve diğer yüksek mukavemetli malzemelerin dışarıda bırakılması.

Bu sınırlamalar, çalışmanın genel uygulanabilirliğini etkilemeyecek, ancak elde edilen sonuçların belirli koşullar altında geçerli olduğunu göstermektedir.

1.5. TEZİN YAPISI

Bu tez, altı ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm olan Giriş, çalışmanın genel bağlamını, önemini ve yapılan araştırmanın temel amaçlarını tanımlamaktadır. İkinci bölüm, Literatür İncelemesi, parmak freze takımları, Hardox çelik malzeme ve benzeri konulardaki bilgi düzeyini ele alacaktır. Üçüncü bölüm, Kuramsal Kavramlar, çalışmanın temel teorik çerçevesini sunacak ve deneysel tasarımın temelini oluşturacaktır. Dördüncü bölüm, Materyal ve Yöntem, kullanılan malzeme, deney planı ve veri toplama süreçlerini detaylandıracaktır. Beşinci bölüm, Deney Sonuçları ve Tartışma, elde edilen verilerin analizi ve yorumunu içerecektir. Altıncı bölüm, Sonuçlar ve Öneriler, deney sonuçlarından elde edilen verilere göre en uygun koşullar belirtilecek ve bu kapsamda önerilerde bulunulacaktır.

Bu bölümler, çalışmanın mantıklı bir akışını sağlamak adına birbirleriyle bağlantılıdır ve her biri, çalışmanın genel amaçlarına ulaşmak için katkı sağlayacaktır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bu bölümde ulusal ve uluslararası çalışmalarda kanal açma süreci ile ilgili yapılan çalışmaların özeti verilmiştir.

Aslantaş vd., çalışmalarında Inconel 718 alaşımının, çalışma kapsamında belirledikleri kesme parametrelerini dikkate alarak; mikro frezeleme işleminde takımda meydana gelen aşınmanın kanal geometrisi, yüzey kalitesi ve çapak oluşumu üzerine etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda kesici takımın çevresel aşınmasından dolayı takım çapının azalmasına neden olurken, aksinel aşınmanın kanal derinliğinin değişmesine neden olduğuna ulaşmışlardır. Takım çapındaki küçülmeye ve kenar yarıçapındaki büyümeye bağlı olarak, kanal geometrisinin boyutlarının da değiştiğini gözlemlemişlerdir. Son olarak kanal genişliği boyunca ortalama yüzey pürüzlülük değerinin değiştiği saptanmış olup, özellikle takımın iş parçasını terk ettiği kesme yönü olan zıt yönlü frezelemede Ra değerlerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır [1].

Aydın, çalışmasında özel olarak tasarlanan frezeleme testlerinden ve mekanistik analizden hem spesifik kesme kuvveti katsayılarının hem de elastik parmak frezelerin neden olduğu boyutsal yüzey hatalarının analitik olarak belirlenmesi için bir metod geliştirilmiştir. Helisel kesici ağızlı parmak frezenin kesen kısmı deneysel kalibrasyon testleri sırasında disk elemanlara bölünerek uygulanan bu yöntemle, spesifik kesme katsayıları belirlenmiş ve kuvvet dağılımı üzerinden analitik ifadelerle tespit edilmiştir. Bu katsayılar, kesici takım iş parçası çifti, kesici takım geometrisi ve frezeleme tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Boyutsal yüzey hataları ise helisel kesici ağızlı parmak frezenin değişken atalet momentli bir konsol giriş olarak ele alınarak modellenmiş ve eğilme momenti ile sehim arasında analitik bir ilişki kurularak incelenmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırması sunulan metodun frezeleme kuvvetlerini ve boyutsal yüzey hatalarını doğru tahmin edebilme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. Bu metodun parmak frezeleme proseslerinde uygun kesme koşullarını belirlemek için etkin olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır [2].

Ekmen, çalışmasında CNC freze tezgâhında gerçekleştirilen 90° yanal frezeleme işleminde takım helis açısı ve bağlama yüksekliğinin titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemiştir. Deneplerinde AISI 1040 çeliği ve GG30 malzemelerini kullanmıştır. Kesici takım olarak üç farklı helis açısına sahip 20 mm çaplı HSS parmak freze çakısı tercih etmiştir. Deneplerini, üç farklı kesme hızı, üç farklı talaş derinliği ve üç farklı temas yüksekliği kombinasyonlarını kullanarak gerçekleştirmiştir. Freze çakısını, L=70 mm uzunluğunda bağlayarak işlem yapmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak frezeleme sırasında oluşan titreşim ve yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmüştür. Denepler sonucunda, kesici helis açısı arttıkça titreşim değerlerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu tespit etmiştir. Bu bulgular, takımın helis açısının arttıkça frezeleme işleminin daha istikrarlı hale geldiğini ve yüzey kalitesinin arttığını göstermiştir [3].

Kurt ve Bakır, çalışmalarında tornada dış kanal açma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel ölçümlerle belirlenmesini ve kesici uç genişliğinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini incelemektedir. Bu amaçla, farklı kesme parametreleri kullanılarak, farklı uç/kanal genişliğine sahip kesici takımlarla AISI 1050 iş parçası malzemesi üzerinde çeşitli kesme deneplerini gerçekleştirmişlerdir. Kanal açma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini, Kistler 9257B dinamometre kullanılarak ölçmüşlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, kesme kuvvetlerinin büyüklüğü açısından ilerleme değerinin kesme hızına göre daha belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, pasif kuvvetlerin esas kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu ve eksenel kuvvetin diğer kesme kuvvetlerine göre ihmal edilebilecek seviyede olduğunu gözlemlenmişlerdir. Bu bulgular, dış kanal açma işlemi sırasında kesme

parametrelerinin ve kesici uç genişliğinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için değerli bir katkı sağlamaktadır [4].

Çakır vd., çalışmalarında talaşlı üretimin bir parçası olan delik delme işlemine odaklanmaktadır. Delik delme işleminin, kesici takımın geometrik yapısı ve talaş akışındaki zorluklar nedeniyle karmaşık bir süreç olduğunu vurgulamışlardır. Delik delme işleminde kullanılan kesici takım türü, iş parçası malzemesi ve kesme parametreleri gibi özelliklerin işlemin performansını etkileyen önemli faktörler olduğuna değinmişlerdir. Bu çalışmada, matkap geometrisini detaylı bir şekilde incelemiş ve bu konuda yapılan önceki araştırmalara yer verilmişlerdir. Ayrıca, mevcut takım geometrilerinin matematiksel modellenmesinin yanı sıra, modernize edilen yeni takım geometrilerinin de matematiksel modellerini oluşturmuşlardır. Yapılan araştırmalar, özellikle kesici takım geometrisindeki iyileştirmelerin takım ömründe, işleme zamanında ve yüzey kalitesinde ciddi pozitif etkiler sağladığını göstermektedir. Bu bağlamda, delik delme işlemi performansını artırmak için kesici takım geometrisinde yapılan geliştirmelerin önemli olduğunu vurgulamışlardır [5].

Bakır, çalışmasında Bilgisayarlı Sayısal Kontrollü (CNC) takım tezgahlarında yaygın olarak kullanılan karbür parmak freze takımlarının geometrisinin işlenebilirliğe olan etkilerini incelemiştir. Talaşlı imalatta yüzey kalitesinin büyük bir öneme sahip olduğunu vurgulamış ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etki eden faktörler arasında takım geometrisi, ilerleme oranı ve iş parçasının bağlama rijitliği özelliklerini göz önüne almıştır. Çalışmasında, DIN 1.2080 ve DIN 1.2344 normlarına uygun yüksek sertlikte çelik malzemelerin işlenebilirliğini incelemiştir. Kullandığı kesici takımların bazıları kaplamalı, bazıları ise kaplamasızdır. Kanal işlemlerinde parmak frezelerin aşınma durumu, yüzey pürüzlülük değerleri ve talaş kaldırılan bölgenin sıcaklığını ölçmüş ve bu verileri kullanılarak takım performansıyla ilgili bilgiler elde etmiştir. Çalışması, karbür parmak freze takımlarının işlenebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirmekte ve frezeleme işlemlerinin optimize edilmesine katkı sağlamıştır [6].

Batman, çalışmasında farklı mikro geometrik özelliklere sahip HSS kesici takımların kesme kuvvetine ve takım-talaş ara yüzeyi sıcaklığına olan etkileri incelemiştir. Deneilerini pirinç malzeme üzerinde dik tornalama işlemi yaparak gerçekleştirmiştir

ve soğutma sıvısı kullanmamıştır. Kesme deneyleri sonuçlarını, farklı mikro geometrik özelliklere sahip kesici takımların performansını değerlendirmek amacıyla kullanmıştır. Ayrıca, kesme işlemini simüle eden bir sonlu elemanlar yöntemi geliştirmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Deneysel sonuçlardan elde ettiği bulgulara göre, yarıçaplı ve pahlı uç kenar geometrilerinin artmasıyla birlikte kesme kuvvetlerinin arttığını gözlemlemiştir. Bu çalışması, mikro geometrik özelliklerin kesme performansına olan etkisini anlamaya ve bu bilgiyi kesme işlemlerinin optimize edilmesine önemli bir katkı sağlamaktadır [7].

Chen vd., çalışmalarında CFRP laminatları işlemede lazere alternatif bir yöntem kullanarak kanal açma işlemini deneysel olarak incelemişlerdir. Karbon fiber ve reçine matrisi arasındaki termal özelliklerin önemli ölçüde farklı olması nedeniyle karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) laminatların lazerle kesilmesi sırasında termal hasar kaçınılmazdır. Bu durum, kompozit yapıların montaj doğruluğunu ve hizmet performansını ciddi şekilde etkiler. Bu çalışma, 10.0 mm kalınlığındaki CFRP levhalara kanal açmak için özel tasarlanmış bir fiber lazer-CNC freze işbirliği işleme tekniğini önermektedir. Bu yöntem, yüksek güçlü lazer kesim işlemi sırasında yüksek verimlilik ve malzeme kaldırma oranı avantajlarını, sınırlı kesme payı ve yüksek kesme hızı ile frezeleme işleminden kaynaklanan iyi yüzey kalitesini birleştirmektedir. Farklı işleme stratejileri, kesme parametreleri ve termal hasarın yüzey kalitesi ve morfolojisi üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Kalın CFRP laminatların lazer işlenmesi sırasında termal kusurlar arasında çatlaklar, çizgilenmeler, çıkıntılı lifler ve matris çekilmesi yer almaktadır. Lazer-CNC freze işbirliği işleme tekniği, termal hasar olmadan başarılı bir şekilde 10.0 mm kalınlığındaki CFRP levhaya kanal açmış ve yüzey pürüzlülüğünü (Ra) 5.4 μm 'ye kadar düşürmüştür. Bu çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlar, önerilen işbirlikçi işleme tekniğinin, kalın CFRP laminatlarına kanal açmak için üstün kalite ve verimlilik sağlayan alternatif bir yöntem olduğunu göstermektedir [8].

Rimpault vd., çalışmalarında havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının kimyasal frezeleme yerine mekanik frezeleme ile işlenmesi üzerine odaklanmışlardır. Tasarım gereksinimlerine uygunluğu sağlamak için kesme kuvvetleri, titreşimler ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirmeleri gibi faktörlere

odaklanılarak bu işlemin ayarlanması ve optimize edilmesi gerekmektedir. Havacılık endüstrisinde sıcaklık kontrolü büyük önem taşımaktadır, çünkü işleme sırasında oluşan ısı, yüzey bütünlüğünü ve parçanın özelliklerini etkileyebilir. Bu araştırmada, 2024-T3 malzeme seçilmiştir ve işleme sırasında alüminyum levhanın alt yüzeyindeki lokal sıcaklıklar, gömülü termokupl kullanılarak ölçülmüştür. Yuva açma ve rampa frezeleme gibi iki farklı frezeleme işlemi incelenmiş ve ölçüm verileri, ilerleme azaldıkça iş parçası sıcaklığında artış gösterdiğini ortaya koymuştur. İlerleme parametresinin, özellikle alt yüzeyde biriken ısı üzerinde kesme hızından daha belirgin bir etkisi olduğunu belirlemiştirler [9].

Viswanathan vd., çalışmalarında plastik enjeksiyon kalıp boşlukları ve takımları için yaygın olarak kullanılan P20 HH Çeliği üzerine odaklanmaktadır. Talaş Kaldırma Oranını (MRR) maksimize ederken yüzey kalitesinden ödün vermeden yüksek verimli işleme parametrelerinin belirlenmesi amaçlamışlardır. Çelik tedarikçisi ve uç üreticisinin sağladığı verilere dayanarak, bilgisayar kontrollü Dikey İşleme Merkezi (VMC) için gerekli olan iş mili hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi işleme parametreleri belirlenmiştir. Taguchi L9 dizi ve Yanıt Yüzey Metodolojisi (RSM) teknikleri kullanılarak elde edilen çıktılar, MINITAB 17 yazılımında analiz edilmiştir. Bu çalışma, malzeme işleme, üretim ve modelleme alanında düzenlenen 3. Uluslararası Konferans'ın bilimsel komitesi tarafından seçilmiş ve hakem değerlendirmesine tabi tutulmuştur [10].

Guelia vd., çalışmalarında Inconel 718 süper alaşımının işlenmesi sırasında takım aşınmasını inceleyen ve geleneksel yöntemlerden farklı bir analiz yaklaşımı benimseyen bir araştırma ortaya koymuşlardır. Çalışma, takım aşınması analizini optimize etmek ve kontrol etmek için farklı bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır. İki farklı işleme yöntemi olan kanal açma (slotting) ve rampalama (ramping) süreçlerinde, çeşitli işleme parametreleri ve soğutma koşulları altında takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, topografi, çapak oluşumu ve çip morfolojisini incelemiştirler. Deneyler, farklı derinlik ve ilerleme hızları ayarları ile kuru ve su soğutmalı işleme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, takım aşınmasının farklı kanal yüzeylerinde, özellikle de yüksek derinliklerde, farklılık gösterdiğini ve su soğutmalı işleminin genellikle daha fazla takım aşınmasına ve kesme hızına yol

açığı göstermektedir. Zamanla takım aşınmasındaki artışın, işlenmiş bir yuva boyunca yüzey pürüzlülüğündeki bir artışa neden olduğunu belirlemişlerdir. Öte yandan, su soğutmalı işleme, düşük ilerleme hızları ve derinlik ayarlarında daha pürüzsüz bir yüzey finışı sağlamış, ancak yüksek ilerleme hızlarında ve derinlikte çapak oluşumunu artırmıştır. Ayrıca, su soğutmalı işlemenin, kuru işlemeye kıyasla belirli parametre ayarlarında daha yüksek bir kesme hızı oluşturduğunu gözlemlenmişlerdir. Çalışmalarının dikkat çekici bir yanı, takım aşınması analizini, kanal yüzeylerinin farklı yüzeylerinden değerlendirmeleridir, bu da takım ömrünün veya potansiyel takım arızalarının tahmininde önemli bir rehberlik sağlayabilir [11].

Nohutçu, çalışmasında CNC freze tezgahında titanyum alaşımlarından Ti6Al4V alaşımı plakaların çevresel frezeleme yöntemiyle işlenmesi incelemiştir. İşlenebilirlik deneylerinde, dört ağızlı 10 mm çapında PVD kaplamalı sementit karbür parmak frezeler kullanılmıştır. Sabit helis açılı ($30^\circ - 32^\circ - 35^\circ - 38^\circ - 40^\circ$) ve değişken helis açılı ($30^\circ/32^\circ - 35^\circ/38^\circ - 40^\circ/42^\circ - 42^\circ/45^\circ$) olmak üzere farklı helis açılarındaki parmak frezelerle işlemler gerçekleştirmiştir. Deneylerinde 5 farklı kesme hızı (48 – 60 – 75 – 90 – 108 m/dk) ve 3 farklı ilerleme miktarı (0,04, 0,05 ve 0,06 mm/diş) kullanarak kuru işleme yöntemini tercih etmiştir. Kesme kuvvetleri, piezo elektrik sensör içeren dinamometre kullanılarak ölçülmüş ve frezelenen yüzeylerin ortalama pürüzlülük değerlerini belirlemiştir. Sonuçlara göre, değişken helis açılı parmak frezelerin kesme esnasındaki kuvvet değerleri, sabit helisli parmak frezelerle göre genellikle daha düşük olmuştur. Aynı şekilde, değişken helis açılı frezelerin ürettiği yüzey pürüzlülük değerlerini de daha düşük bulmuştur. Sabit helisli parmak frezeler arasında helis açısı arttıkça yüzey kalitesinin iyileştiğini gözlemlemiştir. Değişken helis açılı parmak frezeler arasında ise $35^\circ/38^\circ$ helis açısına sahip frezenin, diğerlerine göre daha düşük kesme kuvveti ve daha iyi yüzey kalitesi sağladığını belirlemiştir. Kesici takım türü ve işleme koşulları açısından en iyi performansın, 108 m/dk kesme hızında, 0,04 mm/diş ilerleme miktarında ve $35^\circ/38^\circ$ helis açısına sahip parmak freze ile elde edildiği sonucuna varmıştır [12].

Aslan, çalışmasında CNC torna tezgahlarında kullanılan bir vida açma takımının tasarımı, imalatı ve performans testlerini ele almaktadır. Testlerde, standart bir takım ile eğim açısı ayarlı takımın AISI 1050 malzemesindeki vida açma performanslarını

karşılaştırmıştır. Testlerde adım, besleme açısı, kesme alanı ve kesme hızları belirlenmiş ve kuru işleme koşullarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Piezoelektrik kuvvet ölçen dinamometre kullanarak vida açma sırasında oluşan kuvvetleri ölçmüştür. Sonuçlar, vida açma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini göstermiştir. İlk pasodan son pasoya kadar kesme kuvvetleri incelendiğinde, Takım-B'nin Takım-A'ya göre daha düşük kuvvetle vida açma işlemini gerçekleştirdiğini görmüştür. En düşük kesme kuvveti, 29° besleme açısında 175 m/dak kesme hızında Takım-B kullanılarak 387 N olarak ölçülmüştür [13].

Sur vd., çalışmalarında Ti6Al4V titanyum alaşımının periferik frezeleme işlemindeki kontrol faktörlerini (kesme hızı, ilerleme hızı ve freze takımı helis açısı) optimize etmek için tek ve çok amaçlı yöntemler kullanmışlardır. Sabit ve değişken helis açılı karbür uçlu freze takımları kullanarak gerçekleştirdikleri işlenebilirlik deneylerinin ardından, Taguchi tekniğiyle kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için tek amaçlı optimizasyon yapmışlardır. Daha sonra entropi ağırlıklı TOPSIS yöntemini hem kesme kuvvetini hem de yüzey pürüzlülüğünü en aza indiren kontrol faktörlerinin optimum seviyelerini belirlemek amacıyla kullanmışlardır. Çalışmalarının sonuçlarına göre, freze takımının helis açısının, kesme kuvveti üzerinde en etkili parametre olduğunu, ilerleme hızının ise yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğunu görmüşlerdir. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yüksek kesme hızında azalırken, yüksek ilerleme hızlarında kesme kuvvetlerinin arttığını ve yüzey kalitesinin bozulduğunu gözlemlemişlerdir. Freze takımının helis açısı, sabit helisli takımlara kıyasla işleme yapılırken olumlu bir etkiye sahip olduğu bulguları arasındadır. Daha büyük helis açısına sahip freze takımları kullanarak kesme kuvvetlerini en aza indirmişler ve yüzey kalitesini iyileştirmişlerdir. Değişken helisli takımlardan, büyük helis açısına sahip olanları en iyi performansı göstermiştir. Sonuç olarak, Ti6Al4V titanyum alaşımının periferik frezeleme işleminde minimal kesme kuvveti ve en iyi yüzey kalitesini elde etmek için büyük helis açısına sahip değişken helisli freze takımları kullanılması gerektiğine ulaşmışlardır [14].

Ahmada vd., çalışmalarında tek yönlü karbon fiber takviyeli polimer (UD-CFRP) kompozitlerin kanal frezeleme işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri üzerinde kesme kenarı açısı ve takım aşınmasının etkisini incelemişlerdir. Kesme kuvvetleri

ilerleme ve normal yönlere ölçülmüş, ardından takım yolu teğetsel ve radyal yönlere dönüştürülmüştür. Kesme kuvveti modeli, bir kesme bölgesinden oluşan basitleştirilmiş bir model kullanılarak geliştirilmiş ve takımın kesme yüzeyindeki sürtünme katsayısının belirlenmesine olanak tanımıştır. Çalışmanın bulgularına göre, takım açısının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi, pozitif takım açısına sahip takımın daha verimli kesmeyi sağladığı kayma bölgesinde daha belirgin olmuştur. Ayrıca, işleme hasarı ile oluşan kayma kuvvetinin büyüklüğü ve yöntemi arasında korelasyonlar tespit etmişlerdir [15].

Paliwala ve Babua, çalışmalarında yüksek hızlı frezeleme işlemlerinde, farklı mil hızlarında uygulanan Operasyonel Modal Analiz (OMA) tekniğini kullanarak kararlılık lop diyagramları oluşturmuşlardır. Titreşim sinyallerini, frezeleme işlemi sırasında lazer titreşim ölçer kullanarak elde etmişler. Titreşim sinyallerini OMA için uygun hale getirmek amacıyla freze takımını beyaz gürültü uyarımı ile etkilemek için yeni bir yöntem önermişler. Aynı zamanda farklı mil hızlarında özel kesme kuvveti katsayıları da tahmin etmişlerdir. Mil hızındaki değişimin dinamik parametreler ve özel kesme kuvveti katsayıları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Tahmini özel kesme kuvveti katsayıları ve dinamik parametrelerin uygulanmasıyla farklı mil hızlarında kararlılık lop diyagramları çizmişler ve farklı mil hızlarında oluşturulan kararlılık lop diyagramlarının karşılaştırmalı bir analizini yapıp bu diyagramların doğruluğunu sunmuşlardır [16].

Perez-Salinas vd., çalışmalarında havacılık motoru üretiminde kullanılan türbin disklerinin kama kuyruklarının broşaj yöntemiyle üretiminde, kesici kenarın seramik fırça ile işlenmesinin kesme kuvveti, enerji tüketimi, takım aşınması ve kesici kenar sıcaklığı üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Sonuçlar, kesici kenar yarıçapındaki artışın özellikle ileri yöndeki bileşeni, onu teğetsel bileşene eşitleyerek kesme kuvvetini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, deneysel testler sırasında kesici kenarda önemli aşınma gözlemlenmiştir, bu da kuvvet sinyalleri aracılığıyla algılanan güçlü titreşimlere neden olmuş ve zayıf yüzey kalitesi ile 1'e yakın daha yüksek bir sürtünme katsayısına yol açmıştır. 2D simülasyonlar, kesici kenar profili boyunca sıcaklık dağılımı hakkında bilgi sağlamıştır. Ayrıca, kesme yönü boyunca bozulmuş tanecik sınırları ile karakterize edilen yüzey altı hasarın yanı sıra

termoplastik deformasyon nedeniyle kesintisiz tırtıklı olmayan talaşların oluşumu gözlemlenmiştir. Çalışmaları, 12 µm kesici kenar yarıçapının, kesme kuvveti, sıcaklık ve yüzey kalitesi açısından en iyi performansı sergilediğini ortaya koymaktadır [17]. Pleta vd., çalışmalarında frezeleme işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin mekanik davranışlarının anlaşılması açısından kesme kuvveti modellemesinin önemini vurgulamışlardır. Kesme kuvvetleri, takım ömrü, yüzey kalitesi, boyutsal doğruluk ve işleme süresi gibi süreç iyileştirmeleri için önemli bir rol oynar. Kesme kuvveti modellerinin oluşturulmasının temelinde, literatürde iki ana yaklaşımı bulunmaktadır. Ancak, bu modeller genellikle tam kavrama altındaki kanal açma kesimleri için geçerlidir ve trokoidal frezeleme teknikleri gibi farklı takım yollarında geçerliliklerini sürdürmekte zorlanabilirler. Bu bağlamda, çalışma, özellikle trokoidal frezeleme tekniklerinde kesme kuvveti katsayılarını toplamanın genellikle keşfedilmemiş bir alan olduğunu vurgulanmaktadır. Çalışmada, trokoidal ve kanal açma takım yolları arasındaki kesme parametrelerinin ve katsayı değerlerinin anlaşılmasına odaklanılmıştır. Araştırma, Trokoidal ve oluk açma takım yolları arasındaki kesme parametrelerinin eşleştirilmesinin büyük farklar üretebileceğini, ancak trokoidal frezeleme talaş geometrisi koşullarına dayalı kanal açma parametreleri kullanıldığında bu farklılıkların azaldığını göstermiştir. Ayrıca, katsayı toplama yöntemi, tek ve çift kanallı trokoidal frezeleme arasında benzer sonuçlar üretmiştir; bu sonuçların her ikisi de oluk açma testlerinden elde edilen katsayılardan daha düşüktür. Sonuç olarak, trokoidal frezeleme ve kanal açma testlerinden elde edilen katsayılar arasında benzerlikler ve farklılıklar belirlenmiş ve bu bilgiler trokoidal frezeleme işlemlerinde daha iyi kesme kuvveti modellemesi için kullanılacak önemli bir temel oluşturmuşlardır [18].

Rodriguez-Alabanda vd., çalışmalarında, EN AW 2024-T3 alüminyum alaşımının derin yuva frezeleme işlemini, değişken helis açılı ve talaş ayırıcılı bir takım kullanarak gerçekleştirmiş ve faktöriyel deneme tasarımıyla değerlendirmişlerdir. CAD-CAM, trokoidal takım yolu gibi dinamik talaşlı işleme stratejilerini sunarak kesme kuvvetlerinin ve ısı dağılımının düşük değerlerine dayanan bir prensibe dayanır. Çalışmalarının amacı, bu çözüm için optimizasyon kurallarını belirlemektir. Malzeme kaldırma hızını (MRR), yüzey pürüzlülüğünü (Ra) ve elektrik enerjisi tüketimini (EEC), işleme koşullarının önerilen aralığında analiz etmişlerdir. Sonuçlar, kesme hızı

(vc) ve diş başına ilerleme (fz) faktörlerinin MRR üzerinde en etkili olduğunu, yüzey kalitesinin ise genellikle radyal kesme derinliği (ae) ve diş başına ilerleme (fz) tarafından etkilendiğini göstermiştir. Elektrik enerjisi tüketiminin ise başlıca olarak vc ve fz'ye bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmadan elde edilen verilerle güvenilir lineer regresyon modelleri oluşturmuşlar ve üç ek deneyle bu modellerin doğruluğu doğrulamışlardır. Bu doğrulama sonucunda, MRR ve Rawall için %5'ten daha düşük, EEC ve Rabottom için ise %10 civarında hata oranları elde etmişlerdir [11].

Moayyedian vd., çalışmalarında Hardox 600 (yüksek aşınma direnci ve 600 HBW sertliğine sahip sert ve sağlam elik) frezeleme işleminde farklı işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğu üzerindeki etkisini Taguchi optimizasyon yöntemi kullanarak değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Seçilen işlem parametreleri ilerleme hızı, mil hızı, kesme derinliği ve radial batma olarak belirlenmiştir. Parametrelerin sayısı ve seviyeleri L9'a göre, Taguchi'nin ortogonal dizini seçilmiştir. Dokuz deney için yüzey pürüzlülüğu verileri toplanmıştır. Optimum seviyeyi belirlemek ve her parametrenin katkı yüzdesini belirlemek için sinyal gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi hesaplaması yapılmıştır. Ayrıca, S/N oranının tahmini değerini belirlemek için matematiksel bir model oluşturulmuş ve matematiksel modeli doğrulamak için deneyler uygulanmıştır. Matematiksel model ile deneysel sonuç arasındaki hata payının %5,5 olduğu belirlenmiştir, bu da işleme sürecini etkileyen kontrol edilemeyen parametrelerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, radial batmanın (D), yüksek sertlikte elik (Hardox 600) frezeleme işlemi üzerindeki en önemli parametre olduğu belirlenmiş ve katkısının %45,33 olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, yüzey pürüzlülüğu, önem düzeylerine dayanarak en çok radial batmadan (D), ardından kesme derinliğinden (C), mil hızından (B) ve son olarak ilerleme hızından (A) etkilenmiştir. Seçilen parametrelerin minimum yüzey pürüzlülüğu değeri için optimal seviyesi, radial batma seviye 1, kesme derinliği seviye 1, mil hızı seviye 2 ve ilerleme hızı seviye 2'dir[19].

Kar ve diğerleri, çalışmalarında dikkat çeken bir işleme süreci olan frezelemenin kullanıldığı ve araştırmacıların önemli ölçüde ilgisini çektiği belirtilmiştir. Hassasiyet, işlemenin en zorlayıcı yönüdür. Yüksek hızlı CNC frezeleme teknolojisi, kalıp ve kalıp imalatı için büyük ölçüde artmıştır. Genellikle, ıktı performansı kontrol edilebilir

faktörlere bağlıdır. Bu nedenle, kalıp ve kalıp endüstrisinden gelen yoğun talep nedeniyle yüksek hızlı CNC frezeleme işlemi esnek, çok yönlü ve sağlam olmalıdır. Yüksek hızlı makine, imalat verimliliğini, iş yüzeyi kalitesini ve hassas boyut hassasiyetini kolaylaştırır.

Süreç modelleme ve optimizasyonu, üretim sisteminin temel yönlerindedir. Bu süreç, girdi ve çıktı değişkenleriyle etkileşim içindedir. Temel yanıt olan yüzey kalitesi, performansı tahmin etmede önemli bir parametredir. İşlemenin optimizasyonu, işleme sürecinde önemli bir rol oynar. Burun yarıçapı, radial kesme açısı, kesme hızı ve takım besleme hızının, parmak frezeleme sırasında orta karbonlu çelikte oluşan yüzey kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Genel olarak, yüksek hızlı frezeleme, kalıp ve kalıpların hem bitirme hem de yarı bitirme işlemi için kullanılan bir süreçtir. Frezeleme için büyük bir zorluk, takım titreşimini azaltmak ve daha uzun takım ömrüdür. Daha yüksek üretkenlik için geniş ölçüde yüz frezeleme kullanılmaktadır. İşaretlemelerin işleme kuvveti ve işlenmiş yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi deney sırasında dikkate alınmıştır. Parmak frezeleme genel metal kaldırma işlemi olarak kabul edilir. Kalıp ve kalıp imalatında olduğu gibi yüksek malzeme dayanıklılığı nedeniyle sert parça çelik frezeleme, zorlu bir görev olarak kabul edilir. Takım aşınması, kesici takım kaplamaları, substratlar ve geometri tarafından etkilenir. Parmak frezeleme (CNC) işlemi, metal işletmelerinde çeşitli boyutlardaki karmaşık parçaların işlenmesi için benimsenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, işlenmiş bileşenin düzensiz dalga formlarının temel olarak değerlendirilmesidir. Frezeleme işleminde, malzemenin çıkarılması için çoklu döner dişli kesiciler kullanılır. Her kesici dişin her devirde malzemedan daha az miktarda malzeme çıkardığı zaman kesici dönüşür [20].

Plodzien vd., yüksek performanslı işleme üzerinde helis açısının önemli bir etkisi olduğunu kanıtlayan deneysel testler yapıldığını belirtmişlerdir. Dalgalı kesici kenar şekline sahip bir uç freze için, helis açısı sürekli bir kesici kenar şekline sahip geleneksel bir uç frezeden farklıdır. Helis açısının değerinin, kesme kuvveti bileşenleri, çip tahliye koşulları ve çip boyutu ve şekli üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilmiştir.

Sunulan çalışma ilk kez helis açısının tüm kesme kuvveti bileşenleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu kanıtlamıştır. Helis açısındaki bir artış, aksenal bileşen F_a 'da önemli bir artışa ve F_f ve F_{fN} bileşenlerinde azalmaya neden olur. Ayrıca, etkisinin, teknolojik parametreler a_e ve f_z 'ye bağlı olarak değiştiği gösterilmiştir. Kesme kuvveti bileşenlerinin geliştirilen matematiksel modelleri, helis açısına ve a_e ve f_z 'ye bağlı olarak bir takıma veya iş parçasına etki eden kesme kuvvetlerini hesaplamayı sağlar. Ayrıca, yürütülen araştırma, helis açısının çipler ve çip tahliye koşulları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu kanıtlamıştır. Derin cebirleri işlerken bu konu özellikle önemlidir. Farklı parametreler ve helis açılarıyla frezeleme yapıldığında elde edilen çiplerin şekil ve boyutları sunulmuştur. a_e , f_z ve λ parametrelerinin çip şekli ve boyutu üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Ayrıca, ilk kez, frezeleme sırasında çip hızı ve yer değiştirme testleri yapılmıştır. Helis açısı değeri ile çip tahliye koşulları arasındaki ilişkiler de belirlenmiştir. Araştırmanın sonuçları, dalgalı kesici kenar şekliyle uç frezeler kullanıldığında frezeleme mekanizmalarını daha iyi anlamamıza ve bu bilginin uç freze tasarımı ve HPC işlem planlamasında kullanılmasına olanak sağlar. Ayrıca, ince cidarlı iş parçası işleme durumunda, $\lambda = 40^\circ-50^\circ$ aralığında helis açıları benimsenmelidir. Bu açılar için, aksenal bileşen F_a 'daki artışa rağmen, F_{fN} 'ye en düşük değerler ve besleme F_f bileşenleri kaydedilmiştir. Ancak, böyle yüksek helis açısı değerlerinde, yüksek aksenal kuvvet bileşeni nedeniyle takımın mandaldan kaymasını önlemek ve yeterli bir sıkma kuvveti sağlamak için uygun bir takım sıkma sistemine (hidrolik, ısıl büzme veya mekanik) ihtiyaç vardır [21].

Buranský vd. 'nin yazdığı bu makale, alüminyum (EN AW 6082) ince cidarlı parçaların düzgünlüğü ve yüzey kalitesi üzerinde uç frezenin helis açısının etkisiyle ilgilidir. Üç dişli katı uç frezeler, üçüncü dişin aynı ve farklı helis açısıyla tasarlanmış, çapı 12 mm olan uç frezelerdir. Deneyler, HSC 105 lineer CNC makinesi kullanılarak gerçekleştirildi ve aşağıdaki kesme parametreleri izlendi: kesme hızları (800, 1000 ve 1200 m/dak), diş başına ilerleme (0.12 mm), kesme derinliği (kaba işleme için 10 mm ve finiş için 5 mm). İşlenmiş ince cidarlı parçaların yüzey kalitesinin değerlendirilmesi, uç frezenin helis açısının ince cidarlı parçaların yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. En iyi sonuçlar, üçüncü dişin farklı 35° helis açısı ve kesme hızı 1000 m/dak olan uç freze kullanıldığında elde edilmiştir [22].

2.1. LİTERATÜR İNCELEMESİ GENEL DEĞERLENDİRME ÖZETİ

İncelenen çalışmalarda metal işleme teknikleri, malzeme işleme parametrelerinin optimizasyonu, takım aşınması analizi, frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti modellenmesi gibi konularda çeşitli araştırmaların yürütüldüğü ve işleme süreçlerinin geliştirilmesi üzerine odaklanıldığı görülmüştür. Her bir çalışma, spesifik malzemelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan zorlukları anlamak ve bu zorlukları en aza indirmek için uygun işleme parametrelerini belirleme çabalarını içermektedir.

İlgili alanda sıklıkla kullanılan parmak frezeler ile alakalı literatürde niteliksel ve niceliksel açıdan birçok araştırma bulunmaktadır. İncelenen araştırmalarda genellikle parmak freze ve işlenen yüzey merkeze alınarak farklı değişkenler ile deneysel çalışmalar yapmış ve farklı sonuçlar elde etmiştir. Fakat bu çalışmalar kapsamında, 'kanal açma' ve bahsi geçen işlemin değişkenleri üzerine yapılmış araştırmaların niceliksel olarak az miktarda bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu tezde yapılan çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli nokta parmak frezenin birlikte kullanıldığı malzemeler, işleme yöntemleri, takım geometrisi ve takım yolu ve bütün bu değişkenlerin takım ömrü ile yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi ile sonuçlanan oldukça spesifik bir çalışma olmasıdır. Bunlara ek olarak parmak freze kesici uç sayısı ve helis açısının da kendi içerisinde çeşitlenmesi literatürden yararlanan araştırmacılar için tek bir tez başlığı altında birçok konu hakkında bilgi edinmelerini sağlayacaktır.

BÖLÜM 3

KURAMSAL KAVRAMLAR

3.1. PARMAK FREZE TAKIMLARI

Parmak freze takımları, özellikle CNC işleme makinelerinde kullanılan, endüstriyel işleme araçlarından biridir. Genellikle silindirik saplı ve uç kısmında özel kesici dişlere sahip olan, İnce ve uzun yapısıyla tanınan bu takımlar, CNC tezgâhları gibi hassas işleme ekipmanlarıyla uyumlu olarak farklı malzemelerin işlenmesi için tasarlanmıştır. Parmak freze takımları, endüstriyel işleme araçları arasında önemli bir yer tutar. Yüksek hassasiyet, hızlı işleme ve geniş bir uygulama yelpazesi sunarak, modern imalat süreçlerinde kilit bir role sahiptir. Bu takımlar, metal işleme, plastik işleme, kompozit malzeme işleme gibi birçok farklı uygulama alanına sahiptir. Ayrıca, özel kaplamalar ve malzeme özellikleri nedeniyle geniş bir uygulama yelpazesi bulunmaktadır [23].

3.1.1. Tanım ve Özellikler

3.1.1.1. Temel Tanım ve Genel Özellikler

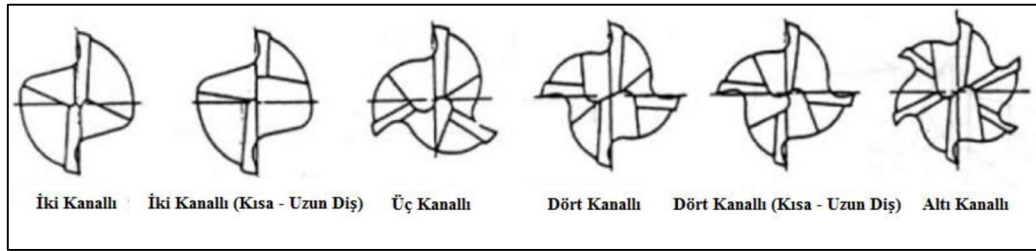
Parmak freze takımları, genellikle tek veya çoklu dişlere, uzun ve ince yapılı sivri kesici uçlara sahiptir. Bu takımların uçları, özel işlemler için tasarlanmıştır ve genellikle belirli bir malzeme veya işleme türüne uyacak şekilde özellikle şekillendirilmiştir. CNC işleme makinelerinde kullanılarak malzemeleri şekillendirme ve kesme görevini üstlenirler. Parmak freze takımları, kesme kenarlarının hassaslığı, geometrisi ve diş profili gibi özellikleriyle karakterize edilir.

3.1.1.2. Takım Geometrisi ve Tasarım Özellikleri

Parmak freze takımlarının tasarımında kullanılan geometri ve özellikler, işleme performansını etkiler. Bu özellikler arasında diş sayısı, takım ucu açıları, çap ve malzeme özellikleri bulunur. Parmak freze takımları genellikle uzun ve ince bir yapıya sahiptir. Bu özellik, belirli işleme görevlerinde daha hassas ve kontrollü bir kesme sağlar. Uzun yapısı, derin yuvalar veya kanallar oluşturmak için idealdir [24][25].

Diş Sayısı

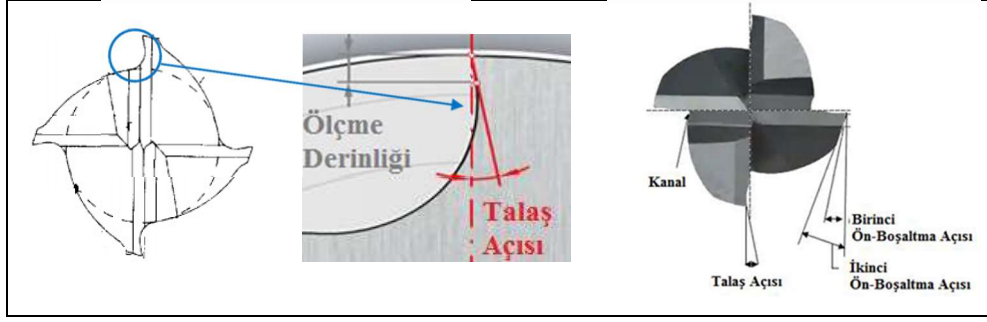
Parmak frezeler, 2-3-4-5-6-8.. adet kesici kenara sahip olabilirler (Şekil 3.1). Ayrıca kesici kenarın kısa veya uzun olmasına göre kesici kenar geometrisi değişiklik gösterebilir.



Şekil 3.1. Diş sayısına göre freze ön geometrileri [26].

Talaş Açısı

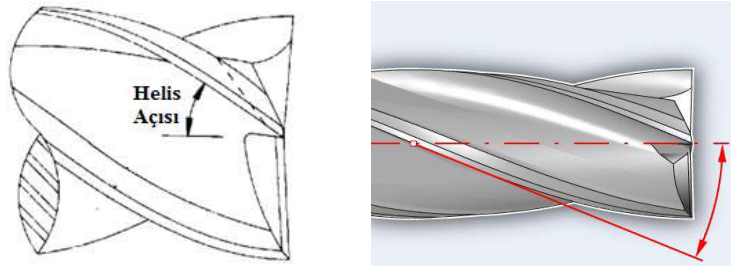
Parmak freze takımlarının kesme performansını etkileyen en önemli açı “Talaş Açısı (Rake Angle)” dır (Şekil 3.2). Talaş açısı talaşı kesen açığa verilen isimdir ve iş parçası yüzeyine çizilen dikeyle, talaş yüzeyi arasındaki açıdır. Pozitif veya negatif olabilir. Talaş kaldırma işlemini etkileyen en önemli geometrik faktördür. Talaş açısının kanal içerisindeki mesafesine ölçme derinliği denir. Ölçme derinliği boyunca kesme açısı mevcuttur. Sonrasında resimde de görüldüğü gibi kanal içi ovallik (kanal formu) başlayacaktır [26].



Şekil 3.2. Talaş Açısı [26].

Kesme yönü ve helis açısı

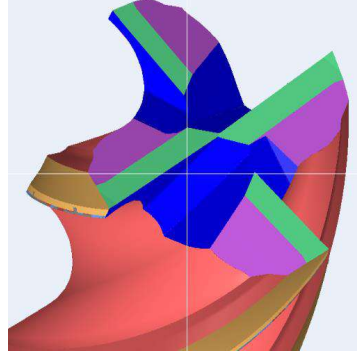
Standart parmak frezeler ve matkaplar sağ heliselidir. Bunun anlamı helisin sağ yönde, kesme yapması için de sağ dönüş yönüne sahip olması gerektiğidir. Helis açısı (Şekil 3.3) kanalın arkaya doğru yöneldiği açıdır.[26]



Şekil 3.3. Helis açısı [26].

Ön Kesme Açıları

Ön kesme açıları, takımın ön kısmında bulunan boşaltma açılarıdır. Genellikle frezele takımlarında 2 adet bulunur. Şekil 3.4'te mor ve yeşil renkte gösterilen kısımlar ön kesme açılarını göstermektedir.[26]



Şekil 3.4. Ön kesme açıları [26].

3.1.1.3. Malzeme Çeşitliliği ve İşleme Kapasitesi

Parmak freze takımları, genellikle sert metaller, plastikler, kompozit malzemeler, metal alaşımları ve bazen seramik gibi çeşitli malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Bu, geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesi sunar. Her bir malzeme için özel olarak tasarlanmış çeşitleri bulunabilir. Malzeme türüne bağlı olarak özel kaplamalarla donatılmış modelleri mevcuttur.

3.1.1.4. Uygulama Esnekliği ve Çeşitliliği

Parmak freze takımlarının geniş bir uygulama yelpazesi vardır. Farklı endüstri sektörlerinde, özellikle CNC işleme uygulamalarında, yüksek hassasiyet ve çeşitli kesici uçlarla çeşitli işlemler gerçekleştirebilirler. İşleme görevine bağlı olarak optimize edilmiş özel kesici dişlere sahiptirler ve bu diş tasarımı, malzemenin türüne ve işleme gereksinimlerine uygun olarak seçilir.

3.1.2. Kullanım Alanları

Parmak freze takımları, çeşitli endüstriyel sektörlerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu takımlar, özel tasarımları ve esnek kullanım özellikleri nedeniyle birçok farklı işleme görevinde tercih edilir. İşte parmak freze takımlarının yaygın olarak kullanıldığı alanlar

3.1.2.1. Metal İşleme Uygulamaları

Parmak freze takımları, çeşitli metallerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Özellikle alüminyum, çelik, titanyum gibi metallerin hassas işlenmesinde tercih edilir.

3.1.2.2. Plastik ve Kompozit İşleme

Bu takımlar, plastik ve kompozit malzemelerin şekillendirilmesi ve kesilmesi için de kullanılır. Yüksek hızlı işleme yetenekleri, plastik endüstrisinde önemli bir avantaj sağlar. Bu, özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde önemli bir uygulamadır.

3.1.2.3. Sert Malzemelerin İşlenmesi

Parmak freze takımları, sert malzemelerin işlenmesinde etkili olabilir. Bu özellikleri, özellikle endüstriyel uygulamalarda dayanıklılık gerektiren durumlar için önemlidir.

3.1.2.4. Özel Kaplamalar ve Malzeme İşleme Performansı

Çeşitli kaplama türleri, takımın aşınma direncini arttırabilir ve malzeme işleme performansını optimize edebilir. Bu, özellikle yüksek sıcaklık veya aşınma koşullarında önemlidir. Uzun ve ince yapısı, parmak freze takımlarını hassas CNC işleme uygulamalarında ideal kılar.

3.1.3. İşleme Performansı

3.1.3.1. Kesme Hızı, İlerleme Hızı ve Diğer İşleme Parametreleri

Parmak freze takımlarının işleme performansı, kesme hızı (V_c), ilerleme hızı (f_z), ve diğer işleme parametreleri ile yakından ilişkilidir. Bu parametrelerin dengeli bir şekilde ayarlanması önemlidir.

3.1.3.2. Kesme Kuvvetleri ve Enerji Tüketimi

İyi bir işleme performansı için kesme kuvvetleri düşük olmalı ve enerji tüketimi minimum seviyede olmalıdır. Bu, daha ekonomik ve verimli bir işleme sürecini sağlar [27].

3.1.3.3. Takım Aşınması ve Ömrü

Parmak freze takımlarının takım ömrü, aşınma direnci ve performansı üzerine etkileri önemlidir. Takımın uzun ömürlü olması, işleme maliyetlerini düşürebilir.

3.1.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü ve İş Parçası Kalitesi

İşleme sırasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü, genellikle parmak freze takımlarının işleme kalitesini belirler. Düzgün ve pürüzsüz yüzeyler, çoğu endüstriyel uygulamada önemlidir.

3.1.4. CNC İşleme Uygulamaları

3.1.4.1. Hassas İşleme ve Detaylı Çalışmalar

Parmak freze takımları, CNC işleme makinelerinde hassas işleme ve detaylı çalışmalar için idealdir. Mikro işleme ve detaylı desenler oluşturmak için kullanılabilir.

3.1.4.2. Endüstriyel Sektörlerde Kullanım Örnekleri

Parmak freze takımları, havacılık, otomotiv, medikal cihazlar ve diğer birçok endüstriyel sektörde kullanılmaktadır.

3.2. HARDOX ÇELİK MALZEME

3.2.1. Genel Özellikler

Hardox çelik, İsveç merkezli SSAB şirketi tarafından üretilen bir marka olup, yüksek dayanıklılık, mükemmel tokluk ve aşınma direnci ile bilinir. Genel özellikleri şunlardır:

1. Yüksek Mukavemet: Hardox çelik, yüksek mukavemet değerleri ile karakterizedir. Bu özellik, malzemenin ağır yüklerle başa çıkma yeteneğini artırır.
2. Mükemmel Aşınma Direnci: Hardox, aşınma ve erozyona karşı mükemmel direnç gösterir. Bu özellik, malzemenin uzun ömürlü olmasını sağlar.
3. İyi Tokluk Özellikleri: Hardox çelik, darbelere ve şoklara karşı iyi tokluk gösterir. Bu özellik, malzemenin çeşitli uygulamalarda güvenli bir şekilde kullanılabilmesini sağlar.
4. Düşük Ağırlık ve Yüksek Mukavemet Oranı: Hardox, yüksek mukavemetine rağmen düşük bir ağırlığa sahiptir, bu da taşıma ve montaj süreçlerinde avantaj sağlar.
5. Çeşitli Sıcaklık Koşullarına Direnç: Hardox çelik, geniş bir sıcaklık aralığında stabil bir performans sergiler. Bu özellik, çeşitli endüstriyel ortamlarda kullanım için uygundur [28].

3.2.2. Endüstriyel Kullanımı

Hardox çelik, endüstriyel sektörlerde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bazı endüstriyel kullanım alanları şunlardır:

1. İnşaat ve Madencilik: Hardox çeliğin yüksek dayanıklılığı, inşaat ekipmanları ve madencilik makineleri için ideal bir seçenek yapar. Ekskavatör kepçeleri, kırıcılar ve buldozerler gibi ağır makinelerde yaygın olarak kullanılır.

2. Taşımacılık ve Ulaşım: Araç şasileri, kamyon döşemeleri ve taşıma ekipmanları gibi taşımacılık uygulamalarında ve taşımacılık sektöründeki birçok parça, Hardox çeliğin aşınma direnci ve hafif yapısı nedeniyle tercih edilir.
3. Metal Geri Dönüşümü: Geri dönüşüm tesislerinde kullanılan parçalar, metalin sürekli işlenmesi ve aşınmaya karşı direnç göstermesi için Hardox çelik ile güçlendirilir.
4. Tarım Makineleri: Pulluklar, traktör parçaları ve diğer tarım ekipmanları, Hardox 'un tokluk ve dayanıklılığı sayesinde tarım endüstrisinde yaygın olarak kullanılır.
5. Enerji Sektörü: Rüzgâr türbinleri, enerji üretim ekipmanları ve petrol endüstrisi için kullanılan parçalar, Hardox çelik ile güçlendirilir.

Bu özellikler ve endüstriyel kullanım alanları, Hardox çeliğin geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduğunu ve özellikle aşınma ve yüksek mukavemet gerektiren alanlarda sıkça tercih edildiğini göstermektedir.

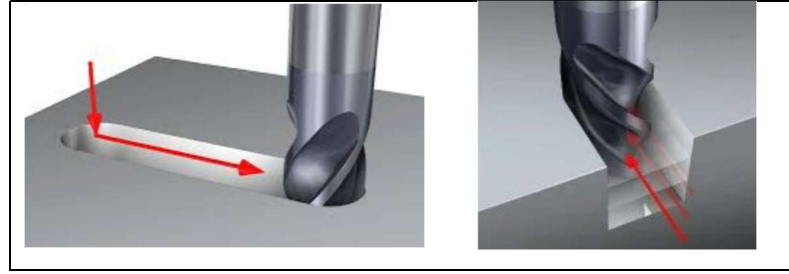
3.3. KANAL AÇMA İŞLEMLERİ

3.3.1. Temel İlkeler

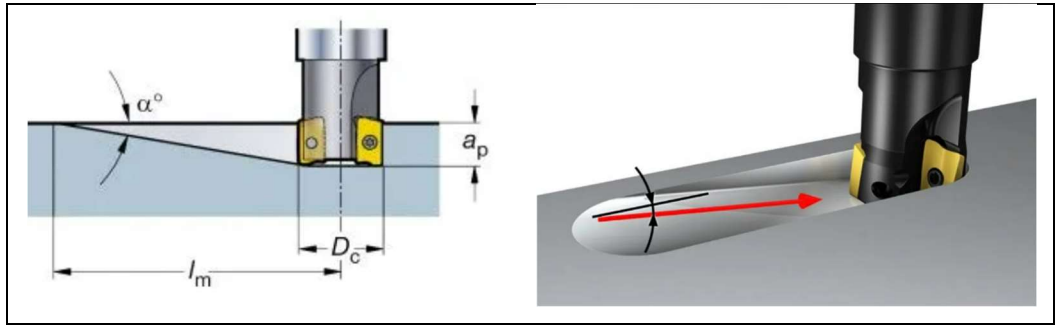
Kanal açma işlemleri (Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7), metal veya diğer malzemelerin üzerinde belirli bir şekilde tanımlanmış bir kesitin oluşturulması amacıyla kullanılan talaşlı imalat yöntemleridir. Bu işlemlerin temel ilkeleri şu şekildedir:

1. Kesici Takım Kullanımı: Kanal açma işlemlerinde, özel olarak tasarlanmış kesici takımlar kullanılır. Bu takımlar, malzemeyi keserken aynı zamanda istenilen kanal veya oluk şeklini oluşturur. Kesici takımların geometrisi, işlenen malzemenin özelliklerine ve işleme koşullarına bağlı olarak değişebilir.
2. İleri ve Geri Hareket: Genellikle kanal açma işlemleri, kesici takımın belirli bir yönde ileri-geri hareketi ile gerçekleşir. İleri hareketle kesici takım malzemeyi keserken, geri hareketle başlangıç noktasına dönerek bir sonraki kesime geçer. Bu hareketler, hassas ve kontrol edilebilir olukların oluşturulmasını sağlar.

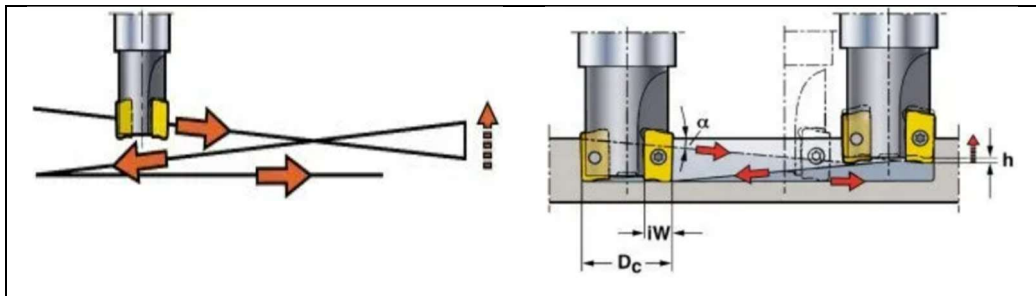
3. Talaş Oluşumu: İşleme sırasında malzemeden talaş adı verilen küçük parçacıklar çıkar. Kesici takımın malzeme ile etkileşimi sonucunda oluşan talaşlar, işlemin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini gösterir. Talaşların düzenli bir şekilde uzaklaştırılması, işlemin verimliliği ve kalitesi için önemlidir.
4. İşleme Parametreleri: Kanal açma işlemlerinde kesme hızı, ilerleme miktarı, kesici takımın hızı gibi işleme parametreleri dikkatlice kontrol edilir. Bu parametreler, işlemin hızını, hassasiyetini ve malzeme üzerindeki etkilerini belirler. Örneğin, yüksek kesme hızları daha hızlı üretimi sağlarken, düşük ilerleme miktarları daha yüksek hassasiyet elde edilmesine olanak tanır.



Şekil 3.5. Kesici parçaya dik yönde dalarak kanal açma [29]



Şekil 3.6. Rampa açısı ile kanal açma [29]



Şekil 3.7. Modifiye edilmiş rampalı kanal açma [29]

3.3.2. Endüstriyel Uygulamalar

Kanal açma işlemleri, geniş bir endüstriyel yelpazede kullanılan çok yönlü bir talaşlı imalat yöntemidir. Bu uygulamalara örnek olarak şunlar verilebilir:

1. Metal İşleme Endüstrisi: Kanal açma işlemleri, metal levhaların şekillendirilmesi ve özel parçaların üretilmesi için yaygın olarak kullanılır. Özellikle otomotiv ve havacılık endüstrilerinde parça üretiminde sıkça tercih edilen bir yöntemdir.
2. İnşaat Sektörü: Çeşitli yapı elemanlarının üretiminde, özellikle çelik ve alüminyum malzemelerin işlenmesinde kanal açma işlemleri yaygın olarak uygulanır.
3. Enerji Üretimi: Kanal açma işlemleri, enerji sektöründe kullanılan özel parçaların imalatında önemli bir rol oynar. Rüzgâr türbinlerinin kanat profilleri gibi hassas parçaların üretiminde sıkça tercih edilir.
4. Teknoloji ve Elektronik: İleri teknoloji ürünlerinin imalatında, özellikle hassas parçaların üretilmesinde kanal açma işlemleri büyük önem taşır.

3.4. TAKIM GEOMETRİSİ VE TAKIM YOLU

3.4.1. Temel Kavramlar

Takım geometrisi ve takım yolu, parmak freze takımlarının işleme yeteneklerini belirleyen önemli unsurlardır [30]. Bu temel kavramlar aşağıda detaylandırılmıştır:

1. Kesici Kenar: Freze takımlarının en kritik bölgesi olan kesici kenar, malzemenin işlenmesinden sorumludur. Kesici kenarın geometrisi, işleme hızı, talaş oluşumu ve takımın genel performansını etkiler. Kesici kenarın şekli, örneğin yuvarlatılmış, konik veya düz olması, kesme sürecindeki dinamikleri etkiler.
2. Kesici Açılar: Kesici kenardaki açılar, kesme sürecinin kontrolünü sağlar. Örneğin, salınım açısı, talaşın şekillenmesini ve kontrolsüz genişlemesini engelleyerek işleme kalitesini artırabilir. Ayrıca, ana kesme açısı ve salınım açısı

arasındaki ilişki, işleme hızı ve aşınma direnci üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

3. Takım Malzemesi: Parmağın yapıldığı malzeme, takımın genel performansını etkiler. Aşınma direnci, ısıya dayanıklılık ve işleme hızı, seçilen malzemenin önemli özellikleridir. Karbür, seramik ve elmas kaplamalar gibi özel malzemeler, belirli uygulamalara uygun olarak seçilebilir.
4. Takım Yolu Tasarımı: Takım yolu, freze takımının işleme sırasında malzeme üzerindeki hareketini belirler. Trokoidal veya helisel yollar, daha düşük kesme kuvvetleri ve daha pürüzsüz yüzeyler elde etmek için tercih edilebilir. Doğru tasarlanmış bir takım yolu, işleme sırasında oluşabilecek titreşimleri ve aşınmayı minimize etmeyi hedefler.

3.4.2. İşleme Performansına Etkileri

Takım geometrisi ve takım yolu tasarımının işleme performansı üzerindeki etkileri aşağıda detaylandırılmıştır:

1. Kesme Kuvvetleri: İyi bir takım geometrisi ve yolu, kesme kuvvetlerini optimize ederek daha düşük enerji tüketimi sağlar. Bu durum, işleme sırasında daha az enerji kaybı ve daha uzun takım ömrü anlamına gelir.
2. Yüzey Pürüzlülüğü: Takımın doğru tasarımı, işlenen malzemenin yüzey kalitesini belirler. Keskin kesici kenarlar ve uygun takım yolu tasarımı, istenen düzgünlükte ve pürüzsüz bir yüzey finışı elde etmeye yardımcı olur.
3. Talaş Kontrolü: Takım yolu tasarımı, talaş oluşumunu kontrol ederek işleme sırasında daha iyi bir talaş yönetimi sağlar. Bu, talaşların etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını ve işleme kalitesinin artırılmasını sağlar.
4. Aşınma Direnci: Doğru takım geometrisi seçimi, aşınma direncini artırabilir. Bu durum, takımın uzun süre boyunca etkili bir şekilde çalışmasını sağlar ve işleme maliyetlerini düşürür.

3.5. PARMAK FREZE TAKIMLARI İLE HARDOX ÇELİK ÜZERİNDE KANAL AÇMA

3.5.1. Takım Geometrisinin Rolü

Parmak freze takımlarında, işleme sırasında kritik bir rol oynayan özel bir takım geometrisi vardır. Bu geometri, işleme performansını belirleyen bir dizi önemli faktöre sahiptir. Bu bölümde, takım geometrisinin rolü şu unsurlar üzerinden açıklanacaktır:

1. Kesici Kenarın Yapısı: Parmak freze takımlarının kesici kenarı, işleme hızı, talaş kontrolü ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Keskin ve düzgün bir kesici kenar, malzemenin yüksek sertlikte olduğu durumlarda bile daha düşük kesme kuvvetleri ve daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağlar.
2. Kesici Açılar: Parmak freze takımlarındaki kesici açılar, işleme sırasında oluşan kuvvetleri ve talaş oluşumunu belirler. Örneğin, negatif kesici açılar, sert malzemelerde daha etkili bir talaş kontrolü sağlayabilir.
3. Malzeme Seçimi: Parmak freze takımlarının yapıldığı karbür malzemenin seçimi, işleme performansını büyük ölçüde etkiler. Hardox gibi sert malzemelerle başarılı bir işlem için uygun karbür malzemenin seçimi önemlidir.

3.5.2. Takım Yolunun İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri

Parmak freze takımlarıyla yapılan işlemlerde, takım yolunun seçimi işlenebilirlik üzerinde belirleyici bir faktördür [30]. Bu alt başlık altında aşağıdaki konular detaylandırılacaktır:

1. Trokoidal ve Helisel Yolların Seçimi: Trokoidal ve helisel takım yolu stratejileri, kesme kuvvetlerini ve ısının etkilerini kontrol etmede önemlidir. Trokoidal yollar, işleme sırasında daha düşük kesme kuvvetleri sağlayabilir, bu da takım ömrünü ve yüzey kalitesini iyileştirebilir.
2. Yolun Talaş Kontrolü Üzerindeki Etkisi: Parmak freze takımlarıyla yapılan işlemlerde takım yolunun talaş kontrolü üzerindeki etkisi, işleme kalitesi ve

takım ömrü açısından önemlidir. Özellikle sert malzemelerle çalışırken, uygun bir takım yolunun seçimi talaşların etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar.

3. İşleme Hızı ve Takım Yolu İlişkisi: İşleme hızı ile seçilen takım yolunun etkileşimi, malzemenin işlenme sürecini belirler. Optimum işleme koşullarının belirlenmesi için bu ilişki üzerinde durulacaktır. İşleme hızının artırılmasıyla birlikte, uygun takım yolu seçimleriyle daha etkili bir üretim süreci mümkündür

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında, Hardox 450 çelik malzemesine, farklı helis açısına sahip olarak üretilmiş sementit karbür parmak frezeler ile takım çap genişliğinde, sıg kanal açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel takım helis açısı, kanal açmada kullanılan takım yolu ve çalışma kapsamında değişken olarak belirlenen ilerleme miktarının kesme kuvveti oluşumu, yüzey pürüzlülüğü ve ölçü tamlığı üzerine etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçları, en uygun takım geometrisi ve işleme koşulunu belirlenmesinde kullanılmıştır. En uygun takım geometrisi ve işleme koşulu, düşük kesme kuvveti ve en iyi yüzey kalitesinin elde edilebildiği durum olarak değerlendirilmiştir. Aşağıda, bu deney ağırlıklı tez çalışmasında kullanılan materyaller ve yöntemler özetlenmiştir.

4.1. DENEY MALZEMESİ

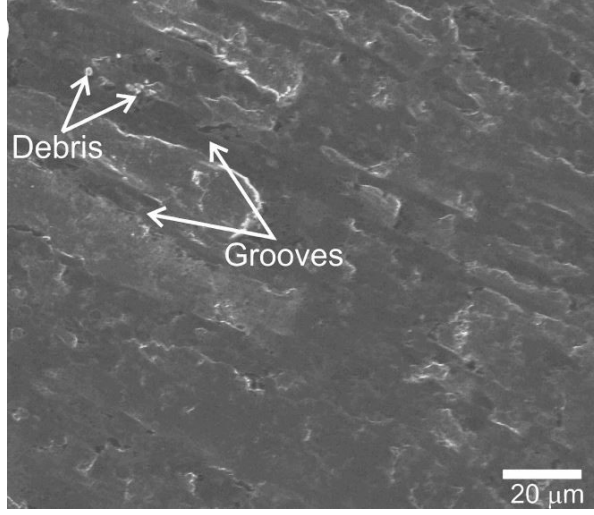
İşleme deneylerinde, yüksek dayanıklılık, mükemmel tokluk ve aşınma direnci özellikleri nedeniyle inşaat, madencilik, taşımacılık, metal geri dönüşümü, tarım makineleri ve enerji sektörü alanlarında yaygın olarak tercih edilen Hardox 450 çelik malzemesi kullanılmıştır. İşleme deneylerinde kullanılan malzeme boyutları; en:80mm, boy:125mm ve kalınlık:10mm şeklindedir. Çizelge 4.1’de Hardox 450 çeliğinin kimyasal bileşimi, Çizelge 4.2’de mekanik özellikleri ve Şekil 4.1’de mikroyapı görüntüsü sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Hardox 450 çeliği kimyasal bileşimi.

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Sn	Zn	Fe
Değer, %	0.147	0.227	1.075	0.006	0.013	0.405	0.064	0.014	0.029	0.001	0.006	97.998

Çizelge 4.2. Hardox 450 çeliği bazı mekanik özellikleri [28].

Çekme Dayanımı (σ_K), MPa	Akma Dayanımı (σ_a), MPa	Sertlik (Brinell), HBW	Elastisite Modülü, (GPa)
1250	1100	425-475	190-210

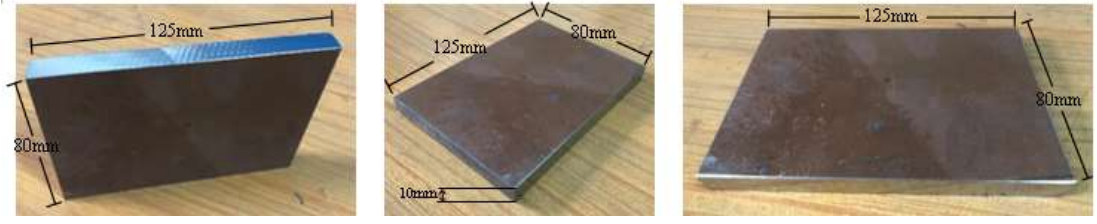


Şekil 4.1. Hardox 450 çeliğinin SEM mikroskobu ile çekilmiş görüntüsü [31].

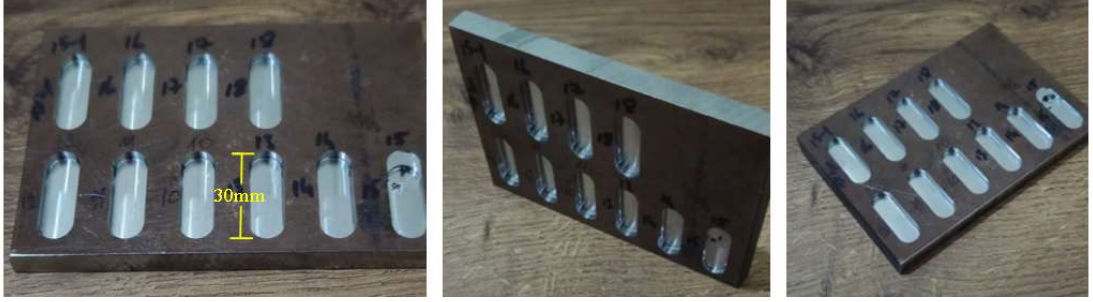
İşleme deneylerinde kullanılan Hardox 450 malzemenin (Şekil 4.3, Şekil 4.4) kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde, yakma metodu ile açığa çıkan elementleri belirleyen, "GNR S1 MiniLAB 150" marka metal analiz spektrometre cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait gerçek görsel Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. GNR S1 MiniLAB 150 Metal Analiz Spektrometre Cihazı.



Şekil 4.3. Hardox 450 çeliğinin deneyden önceki görseli.



Şekil 4.4. Hardox 450 çeliğinin deneyden sonraki görseli.

4.2. KESİCİ TAKIMLAR

Tez çalışmamızın ana hedeflerinden bir tanesi Hardox 450 malzemeye kanal açma işleminde kesici takım geometrisinin etkisini izlemektir. Parmak frezelerin kesme performansı üzerinde helis açısı ve helis açısının tüm kesici ağızlar için sabit veya değişken olması etkilidir. Bu amaçla deneylerimizde sabit ve değişken helis açılı takımların belirlenen işleme koşullarında kesme kuvveti oluşumu, yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı açısından performansları değerlendirilmiştir. Kesici takımlar, Hardox 450 çeliğinin zor işleme koşulları nedeniyle sementit karbür malzemedan üretilmiştir. Bu kesici takımların bileme işlemleri, Eskişehir ilinde faaliyet gösteren ve endüstriyel kesici takımlar konusunda uzmanlaşmış olan KARCAN Ltd. Şti tarafından gerçekleştirilmiştir. Kesici takımların bileme işleminden sonra ise tamamı PVD (Fiziksel Buhar Kaplama) yöntemi ile aynı kaplama malzemesi (AlCrN) ile kaplanmıştır.

Parmak frezeler (Şekil 4.5) 10 mm çapında, endüstriyel standartlara uygun olarak üretilmiştir. Sabit helis açılı kesici takımlar, 35° ve 38° helis açısında dört kesici ağza sahiptir. Sabit helis geometrili parmak frezeler 35° helis açılı takım “SH1” ve 38° helis açılı takım “SH2” olarak kodlanmıştır. Değişken helis açılı kesici takımın karşılıklı iki

helisi aynı açıda, dört ağızlı ve kesici ağızlar 35°/38° helis açısına sahiptir. Bu kesici takım da “DH1” olarak kodlanmıştır. Kesici takımların geometrik ölçüleri, kesme helisi özellikleri, kesme açıları ve diğer önemli parametreleri, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te detaylı olarak gösterilmiştir

Çizelge 4.3. İşleme deneylerinde kullanılan sabit helisli parmak frezelerin özellikleri.

Sabit Helisli: $\beta_1 = \beta_2$ PVD kaplanmış						
Takım No	Helis Açısı (β_1), °	İşleme çapı (d1), mm	Şaft çapı (D), mm	Kesme boyu (L1), mm	Tam boy (L), mm	Kesici ağız sayısı (z), Adet
SH1	35	10	10	22	72	4
SH2	38	10	10	22	72	4

Çizelge 4.4. İşleme deneylerinde kullanılan değişken helisli parmak frezeler.

Değişken Helisli: $\beta_1 \neq \beta_2$ PVD kaplanmış						
Takım No	Helis Açısı (β_1/β_2), °	İşleme çapı (d1), mm	Şaft çapı (D), mm	Kesme boyu (L1), mm	Tam boy (L), mm	Kesici ağız sayısı (z), Adet
DH1	35/38	10	10	22	72	4



Şekil 4.5. Deneyde kullanılan parmak frezelerin gerçek görseli; a) 35°, b) 38°, c) 35/38°.

4.3. TAKIM TUTUCU

Parmak frezelerin takım tezgâhı iş miline takılmasında kullanılan adaptörlerin en düşük salgı ve balansla güvenli sıkma kuvveti uygulayarak takımı bağlama özelliğine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, işleme deneylerimizde parmak frezelerin tezgâha bağlanmasında JIS B 6339 standardına sahip hidrolik takım tutucu (BT40) kullanılmıştır.

Hidrolik takım tutucu "Schunk/206436" markadır (Şekil 4.6). Hidrolik takım tutucu, JIS B 6339 standardına uygun, sıkma kuvvetini dengeli bir şekilde dağıtarak işleme sırasında stabilite ve doğruluk sağlar. Parmak frezeler, hidrolik takım tutucusu üzerine 10 mm çapındaki özel pens aracılığıyla bağlantı noktasına bağlanmıştır. Kesici takımlar, pensten itibaren çapının 3 katını geçmeyecek şekilde, 25 mm boyunda bağlanmıştır.



Şekil 4.6. Hidrolik takım tutucu [32].

4.4. TAKIM TEZGÂHI

Kanal açma işleme deneyleri, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği bölümünde bulunan laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Deneyler, “Fanuc O-M” işletim sistemli "Johnford VMC550" marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır.

CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri, Çizelge 4.5'te detaylı olarak sunulmuştur ve görsel olarak Şekil 4.7'de yer almaktadır. Bu dik işleme merkezi, iş parçalarının yüksek hassasiyet ve verimlilikle işlenmesini sağlayan modern özelliklere sahiptir. Deneylerimizde kullanılan bu CNC dik işleme merkezi, hassas işleme adımlarını gerçekleştirmek için uygun teknik kapasiteye sahip bir ekipman olarak tercih edilmiştir.

Deneylerde elde edilen veriler, işlenen malzemenin işlenebilirlik özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlamıştır. Gazi Üniversitesi'nin modern laboratuvar olanakları ve teknik ekipmanları, bu tür araştırmaların başarılı bir şekilde yürütülmesine olanak tanımaktadır.

Çizelge 4.5. CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri.

Teknik özellikleri	Ölçüsü
Y eksen hareket boyu:	500 mm
X eksen hareket boyu:	550 mm
Z eksen hareket boyu:	500 mm
Tezgâh gücü:	12 kW
Maksimum devir sayısı:	5500 dev/dk.
Hassasiyet:	0,001 mm
Takım bağlama kapasitesi:	20 adet
Kontrol sistemi:	Fanuc Series O-M



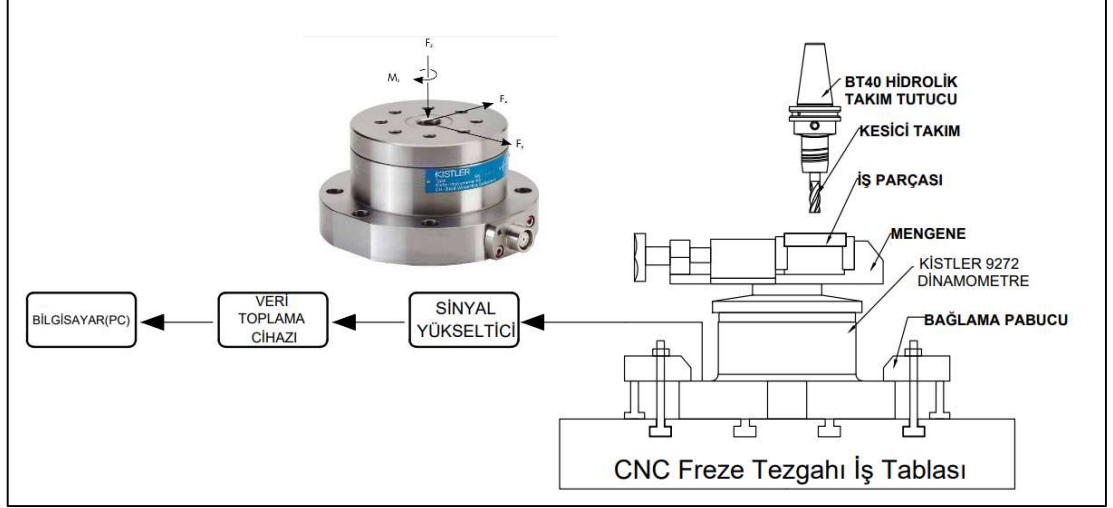
Şekil 4.7. Deneylerin yapıldığı CNC dik işleme merkezinin gerçek görünümü.

4.5. KESME KUVVETİ ÖLÇÜM CİHAZI VE DENEY DÜZENEGİ

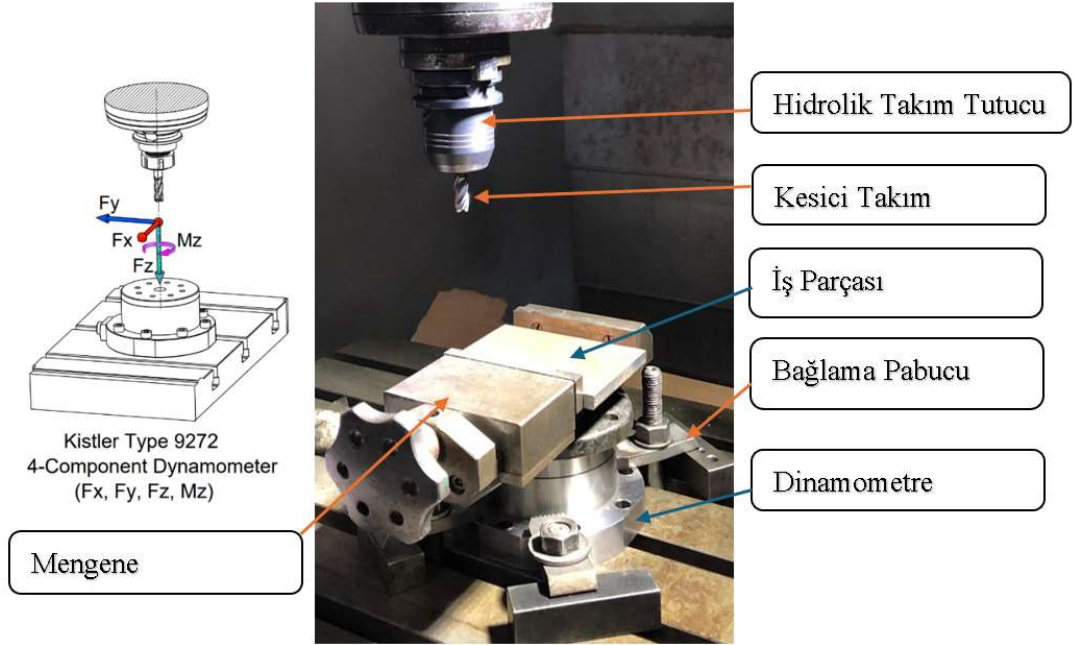
Kesme kuvvetlerinin işleme esnasında anlık veri toplanarak (1000 Hz) ölçümünde, CNC freze tezgahı tablasına bağlanmış olan “Kistler 9272” model piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre, kesme kuvvetlerinin üç bileşenini ve kesme esnasında oluşan torku aynı anda ölçme kabiliyetine sahiptir. Kesme kuvvetleri, her bir deney sırasında saniyede 1000 veri alınarak talaş kaldırma süresince sürekli olarak ölçülmüştür. Kanal açma işlemi esnasında oluşan kesme kuvveti ve moment ölçümleri, “Johnford VMC-550” dik işleme merkezi tablasına “Kistler 9272” model dinamometre bağlanarak yapılmıştır. Dinamometreden alınan veriler “Kistler Type 5070” marka yükselticiye aktarılmıştır. Elde edilen verilerin grafiksel olarak analiz edilebilmesi için "DynoWare" programı kullanılmıştır. Bu program yardımıyla kesme kuvvetlerinin üç bileşeni içinde kesme süresince elde edilen kuvvet değerlerinin en düşük, en yüksek ve aritmetik ortalamaları alınmıştır. Dinamometre, kesme süresince oluşan talaş kaldırma kuvvetinin kartezyen bileşenlerini (F_x , F_y , F_z) ölçmektedir. Bu bileşenler, iş malzemesi ve kesici takım üzerinde kuvvetin etkilediği yönü göstermektedir. Bu kuvvet bileşenleri bileşke kesme kuvvetini hesaplamakta kullanılır.

Kanal frezeleme deneyleri için kurulan deney düzeneğinde, kullanılan dinamometre CNC dik işleme merkezinin tablasına bağlama pabuçları ile sabitlenmiştir. İş parçası ise dinamometrenin teknik montaj özelliğine uygun olacak şekilde dinamometrenin üzerine mengene yardımıyla bağlanmıştır. Dinamometreye uygun sinyal yükseltici ve veri toplama cihazına bağlantıları yapılarak Dynoware programı ile bilgisayara veri

aktarımı sağlamıştır. Şekil 4.8’de deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 4.9’da da deney esnasından gerçek görüntü sunulmuştur.



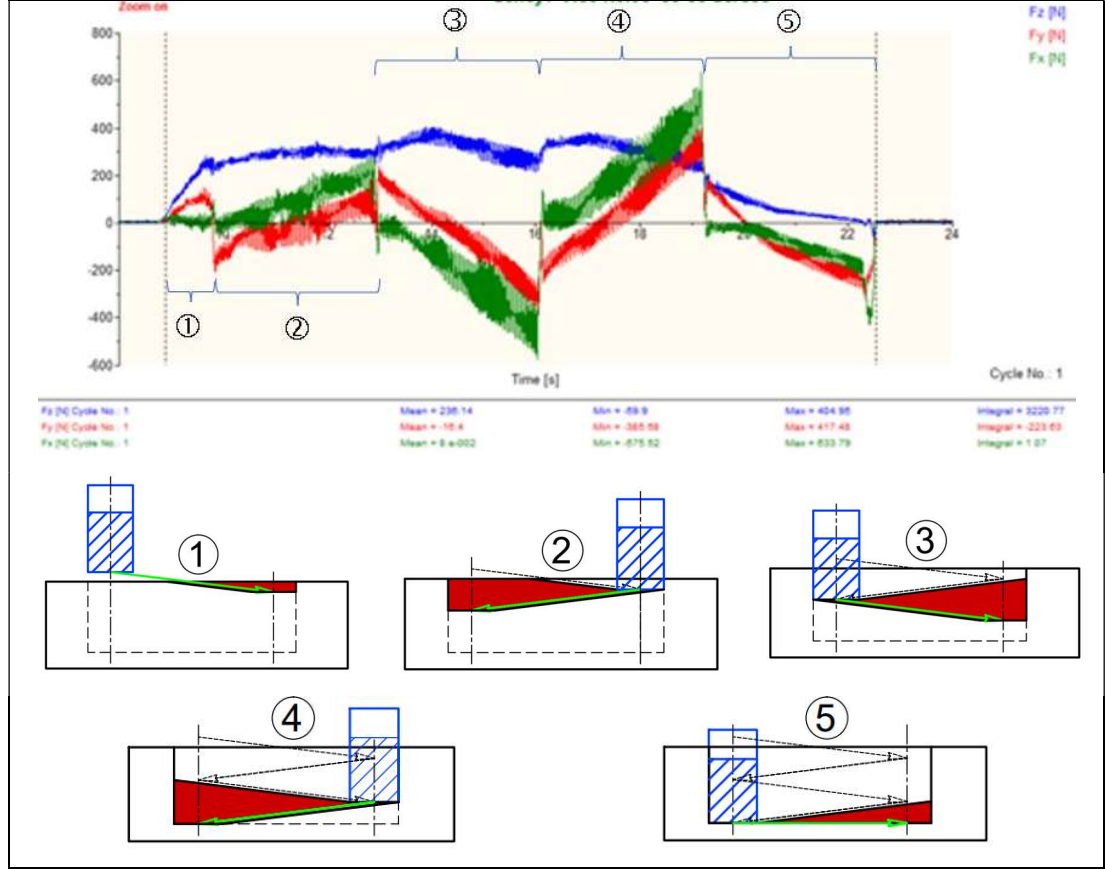
Şekil 4.8. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.



Şekil 4.9. Mengene içine yerleştirilmiş Hardox 450 çeliği deney malzemesi, dinamometre, kesici takım ve deney düzeneğinin genel görünümü.

Kanal açma deneylerinde, kanalın açılmasında kesmenin başladığı andan bittiği ana kadar, dinamometrenin her bir kuvvet ölçme yönünde oluşan, en düşük ve en yüksek

kesme kuvveti değerleri tespit edilmiştir. Şekil 4.10'da örnek bir deneyde kesme kuvveti bileşenlerinin belirlenmesi ile ilgili görsel sunulmuştur.



Şekil 4.10. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı ölçülen kesme kuvvetleri grafiği ve kanal açma sürecinde takım yolu-talaş hacmi ile ilgili görseller

Hardox 450 çelik iş parçasının kanal frezelenmesi esnasında iş kalıbı içerisinde dinamometre düzleminde olacak şekilde mengene çenelerine iş parçasının tüm yüzeylerinin temas etmesi amacıyla, öncesinde kenar frezeleme işlemi uygulanmıştır ve mengeneye sabitlenmiştir. Talaş kaldırma işlemi kesici takım çapında 10 mm talaş genişliğinde, iş parçasının 0,5 mm yukarisından başlatılmış ve 3° açıyla rampalı kesme yöntemiyle 20 mm boyda talaş kaldırarak yapılmıştır.

4.6. DENEY PARAMETRELERİ

Bu çalışmada, Hardox 450 deney malzemesinin üzerine kanal frezeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Frezeleme işlemi sırasında sabit helis açılı ve değişken helis açılı

(2 helis açılı) parmak frezeler kullanılmış olup, 3 farklı ilerleme oranı ve 2 farklı takım yolu incelenmiştir. Deneyler Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir ve kullanılan kesme parametreleri aşağıda belirtilmiştir:

Kesme Hızı (vc): Sabit kesme hızı olarak 50 m/dk sabitlenmiştir. Bu değer, Hardox 450 malzemesi için belirlenen optimum kesme hızıdır ve deneyler sırasında sabit tutulmuştur.

İlerleme Oranı (f): Deneylerde 3 farklı ilerleme oranı kullanılmıştır. İlerleme oranları sırasıyla 0.06 mm/diş, 0.08 mm/diş ve 0.1 mm/diş olarak belirlenmiştir. Orta değer 0.08 mm/diş değeri alınmış ve bu değer %33 artırılıp azaltılarak diğer ilerleme miktarları belirlenmiştir. Böylelikle ilerleme miktarında %33 ve %66 değişim oranına bağlı kuvvet ve yüzey pürüzlülüğünde değişimler analiz edilmiştir.

Kesme Derinliği (ap): Kesme derinliği olarak 3,5 mm sabitlenmiştir. Bu değer, freze işleminin iş parçasına etkili bir şekilde girerek istenilen malzeme kaldırma miktarını sağlamak için belirlenmiştir.

Takım ve Takım Yolu: Deneylerde sabit helis açılı ve değişken helis açılı (2 helis açılı) parmak frezeler, zig-zag ve kalkmalı zig-zag takım yolu ile kullanılmıştır. Bu frezelerin helis açıları ve kullanılan takım yolları, kesme işleminin stabilitesi, kullanılan takımlara gelen yük ve yüzey kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Bu kesme parametreleri, Hardox 450 malzemesi üzerinde kapalı kanal frezeleme işlemi sırasındaki performansı değerlendirmek ve optimal işleme koşullarını belirlemek amacıyla seçilmiştir. Elde edilen veriler, işlenen malzemenin işlenebilirlik özellikleri ve kesme performansı hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ayrıca Çizelge 4.6 ve 4.7 de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Sabit helis açılı parmak frezelerin kesme parametreleri.

Sabit helis açılı parmak freze			
İlerleme miktarı (fz), mm/diş	0,06	0,08	0,1
Kesme hızı (Vc), m/dk.	50		
Helis açısı (β), °	35	38	
Takım yolu (T_p)	Rampalı dalış ve Zig-zag kesme	Rampalı dalış ve Kalkmalı Zig-Zag	
Rampa açısı (R_a), °	3		
Talaş derinliği (a_p), mm	1. rampa= 0 ~ 0,5 mm 2. rampa= 0 ~ 1,5 mm 3. rampa= 0 ~ 2 mm 4. rampa=0 ~ 2 mm Son düz kesim= 0 ~ 1 mm		
Talaş genişliği (a_e), mm	10		
Toplam Deney Sayısı, adet	12		

Çizelge 4.7. Değişken helis açılı parmak frezelerin kesme parametreleri.

Değişken helis açılı parmak freze			
İlerleme miktarı (fz), mm/diş	0,06	0,08	0,1
Kesme hızı (Vc), m/dk.	50		
Helis açısı (β), °	35/38		
Takım Yolu (T_p)	Rampalı dalış ve Zig-zag kesme	Rampalı dalış ve Kalkmalı Zig-Zag	
Rampa açısı (R_a), °	3		
Talaş derinliği (a_p), mm	1. rampa= 0 ~ 0,5 mm 2. rampa= 0 ~ 1,5 mm 3. rampa= 0 ~ 2 mm 4. rampa=0 ~ 2 mm Son düz kesim= 0 ~ 1 mm		
Talaş genişliği (a_e), mm	10		
Toplam Deney Sayısı, adet	6		

Literatür taramasında ve kesici takım katalogları incelendiğinde Hardox 450 malzemesinin karbür kesici takımlar ile frezelenmesinde en iyi sonuçlar için 40 m/dk. ile 60 m/dk. aralığı tavsiye edilmiştir [33]. Bu bilgi ışığında, çalışmamızda kesme hızı literatürdeki bu değerlerin ortalaması olan 50 m/dk. Olarak seçilmiştir. Benzer şekilde,

ilerleme miktarı için de literatür ve katalog değerlerine sadık kalınarak 0.08 mm/diş ilerleme miktarı orta değer baz alınmış ve bu değer de %33 oranında artırılıp azaltılarak üç farklı ilerleme miktarı belirlenmiştir.

Bu deney parametrelerinin belirlenmesinin ardından toplamda 18 deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, karbür kesici takımlar ile kanal açma işleminde, takım yolu ve ilerleme oranındaki değişikliklerin Hardox 450 malzemesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla 6 grupta 3'er deney olacak şekilde planlanmıştır.

Bu deneyler, Hardox 450 malzemesinin karbür kesici takımlar ile kanal frezeleme sürecinde en uygun kesme koşullarını belirlemek ve kesme performansını optimize etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatüre ve endüstriyel uygulamalara, ileriye dönük araştırmalar için önemli bir referans oluşturacaktır.

4.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM CİHAZI VE ÖLÇME YÖNTEMİ

İşlenmiş yüzeyler üzerindeki ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için "Mahr M300" marka profilometre cihazı (Şekil 4.11) kullanılmıştır. Profilometre cihazının iğnesinin uç yarıçapı 2 µm olup, ölçme kuvveti 0,75 mN olarak belirlenmiştir. Ayrıca, tarama hızı 0,5 mm/s ve örnekleme uzunluğu 0,8 mm olarak ayarlanmıştır. Yüzey pürüzlülük göstergesi aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) ve en büyük pürüzlülük (Rz) türünden değerlendirilmiştir. Pürüzlülük ölçümleri kanal duvarları ve taban yüzeyinden her biri için en az 4 (dört) ölçüm yapılarak aritmetik ortalama değer hesaplanarak belirlenmiştir. Tespit edilen değerler çizelgeye aktarılmış ve grafiğe dönüştürülerek değişken deney parametrelerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Deneş malzemesi ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının gerçek görünümü.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. KESME KUVVETİ ÖLÇÜM SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

Sabit ve değişken helis parmak frezeler ile iki farklı takım yolu kullanılarak kanal açma deneylerinde piezoelektrik dinamometre ile anlık elde edilen kesme kuvveti bileşenlerine ait veriler toplanmıştır. Tüm deneylerde elde edilen veriler Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de sunulmuştur. Bu çizelgede yer alan veriler kullanılarak grafikler türetilmiş ve helis açısına bağlı ayrıştırılarak yorumlanmıştır.

Çizelge 5.1. Deney şablonuna uygun rampalı kanal açma takım yolu ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen kesme kuvveti verileri

Deney No	Takım Yolu	Takım Helis Açısı (λ), °	İlerleme Mik. (fz), mm/diş	Kesme Kuvveti Bileşenleri, N			
				Kuvvet Yönü	Fx	Fy	Fz
1	Rampalı Dalış	35	0,06	Negatif	-598,14	-419,92	-8
				Pozitif	630,86	422,04	347,01
2	Rampalı Dalış	35	0,08	Negatif	-639,32	-432,45	-42,97
				Pozitif	724,28	452,31	388,67
3	Rampalı Dalış	35	0,1	Negatif	-709,96	-507,81	-35,81
				Pozitif	784,83	525,88	454,43
4	Rampalı Dalış	38	0,06	Negatif	-575,52	-385,58	-59,9
				Pozitif	633,79	417,48	404,95
5	Rampalı Dalış	38	0,08	Negatif	-659,67	-445,48	-46,22
				Pozitif	720,87	503,58	485,68
6	Rampalı Dalış	38	0,1	Negatif	-696,78	-522,79	-42,97
				Pozitif	770,02	567,22	527,34
7	Rampalı Dalış	35/38	0,06	Negatif	-309,08	-374,67	-52,73
				Pozitif	313,96	398,27	337,24
8	Rampalı Dalış	35/38	0,08	Negatif	-356,93	-489,58	-62,5
				Pozitif	371,91	514,16	387,37
9	Rampalı Dalış	35/38	0,1	Negatif	-406,09	-568,2	-80,73
				Pozitif	430,66	600,91	419,92

Çizelge 5.2. Deney şablonuna uygun rampalı kalkmalı kanal açma takım yolu ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen kesme kuvveti verileri.

Deney No	Takım Yolu	Takım Helis Açısı (λ), °	İlerleme Mik. (fz), mm/diş	Kesme Kuvveti Bileşenleri, N			
				Kuvvet Yönü	Fx	Fy	Fz
1	Rampalı Kalkmalı Dalış	35	0,06	Negatif	-494,63	-413,25	-26,69
				Pozitif	629,56	442,22	544,92
2	Rampalı Kalkmalı Dalış	35	0,08	Negatif	-595,54	-501,95	-63,15
				Pozitif	669,76	527,83	581,38
3	Rampalı Kalkmalı Dalış	35	0,1	Negatif	-648,44	-566,27	-70,31
				Pozitif	761,56	624,84	633,46
4	Rampalı Kalkmalı Dalış	38	0,06	Negatif	-558,43	-492,19	-29,95
				Pozitif	597,01	503,42	432,29
5	Rampalı Kalkmalı Dalış	38	0,08	Negatif	-644,53	-576,01	-48,83
				Pozitif	721,84	584,8	491,54
6	Rampalı Kalkmalı Dalış	38	0,1	Negatif	-536,13	-508,3	-52,08
				Pozitif	623,37	602,05	616,89
7	Rampalı Kalkmalı Dalış	35/38	0,06	Negatif	-223,96	-369,91	-57,94
				Pozitif	252,6	378,08	270,83
8	Rampalı Kalkmalı Dalış	35/38	0,08	Negatif	-282,88	-477,7	-74,22
				Pozitif	309,41	502,12	263,02
9	Rampalı Kalkmalı Dalış	35/38	0,1	Negatif	-351,89	-569,82	-93,1
				Pozitif	387,86	613,61	288,41

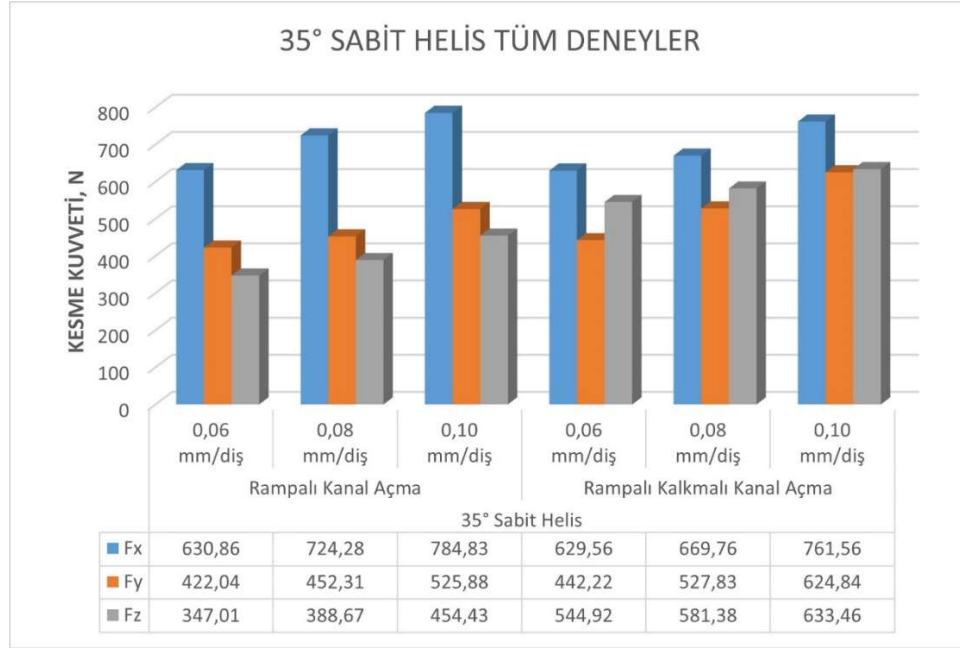
Kanal açma deneylerinde kesici takım performanslarının kesme kuvveti açısından değerlendirilmesinde kanal açmada kullanılan takım yolu değişimi ve değişken parametre olarak seçilen ilerleme miktarı dikkate alınmıştır. Bu işlem her bir kesici takım için bağımsız ve birbiri ile kıyaslama yapılarak gerçekleştirilmiştir.

5.1.1. Sabit Helisli Parmak Frezelerin Kesme Kuvveti Deney Sonuçları ve Değerlendirme

Kesme performanslarının değerlendirilmesi açısından 35° ve 38°'li helis açısına sahip 10 mm çapında kaplamalı sementit karbür parmak frezeler kullanılmıştır. Bu kesici takımlarla elde edilen kesme kuvveti verileri ayrı başlıklar altında aşağıda değerlendirilmiştir.

“35° Sabit Helis” kesici takım kesme kuvveti Deneysel sonuçlarının değerlendirilmesi

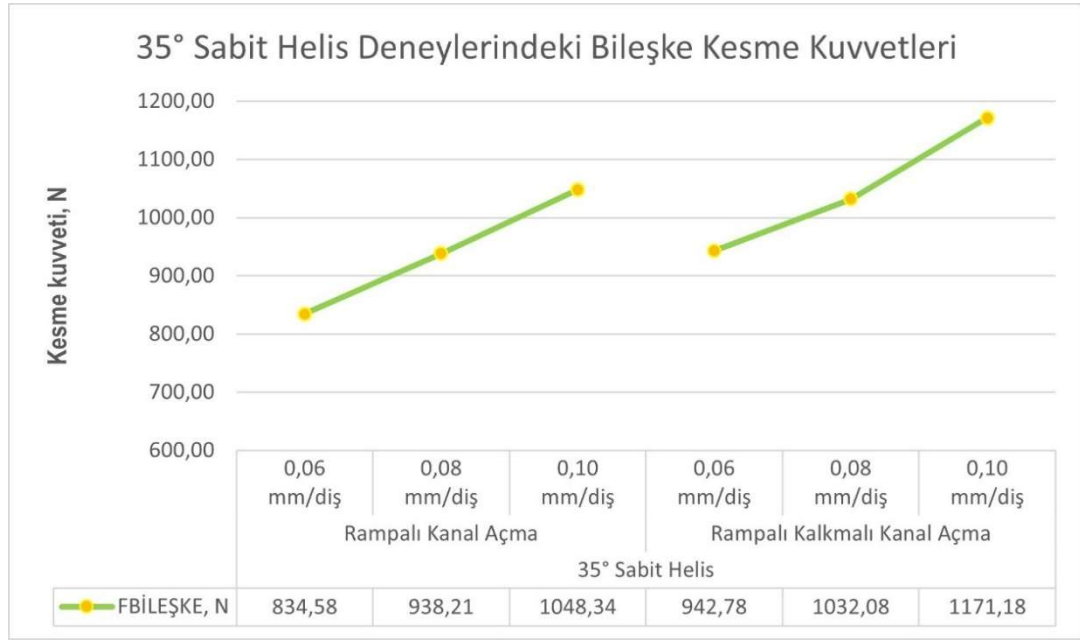
35° Sabit helisli parmak freze takımının, takım yolu ve ilerleme miktarına bağlı kesme kuvveti değişimleri Şekil 5.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.1. “35° Sabit Helis” kanal açma deneyi kesme kuvveti bileşenleri değer grafiği.

Şekil 5.1’de 35° sabit helisli parmak freze için, rampalı kanal açma ve rampalı kalkmalı kanal açma süreçlerinde ilerleme miktarının değişmesine bağlı oluşan kesme kuvvetinin Fx, Fy ve Fz yönündeki bileşenlerine ait değişim grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde rampalı kanal açma sürecinde en büyük kuvvetten en küçük etkiye doğru sıralama Fx, Fy, Fz şeklinde gözlenmiştir. Rampalı kalkmalı kanal açma sürecinde ise tüm deneylerde sıralama Fx, Fz ve Fy şeklindedir. Tüm deneyler kanal açma sürecinde en büyük kuvvet oluşumunun Fx yönünde olduğunu göstermiştir. Fx yönünde en büyük kesme kuvveti rampalı kanal açma takım yolunda 0,10 mm/diş ilerleme miktarında 784,83 N olarak ölçülmüştür. İlerleme miktarının artması ile artan talaş kesimine bağlı kesme kuvvetlerinin tüm deneylerde arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde kesme kuvveti bileşenlerinin en küçüğü dikkate alındığında rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunun bu kesici takım için daha az kesme kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Kesme kuvveti bileşenleri büyüklükleri itibari ile tek başlarına iş malzemesi ve kesici takım ömrü/hasarı üzerinde etkilidir. Örneğin yüksek

kesme kuvveti bileşeni, yönü itibari ile kesici takımın bağlama boyu ve çapına bağlı olarak ani hasara uğramasına/kırılmasına yol açabildiği gibi iş malzemesinin de bağlama/sabitleme durumuna etki edebilir. Kesme kuvveti bileşeninin büyüklüğü ve yönü de kesici takımın talaş kaldırma performansının değerlendirilmesinde kullanılır. Şekil 5.1’de yer alan kesme kuvveti bileşenleri kullanılarak bileşke kuvvet hesaplanmış ve Şekil 5.2’de sunulmuştur.

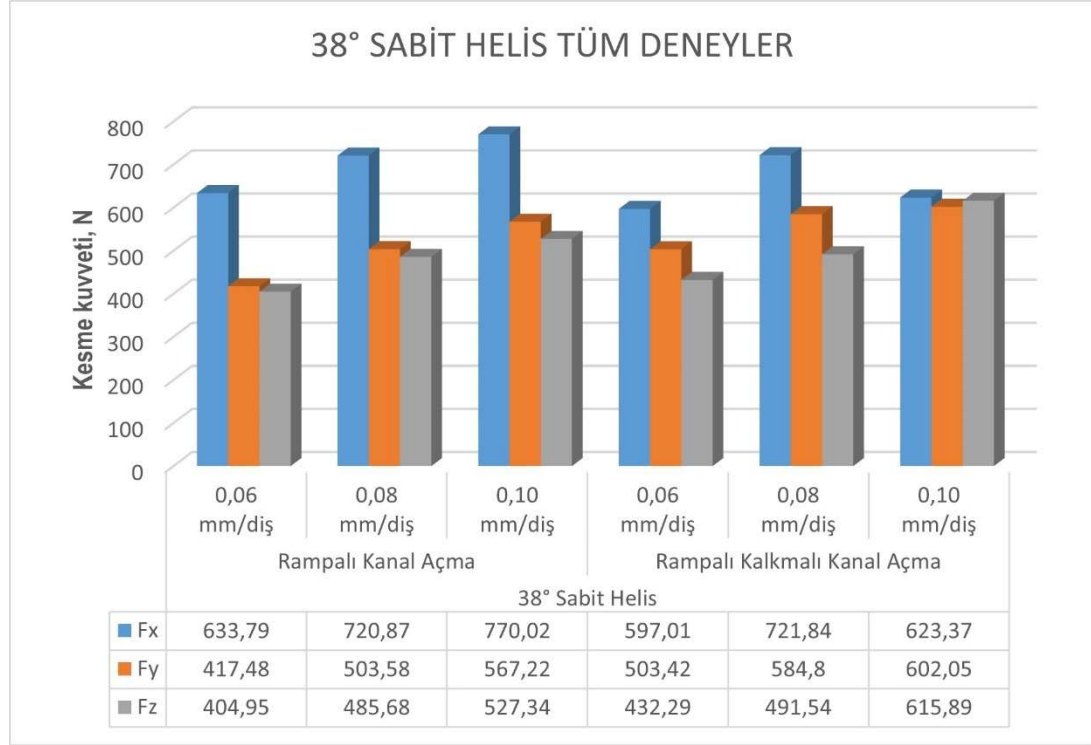


Şekil 5.2. “35° Sabit Helis” deneylerinde bileşke kesme kuvvetleri.

35° sabit helis parmak frezenin kanal açma sürecinde üzerinde oluşan bileşke kesme kuvveti incelendiğinde, tüm deneylerde ilerlemenin artmasıyla bileşke kuvvetinde arttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi ilerleme miktarının artması ile artan talaş kesitidir. En düşük bileşke kesme kuvveti rampal kanal açma takım yolunda 0,06 mm/diş ilerleme miktarında 834,58N olduğu görülmüştür. En yüksek bileşke kesme kuvvetinin ise rampal kalkmalı takım yolunda 0,10 mm/diş ilerleme miktarında 1171,18N olduğu tespit edilmiştir. Bu iki deney birbiri ile kıyaslandığında bileşke kesme kuvvetinde %40,3 farklılık olduğu tespit edilmiştir. Bunun ana nedeni yüksek ilerleme miktarında artan talaş kesitine atfedilmiştir. Aynı kesme koşulunda takım yolunun değişmesine bağlı kuvvet değişimi ise en yüksek ilerleme değerinde (0,1 mm/diş) kalkmalı kanal açmada diğer tekniğe kıyasla ortalama %12 artan kesme kuvvetleri ile talaş kaldırıldığı tespit edilmiştir.

“38° Sabit Helis” kesici takım kesme kuvveti Deneysel sonuçlarının değerlendirilmesi

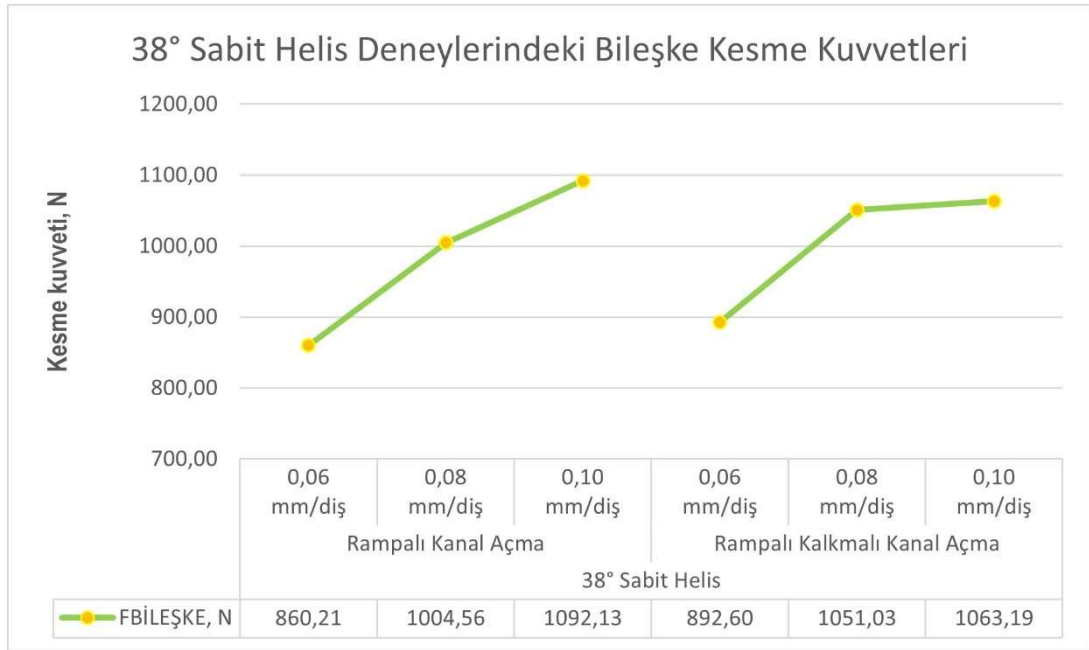
38° Sabit helisli parmak freze takımının, takım yolu ve ilerleme miktarına bağlı kesme kuvveti değişimleri Şekil 5.3’te aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.3. Tüm “38° Sabit Helis” deneylerinin dinamometre ile ölçülen kuvvet bileşenleri.

Şekil 5.3’te 38° sabit helisli parmak freze için, rampalı kanal açma ve rampalı kalkmalı kanal açma süreçlerinde ilerleme miktarının değişmesine bağlı oluşan kesme kuvvetinin Fx, Fy ve Fz yönündeki bileşenlerine ait değişim grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde rampalı kanal açma ve rampalı kalkmalı kanal açma süreçlerinde en büyük kuvvetten en küçük etkiye doğru sıralama bir istisna ile (rampalı kalkmalı takım yolu, 0,10 mm/diş ilerleme) Fx, Fy, Fz şeklinde gözlenmiştir. Tüm deneyler kanal açma sürecinde en büyük kuvvet oluşumunun kanalın açıldığı yön olan Fx yönünde olduğunu göstermiştir. Fx yönünde en büyük kesme kuvveti rampalı kanal açma takım yolunda 0,10 mm/diş ilerleme miktarında 770,02 N olarak ölçülmüştür. İlerleme miktarının artması ile artan talaş kesimine bağlı kesme kuvvetlerinin tüm

deneylerde (rampalı kalkmalı takım yolu, 0,10mm/diş ilerleme, Fx bileşeni hariç.) arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5.3 incelendiğinde kesme kuvveti bileşenlerinin en küçüğü dikkate alındığında rampalı kalkma kanal açma takım yolunun bu kesici takım için daha az kesme kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Fakat bu değerlendirmenin sağlaması takım üzerinde oluşan bileşke kuvvetin analiz edilmesi ile yapılmalıdır. Bu nedenle Şekil 5.3'te yer alan kesme kuvveti bileşenleri kullanılarak bileşke kuvvet hesaplanmış ve Şekil 5.4'te sunulmuştur.

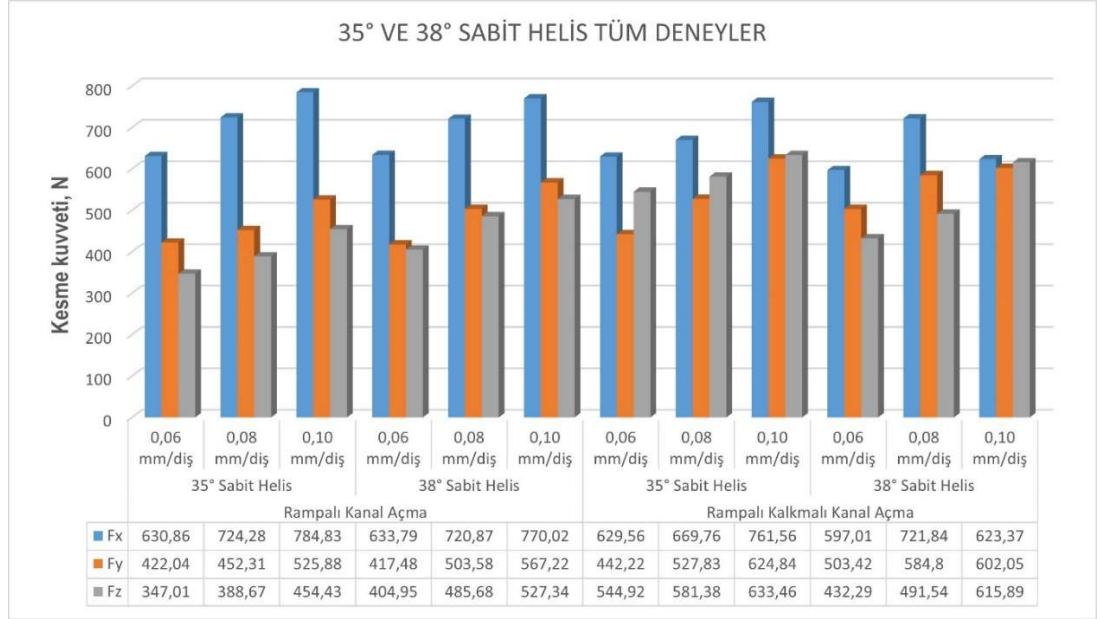


Şekil 5.4. “38° Sabit Helis” deneylerindeki bileşke kesme kuvvetleri.

38° sabit helis parmak frezenin kanal açma sürecinde üzerinde oluşan bileşke kesme kuvveti incelendiğinde kuvvetin, tüm deneylerde ilerlemenin artmasıyla bileşke kuvvetinde arttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi ilerleme miktarının artması ile artan talaş kesitidir. En düşük bileşke kesme kuvveti rampalı kanal açma takım yolunda 0,06 mm/diş ilerleme miktarında 860,21 N olduğu görülmüştür. En yüksek bileşke kesme kuvvetinin ise rampalı kanal açma takım yolunda 0,10 mm/diş ilerleme miktarında 1092,13 N olduğu tespit edilmiştir. Bu iki deneyin birbiri ile kıyaslanması sonucunda bileşke kesme kuvvetinde %26,9 kadar artışın olduğu hesaplanmıştır.

“35° Sabit Helis ve 38° Sabit Helis” kesici takımların kesme kuvveti Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

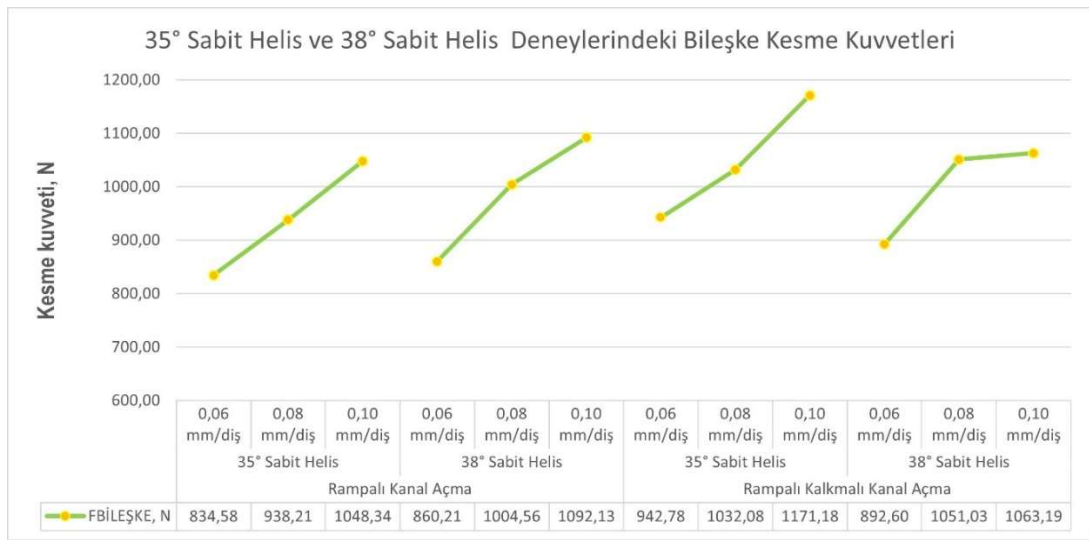
35° Sabit helisli ve 38° Sabit helisli parmak freze takımının, takım yolu ve ilerleme miktarına bağlı kesme kuvveti değişimleri Şekil 5.5’te aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.5. Tüm “35° Sabit Helis” ve “38° Sabit Helis” deneylerinin dinamometre ile ölçülen kuvvet bileşenleri.

Şekil 5.5’te 35° sabit helisli ve 38° sabit helisli parmak freze için rampalı kanal açma ve rampalı kalkmalı kanal açma süreçlerinde ilerleme miktarının değişmesine bağlı oluşan kesme kuvvetinin Fx, Fy ve Fz yönündeki bileşenlerine ait değişim grafiği birlikte görülmektedir. Şekil incelendiğinde rampalı kanal açma süreçlerinde her iki parmak freze takımı için en büyük kuvvetten en küçük kuvvete doğru sıralama Fx, Fy, Fz şeklinde olduğu gözlemlenirken; Rampalı kalkmalı kanal açma sürecinde ise 35° sabit helis için sıralama Fx, Fz, Fy şeklinde ve 38° sabit helis için sıralama bir istisna ile (0,10mm/diş ilerleme) Fx, Fy, Fz şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Tüm deneyler kanal açma sürecinde en büyük kuvvet oluşumunun Fx yönünde olduğunu göstermiştir. Fx yönünde en büyük kesme kuvveti 35° sabit helis parmak freze takımının rampalı kanal açma takım yolunda ve ilerleme miktarının 0,10mm/diş olduğu deneyde 784,83N olarak ölçülmüştür. İlerleme miktarının artması ile artan

talaş kesitine bağlı kesme kuvvetlerinin tüm deneylerde (38° sabit helis, rampalı kalkmalı takım yolu, 0,10mm/diş ilerleme, Fx bileşeni hariç.) arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5.5 incelendiğinde kesme kuvveti bileşenlerinin en küçüğü dikkate alındığında rampalı kalkma kanal açma takım yolunun her iki kesici takım için daha az kesme kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Fakat bu değerlendirmenin sağlanması takımlar üzerinde oluşan bileşke kuvvetin analiz edilmesi ile yapılmalıdır. Bu nedenle Şekil 5.5'te yer alan kesme kuvveti bileşenleri kullanılarak bileşke kuvvet hesaplanmış ve Şekil 5.6'da sunulmuştur.



Şekil 5.6. “35° Sabit Helis” ve “38° Sabit Helis” deneylerindeki bileşke kesme kuvvetleri.

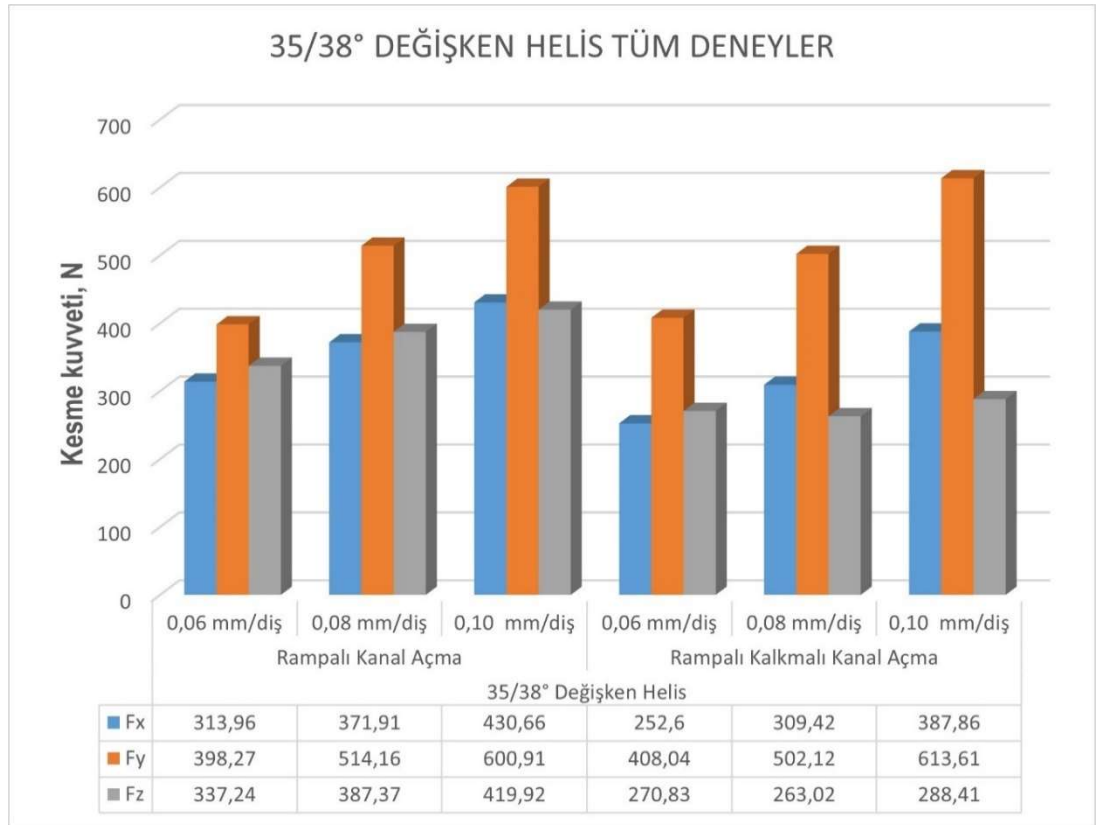
35° sabit helis ve 38° sabit helis parmak frezelerin kanal açma süreçlerinde üzerlerinde oluşan bileşke kesme kuvveti incelendiğinde kuvvetin, tüm deneylerde ilerlemenin artmasıyla bileşke kuvvetinde arttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi ilerleme miktarının artması ile artan talaş kesitidir. En düşük bileşke kesme kuvveti 35° sabit helis parmak freze takımının rampalı kanal açma takım yoluyla 0,06 mm/diş ilerleme miktarında yapılan deneyde 834,58N olduğu görülmüştür. En yüksek bileşke kesme kuvvetinin ise 35° sabit helis parmak freze takımının rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 0,10 mm/diş ilerleme miktarında yapılan deneyde 1171,18N olduğu tespit edilmiştir. Bu iki deneyin birbiri ile kıyaslanması sonucunda bileşke kesme kuvvetinde %40,3 kadar artışın olduğu hesaplanmıştır.

5.1.2. Değişken Helisli Parmak Frezelerin Kesme Kuvveti Deneş Sonuçları ve Değerlendirme

Kesme performanslarının değerlendirilmesi açısından 35/38°'li değişken helis açısına sahip 10mm çapında sementit karbür parmak frezeler kullanılmıştır. Bu kesici takımlarla elde edilen kesme kuvveti verileri ayrı başlıklar altında aşağıda değerlendirilmiştir.

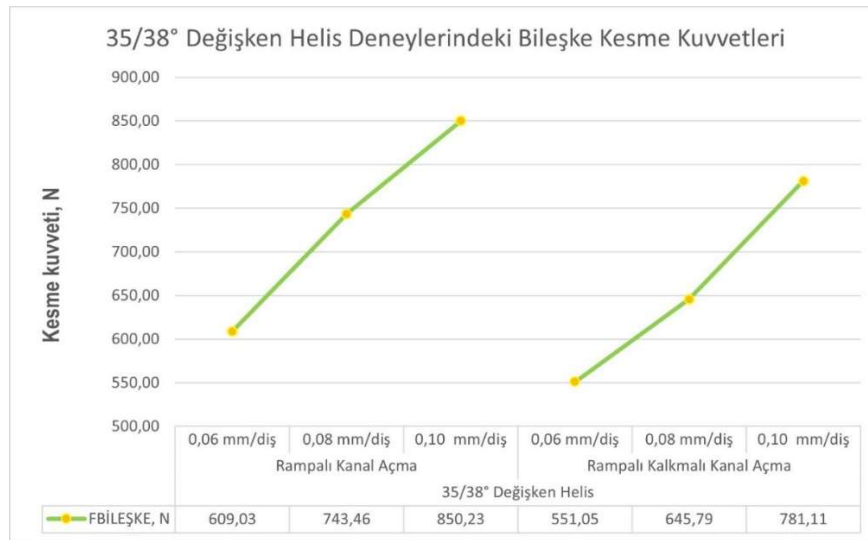
“35/38° Değişken Helis” kesici takım kesme kuvveti Deneş sonuçlarının değerlendirilmesi

35/38° Değişken helisli parmak freze takımının, takım yolu ve ilerleme miktarına bağlı kesme kuvveti değişimleri şekil 5.7’de aşağıda sunulmuştur.



şekil 5.7. Tüm “35/38° Değişken Helis” deneşlerinin dinamometre ile ölçülen kuvvet bileşenleri.

Şekil 5.7’de 35/38° değişken helisli parmak frezeyle ait, rampalı kanal açma ve rampalı kalkmalı kanal açma süreçlerinde ilerleme miktarının değişmesine bağlı oluşan kesme kuvvetinin F_x , F_y ve F_z yönündeki bileşenlerine ait değişim grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde rampalı kanal açma sürecinde en büyük kuvvetten en küçük kuvvete doğru sıralama, bir istisna ile (0,10 mm/diş ilerleme) F_y , F_z , F_x şeklinde gözlemlenirken rampalı kalkmalı kanal açma sürecinde ise sıralama bir istisna ile (0,06 mm/diş ilerleme) F_y , F_x , F_z şeklinde tespit edilmiştir. Tüm deneyler kanal açma sürecinde en büyük kuvvet oluşumunun F_y yönünde olduğunu göstermiştir. F_y yönünde en büyük kesme kuvveti rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 0,10mm/diş ilerleme miktarında 613,61N olarak ölçülmüştür. İlerleme miktarının artması ile artan talaş kesitine bağlı kesme kuvvetlerinin tüm deneylerde (rampalı kalkmalı takım yolu, 0,08 mm/diş ilerleme, F_z bileşeni hariç.) arttığı tespit edilmiştir. Şekil 5.7 incelendiğinde kesme kuvveti bileşenlerinin en küçüğü dikkate alındığında rampalı kalkma kanal açma takım yolunun bu kesici takım için daha az kesme kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Fakat bu değerlendirmenin sağlanması takım üzerinde oluşan bileşke kuvvetin analiz edilmesi ile yapılmalıdır. Bu nedenle Şekil 5.7’de yer alan kesme kuvveti bileşenleri kullanılarak bileşke kuvvet hesaplanmış ve Şekil 5.8’de sunulmuştur.



Şekil 5.8. “35/38° Değişken Helis” deneylerindeki bileşke kesme kuvvetleri.

35/38° değişken helis parmak frezenin kanal açma sürecinde üzerinde oluşan bileşke kesme kuvveti incelendiğinde kuvvetin, tüm deneylerde ilerlemenin artmasıyla bileşke

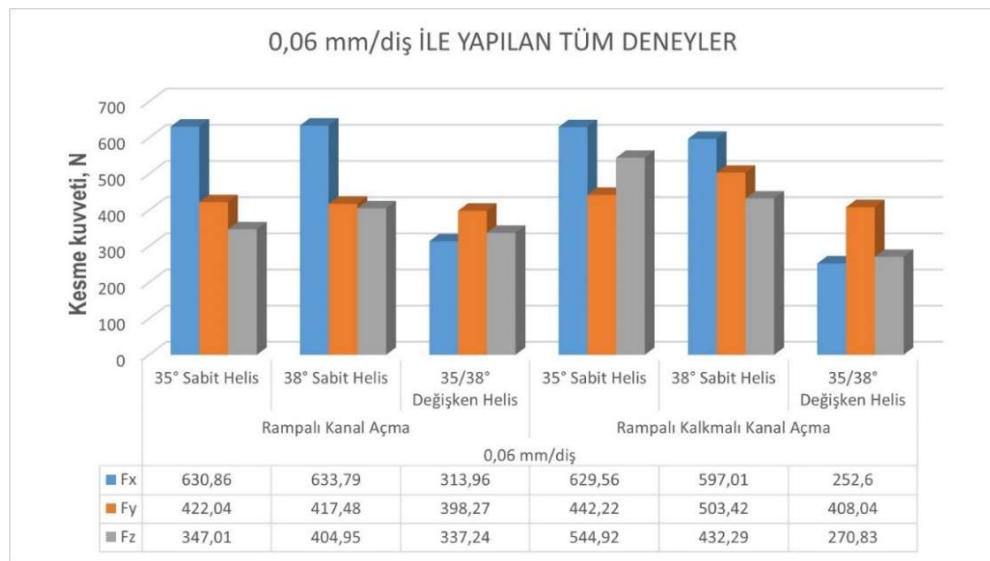
kuvvetinde arttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi ilerleme miktarının artması ile artan talaş kesitidir. En düşük bileşke kesme kuvveti rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 0,06 mm/diş ilerleme miktarında 551,05N olduğu görülmüştür. En yüksek bileşke kesme kuvvetinin ise rampalı kanal açma takım yolunda 0,10 mm/diş ilerleme miktarında 850,23N olduğu tespit edilmiştir. Bu iki deneyin birbiri ile kıyaslanması sonucunda bileşke kesme kuvvetinde %54,3 kadar artışın oluştuğu hesaplanmıştır.

5.1.3. İlerleme Miktarına Göre Kesme Kuvveti Deney Sonuçları ve Değerlendirme

Kesme performanslarının değerlendirilmesi açısından 35° sabit helis, 38° sabit helis ve 35/38° değişken helis açısına sahip 10mm çapında sementit karbür parmak frezeler kullanılmıştır. Bu kesici takımların farklı ilerleme miktarında elde edilen kesme kuvveti verileri ayrı başlıklar altında aşağıda değerlendirilmiştir.

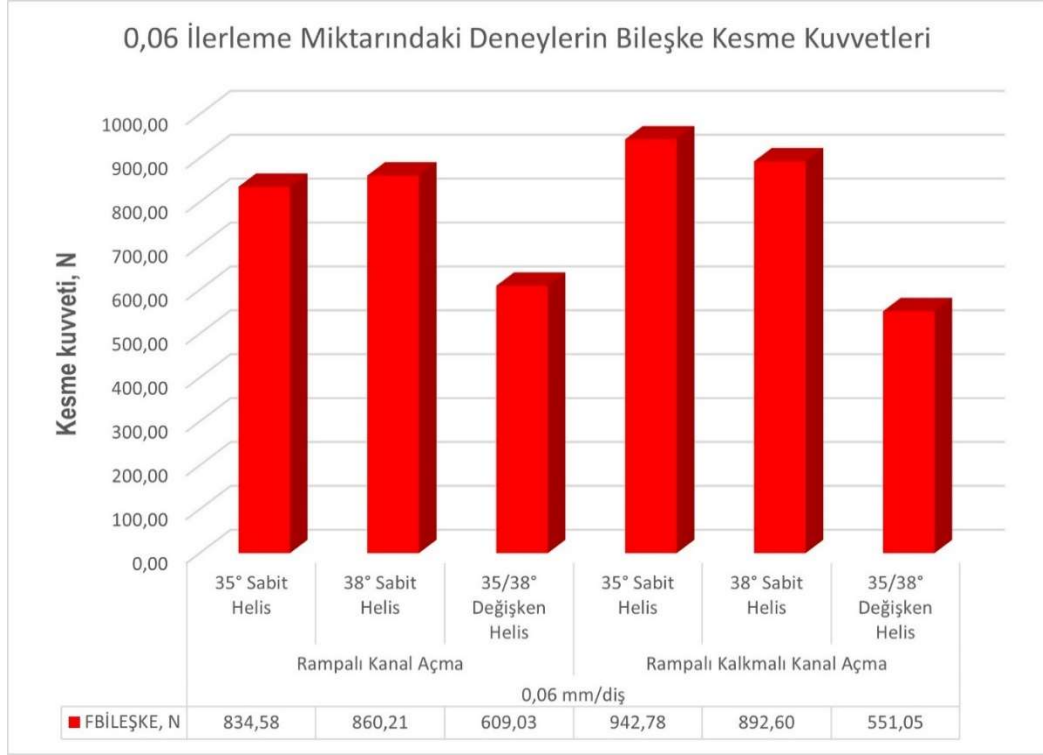
“0,06 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçlarının değerlendirilmesi

35° sabit helis, 38° sabit helis ve 35/38° değişken helisli parmak freze takımlarının, 0,06 mm/diş ilerleme miktarındaki takım yoluna bağlı kesme kuvveti değişimleri Şekil 5.9’da aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.9. Tüm “0,06 mm/diş” ilerleme miktarı kullanılan deneyler için kuvvet bileşenleri.

Şekil 5.9’da 35° sabit helis, 38° sabit helis ve 35/38° değişken helisli parmak frezelere ait, rampalı kanal açma ve rampalı kalkmalı kanal açma süreçlerinde 0,06 mm/diş ilerleme miktarında gerçekleştirilen deneylerde oluşan kesme kuvvetinin Fx, Fy ve Fz yönündeki bileşenlerine ait değişim grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde rampalı kanal açma sürecinde en büyük kuvvetten en küçük kuvvete doğru sıralama 35° sabit helis ve 38° sabit helisli parmak frezeler için Fx, Fy, Fz şeklinde gözlenirken, 35/38° değişken helisli parmak freze için sıralamanın Fy, Fz, Fx şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Rampalı kalkmalı kanal açma sürecinde ise sıralamanın 35° sabit helis için Fx, Fz, Fy şeklinde, 38° sabit helis için Fx, Fy, Fz şeklinde ve 35/38° değişken helis için Fy, Fz, Fx şeklinde her bir parmak freze takımının kuvvet bileşeni sıralamasının farklı olduğu tespit edilmiştir. Tüm deneyler kanal açma sürecinde sabit helisli parmak freze takımları için en büyük kuvvet oluşumunun Fx yönünde olduğunu gösterirken, değişken helisli parmak freze takımları için en büyük kuvvet oluşumunun Fy yönünde olduğunu göstermiştir. Fx yönünde en büyük kesme kuvveti 38° sabit helisli rampalı kanal açma takım yolunda 633,79N olarak ölçülürken, Fy yönünde 35/38° değişken helisli parmak freze takımı için en büyük kesme kuvveti rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 408,04N olarak ölçülmüştür. Parmak frezelerin kullanılan takım yoluna bağlı kesme kuvvetlerini incelediğimizde sabit helisli parmak frezelerle yapılan tüm deneylerde (35° sabit helisli rampalı kalkmalı takım yolu, Fz bileşeni hariç.) kesme kuvveti sıralamasının Fx, Fy, Fz şeklinde olduğu tespit edilirken değişken helisli parmak frezelerle yapılan tüm deneylerde kesme kuvveti sıralamasının Fy, Fz, Fx şeklinde olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.9 incelendiğinde kesme kuvveti bileşenlerinin en küçüğü dikkate alındığında rampalı kalkma kanal açma takım yolunun 0,06 mm/diş ilerleme miktarı için daha az kesme kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Fakat bu değerlendirmenin sağlanması takım üzerinde oluşan bileşke kuvvetin analiz edilmesi ile yapılmalıdır. Bu nedenle Şekil 5.9’da yer alan kesme kuvveti bileşenleri kullanılarak bileşke kuvvet hesaplanmış ve Şekil 5.10’da sunulmuştur.

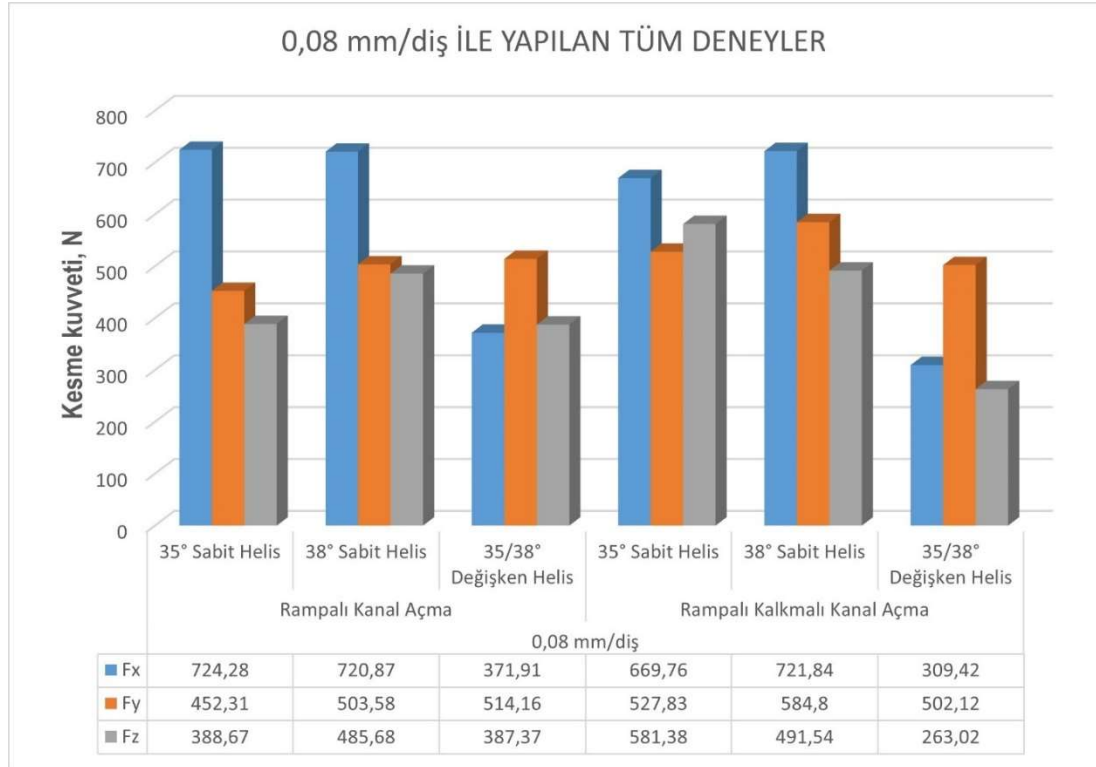


Şekil 5.10. “0,06 mm/diş” ilerleme miktarındaki deneylerin bileşke kesme kuvvetleri.

0,06 mm/diş ilerleme miktarında ki kanal açma sürecinde parmak frezeler üzerinde oluşan bileşke kesme kuvvetleri incelendiğinde, tüm deneyler için sabit helisli parmak freze takımlarının rampalı kalkmalı takım yolundaki bileşke kuvvetleri, rampalı kanal açma takım yoluna kıyasla daha yüksek olduğu gözlenirken bu kıyaslamayı değişken helisli parmak freze takımı için yaptığımızda rampalı kalkmalı takım yolundaki bileşke kuvvetinin, rampalı kanal açma takım yoluna göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En düşük bileşke kesme kuvveti 35/38° değişken helisli rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 551,05N olduğu görülmüştür. En yüksek bileşke kesme kuvvetinin ise 35° sabit helisli rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 942,78N olduğu tespit edilmiştir. Bu iki deneyin birbiri ile kıyaslanması sonucunda bileşke kesme kuvvetinde %71 kadar artış olduğu hesaplanmıştır.

“0,08 mm/diş” İlerleme Miktarında DeneY Sonularınnı değerlendirilmesi

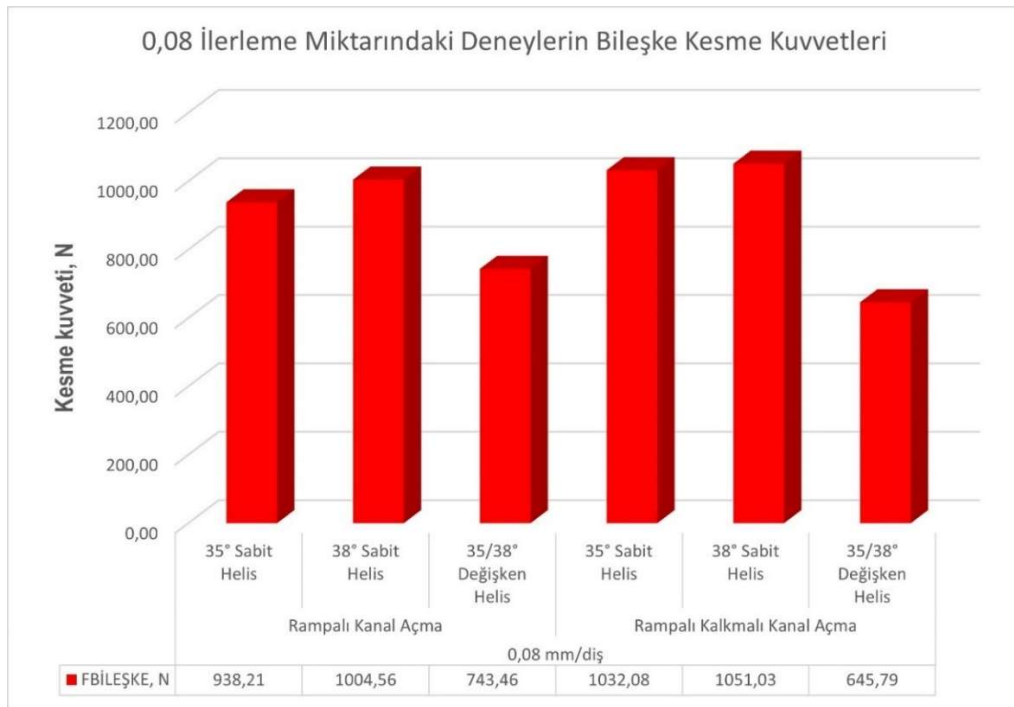
35° sabit helis, 38° sabit helis ve 35/38° değişken helisli parmak freze takımlarının, 0,08 mm/diş ilerleme miktarındaki takım yoluna bağlı kesme kuvveti değişimleri Şekil 5.11’de aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.11. Tüm “0,08 mm/diş” ilerleme miktarı kullanılan deneyler için kuvvet bileşenleri.

Şekil 5.11’de 35° sabit helis, 38° sabit helis ve 35/38° değişken helisli parmak frezelerine ait, rampalı kanal açma ve rampalı kalkmalı kanal açma süreçlerinde 0,08 mm/diş ilerleme miktarında gerçekleştirilen deneylerde oluşan kesme kuvvetinin Fx, Fy ve Fz yönündeki bileşenlerine ait değişim grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde rampalı kanal açma sürecinde en büyük kuvvetten en küçük kuvvete doğru sıralama 35° sabit helis ve 38° sabit helisli parmak frezeler için Fx, Fy, Fz şeklinde gözlenirken, 35/38° değişken helisli parmak freze için sıralamanın Fy, Fz, Fx şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Rampalı kalkmalı kanal açma sürecinde ise sıralamanın 35° sabit helis için Fx, Fz, Fy şeklinde, 38° sabit helis için Fx, Fy, Fz şeklinde ve 35/38° değişken helis için Fy, Fx, Fz şeklinde her bir parmak freze takımının kuvvet bileşeni sıralamasının

farklı olduğu tespit edilmiştir. Tüm deneyler kanal açma sürecinde sabit helisli parmak freze takımları için en büyük kuvvet oluşumunun Fx yönünde olduğunu gösterirken, değişken helisli parmak freze takımları için en büyük kuvvet oluşumunun Fy yönünde olduğunu göstermiştir. Fx yönünde en büyük kesme kuvveti 35° sabit helisli rampalı kanal açma takım yolunda 724,28N olarak ölçülürken, Fy yönünde 35/38° değişken helisli parmak freze takımı için en büyük kesme kuvveti rampalı kanal açma takım yolunda 514,16N olarak ölçülmüştür. Parmak frezelerin kullanılan takım yoluna bağlı kesme kuvvetlerini incelediğimizde sabit helisli parmak frezelerle yapılan tüm deneylerde (35° sabit helisli rampalı kalkmalı takım yolu, Fz bileşeni hariç.) kesme kuvveti sıralamasının Fx, Fy, Fz şeklinde olduğu tespit edilirken değişken helisli parmak frezelerle yapılan deneylerde kesme kuvveti sıralamasının rampalı kanal açma takım yolunda Fy, Fz, Fx şeklindeyken, rampalı kalkmalı takım yolunda ise Fy, Fx, Fz şeklinde olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.11 incelendiğinde kesme kuvveti bileşenlerinin en küçüğü dikkate alındığında rampalı kalkma kanal açma takım yolunun 0,08 mm/diş ilerleme miktarı için daha az kesme kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Fakat bu değerlendirmenin sağlanması takım üzerinde oluşan bileşke kuvvetin analiz edilmesi ile yapılmalıdır. Bu nedenle Şekil 5.11’de yer alan kesme kuvveti bileşenleri kullanılarak bileşke kuvvet hesaplanmış ve Şekil 5.12’de sunulmuştur.



Şekil 5.12. “0,08 mm/diş” ilerleme miktarındaki deneylerin bileşke kesme kuvvetleri.

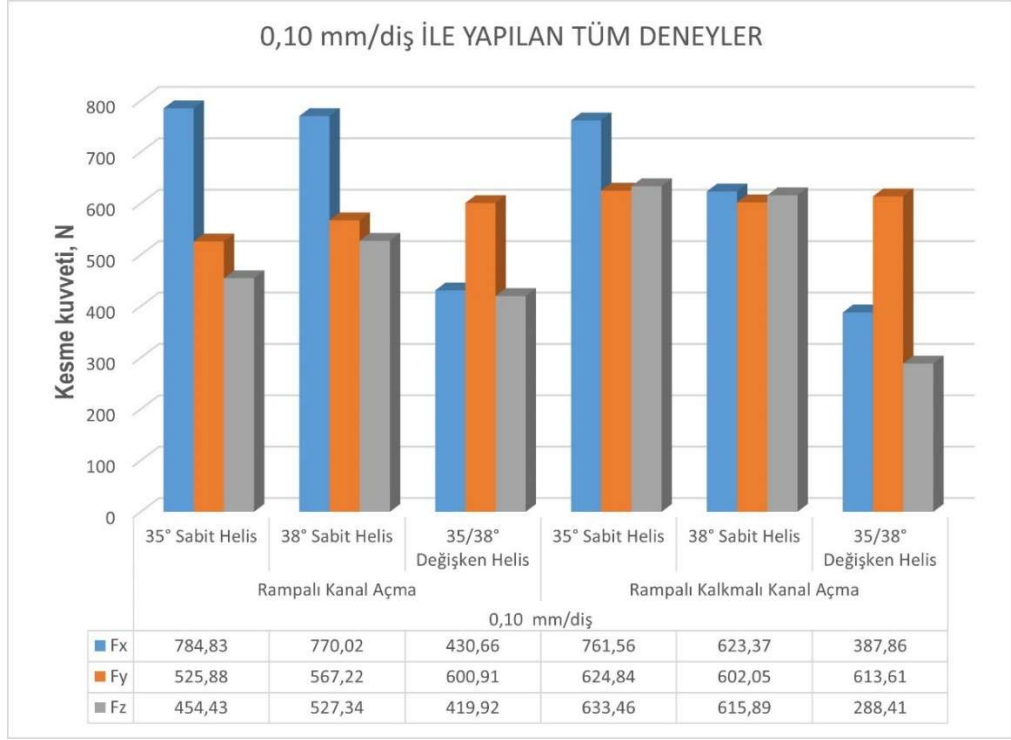
0,08 mm/diş ilerleme miktarında ki kanal açma sürecinde parmak frezeler üzerinde oluşan bileşke kesme kuvvetleri incelendiğinde, tüm deneyler için sabit helisli parmak freze takımlarının rampalı kalkmalı takım yolundaki bileşke kuvvetleri, rampalı kanal açma takım yoluna kıyasla daha yüksek olduğu gözlenirken bu kıyaslamayı değişken helisli parmak freze takımı için yaptığımızda rampalı kalkmalı takım yolundaki bileşke kuvvetinin, rampalı kanal açma takım yoluna göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En düşük bileşke kesme kuvveti 35/38° değişken helisli rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 645,79N olduğu görülmüştür. En yüksek bileşke kesme kuvvetinin ise 38° sabit helisli rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 1051,03N olduğu tespit edilmiştir. Bu iki deneyin birbiri ile kıyaslanması sonucunda bileşke kesme kuvvetinde %62,7 kadar artışın oluştuğu hesaplanmıştır.

Değişken helis açılı parmak frezelerin talaş kaldırma süreci ile ilgili aşağıdaki önemli kazanımlar nedeniyle düşük kesme kuvvetleri oluşturarak talaş kaldırır. Bunlar;

1. Her bir kesici ağız birbirine kıyasla, kesme başlangıcından talaş kaldırma işleminin sonlandığı ana kadar anlık değişen talaş hacimleri ile farklı helis deformasyon hızında talaş kaldırır.
2. Değişken helis açısı, kesme sırasında oluşan titreşimleri azaltarak kesme kuvvetlerinin düşmesini sağlar.
3. Farklı helis açılarının kombinasyonu, kesme kuvvetlerinin daha dengeli dağılmasını sağlar.
4. Değişken helis açıları, talaşların daha etkili bir şekilde kırılmasını sağlar. Bu durum talaşların kesici kenara yapışmasını engeller ve kesme sürecini daha verimli hale getirir.

“0,10 mm/diş” İlerleme Miktarında Deney Sonuçlarının değerlendirilmesi

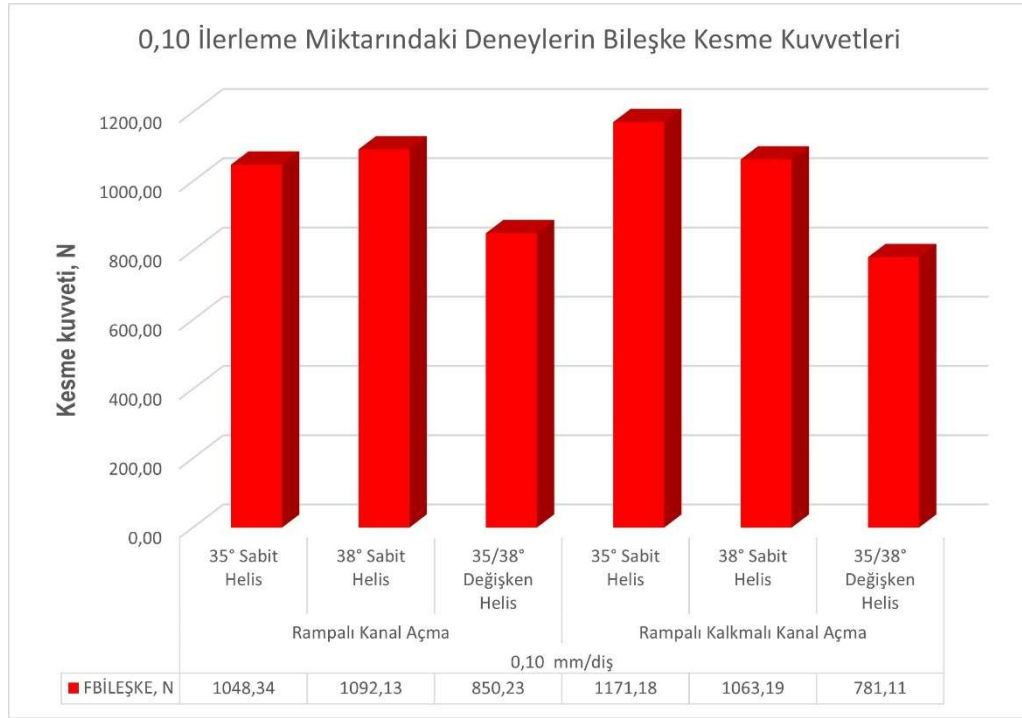
35° sabit helis, 38° sabit helis ve 35/38° değişken helisli parmak freze takımlarının, 0,10 mm/diş ilerleme miktarındaki takım yoluna bağlı kesme kuvveti değişimleri Şekil 5.13'te aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.13. Tüm “0,10 mm/diş” ilerleme miktarı kullanılan deneyler için kuvvet bileşenleri.

Şekil 5.13’te 35° sabit helis, 38° sabit helis ve 35/38° değişken helisli parmak frezelerle ait, rampalı kanal açma ve rampalı kalkmalı kanal açma süreçlerinde 0,10 mm/diş ilerleme miktarında gerçekleştirilen deneylerde oluşan kesme kuvvetinin Fx, Fy ve Fz yönündeki bileşenlerine ait değişim grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde rampalı kanal açma sürecinde en büyük kuvvetten en küçük kuvvete doğru sıralama 35° sabit helis ve 38° sabit helisli parmak frezeler için Fx, Fy, Fz şeklinde gözlenirken, 35/38° değişken helisli parmak freze için sıralamanın Fy, Fx, Fz şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Rampalı kalkmalı kanal açma sürecinde ise sıralamanın 35° sabit helis ve 38° sabit helis için Fx, Fz, Fy şeklinde, 35/38° değişken helis için Fy, Fx, Fz şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Tüm deneyler kanal açma sürecinde sabit helisli parmak freze takımları için en büyük kuvvet oluşumunun Fx yönünde olduğunu gösterirken, değişken helisli parmak freze takımları için en büyük kuvvet oluşumunun Fy yönünde olduğunu göstermiştir. Fx yönünde en büyük kesme kuvveti 35° sabit helisli rampalı kanal açma takım yolunda 784,83N olarak ölçülürken, Fy yönünde 35/38° değişken helisli parmak freze takımı için en büyük kesme kuvveti rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 613,61N olarak ölçülmüştür. Parmak frezelerin kullanılan takım yoluna

bağlı kesme kuvvetlerini incelediğimizde sabit helisli parmak frezelerle rampalı kanal açma takım yolunda yapılan tüm deneylerde kesme kuvveti sıralamasının F_x , F_y , F_z şeklinde olduğu tespit edilirken, rampalı kalkmalı takım yolundaki kesme kuvveti sıralaması F_x , F_z , F_y şeklindedir. Değişken helisli parmak frezelerle yapılan tüm deneylerde ise kesme kuvveti sıralamasının F_y , F_x , F_z şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.13 incelendiğinde kesme kuvveti bileşenlerinin en küçüğü dikkate alındığında rampalı kalkma kanal açma takım yolunun 0,10 mm/diş ilerleme miktarı için daha az kesme kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Fakat bu değerlendirmenin sağlaması takım üzerinde oluşan bileşke kuvvetin analiz edilmesi ile yapılmalıdır. Bu nedenle Şekil 5.13'te yer alan kesme kuvveti bileşenleri kullanılarak bileşke kuvvet hesaplanmış ve Şekil 5.14'te sunulmuştur.



Şekil 5.14. “0,10 mm/diş” ilerleme miktarındaki deneylerin bileşke kesme kuvvetleri.

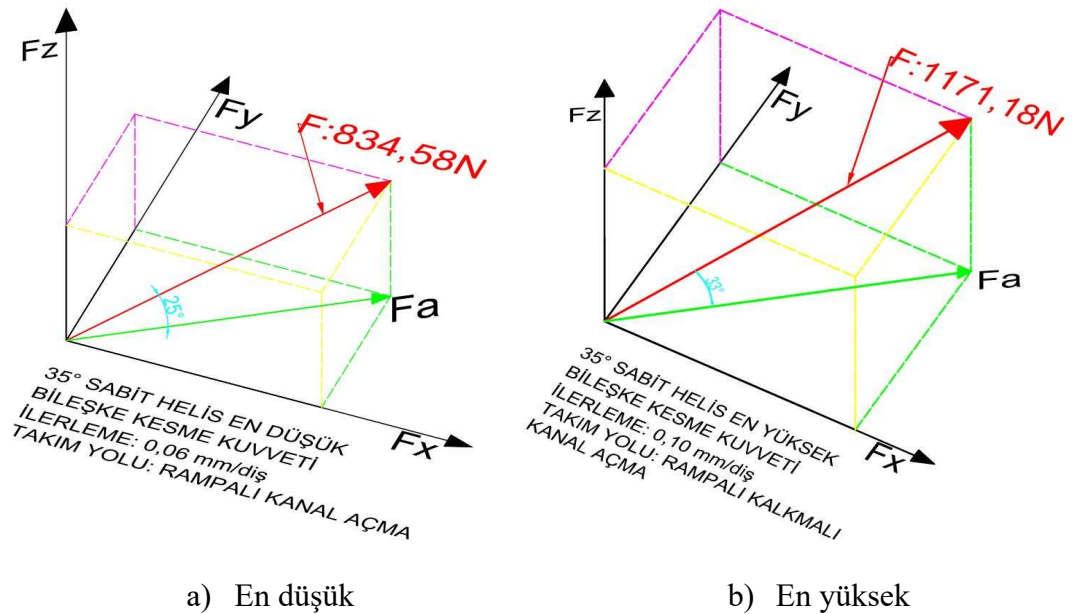
0,10 mm/diş ilerleme miktarında ki kanal açma sürecinde parmak frezeler üzerinde oluşan bileşke kesme kuvvetleri incelendiğinde, tüm deneyler için 35° sabit helisli parmak freze takımının rampalı kalkmalı kanal açma takım yolundaki bileşke kuvvetinin, rampalı kanal açma takım yoluna kıyasla daha yüksek olduğu gözlenirken bu kıyaslamayı 38° sabit helisli ve 35/38° değişken helisli parmak freze takımları için

yaptığımızda rampalı kalkmalı takım yolundaki bileşke kuvvetlerinin, rampalı kanal açma takım yoluna göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En düşük bileşke kesme kuvveti 35/38° değişken helisli rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 781,11N olduğu görülmüştür. En yüksek bileşke kesme kuvvetinin ise 35° sabit helisli rampalı kalkmalı kanal açma takım yolunda 1171,18N olduğu tespit edilmiştir. Bu iki deneyin birbiri ile kıyaslanması sonucunda bileşke kesme kuvvetinde %50 kadar artışın olduğu hesaplanmıştır.

5.1.4. Bileşke Kesme Kuvveti Deney Sonuçlarına Ait Çizimle Kuvvet Büyüklükleri

“35° Sabit Helis” kesici takıma ait bileşke kesme kuvveti çizimi

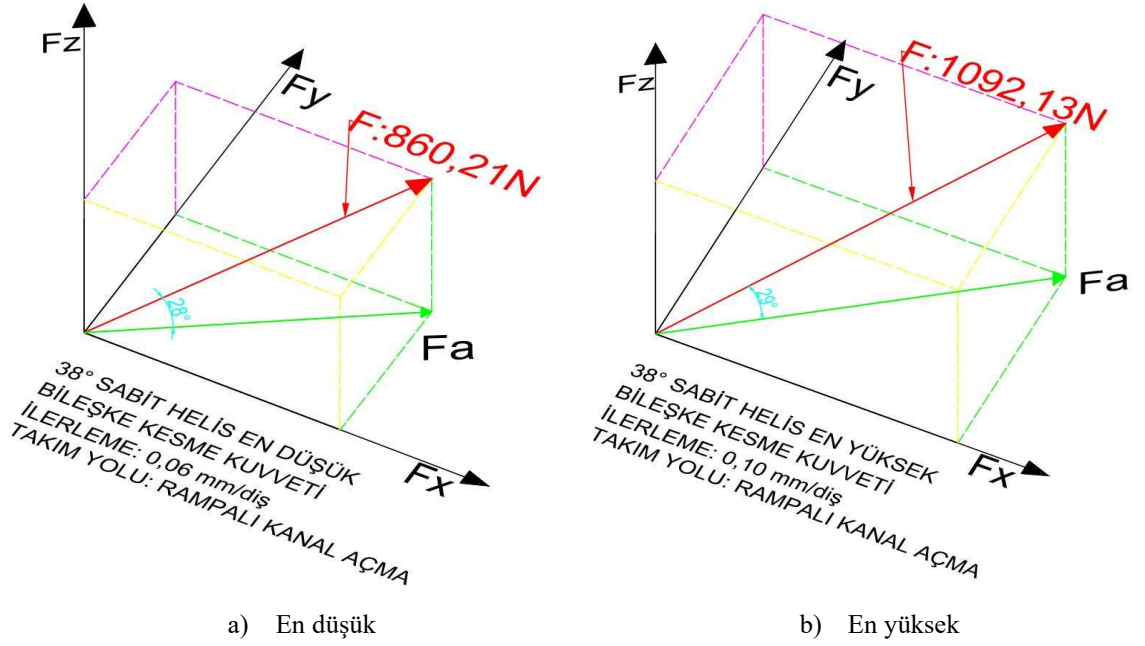
35° sabit helis, parmak freze takımına ait tüm deneylerdeki en düşük ve en yüksek bileşke kesme kuvveti çizimi Şekil 5.15’te aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.15. “35° sabit helis” kesici takıma ait en düşük ve en yüksek bileşke kesme kuvveti vektörel gösterimi, a) En düşük bileşke kuvvetle işleme, b) En yüksek bileşke kuvvetle işleme

“38° Sabit Helis” kesici takıma ait bileşke kesme kuvveti çizimi

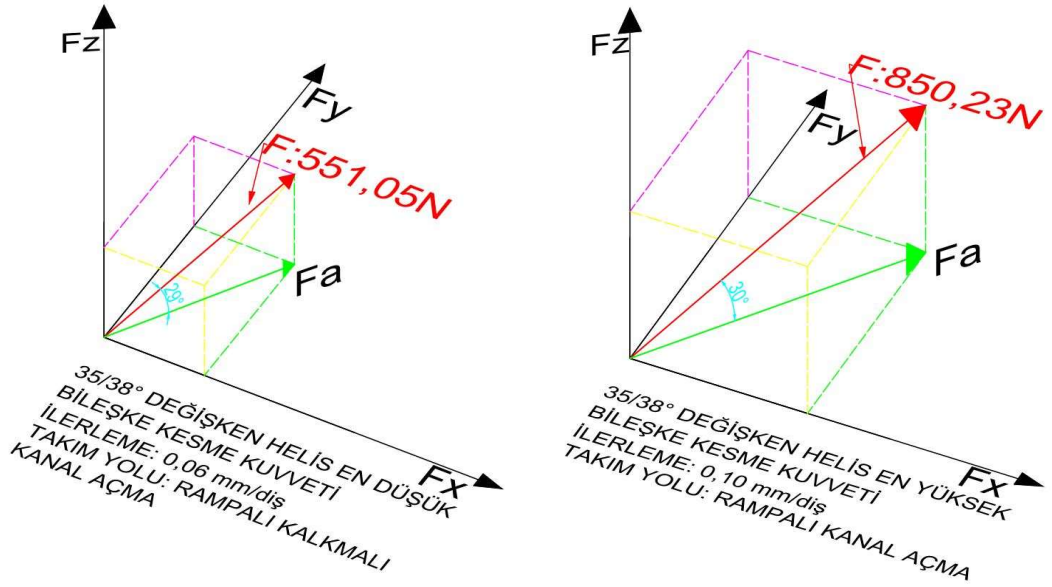
38° sabit helis, parmak freze takımına ait tüm deneylerdeki en küçük ve en büyük bileşke kesme kuvveti çizimi Şekil 5.16’da aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.16. “38° sabit helis” kesici takıma ait en düşük ve en yüksek bileşke kesme kuvveti vektörel gösterimi, a) En düşük bileşke kuvvetle işleme, b) En yüksek bileşke kuvvetle işleme

“35/38° Değişken Helis” kesici takıma ait bileşke kesme kuvveti çizimi

35/38° değişken helis, parmak freze takımına ait tüm deneylerdeki en küçük ve en büyük bileşke kesme kuvveti çizimi Şekil 5.17’de aşağıda sunulmuştur.



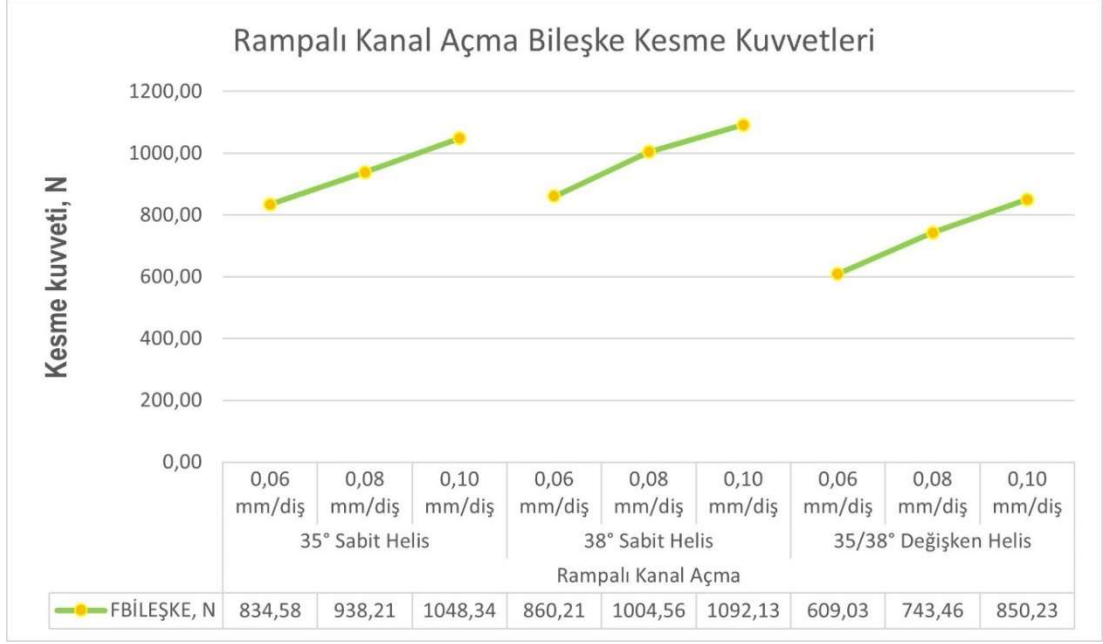
a) En düşük

b) En yüksek

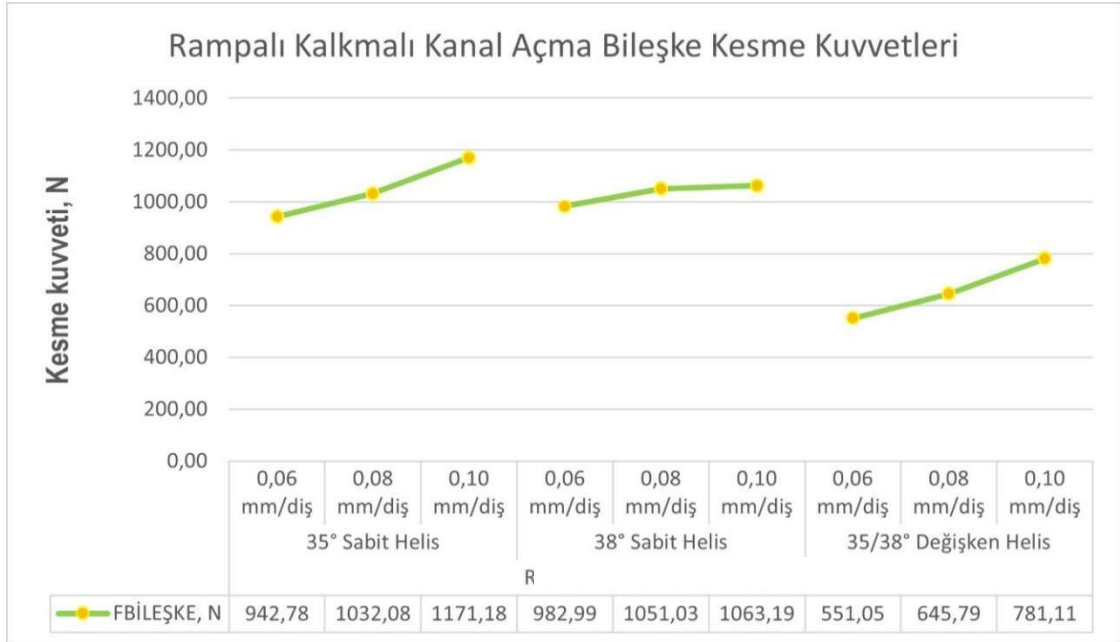
Şekil 5.17. “35/38° değişken helis” kesici takıma ait en düşük ve en yüksek bileşke kesme kuvveti vektörel gösterimi, a) En düşük bileşke kuvvetle işleme, b) En yüksek bileşke kuvvetle işleme

5.2. TAKIM YOLU DEĞİŞİKLİKLERİNİN ETKİLERİ

35° Sabit helisli, 38° sabit helisli ve 35/38° değişken helisli parmak freze takımlarının, rampalı kanal açma takım yolunda, ilerleme miktarına bağlı bileşke kesme kuvveti değişimleri Şekil 5.18’de ve rampalı kalkmalı takım yolunda, ilerleme miktarına bağlı bileşke kesme kuvveti değişimleri Şekil 5.19’da aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.18. Rampalı kanal açma işlemindeki bileşke kesme kuvvetleri.



Şekil 5.19. Rampalı kalkmalı kanal açma işlemindeki bileşke kesme kuvvetleri.

35° Sabit helisli, 38° sabit helisli ve 35/38° değişken helisli parmak freze takımlarının kanal açma sürecinde aynı ilerleme miktarındaki üzerinde oluşan bileşke kesme kuvveti, takım yolu değişikliği açısından incelendiğinde sabit helisli takımlar ile yapılan deneylerin tümünde rampalı kanal açma sürecinde oluşan bileşke kesme

kuvvetlerinin, rampalı kalkmalı kanal açma sürecinde oluşan bileşke kesme kuvvetlerine göre daha düşük (38° sabit helis, $0,1$ mm/diş ilerleme hariç) olduğu gözlemlenirken bu durumun değişken helisli parmak freze takımıyla yapılan deneylerde tam tersi olduğu tespit edilmiştir. Sabit helisli parmak frezelerle yapılan deneylerdeki en düşük bileşke kesme kuvveti, 35° sabit helisli, rampalı kanal açma takım yolunda $0,06$ mm/diş ilerleme miktarında $834,58$ N olduğu görülmüştür. En yüksek bileşke kesme kuvvetinin ise 35° sabit helisli, rampalı kalkmalı takım yolunda $0,10$ mm/diş ilerleme miktarında $1171,18$ N olduğu tespit edilmiştir. Bu kıyaslamayı değişken helisli parmak freze takımıyla ile yaptığımızda ise en düşük bileşke kesme kuvveti, $35/38^\circ$ değişken helisli, rampalı kalkmalı takım yolunda $0,06$ mm/diş ilerleme miktarında $551,05$ N olduğu ve en yüksek bileşke kesme kuvvetinin ise $35/38^\circ$ değişken helisli, rampalı takım yolunda $0,1$ mm/diş ilerleme miktarında $850,23$ N olduğu tespit edilmiştir. Bu deneylerin en düşük ve en yüksek değerleri birbiri ile kıyaslandığında bileşke kesme kuvvetinde $\%112,4$ farklılık olduğu tespit edilmiştir. Bunun ana nedeni yüksek ilerleme miktarında artan talaş kesimine atfedilmiştir. $35/38^\circ$ değişken helisli parmak frezelerle yapılan deneylerde, aynı kesme koşulunda takım yolunun değişmesine bağlı kuvvet değişimi ise en yüksek ilerleme değerinde ($0,1$ mm/diş) rampalı kanal açmada diğer tekniğe kıyasla ortalama $\%9$ artan kesme kuvvetleri ile talaş kaldırıldığı tespit edilmiştir.

5.3. İŞLEME PARAMETRELERİNİN ROLÜ

35° sabit helis, 38° sabit helis ve $35/38^\circ$ değişken helisli parmak freze takımlarıyla yapılan deney sonuçlarını incelediğimizde, kesme hızı (V_c) sabit tutulduğu durumda tüm deneyler için ilerleme (mm/diş) miktarı arttıkça parmak freze takımlarına gelen kesme kuvvetinin tüm F_x , F_y ve F_z bileşenlerinin ve bileşke kesme kuvvetinin de arttığı tespit edilmiştir.

5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

İşlenmiş taban yüzeyi ve kanal duvarları üzerindeki ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için kullanılan profilometre cihazından elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te verilmiştir. Ortalama değerler

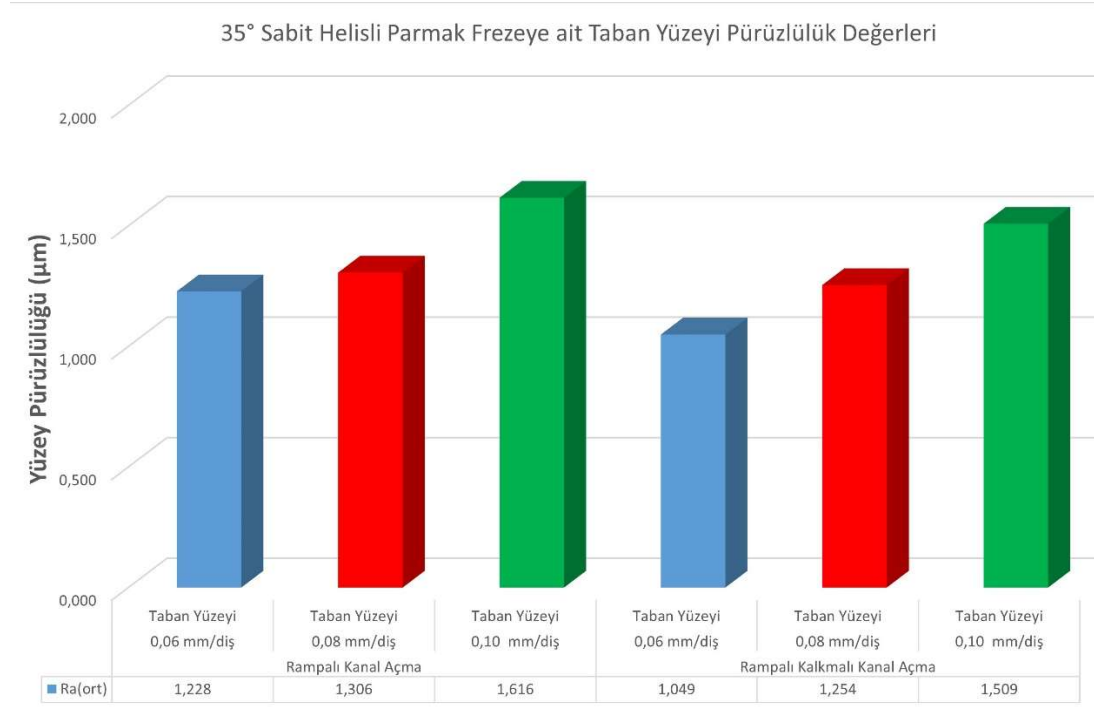
parmak freze takımlarının helis açıları dikkate alınarak taban yüzeyi için ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin grafikleri oluşturulmuş ve Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneş şablonuna uygun gerçekleştirilen rampalı kanal açma deneylerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri.

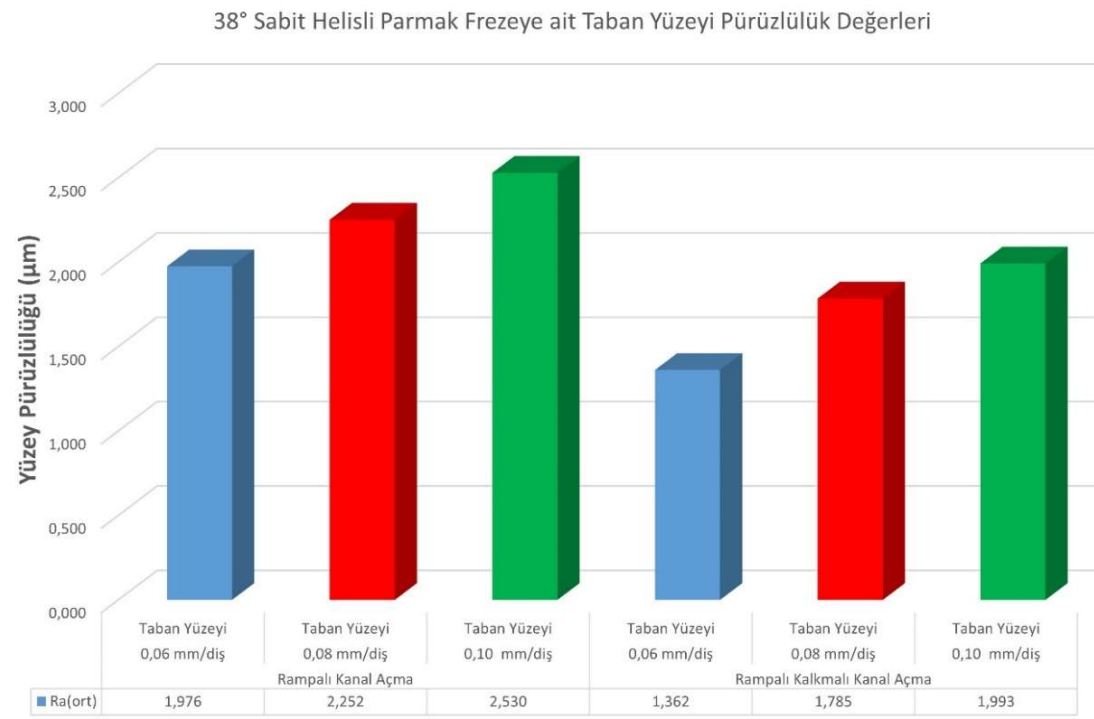
Deneş No	Takım Yolu	Takım Helis Açısı, °	İlerleme Mik. (fz), mm/diş	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, (µm)			
					Taban Yüzeyi	Sol Duvar	Sağ Duvar
1	Rampalı Dalış	35	0,06	Ra	1,228	0,963	1,482
				Rz	6,462	5,630	10,152
2	Rampalı Dalış	35	0,08	Ra	1,306	0,823	0,879
				Rz	8,072	4,465	5,789
3	Rampalı Dalış	35	0,1	Ra	1,616	1,044	1,137
				Rz	8,678	5,095	6,240
4	Rampalı Dalış	38	0,06	Ra	1,976	1,285	1,284
				Rz	8,823	7,041	8,324
5	Rampalı Dalış	38	0,08	Ra	2,252	1,157	1,646
				Rz	11,111	5,719	9,500
6	Rampalı Dalış	38	0,1	Ra	2,530	1,359	1,574
				Rz	12,663	6,239	9,315
7	Rampalı Dalış	35/38	0,06	Ra	1,892	1,158	1,041
				Rz	8,912	5,961	5,859
8	Rampalı Dalış	35/38	0,08	Ra	1,929	1,066	1,257
				Rz	9,678	5,582	7,386
9	Rampalı Dalış	35/38	0,1	Ra	2,104	1,141	1,306
				Rz	10,726	6,142	5,742

Çizelge 5.4. Deneş şablonuna uygun gerçekteşirilen rampalı kalkmalı kanal açma deneşlerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri.

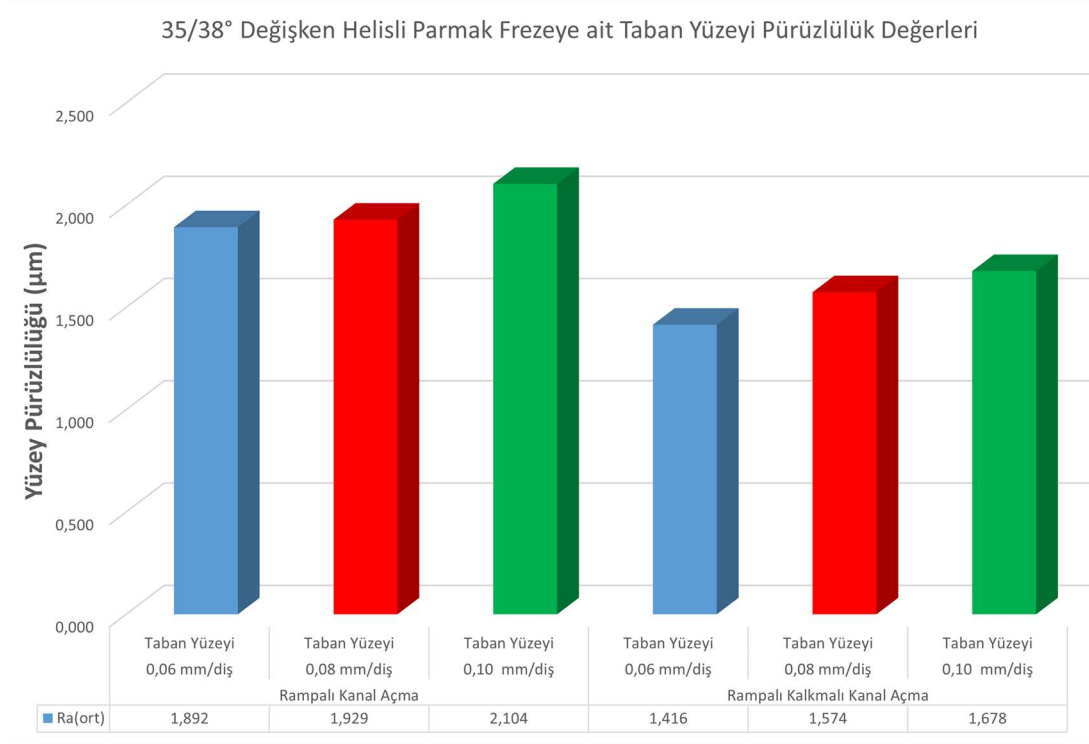
Deneş No	Takım Yolu	Takım Helis Açısı, °	İlerleme Mik. (fz), mm/diş	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, (µm)			
					Taban Yüzeyi	Sol Duvar	Sağ Duvar
1	Rampalı Kalkmalı Dalış	35	0,06	Ra	1,049	1,480	1,454
				Rz	5,445	7,562	8,598
2	Rampalı Kalkmalı Dalış	35	0,08	Ra	1,254	1,487	1,420
				Rz	6,712	7,468	9,344
3	Rampalı Kalkmalı Dalış	35	0,1	Ra	1,509	1,496	1,308
				Rz	7,649	6,870	8,053
4	Rampalı Kalkmalı Dalış	38	0,06	Ra	1,362	0,835	1,410
				Rz	6,618	4,090	8,351
5	Rampalı Kalkmalı Dalış	38	0,08	Ra	1,785	0,915	0,983
				Rz	8,879	4,737	5,568
6	Rampalı Kalkmalı Dalış	38	0,1	Ra	1,993	1,839	1,529
				Rz	7,673	9,047	7,979
7	Rampalı Kalkmalı Dalış	35/38	0,06	Ra	1,416	1,065	0,907
				Rz	6,892	6,564	5,445
8	Rampalı Kalkmalı Dalış	35/38	0,08	Ra	1,574	0,734	1,158
				Rz	7,287	3,348	6,360
9	Rampalı Kalkmalı Dalış	35/38	0,1	Ra	1,678	1,019	1,145
				Rz	7,976	4,750	5,974



Şekil 5.20. “35° Sabit Helis” Kesici Takıma ait İlerleme miktarı ve kesme metoduna bağlı Taban Yüzey Pürüzlülüğü değerlendirilmesi.



Şekil 5.21. “38° Sabit Helis” Kesici Takıma ait İlerleme miktarı ve kesme metoduna bağlı Taban Yüzey Pürüzlülüğü değerlendirilmesi.



Şekil 5.22. “35/38° Değişken Helis” Kesici Takıma ait İlerleme miktarı ve kesme metoduna bağı Taban Yüzeği Pürüzlülüğü değerlendirilmesi

Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de görüldüğü gibi tüm işleme koşullarında 35° sabit helisli takımlarla işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülük değeri diğer takımlarla işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülük değerinden daha düşüktür. Tüm işleme şartlarında 35° sabit helisli takımların daha iyi sonuç vermesinin nedeni olarak helis açısı azaldıkça kesici kenar uzunluğunun diğer takımlara kıyasla daha fazla olması düşünülmektedir [34]. Kesici takımlar kendi içlerinde kesme metodu yönünden incelendiğinde tüm deneylerde rampalı kalkmalı kanal açma kesme metoduyla yapılan kanal frezeleme işlemlerinde, rampalı kanal açma kesme metoduyla yapılan kanal frezeleme işlemlerine göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.

En düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 35° sabit helisli parmak freze takımıyla rampalı kalkmalı takım yolu ve 0,06 mm/diş ilerleme miktarında yapılan deneyde 1,049 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri ise 38° sabit helisli parmak freze takımıyla rampalı takım yolu ve 0,1 mm/diş ilerleme miktarında yapılan deneyde 2,530 µm olarak ölçülmüştür.

Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22 incelendiğinde 35° sabit helis, 38° sabit helis, 35/38° değişken helisli parmak frezelerle ve rampalı takım yolu, rampalı kalkmalı takım yolu kesme metotlarıyla yapılan tüm deneylerde ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan literatür taramasında ilerleme miktarındaki artışın yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düşüşe neden olduğunu belirten çalışmaların olduğu belirlenmiştir [35,36]. Fakat bu çalışmada, ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Yapılan literatür taramasında, Karabulut'un yapmış olduğu çalışmasında benzer sonuçları elde ettiği tespit edilmiştir [37]. Bu duruma sebep olan en etkili mekanizma, ilerleme miktarının artması ile takımın bir turda kaldırması gereken talaş miktarının artmasıdır [38].

35° sabit helisli takımla yapılan deneylerde taban yüzeyine ait yüzey pürüzlülük değerleri 1,049 µm ile 1,616 µm aralığında değişim göstermiştir. En yüksek ve en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri arasında %54 fark olduğu tespit edilmiştir. 38° sabit helisli takımla yapılan deneylerde taban yüzeyine ait yüzey pürüzlülük değerleri 1,362 µm ile 2,530 µm aralığında değişim göstermiştir. En yüksek ve en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri arasında %85,7 fark olduğu tespit edilmiştir. 35/38° değişken helisli takımla yapılan deneylerde taban yüzeyine ait yüzey pürüzlülük değerleri 1,416 µm ile 2,104 µm aralığında değişim göstermiştir. En yüksek ve en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri arasında %48,5 fark olduğu tespit edilmiştir. Helis açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini, en iyi yüzey kalitesinden en kötü yüzey kalitesine doğru değerlendirdiğimizde sırasıyla 35° sabit helisli-35/38° değişken helisli-38° sabit helisli kesici takımlar olarak sıralandığı görülmüştür. Bu durum, helis açılarının artması ile kesici kenar uzunluklarının azalmasına ve dolaylı olarak takım- iş parçası arasında bir turdaki kesme miktarının azalmasına atfedilmektedir [14][39].

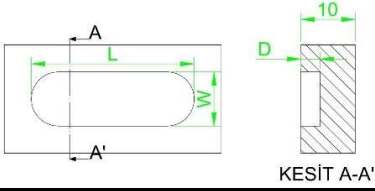
5.5. KANAL FREZELEME ÖLÇÜ VE ÇIKAN TALAŞ KONTROL

İşlenmiş kanal yüzeylerindeki boy, genişlik ve derinlik ölçümleri için "SEALTOOL" marka dijital kumpas (Şekil 5.23) kullanılmıştır. Dijital kumpasın ölçüm hassasiyeti 0,01 mm'dir. Parmak freze takımlarının temas ettiği yüzeyler; işlenen boy, işlenen genişlik ve işlenen derinlik olarak ölçülmüştür. Elde edilen ölçü sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.23. Kanal frezeleme ölçü kontrollerinin yapıldığı dijital kumpasın gerçek görüntüsü.

Çizelge 5.5. Kanal frezeleme ölçü kontrolleri.





















Deney No	Takım Helis Açısı (β_1), °	Kesme hızı (Vc), m/dk.	İlerleme (fz), mm/diş	Takım yolu (T_p)	İşlenmiş Boy (L), mm	İşlenmiş Genişlik (W), mm	İşlenmiş Derinlik (D), mm
1	35°	50	0,06	Rampalı dalış ve Zig-zag kesme	29,73	9,98	3,39
2			0,08		29,64	9,98	3,35
3			0,10		29,60	9,90	3,42
4	38°		0,06		29,79	9,93	3,42
5			0,08		29,77	9,93	3,37
6			0,10		29,76	9,95	3,45
7	35°/38°		0,06		29,75	9,93	3,32
8			0,08		29,63	9,93	3,38
9			0,10		29,59	9,91	3,45
10	35°		0,06	Rampalı dalış ve Kalkmalı Zig-Zag kesme	29,71	9,94	3,50
11			0,08		29,70	9,95	3,46
12			0,10		29,67	9,94	3,38
13	38°		0,06		29,74	9,94	3,45
14			0,08		29,69	9,93	3,46
15			0,10		29,70	9,92	3,45
16	35°/38°		0,06		29,85	9,95	3,46
17			0,08		29,83	9,94	3,44
18			0,10		29,77	9,93	3,45

İşleme deneylerinde açılan kanal boyutları; genişlik: 10 mm, boy: 30 mm ve derinlik: 3,5 mm şeklindedir. Çizelge 5.5 incelendiğinde istenilen kanal boyutlarına en yakın sonucun 35/38° değişken helisli kesici takımla 0,06 ilerleme miktarında ve rampalı kalkmalı takım yolunda yapılan 16 numaralı deneyde olduğu belirlenmiş ve işlenmiş boy (L):29,85 mm, işlenmiş genişlik (W):9,95 mm, işlenmiş derinlik (D):3,46 mm olarak ölçülmüştür.

Kanal geometrilerinin işlenmesi sırasında malzeme üzerinden kaldırılan talaş parçaları her bir deney sonrası deney numaralarına göre toplanmıştır. Toplanan talaş parçalarının gerçek görüntüleri Çizelge 5.6'te aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 5.6. Kanal frezeleme çıkan talaş görselleri.

D. No	Çıkan Talaş Görseli	D. No	Çıkan Talaş Görseli	D. No	Çıkan Talaş Görseli
1		7		13	
2		8		14	
3		9		15	
4		10		16	
5		11		17	
6		12		18	

Çizelge 5.6 incelendiği zaman, değişken helis (Deney no: 7-9, 16-18) parmak freze takımlarıyla yapılan işleme deneylerinde çıkan talaş kesitleri, sabit helis (Deney no: 1-6, 10-15) parmak freze takımlarıyla yapılan işleme deneylerinden çıkan talaş kesitlerine göre daha sürekli olduğu gözlenmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Hardox 450 çeliğinin kanal frezeleme yöntemi ile sabit ve değişken helis açılı parmak frezeler ile işlenebilirliği araştırılmıştır. Literatür araştırması ışığında belirlenen parametreler ve deney düzeneğine bağlı olarak bileşke kesme kuvvetleri, kanal geometrisi boyut değişimi, talaş formu ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Bunlar;

1. Hardox 450 çeliğinin sementit karbür parmak frezeler ile işlenmesinde ilerleme miktarı, kesme metodu ve helis açısının bileşke kesme kuvvetine etkisinin olduğu görülmüştür.
2. Sabit helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme kesme kuvvetinin en düşük ölçüldüğü deney şartları: 35° helis açılı takımla, rampalı kanal açma kesme metodu ve 0,06 mm/diş ilerleme miktarı şeklindedir. Ölçülen değer ise 834,58 N'dur.
3. Değişken helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme kesme kuvvetinin en düşük ölçüldüğü deney şartları: 35°/38° helis açılı takımla, rampalı kalkmalı kesme metodu ve 0,06 mm/diş ilerleme miktarı şeklindedir. Ölçülen değer ise 551,05 N'dur.
4. Sabit helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme deneylerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin kanal taban yüzeyi için en düşük ölçüldüğü deney şartları: 35° helis açılı takımla, rampalı kalkmalı kesme metodu ve 0,06 mm/diş ilerleme miktarı şeklindedir. Ölçülen değer ise 1,049 μm 'dur.

5. Değişken helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme deneylerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin kanal taban yüzeyi için en düşük ölçüldüğü deney şartları: 35/38° helis açılı takımla, rampalı kalkmalı kesme metodu ve 0,06 mm/diş ilerleme miktarı şeklindedir. Ölçülen değer ise 1,416 μm 'dur.
6. Yapılan deneylerin sonuçları neticesinde sabit ve değişken helis açılı kesici takımlar kesme kuvveti açısından birbiri ile kıyaslandığında, değişken helis açılı kesici takımlar daha düşük kesme kuvveti ile talaş kaldırmıştır.
7. Değişken helis açılı parmak frezeler, sabit helis açılı parmak frezelere göre kesme kuvveti açısından %69 oranında daha düşük kesme kuvveti ile talaş kaldırdığı, kanal taban yüzey pürüzlülüğü açısından %8,5 oranında daha düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü oluşturduğu görülmüştür.
8. En düşük bileşke kesme kuvveti değeri DHA takımlarda, helis açısının 35°/38°, rampalı kalkmalı kesme metodu ve ilerleme miktarının 0,06 mm/diş olduğu durumda 551,05 N olarak ölçülmüştür. En büyük bileşke kesme kuvveti değerinin SHA takımlarda, helis açısının 35°, rampalı kalkmalı kesme metodu ve ilerleme miktarının 0,10 mm/diş olduğu durumda 1171,18 N olarak ölçülmüştür.
9. Düşük kesme kuvvetiyle gerçekleştirilen talaş kaldırmada (helis açısı 35°/38°, rampalı kalkmalı kesme metodu, ilerleme miktarı 0,06 mm/diş) geometrik boyut sapması diğerlerine kıyasla daha düşük değerdedir. Bu durum düşük kesme kuvveti ile talaş kaldırmanın önemini göstermektedir.
10. Sabit helis açılı kesici takımlar ile yapılan işleme deneylerinde oluşan bileşke kesme kuvvetleri incelendiğinde, rampalı kanal açma kesme metodunda helis açısı arttıkça bileşke kesme kuvveti artarken, rampalı kalkmalı kanal açma kesme metodunda bileşke kesme kuvvetinin azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmayı daha ileriye taşımak için aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir.

1. Parmak freze takımlarının kesici ağız sayıları çeşitlendirilerek Hardox çeliklerinin işlenebilirlik üzerindeki etkilerine bakılabilir
2. Kullanılan sabit helisli ve değişken helisli parmak freze takımlarının helis açıları çeşitlendirilerek işleme performansları detaylandırılabilir.

KAYNAKÇA

1. ASLANTAŞ, K., ÇİÇEK, A., ve ÇELİK, S. G., "Mikro işlemede takım aşınması-kanal geometrisi ilişkisi üzerine deneysel bir çalışma", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (4): 1285–1298 (2018).
2. Aydın, M., "Parmak freze takımı ile talaş kaldırmada kesme kuvvetleri ve boyut hatalarının kesme kuvveti dağılımı metodu ile analizi", Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2014).
3. EKMEK, M. S., "Frezelemede takım helis açısı ve kesme yüksekliğinin titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel araştırılması", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2015).
4. Kurt, A. ve Bakır, S., "KESİCİ UÇ GENİŞLİĞİNİN KANAL AÇMA SİRASINDAKİ KESME KUVVETLERİNE ETKİSİ", *Gazi University Journal Of Science Part C: Design And Technology*, 2 (2): 221–228 (2014).
5. Çakır Şencan, A., Anaç, N., ve Şeker, U., .
6. Kurt, M. ve Bakır, B., "Cnc Freze tezgahlarında kullanılan karbür Parmak Freze takımı Geometrisinin İşlenebilirliğe Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2005).
7. Batman, F. ve Nart, E., "Farklı Takım Geometrilerinin İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2008).
8. Chen, L., Li, M., ve Yang, X., "The feasibility of fast slotting thick CFRP laminate using fiber laser-CNC milling cooperative machining technique", *Optics & Laser Technology*, 149: 107794 (2022).
9. Rimpault, X., Il, A., Chatelain, J.-F., Lalonde, J.-F., ve Balazinski, M., "Workpiece subsurface temperature study during aluminum skin milling in slotting and ramping", *Procedia CIRP*, 77: 417–420 (2018).
10. Viswanathan, G., Praveen, R., Prabhu, L., ve Prakash, S., "Evaluating the machining parameters for milling P20 HH mould steel using a specific end mill", *Materials Today: Proceedings*, 46: 8248–8253 (2021).
11. Gueli, M., Ma, J., Cococetta, N., Pearl, D., ve Jahan, M. P., "Experimental investigation into tool wear, cutting forces, and resulting surface finish during

- dry and flood coolant slot milling of Inconel 718", *Procedia Manufacturing*, 53: 236–245 (2021).
12. NOHUTÇU, S., "Titanyum alaşımlarının farklı helis açılı kesici takımlar ile işlenebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2018).
 13. ASLAN, C., "CNC torna tezgahı için hassas açısal konum ayarlı vida açma takımı tasarım, imalat ve başarımlar testleri", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, (2021).
 14. Sur, G., Motorcu, A. R., ve Nohutçu, S., "Single and multi-objective optimization for cutting force and surface roughness in peripheral milling of Ti6Al4V using fixed and variable helix angle tools", *Journal Of Manufacturing Processes*, 80: 529–545 (2022).
 15. Sheikh-Ahmad, J., El-Hofy, M., Almaskari, F., Kerrigan, K., ve Takikawa, Y., "The evolution of cutting forces during slot milling of unidirectional carbon fiber reinforced polymer (UD-CFRP) composites", *Procedia CIRP*, 85: 127–132 (2019).
 16. Paliwal, V. ve Babu, N. R., "Prediction of stability boundaries in milling by considering the variation of dynamic parameters and specific cutting force coefficients", *Procedia CIRP*, 99: 183–188 (2021).
 17. Fabián Pérez-Salinas, C., Fernández-Lucio, P., del Olmo, A., Aldekoa-Gallarza, I., ve Norberto López de Lacalle, L., "The influence of cutting edge microgeometry on the broaching of Inconel 718 slots", *Engineering Science And Technology, An International Journal*, 48: 101563 (2023).
 18. Pleta, A., Niaki, F. A., ve Mears, L., "A comparative study on the cutting force coefficient identification between trochoidal and slot milling", *Procedia Manufacturing*, 26: 570–579 (2018).
 19. Moayyedian, M., Mohajer, A., Kazemian, M. G., Mamedov, A., ve Derakhshandeh, J. F., "Surface roughness analysis in milling machining using design of experiment", *SN Applied Sciences*, 2 (10): 1698 (2020).
 20. Kar, B. C., Panda, A., Kumar, R., Sahoo, A. K., ve Mishra, R. R., "Research trends in high speed milling of metal alloys: A short review", *Materials Today: Proceedings*, 26: 2657–2662 (2020).
 21. Plodzien, M., Burek, J., Zylka, L., ve Sulkowicz, P., "The influence of end mill helix angle on high performance milling process", *Journal Of Mechanical Science And Technology*, 34 (2): 817–827 (2020).
 22. Buranský, I., Bračík, M., ve Šimna, V., "Influence of End Mill Helix Angle on Surface Quality of Aluminium Thin-Walled Parts", *Research Papers Faculty*

Of Materials Science And Technology Slovak University Of Technology, 26 (42): 177–188 (2018).

23. Law, K. M. Y., Geddam, A., ve Ostafiev, V. A., "A process-design approach to error compensation in the end milling of pockets", *Journal Of Materials Processing Technology*, 89–90: 238–244 (1999).
24. Yangui, H., Zghal, B., Kessentini, A., Chevallier, G., Rivière, A., Haddar, M., ve Karra, C., "Influence of Cutting and Geometrical Parameters on the Cutting Force in Milling", *Engineering*, 02 (10): 751–761 (2010).
25. Hinduja, S., Roaydi, A., Philimis, P., ve Barrow, G., "Determination of optimum cutter diameter for machining 2-O pockets", *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 41 (5): 687–702 (2001).
26. Akgün, A., "Dalgalı kesim özelliğine sahip değişken talaş açılı parmak freze tasarımı ve performansının değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, (2020).
27. Eren, N., Hayat, F., ve Günay, M., "Sertleştirilmiş 1.2367 Takım Çeliğinin İşlenmesinde Enerji Tüketiminin Analizi ve Modellenmesi", *İmalat Teknolojileri Ve Uygulamaları*, 1 (3): 41–49 (2020).
28. SSAB, "Hardox 450 General Product Description Dimension Range Mechanical Properties Product Thickness (in)", .
29. Internet: Sandvik Coromant Turkey, "Karbür Parmak Frezeler", <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/tools/milling-tools/solid-carbide-end-mills> .
30. Toh, C. K., "A study of the effects of cutter path strategies and orientations in milling", *Journal Of Materials Processing Technology*, 152 (3): 346–356 (2004).
31. Aktaş, B., Toprak, M., Çalık, A., ve Tekgüler, A., "Effect of pack-boriding on the tribological behavior of Hardox 450 and HiTuf Steels", *REVIEWS ON ADVANCED MATERIALS SCIENCE*, 59 (1): 314–321 (2020).
32. Internet: Ata Teknik, "12- Hidrolik Takım Tutucular Hakkında Neler Biliyorsunuz?", <https://atateknik.com.tr/blog/12-hidrolik-takim-tutucular-hakkinda-neler-biliyorsunuz/> (2024).
33. Internet: Damatech, "Machining Recommendations for Strenx™ ve Hardox®", <https://www.damatech.com/en/Prehardened-steel/Hardox/Hardox-Machining> (2024).
34. Liu, L., Ding, Y. F., Wu, L. Y., ve Liu, G., "Effects of contact ratios on mesh stiffness of helical gears for lower noise design", International Gear Conference 2014: 26th–28th Ağustos 2014, Lyon, *Elsevier*, 320–329 (2014).

35. Tosun, G. ve Muratoglu, M., "The drilling of Al/SiCp metal–matrix composites. Part II: workpiece surface integrity", *Composites Science And Technology*, 64 (10–11): 1413–1418 (2004).
36. Hakami, F., Pramanik, A., ve Basak, A. K., "Tool wear and surface quality of metal matrix composites due to machining: A review", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part B: Journal Of Engineering Manufacture*, 231 (5): 739–752 (2017).
37. Karabulut, Ş., "Optimization of surface roughness and cutting force during AA7039/Al₂O₃ metal matrix composites milling using neural networks and Taguchi method", *Measurement*, 66: 139–149 (2015).
38. Nalbant, M., Gökkaya, H., ve Sur, G., "Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning", *Materials & Design*, 28 (4): 1379–1385 (2007).
39. Jiang, R., Wang, J., Gao, Y., Zhu, Z., ve Cao, P., "The researches concern the influence of the helix angle on the composite machining process", *Composites And Advanced Materials*, 30: 263498332199837 (2021).

ÖZGEÇMİŞ

Anıl AYYILDIZ ilk ve orta öğrenimini Düzce’de tamamladı. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Yabancı Diller Yüksek Okulunda hazırlık eğitimini tamamladıktan sonra 2016 yılında Karabük Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği bölümünde öğrenime başlayıp 2020 yılında mezun oldu. 2020-2021 yıllarında Çağ Çelik firmasında atölye sorumlusu olarak çalıştığı iş yerinden ayrıldıktan sonra 2021 yılında Tor Çelik firmasında teknik ofis müdürü olarak çalışmaya başladı ve halen görevine devam etmektedir. 2021 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına kaydolmuştur.

Adres: Organize Sanayi Bölgesi, Tor Çelik Firması, Teknik Ofis Binası,
Merkez/Karabük