MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK DEVİR SAĞLAYICI KULLANILARAK FREZELEME OPERASYONLARININ ŞEKİL, KONUM VE BOYUT TOLERANSLARI İLE ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

HÜSEYİNCAN SAĞIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Barkın BAKIR

İSTANBUL, 2023

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK DEVİR SAĞLAYICI KULLANILARAK FREZELEME OPERASYONLARININ ŞEKİL, KONUM VE BOYUT TOLERANSLARI İLE ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

HÜSEYİNCAN SAĞIR
(523220018)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Barkın BAKIR

İSTANBUL, 2023

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Hüseyincan SAĞIR'ın "**Yüksek Devir Sağlayıcı Kullanılarak Frezeleme Operasyonlarının Şekil, Konum ve Boyut Toleransları ile Enerji Tüketimine Etkisinin İncelenmesi**" başlıklı tez çalışması, Eylül 2023 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Barkın BAKIR (Danışman) Marmara Üniversitesi …….

Doç.Dr. Adı SOYADI (Üye)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Adı SOYADI (Üye)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …/…/2023 tarih ve …… sayılı kararı ile Hüseyincan SAĞIR'ın Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, birlikte çalışmaktan şeref duyduğum tez danışmanım Dr.Öğr. Üyesi Barkın BAKIR'a, çalışmaya katkılarını sunan Doç.Dr. Savaş EVRAN'a ve Arş.Gör. Murat ŞEN'e, deney numunelerinin hazırlanmasında ve bir kısım analizlerin yapılmasında destek aldığım İstanbul Tersanesi Komutanlığının kıymetli personeline, ayaklarımın üstünde durmaya başladığım zamana kadar beni yetiştiren, maddi ve manevi fedakârlıktan bir an olsun kaçınmayan değerli aileme, bu süreç içerisinde bana destek olan kıymetli eşime, teşekkürlerin en güzelini sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ I
İÇİNDEKİLER II
ÖZET V
ABSTRACT VI
SEMBOLLER VII
KISALTMALAR VIII
ŞEKİL LİSTESİ IX
TABLO LİSTESİ XI
1. GİRİŞ 1
1.1. Literatür Araştırması 2
1.2. Talaşlı İmalat 9
1.2.1. Frezeleme 10
1.2.1.1. Çevresel Frezeleme 11
1.2.1.2. Alın Frezeleme 13
1.2.1.3. Frezelemede Kesme Parametreleri 14
1.2.1.3.1. Kesme Hızı 14
1.2.1.3.2. İlerleme hızı (mm/dk) 15
1.2.1.3.3. Talaş Derinliği 15
1.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü 16
1.2.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler 16
1.2.2.2. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) 18
1.3. Taguchi Yöntemi 18
1.3.1. Sistem Tasarımı 18
1.3.2. Parametre Tasarımı 19
1.3.3. Tolerans Tasarımı 20
1.4. Şekil, Boyut ve Konum (Geometrik) Toleransları 20
2. MATERYAL VE YÖNTEM 22
2.1. Malzeme 22
2.1.1. İş Parçası (Deney Numunesi) 22
2.1.2. Deneyde Kullanılan CNC Freze Tezgahı 23
2.1.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takım 24

2.1.4. Yüksek Devir Sağlayıcı (Hız Kafası) 24
2.1.5. Dinamometre 25
2.1.6. Amplifikatör 27
2.1.7. DAQ Cihazı 27
2.1.8. Tork Anahtarı 28
2.1.9. Yazılımlar 28
2.1.9.1. Dynoware 28
2.1.9.2. Minitab 29
2.1.10. Güç Analizörü 29
2.1.11. Spektrometre Cihazı 30
2.1.12. Sertlik Ölçüm Cihazı 31
2.1.13. Portatif Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı 31
2.2. CNC Freze Tezgâhında Uygulanan İşleme Programı 32
2.3. Deney Tasarımı 33
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 35
3.1. Kuvvet Ölçümü 35
3.1.1. Hız Kafası Kullanılmadan Yapılan Kuvvet Ölçümü 35
3.1.2. Kuvvet Ölçümü Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılmadan) 36
3.1.3. Hız Kafası Kullanılarak Yapılan Kuvvet Ölçümü 37
3.1.4. Kuvvet Ölçümü Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılarak) 38
3.2. Güç Tüketimi Ölçümü 39
3.2.1. Hız Kafası Kullanılmadan Yapılan Deneylerde Güç Tüketimi Ölçümü 39
3.2.2. Güç Tüketimi Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılmadan) 41
3.2.3. Hız Kafası Kullanılarak Yapılan Deneylerde Güç Tüketimi Ölçümü 41
3.2.4. Güç Tüketimi Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılarak) 43
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü 44
3.3.1. Hız Kafası Kullanılmadan Yapılan Deneylerde Yüzey Pürüzlülüğü 44
3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılmadan) 46
3.3.3. Hız Kafası Kullanılarak Yapılan Deneylerde Yüzey Pürüzlülüğü 47
3.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılarak) 48
3.4. Şekil, Boyut ve Konum Toleransları 49
4. SONUÇLAR 53

EKLER 55
KAYNAKLAR 62
ÖZGEÇMİŞ 69

ÖZET

İnsanlığın küresel ısınma ve çevre kirliliği vb. önemli olaylar ile karşı karşıya olduğu bu dönemde enerji tüketimi her geçen gün önemini artırmaktadır. İleri teknolojiye sahip olan sanayilerde elde edilen iş parçalarının, artan kalite gereksinimleri bulunmaktadır. Söz konusu gereksinimleri elde etmek için tüketilen enerji miktarı arasındaki rekabet oldukça etkileyici durumdadır. Üretilen iş parçasının en önemli gereksinimleri, boyutsal doğruluk ve yüzey pürüzlüğüdür. Talaşlı imalat endüstrisinde takım tezgâhları, işlenecek malzeme, kesici takımlar ve kesme parametrelerinin verimliliği üzerine yıllardır araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda takım tezgâhlarının enerji tüketimini doğru bir şekilde karakterize etmek, üretim enerji verimliliğini artırmak ve bunlarla ilişkili parametrelerden en iyi sonuçların elde edilmesi için yapılan araştırmaların artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, talaşlı imalat faaliyetlerinde yaygın bir uygulama alanı bulunan frezeleme operasyonun yüksek devir sağlayıcı kullanılarak malzemenin işlenmesi sonucunda, tezgâhın enerji tüketimindeki karakterizasyonu incelenmiştir. CNC tezgahının işleme merkezine adapte edilecek yüksek devir sağlayıcının devir artış oranı 1:5 oranındadır. Bu oran sayesinde düşük devirlerde çekilen güç ile yüksek devir elde edilerek enerji tüketimindeki değişim ve ürün kalitesindeki durum belirlenmiştir.

Bu kapsamda gerçekleştirilecek işlemlerde optimum kesme parametrelerinin belirlenebilmesi için Taguchi Metodu kullanılmıştır. Taguchi metodu, imalat aşamalarında ürünlerin maliyetine ve kalite değerine etki etmekte olan, kesme koşullarını optimize edilmesinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu yöntemle deney sayısı büyük oranda azaltılmakta ve süre kaybı minimum seviyeye indirilmektedir. Bu sebeple, yapılan araştırmada optimum kesme koşullarının tespit edilmesi için Taguchi metodu tercih edilmiştir. Bu sayede frezeleme operasyonları gibi talaşlı imalat işlemlerin gerçekleştirildiği takım tezgâhlarındaki güç tüketiminin azaltılması, maliyet-etkin ürünler oluşturulması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Güç Tüketimi, Yüksek Devir Sağlayıcı, Yüzey Pürüzlülüğü, Taguchi Yöntemi, Yeşil İmalat.

ABSTRACT

Energy consumption is gaining more and more importance as humanity faces important problems such as global warming and environmental pollution. In addition, the conflict between the increasing quality requirements of the workpieces produced in high-tech industries and the amount of energy spent for production becomes remarkable. The most important requirements of a workpiece are dimensional accuracy and surface roughness, and research has been carried out for years on the efficiency of machine tools, material to be processed, cutting tools and cutting parameters in the machining industry. As a result of these studies, there is a need to increase the researches in order to accurately characterize the energy consumption of machine tools, to increase the production energy efficiency and to obtain the best results from the parameters associated with them.

In this study, the characterization of the machine in energy consumption, as a result of processing the material using the high-speed generator of the milling operation, which has a common application area in machining activities, was investigated. The speed increase ratio of the high speed provider to be adapted to the machining center of the CNC machine is 1:5. Thanks to this ratio, the change in energy consumption and product quality were determined by obtaining high speed with the power drawn at low speeds.

In this context, the Taguchi Method was used to determine the optimum cutting parameters in the operations to be carried out. The Taguchi method is an effective method in optimizing the cutting parameters that affect the product cost and quality during the manufacturing stages. With this method, the number of experiments is significantly reduced and time loss is minimized. For these reasons, the Taguchi method was preferred to determine the optimum cutting parameters in the study. In this way, it is aimed to reduce power consumption in machine tools where machining operations such as milling operations are carried out and to create cost-effective products.

Key Words: Energy Efficiency, Power Consumption, High Rotation Provider, Surface Geometry, Surface Roughness, Taguchi Method, Green Manufacturing

SEMBOLLER

%	: Yüzde
a_p	: Talaş derinlği
f	: İlerleme
V	: Kesme hızı
D	: Kesici takımın çapı
F	: İlerleme
f	: İlerleme hızı
f_z	: Diş başına ilerleme, mm/z
z	: Kesici uc sayısı, adet
F_c	: Kesme kuvveti
W	: Güç
F_x	: X eksenindeki kuvvet
F_y	: Y eksenindeki kuvvet
F_z	: Z eksenindeki kuvvet
n	: Devir sayısı
n	: Toplam deney sayısını
Ra	: Yüzey pürüzlülük değeri
X	: X ekseni
Y	: Y ekseni
Z	: Z ekseni
Σ	:Toplam sembolü sigma
f_0	: Doğal Frekans
y_i	: Ölçüm sonuçları toplamı
C_x	: X ekseninde rijitlik
C_y	: Y ekseninde rijitlik
C_z	: Z ekseninde rijitlik
HRC	: Rockwell Sertlik Birimi
R-Sq	: Toplam varyansın ne kadarını açıkladığını yüzde olarak ifade eder.
R-Sq(adj)	: Düzeltilmiş R-kare.
F Değeri	: Modele dahil edilen kaynakların toplam varyansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılır.
P Değeri	: Kaynakların model üzerindeki etkisini

KISALTMALAR

EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

S/N : Sinyal / Gürültü

ANOVA : Varyans Analizi

DAQ : Data Acquisition System

CO2 : Karbondioksit

H_2O : Su Buharı

N_2O : Nitröz Oksit

O_3 : Ozon

CH_4 : Metan

CNC : Bilgisayarlı Sayısal Kontrol

DIN : Alman Standartlar Enstitüsü

ISO : Uluslar Arası Standartlar Organizasyonu

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

HP : Beygir Gücü

Lbs : Ağrlık Birimi

Al : Alüminyum

C : Karbon

Si : Silisyum

Mn : Mangan

Cr : Krom

Mo : Molibden

Ni : Nikel

Co : Kobalt

Cu : Bakır

Nb : Niyobyum

Ti : Titanyum

V : Vanadyum

Pb : Kurşun

A/D : Analog Dijital

USB : Evrensel Seri Veriyolu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 2021 Yılı Faturalanan Tüketimin Tüketici Türüne Göre Dağılımı 2
Şekil 1.2 Örnek Talaşlı İşlemede Üretim Yöntemleri 10
Şekil 1.3 (a) Yatay Freze Tezgâhı, (b) Düşey Freze Tezgâhı 11
Şekil 1.4 (a) Çevresel Frezeleme, (b) Alın Frezeleme 11
Şekil 1.5 Çevresel Frezeleme Türleri [41] 12
Şekil 1.6 (a) Yukarı Frezeleme, (b) Aşağı Frezeleme 12
Şekil 1.7 Alın Frezeleme Türleri 13
Şekil 1.8 Yüzey Yapısı Karakteristiği 16
Şekil 1.9 Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler 17
Şekil 1.10 Yüzey Pürüzlülük Ortalama Değeri, Ra 18
Şekil 2.1 Deney Numuneleri 22
Şekil 2.2 Johnford VMC - 550 Model CNC Freze Tezgahı 23
Şekil 2.3 Deneylerde Kullanılan Kesici Takım 24
Şekil 2.4 Hız Kafası 24
Şekil 2.5 Dinamometre 25
Şekil 2.6 Kesme Kuvvetinin Ölçümü İçin Kullanılan Ekipmanlar 26
Şekil 2.7 Deneyde Kullanılan Dinamometre 26
Şekil 2.8 Amplifikatör 27
Şekil 2.9 DAQ Cihazı 27
Şekil 2.10 Tork Anahtarı 28
Şekil 2.11 Dynoware 28
Şekil 2.12 Minitab Programı 29
Şekil 2.13 Güç Analizörü ve Devre Bağlantısı 29
Şekil 2.14 Devre Tezgah Bağlantı Şeması 30
Şekil 2.15 Spektrometre Cihazı 30
Şekil 2.16 Sertlik Ölçüm Cihazı 31
Şekil 2.17 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı, Probu ve Kalibrasyon Parçası 31
Şekil 2.18 Kanal Açma İşlemi 32
Şekil 3.1 Yapılan Deneyler İçerisinden 1 Numaralı Deneyden Elde Edilen Grafik ((Hız Kafası Kullanılmadan) 35
Şekil 3.2 Yapılan Deneyler İçerisinden 1 Numaralı Deneyden Elde Edilen Grafik (Hız

Kafası Kullanılarak) 37
Şekil 3.3 Kesme Parametreleri ile Güç Tüketimi Arasındaki İlişki 40
Şekil 3.4 Kesme Parametreleri ile Güç Tüketimi Arasındaki İlişki 42
Şekil 3.5 Kesme Parametreleri ile Yüzey Pürüzlülüğü Arasındaki İlişki 45
Şekil 3.6 Kesme Parametreleri ile Yüzey Pürüzlülüğü Arasındaki İlişki 47
Şekil 3.7 Geometrik Tolerans Ölçümü İçin Gerçekleştirilen İşleme Faaliyeti 49
Şekil 3.8 Ölçülen Geometriler 50
Şekil 3.9 Delik Ölçüleri 50
Şekil 3.10 Düzlemsellik 51
Şekil 3.11 Silindiriklik 51
Şekil 3.12 Paralellik ve Diklik 52

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Deney Numunesinin Kimyasal Birleşimi (%) 22
Tablo 2.2 CNC Freze Tezgahının Teknik Özellikleri 23
Tablo 2.3 Kesici Takımın Teknik Özellikleri 24
Tablo 2.4 Dinamometrenin Teknik Özellikleri 26
Tablo 2.5 İşleme Programı 32
Tablo 2.6 Kesme Parametreleri ve Değerleri 33
Tablo 2.7 Deney Tasarımı 33
Tablo 3.1 Kuvvet Ölçümü (Hız Kafası Kullanılmadan) 35
Tablo 3.2 Kuvvet Ölçümü Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılmadan) 36
Tablo 3.3 Kuvvet Ölçümü İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılmadan) 36
Tablo 3.4 Kuvvet Ölçümü (Hız Kafası Kullanılarak) 37
Tablo 3.5 Kuvvet Ölçümü Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılarak) 38
Tablo 3.6 Kuvvet Ölçümü İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılarak) 38
Tablo 3.7 Güç Tüketimi Deney Sonuçları (Hız Kafası Kullanılmadan) 39
Tablo 3.8 Güç Tüketimi Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılmadan) 40
Tablo 3.9 Güç Tüketimi İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılmadan) 41
Tablo 3.10 Güç Tüketimi Deney Sonuçları (Hız Kafası Kullanılarak) 42
Tablo 3.11 Güç Tüketimi Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılarak) 43
Tablo 3.12 Güç Tüketimi İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılarak) 43
Tablo 3.13 Yüzey Pürüzlülüğü (Hız Kafası Kullanılmadan) 44
Tablo 3.14 Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılmadan) 45
Tablo 3.15 Yüzey Pürüzlülüğü İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılmadan) 46
Tablo 3.16 Yüzey Pürüzlülüğü (Hız Kafası Kullanılarak) 47
Tablo 3.17 Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılarak) 48
Tablo 3.18 Yüzey Pürüzlülüğü İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılmadan) 48

1. GİRİŞ

Sanayi sektörü en çok enerji tüketen sektör konumunda olup özelikle seri üretim hatlarına sahip sanayi kuruluşlarının ürün maliyetlerinin önemli bir kısmını enerji tüketimi oluşturmaktadır. Enerji kullanımında sürdürebilirlik; endüstri için güncel ekonomik koşullar, rekabet şartları gibi hususlar dikkate alındığında araştırması yapılması gereken en önemli konu başlıklarından birisini oluşturmaktadır.

Endüstride tüketilen elektrik enerjisi çoğunlukla fosil yakıtlardan sağlanmakta olup artan enerji talebiyle birlikte enerji üretimi için kullanılan kaynaklardan açığa çıkan bazı gazlar ekolojik yapının dengesinde bozulmalara sebep olmaktadır. Karbondioksit (CO_2), su buharı (H_2O), nitröz oksit (N_2O), ozon (O_3) ve metan (CH_4) atmosferde yer alan gazlar başlıca sera etkisi yapan gazlardır. Bahse konu gazların atmosferdeki oranlarının artması, yer küreden yansıyan ışınları tutma özelliğinden kaynaklı dünya üzerinde sıcaklığının artarak ısınması anlamına gelmektedir. Küresel ısınma olarak anılan bu ısınma, buzulların erimesi ve yeryüzünün bazı bölgelerinde deniz seviyesinin yükselmesi gibi sorunlar doğurmaktadır. Bu durum, enerji tüketiminde çok dikkatli olunması gerektiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, üretim süreçlerinde enerji tüketiminin azaltılması, çevre sağlığı açısından dikkat edilmesi gereken elzem bir konu haline gelmiştir.

İmalat operasyonlarını gerçekleştirilmesi maksadıyla sarf edilen enerji sanayi sektörü enerji tüketiminin önemli bir bölümünü teşkil etmektedir. Talaşlı imalat yaygın olarak kullanılan imalat operasyonlarındandır. Ürün/parçaların üretiminde ne tür imalat metodu kullanırsa kullanılsın montaja geçilmeden ya da son şekil verilmeden önce mutlaka bir talaşlı işleme operasyonlarına tabi tutulmaktadır. Bu operasyonlar frezeleme ve tornalama vb. talaşlı imalat proseslerinin gerçekleştirildiği tezgâhlar vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu sebeple endüstri sektörünün vazgeçilmez bir parçası olan talaşlı imalat proseslerinin küresel ekonomideki yeri oldukça önemlidir.

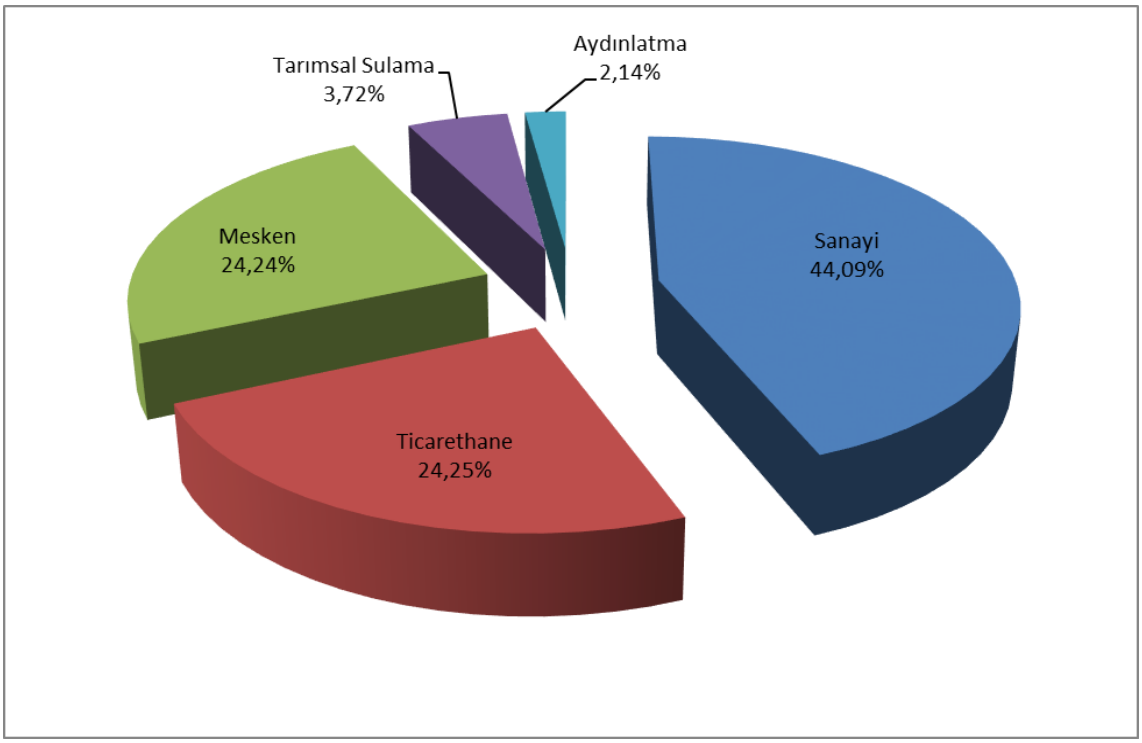
Bu tez kapsamında, yüksek devir sağlayıcıların freze operasyonlarında kullanılması durumunda takım tezgahlarındaki enerji tüketimi ve elde edilen ürünün kalitesi incelenerek bakım/onarım sürelerini, yedek parça ve enerji maliyetlerini azaltacak parametrelerin belirlenmesi ve bunun sonucunda ekonomik, kaliteli ve maliyet-etkin ürünler oluşturmak için optimum yöntemin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede

frezeleme operasyonları gibi talaşlı imalat işlemlerinin gerçekleştirildiği takım tezgâhlarda yüksek devir sağlayıcı kullanılması durumunda elde edilen verimin artırılması hedeflenmektedir.

1.1. Literatür Araştırması

Talaşlı imalat endüstrisinin geliştirilmesine yönelik olarak takım tezgâhları, işlenecek malzeme, kesici takımlar ve kesme parametrelerinin verimliliği ile ilgili yıllardır araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda takım tezgâhlarının enerji tüketimini doğru bir şekilde karakterize etmek, üretimde enerji verimliliğini artırmak, ürün kalitesinin artırılması ve bunlarla ilişkili parametrelerden en iyi sonuçların elde edilmesi hedeflenmiş olup araştırmaların artırılmasının gerekli olduğu görülmektedir. Yapılan literatür araştırması sonucunda enerji verimliğine ve talaşlı imalatta enerji tüketiminin önemine yönelik gerçekleştirilen bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Sanayileşmede en büyük gerekliliklerden biri elektrik enerjisidir. Türkiye'de elektrik tüketiminin sanayi için miktarı yakın zamandaki yıllara göre yaklaşık %40 ile %50 arasında değişmektedir [1]. Şekil 1.1'de 2021 yılı elektrik tüketiminin tüketici türüne göre dağılımı görülmektedir [2].



Şekil 1.1 2021 Yılı Faturalanan Tüketimin Tüketici Türüne Göre Dağılımı [2]

Dünya üzerinde de toplam enerjinin yaklaşık % 32'lik kısmının sanayi sektöründe tüketildiği bilinmektedir [3]. Bu verilere istinaden ülkemizde ve dünyada endüstriyel alanda enerji tüketiminin minimize edilmesinin önemi görülmektedir.

Dünya ülkelerinde gelişmiş olmanın göstergelerinden biri elektrik enerjisinin tüketim miktarıdır. Ülkelerde bireylerin harcadığı elektrik tüketim oranı ülkenin gelişmişlik seviyesi ile ilgilir. Gelişmekte olan ülkelerde, her geçen gün elektrik enerjisine olan ihtiyacın artış gösterdiği görülmektedir. Gelişmiş ülkelerin ileri teknoloji ağı mevcut olan uluslar arası şirketleri, gelişme seviyesi daha az olan veya gelişme sürecindeki ülkelerde yer alan rakip şirketlere göre daha güçlü performans sergilemektedir. Ancak enerji maliyetlerinin yükselmesinden kaynaklı enerjinin verimliliğini gerçekleştirmek maksadıyla tasarrufa yönelerek farklı yöntemler geliştirmişlerdir [4].

Enerji verimliliği yatırımları ile endüstriyel işletmeler yaptıkları tasarrufla hem kendi hem de ülke ekonomisine katkı sağlayarak enerjiyi verimli kullanmaktadırlar. Sanayi sektöründe tasarruf tedbirlerinin uygulanması neticesinde enerji giderlerinde elde edilen azalmanın yanı sıra enerji tesis yatırımlarındaki maliyetlerde de önemli bir azalma sağlanmaktadır [5].

Enerjiye olan ihtiyacının sürekli artış gösterdiği, ancak rezervlerin git gide azaldığı bir dönemde enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması önem kazanmaktadır. Bahse konu kaynakların etkin bir şekilde tüketilebilmesi enerji verimliliği ile gerçekleştirilebilir. Bu çerçevede, az kaynak ile fazla enerji üretiminin sağlanması ya da eşit oranda kaynak kullanmak koşulu ile fazla enerji elde edilmesi yönündeki çalışmalar önemini artırmıştır. Bu ve benzeri çalışmalar gelişmiş ülkelerde, kamu kurumlarında, büyük şirketlerde ve üniversitelerde organize edilen bir kısım programlarla yapılmaktadır [6].

Talaşlı imalat prosesleri, önemli miktarda enerji tüketimi nedeniyle çevre üzerinde ölçülebilir etkilere neden olur. Takım tezgâhlarının enerji verimliliğinin arttırılması, işleme sistemlerinin çevresel performansını önemli ölçüde iyileştirebilir. Çoğu konvansiyonel yaklaşımda, kesme gücünü tork sensörleri ya da dinamometrelerle doğrudan ölçerek enerji verimliliği takip edilmiştir. Bu yöntemde kullanılan ekipmanlar yerine uygulama maliyetini düşürmek yeni bir çevrimiçi yaklaşım önerilmiştir [7].

Enerji kullanımının azaltılması, sürdürülebilir üretimde önemli bir husustur. Geçmişte,

talaşlı imalat operasyonları, çevresel boyut olmaksızın ekonomik ve teknolojik hususlara dayalı olarak optimize edilmiştir. Üretimin çevre üzerindeki etkisini aynı anda azaltırken, üretim hızını ve kesim kalitesini iyileştirmek çok önemlidir.[8]

Talaşlı imalatta optimum yüzey kalitesini sağlamak ve üretim maliyetlerini düşürmek için, malzemelerin uygun kesme parametreleri kullanılarak işlenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir [9, 10]. Optimum işleme parametrelerinin seçimi önemlidir. Bu çerçevede gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile yüksek verimlilik elde etme üzerine etkili araştırmalar yapılmıştır [11, 12].

Takım tezgâhları kullanılarak gerçekleştirilen talaşlı imalat operasyonlarına ilişkin, en optimum süreç parametrelerinin seçimi vasıtasıyla enerjiyi tüketimini en aza indirgeme araştırmaları gerçekleştirilmiştir [13, 14]. Uygun değer seçimi ile % 6-40 oranında enerjinden tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir [15, 16].

Talaşlı imalat sistemindeki ihtiyaçlara bağlı olarak enerji tüketimini anlamak ve karakterize etmek, üretim süreçleri perspektifinden potansiyel enerji tüketiminin azaltılmasını keşfetmeye katkıda bulunulmuştur [17, 18].

Kesici takım, işçilik ve takım tezgâhı ne kadar verimli kullanılırsa, işleme operasyonlarında kullanılan enerji verimli ve aynı zamanda daha uygun maliyetli olacağından, bu durumun takım tezgâhların kullanımında dikkate alınması üzerinde bir etkisi olacağı değerlendirilmiştir [19].

Verimli bir süreç sağlamak ve talaşlı imalatı başarılı bir şekilde etkinleştirmek için kesme parametrelerinin, kesici takımların, takım tezgâhlarının ve üretim ortamının ayrıntılı analizi ve adaptasyonunun zorunlu olduğu belirtilmiştir [20].

İmalatta enerjinin verimli olarak tüketilmesi durumunda üretimi gerçekleştirilen malzemelerin maliyeti düşeceğinden, ucuz ve fazlaca ürün elde edilmesi önemlidir. Bu kapsamda enerji tüketimini azaltmanın ve enerji verimliliğini artırmanın, işleme sistemleri için önemli olduğu belirtilmiştir [21]. Bu çerçevede, kullanılan ekipmanların enerji tüketimini minimize etmek, hem akademik araştırmalar [22] hem de endüstriyel uygulamalarda oldukça önemli bir konu olmuştur [23].

Talaş kaldırma işlemlerinde enerji tüketimini en aza indirmek maksadıyla işlenen malzeme, tezgâh, takım, kesme ortamı vb. faktörlerin kendi aralarında uyumlu olarak

tespit edilmesinin yanı sıra, işleme adımlarının ve kesme koşullarının uygun değerde ele alınması ile birlikte işlenebilirliğinin modellenmesi proseslerin aynı anda uygulanması oldukça önemlidir. Eren ve arkadaşları tarafından, sıcak iş takım çeliğinin sert tornalanmasında kesme koşullarının enerji tüketimi üzerindeki etkileri araştırılmış ve güç tüketiminin modeli oluşturulmuştur. Deneyler neticesinde, kesme koşullarındaki artışın akım değerini anlık arttırdığı görülmüştür. Ancak özellikle ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artması neticesinde azalan işleme süresine bağlı olarak toplam güç tüketiminde azalma olduğu tespit edilmiştir [24].

Takım tezgâhlarını verimli kullanmak maksadıyla ilk olarak harcadığı enerjinin ölçülmesi ve modellenmesine ilişkin Altıntaş tarafından, freze takım tezgâhlarında uygulanabilir unsur bazlı bir enerji tahmin modeli sunulmuştur. CNC işleme merkezinin enerji tüketen birimlerinin tespit edilip bahse konu birimlerin harcadığı enerjiyi modelleyebilmek için sabit değerler ele alınmıştır. Bahse konu değerler ve enerji modeli vasıtasıyla gerçekleştirilen hesaplar, deneyler sonucu elde edilen datalarla eşleştirilerek modelin doğruluğu ölçülmüştür. Frezeleme yapılan parçada doğru sonuçlar elde edilmiştir. Harcanan enerjinin takım tezgâhının hangi biriminden ne oranda karşılandığı tespit edilmiş olup enerji tüketim miktarını düşürme yöntemine data sağlanmıştır. Unsuru frezelemek için oluşturulan farklı takım yollarının enerji tüketimine olan etkisi deneysel faaliyetler ile araştırılmıştır. Bu çerçevede, söz konusu araştırmalar neticesinde, takım yolu uzunluğu ile birlikte kesme süresinin uzaması sonucu toplam enerji tüketiminin arttığı gözlemlenmiştir [25].

Şahinoğlu ve arkadaşları tarafından, bir deneysel çalışmada, ray çeliği malzemesinin üç farklı talaş derinliği, üç farklı ilerleme miktarı ve sabit kesme hızında meydana gelen yüzey pürüzlülük ve enerji tüketim değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak: Artan ilerleme ve talaş derinliğiyle birlikte güç tüketiminin de arttığı, güç tüketimi üzerinde talaş derinliğinin en etkili parametre olduğu, artan ilerleme miktarı ve talaş derinliği ile anlık güç tüketiminin arttığı, fakat toplam işleme süresi kısaldığı, dolayısıyla bir parçanın işlenmesi için tüketilen toplam enerji tüketiminin düştüğü görülmüştür [26].

Günay tarafından yapılan araştırmada, 316L paslanmaz çeliğinin işlenmesinde oluşan kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için kesici takım radyüsü ve kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bu kapsamda, Taguchi metodu olan L_9

dikey dizini ile işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. İşleme deneyleri sırasında ölçülen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde değişkenlerin önemini ve etkilerini tespit edebilmek için varyans analizi uygulanmıştır. Bu sayede S/N oranları kullanılarak elde edilen parametrelerin en uygun değerleri, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri için farklı seviyelerde bulunmuş olup sonuç itibariyle yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetini etkileyen en etkili değişkenin ilerleme miktarının olduğu belirlenmiştir [27].

Pınarbaşı tarafından, talaşlı imalatta yaygın bir kullanım alanı bulunan CNC Frezeleme prosesinde Taguchi yöntemi kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme enerjisi için en optimum işlem koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği işlem parametreleri olarak belirlenmiştir. Söz konusu koşulların yüzey pürüzlülüğüne ve harcanan enerji üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneylerin analizinde daha az deneysel çalışma yapmak maksadıyla Taguchi yöntemi kullanılmış olup bu sayede en uygun işlem parametrelerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Söz konusu durum hem maliyet hem de zaman açısından fayda sağlamıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en çok etki ilerleme hızı parametresinin, çekilen akımda en çok değişime neden olan parametrenin ise kesme derinliği değerinin olduğu yapılan bu çalışmada tespit edilmiştir. [28].

Diaz ve arkadaşları tarafından, freze tezgâhlarının kullanımları sırasında enerji tüketimini karakterize etmeye ve azaltmaya yönelik stratejiler gözden geçirmiştir. Takım tezgâhın özgül enerjisini modellemek için düşük karbonlu çeliği çeşitli talaş kaldırma hızlarında hassas talaş kaldırma ile keserken talep ettiği güç ölçülmüştür. Daha sonra çeliğe göre kesme gücü talebindeki farkı karşılaştırmak amacıyla alüminyum ve polikarbonat iş parçalarını kesmek için talep edilen güç incelenmiştir. Bu kapsamda, işleme süresinin yüksek daralı takım tezgahların enerji talebi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir [29].

Yeşil imalata artan ilgi neticesinde, takım tezgâhlarının enerji tüketimini ve çeşitli takım tezgâhlarının enerji verimliliğini karşılaştırılabilir veri analizi ile doğru bir şekilde değerlendirmek için sistematik bir yöntem gereklidir. Bu çerçevede Behrendt ve arkadaşları tarafından, standartlaştırılmış iş parçalarına dayalı farklı test prosedürlerinin ayrıntılı bir tanımını sunarak yeni ve tutarlı bir metodoloji önerilmiştir. Metodoloji,

dokuz işleme merkezine başarıyla uygulanmıştır. Çalışılan takım tezgahlarının enerji tüketim özellikleri karşılaştırılmış ve elde edilen verilerin takım tezgahlarının enerji etiketlemesi için kullanılma potansiyeli tartışılmıştır [30].

Zhou ve arkadaşları tarafından, takım tezgahlarının enerji tüketim modeli ve enerji verimliliğine ilişkin olarak kapsamlı bir literatür taramasına ihtiyaç duyulduğu ve ilgili bazı kavramların net olmadığı ve bu alanda modellerin kesinliğinin hala desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir. İlk olarak takım tezgâhları için enerji verimliliği çağrışımı tartışılmıştır. Spesifik enerji tüketiminin, etkin girdi ve çıktı perspektifinden takım tezgâhlarının enerji verimliliğini yansıtan, enerji tüketimi ile işleme parametreleri arasındaki haritalama ilişkisine atıfta bulunduğu belirtilmiştir. İkinci olarak, enerji verimliliğine dayalı olarak takım tezgâhlarının tasarımı, çizelgeleme yönetimi, optimizasyonu ve çevre değerlendirmesi tanıtılmıştır. Üçüncü olarak, mevcut enerji tüketim modelleri bu çalışmada üç kategoride sınıflandırılmıştır: 1) talaş kaldırma oranına dayalı doğrusal kesme tipi enerji tüketimi modeli, 2) kesme enerjisi tüketimi korelasyon modellerinin detaylı parametre tipi ve 3) işleme odaklı işleme enerjisi tüketim modeli. Son olarak, gelecekteki çalışma için iki ana noktada sonuçlar çıkarılmıştır: 1) mevcut enerji tüketim modellerinin doğruluğu, takım tezgahları, parçalar, aletler ve işleme koşullarının korelasyon analizi geliştirilebilir, 2) daha bilimsel değerlendirme indeks sistemi işleme takımlarının enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve testi için gereklidir [31].

Zhou ve arkadaşları tarafından, malzemenin işlem süresini ve enerji tüketimini azaltarak minimize etmeyi amaçlayan çok maksatlı bir kesme parametresi optimizasyon modeli önerilmiştir. Bu kapsamda takım tezgâhların işleme kapasitesi, takım ömrü, malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve boşa tüketilen enerji kriter olarak göz önünde bulundurulmuştur. Optimizasyon modelini oluşturmak maksadıyla genetik bir algoritma kullanılmış ve tanımlanan parametrelerin takım tezgâhlar üzerindeki enerji tüketim miktarı incelenmiştir. Önerilen yöntemi doğrulamak için Taguchi metodu yardımıyla bir frezeleme prosesi oluşturulmuştur [32].

Karabulut ve Şahinoğlu tarafından, Hadfield çeliğinin kesme davranışı ile birlikte işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, makine gürültüsü ve güç tüketimine etkisi kuru işleme şartlarında yatay freze tezgâhı mağfiretiyle deneysel olarak araştırılmıştır.

Bahse konu deneysel çalışmalar, sabit kesme hızı, dört farklı ilerleme hızı ve altı farklı talaş derinliğinde ve gerçek bir üretim ortamında gerçekleştirilmiştir. Anılan parametrelerin yüzey pürüzlülüğü, makine gürültüsü ve güç tüketimi üzerindeki etkisi varyans analizi kullanılarak irdelenmiştir. Bu kapsamda deneysel sonuçlar neticesinde, talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili kesme parametresi olduğu, talaş derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değeri belirgin şekilde iyileştiği tespit edilmiştir. Ayrıca güç tüketimi ve makine gürültüsünün, artan ilerleme hızı ve talaş derinliği değerlerinin artmasından etkilendiği görülmüştür [33].

Özdemir tarafından, Al 6061-T6 alüminyum malzemesinin delinmesinde üç farklı helis açısında takımlar imal ettirilmiştir. Söz konusu takımlar ile kesme hızı ve ilerleme miktarı kesme parametrelerinin kesme sıcaklığına, yüzey pürüzlülüğüne ve enerji tüketimine etkisi araştırılmıştır. Bu maksatla Deney tasarımında üç farklı; helis açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı parametreleri belirlenerek Taguchi L_{27} deney matrisi oluşturulmuştur. İcra edilen deneyler esnasında kesme sıcaklıkları ve enerji tüketimi değerlerinin yanı sıra delinen deliklerin yüzeyini değerlendirmek maksadıyla deliklerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Kesmenin neden olduğu sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketiminin en düşük değerleri için S/N, ANOVA ve Regresyon analizleri yapılmış olup söz konusu analizler sonucu yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi üzerine en etkin parametreler tespit edilmiştir. Bu çerçevede, sırasıyla ilerleme miktarı %54,93; kesme hızı %52,02 ve ilerleme miktarı %68,12 oranlarında anılan parametrelerin etkisinin olduğu bulunmuştur. Yapılan Regresyon analizinde elde edilen veriler ile deneylerin sonucuna bakıldığında birbirine çok yakın değerlerin olduğu görülmüştür [34].

Öztürk tarafından, sıhhi tesisat sistemleri için TSE ve ISO standartlarında üretim yapan bir firmada prinç redüksiyona ½ inc boru içine diş açma işlemi araştırılmıştır. CNC freze ve tornada tezgâhlarında iki farklı tip üretim şekli incelenmiştir. Prinç fittings redüksiyon ürünün minimum enerji sarfiyatı ve maksimum sayıda ürün imalatının gerçekleştirilebilmesi maksadıyla uygun değerde işleme şartları belirlenmiştir. Üniversal torna tezgâhında iç diş açılması için 31–56 Wh enerjiye ihtiyaç duyulurken, freze tezgâhında 27-36Wh enerji ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda yapılan inceleme neticesinde imalat enerjisi giderlerinde en etkili parametrenin %66 oranında tezgâh tipi olduğu tespit edilmiştir. Asgari enerji tüketimi ve azami sayıda seri imalat

için CNC Freze tezgâhı kullanılmasının uygun olacağı ve bu sayede prinç fittings malzemelerinin kullanımının yaygınlaşabileceği değerlendirilmiştir. [35].

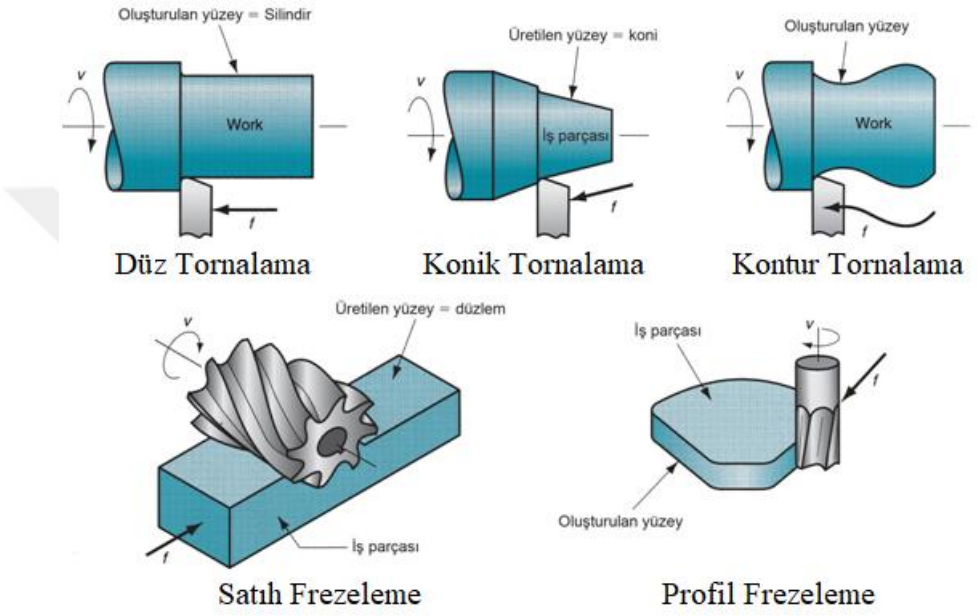
Şahinoğlu ve arkadaşları tarafından bu çalışmada, sertleştirilmiş sıcak iş takım çeliği malzemesinin üzerinde kuru kesme koşullarında sert tornalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Üç farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinde kesme parametreleri belirlenerek söz konusu parametrelerin güç tüketimine ve ses seviyesine yönelik etkileri incelenmiştir. ANOVA analizleri de yapılarak güç tüketimi ve ses yoğunluğu değerlendirilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak güç tüketimi ile ses seviyesi arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmış olup deneysel sonuçlara göre ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesme hızının artmasıyla; ses seviyesi ve anlık akım değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu çerçevede; kesme parametrelerindeki artışın anlık akım değerini artırdığı, bu sayede toplam işlem süresinin azaldığı ve dolayısıyla toplam güç tüketiminin de azaldığı ortaya konulmuştur [36].

1.2. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat, öncesinde tasarımı ve konstrüksiyonu yapılan, üretim faaliyeti belirlenen makine parçasının, üretim sürecine uygun olarak talaşlı imalat tezgâhlarında (freze, torna vb.), seçilmiş kesici takımlar yardımıyla kesme operasyonu sonucunda şekillendirilmesini sağlayan bir imalat yöntemidir. Kısaca talaşlı imalat, kesici takım ya da iş parçasının birbirlerine yönelik hareketi neticesinde iş parçası üzerinden talaş kaldırılması faaliyetidir.

Bir metal kesme veya talaşlı imalat prosesinin kesin bir tanımını bulmak zor olsa da, özünde bir talaşlı imalat prosesi, istenmeyen malzemeyi iş parçasından bir talaş şeklinde uzaklaştırmayı amaçlıyor olarak ifade edilebilir. Bu talaş kaldırma, iş parçasının yerel bir bölgesinin, aletin iş parçasına göre bağıl hareketi kullanılarak kesilene kadar gerilmesiyle elde edilir [37] Talaşlı imalat yöntemlerinde proses aşamaları uzun ve zorlu aşamalardan meydana gelir. İmalat faaliyetini tam olarak yerine getirebilmesi maksadıyla dizaynın noksansız olarak yapılması ve imalatın dizayna uygun olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tüm bu işlemleri gerçekleştirirken birçok maliyet etkisi meydana gelir. Maliyete neden olan etkileri minimize etmek, imalatı da istenilen kalitede ve kısa zamanda üretmek ana hedeftir [38].

Talaşlı imalat yaygın olarak kullanılan bir “eksiltmeli” imalat yöntem olup günümüzde bilgisayar kontrollü talaşlı imalat hem küçük, hem de orta ila yüksek hacimli imalatlar için en popüler imal yöntemleri arasındadır. Talaşlı imalat, genellikle metal malzemeler üzerinde uygulansa da, birçok farklı malzemelerden de talaş kaldırılması mümkündür [39]. Bu talaşlı imalat süreçleri tornalama, frezeleme, delme, baralama, şekillendirme, broşlama ve raybalama işlemlerini içerir [40]. Örnek talaşlı imalat yöntemleri Şekil 1.2’de gösterilmektedir.

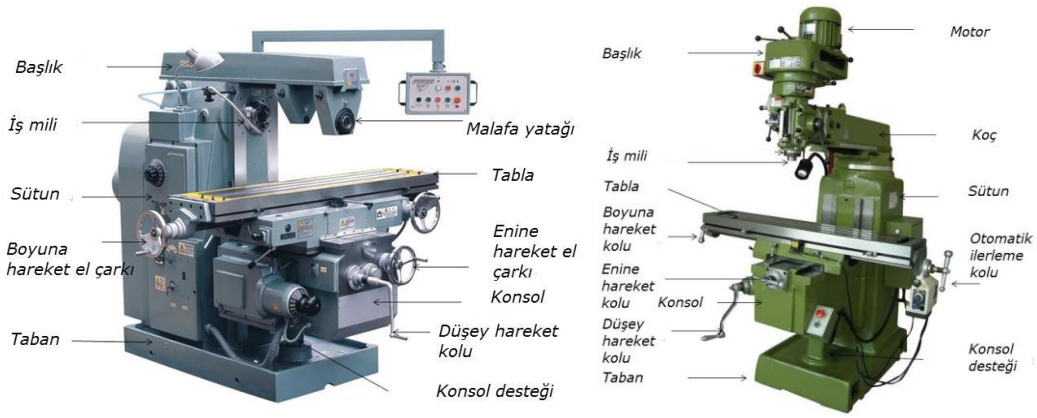


Şekil 1.2 Örnek Talaşlı İşlemede Üretim Yöntemleri [41]

1.2.1. Frezeleme

Frezeleme, kendi ekseni etrafında dönen çok uçlu bir takım ile ilerleme hareketi yapan iş parçasından talaş kaldırılarak yapılan şekillendirme işlemidir. Frezeleme işlemlerinde, çok ağızlı takımlar dairesel kesme hareketini yaparken ilerleme hareketini genel olarak iş parçası tarafından yerine getirilse de günümüzde frezeleme operasyonlarında kullanılan takımlar her yönde iş parçasına hareket edebilmektedir.

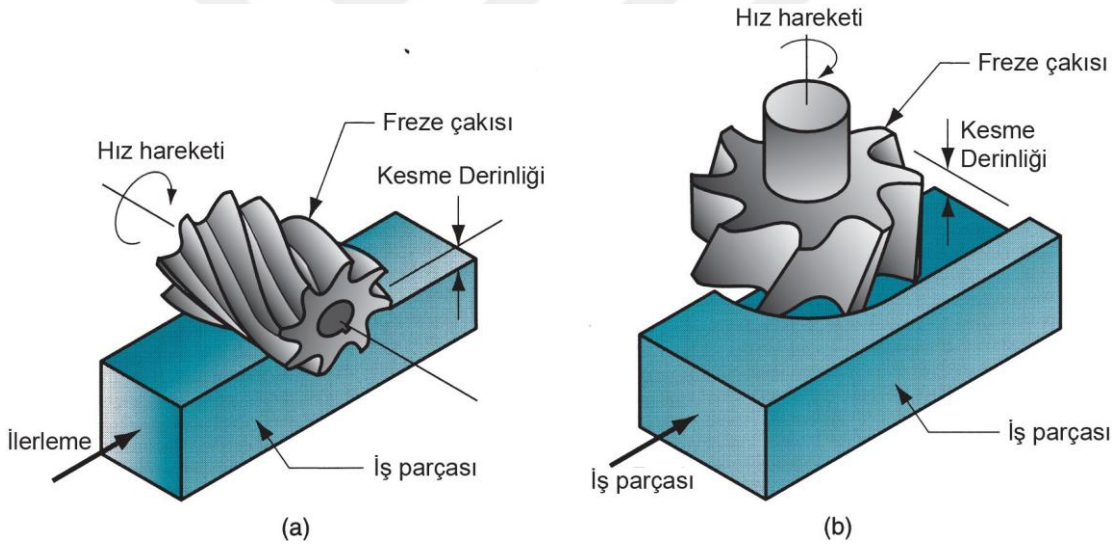
Frezeleme operasyonunu gerçekleştiren freze tezgâhları takımın bağlandığı iş miline göre adlandırılmaktadır. Mil yönü yatay olan tezgahlar; yatay freze, dikey olan tezgahlar; düşey freze olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.3). Ayrıca hem dikey, hem de yatay çalışan freze tezgâhlarına üniversal freze adı verilmektedir.



(a) (b)

Şekil 1.3 (a) Yatay Freze Tezgâhı, (b) Düşey Freze Tezgâhı [42]

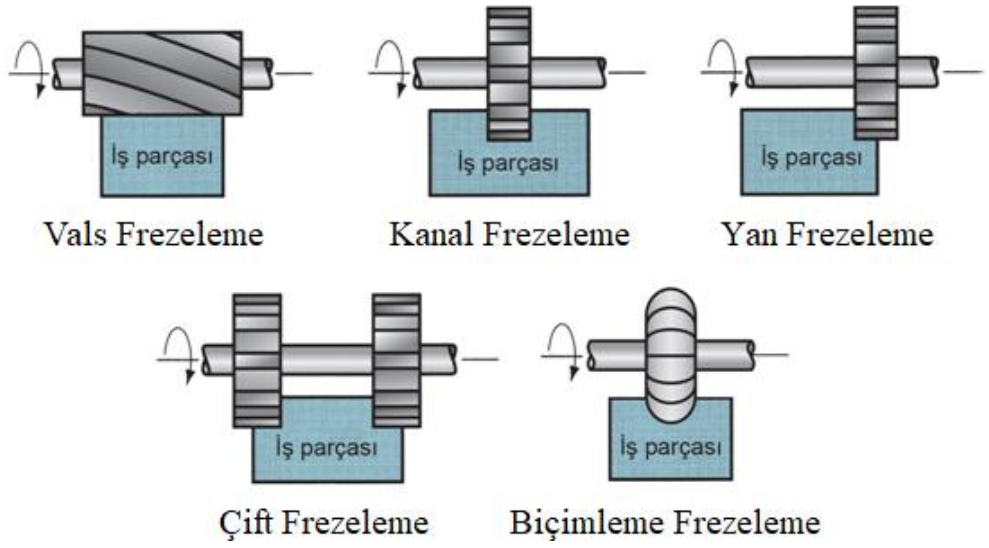
Frezeleme operasyonu, takımın çevresinde ya da alnında bulunan kesici uçlar vasıtasıyla gerçekleşir. Bu nedenle frezeleme, çevresel ve alın frezeleme olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Frezeleme türleri şematik gösterimi Şekil 1.3.'te yer almaktadır.



Şekil 1.4 (a) Çevresel Frezeleme, (b) Alın Frezeleme [41]

1.2.1.1. Çevresel Frezeleme

Çevresel frezeleme, aynı zamanda düz frezeleme olarak da adlandırılmaktadır. Takımın dönme ekseni ile takımın çevresindeki kesme kenarları işlenmekte olan iş parçasının yüzeyine paraleldir. Kesme operasyonu takımın dış çevresinde yer alan kesme kenarları ile gerçekleştirilir. Çevresel frezelemenin vals frezeleme, kanal frezeleme, yan frezeleme, çift frezeleme ve biçimleme frezeleme gibi farklı türleri bulunmaktadır. Bu türler Şekil 1.5'te gösterilmektedir.

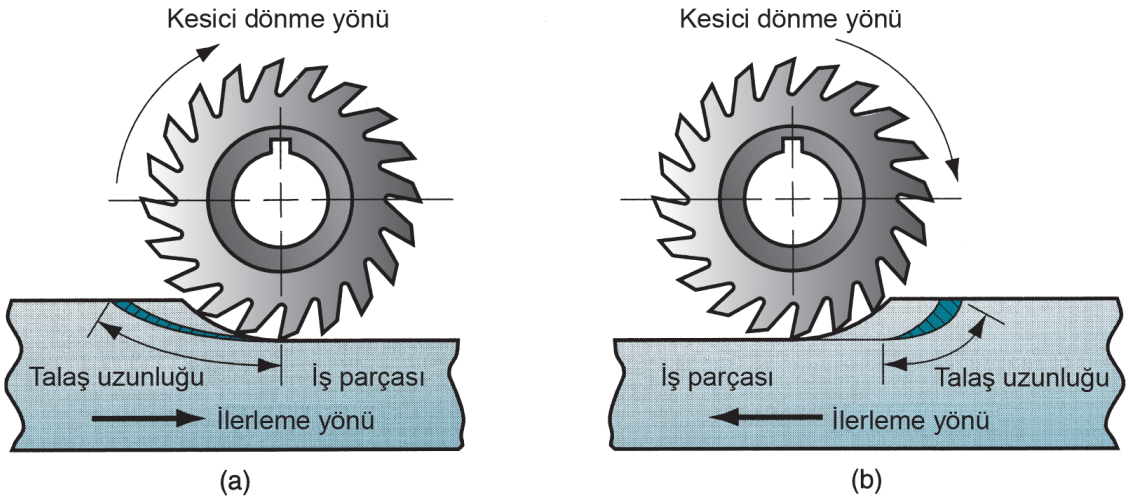


Şekil 1.5 Çevresel Frezeleme Türleri [41]

Çevresel frezeleme, takımın yukarı ve aşağı dönüş yönüne göre iki şekilde gerçekleştirilir. Söz konusu durum yukarı frezeleme ve aşağı frezeleme olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.6).

Yukarı frezeleme geleneksel olarak bilinen frezeleme yöntemidir. Kesici takım ilerlemeye zıt yönde hareket eder.

Aşağı frezeleme, tırmanma frezelemesi olarak bilinmektedir. Kesici takımın dönüş yönü ilerlemeyle aynıdır.



Şekil 1.6 (a) Yukarı Frezeleme, (b) Aşağı Frezeleme [41]

Bu iki frezelemede kesici takımların dönme yönleri kesme hareketlerinde farklılıklara neden olur. Yukarı frezelemede, her bir kesici takımın oluşturduğu talaş çok ince başlar ve giderek kalınlaşır. Aşağı frezeleme de ise talaş kalın başlar ve giderecek incelir. Bu

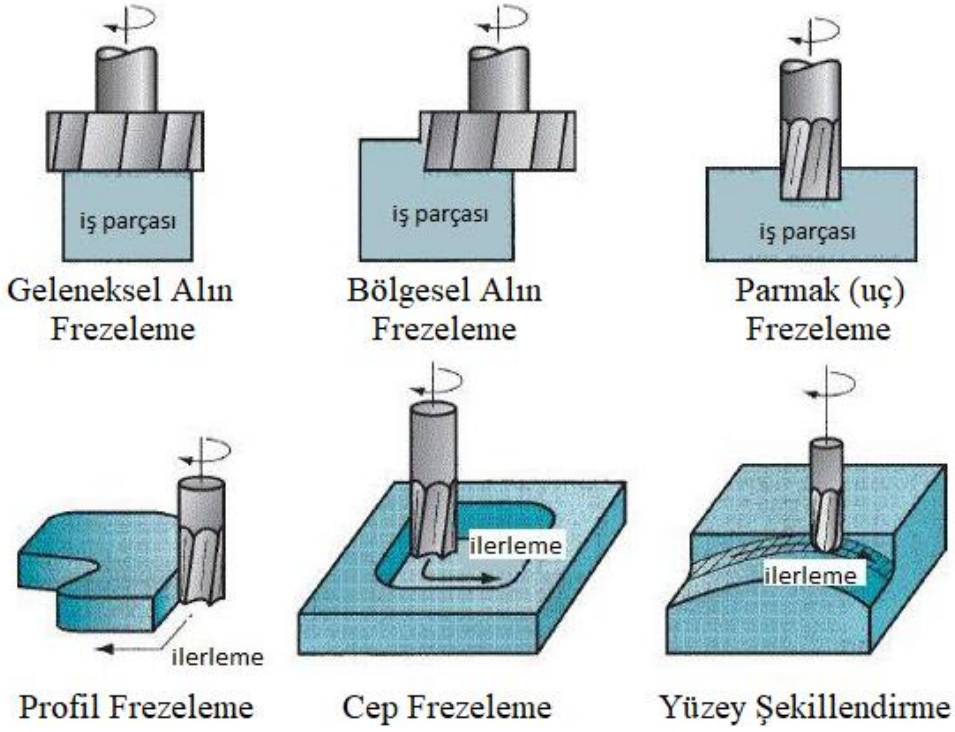
durum aşağı frezelemedeki kesici takımın bir birim kesilen talaş için iş parçasının içerisinde daha az kaldığını göstermektedir. Bu kapsamda, aşağıya frezelemede takım ömrü yukarı frezelemeye göre nispeten daha uzun olmaktadır.

Yukarı frezelemede, kesme kuvveti kesici takım iş parçasından çıkarken parçayı yukarıya doğru kaldırma eğiliminde olduğundan iş parçasının tutabilmek için daha fazla sıkma kuvveti gerekmektedir. Bahse konu durum aşağı frezelemede kesme kuvveti aşağı yönde olduğundan, iş parçasını tutmak için daha az sıkma kuvveti gerekir.

1.2.1.2. Alın Frezeleme

Alın frezelemede, iş parçası takımın dönme eksenine diktir ve kesme operasyonu kesici takımın dış çevresindeki kesme kenarları ile gerçekleştirilir.

Çevresel frezelemedeki gibi alın frezelemenin de çeşitli türleri bulunmaktadır. Bunlar; geleneksel alın frezeleme, bölgesel alın frezeleme, parmak(uç) frezeleme, profil frezeleme, cep frezeleme, ve yüzey şekillendirme (hat) frezelemesidir. Bu türler Şekil 1.7'de gösterilmektedir.



Şekil 1.7 Alın Frezeleme Türleri [41]

1.2.1.3. Frezelemede Kesme Parametreleri

Frezeleme operasyonunda, talaş kaldırmaya etki eden parametreler aşağıda belirtilmiştir.

1.2.1.3.1. Kesme Hızı

Kesici takımda bulunan bir kesici ucun dakikada metre cinsinden aldığı mesafeye denir. Kesme hızı kesici takımın dış çapından hesaplanmakta olup aşağıda verilen formül ve birimlerle ifade edilir.

$$V = (\pi.D.n)/1000 \quad (1.2.1)$$

V= Kesme hızı, m/dk

n= Devir sayısı, dev/dak

D= Kesici takımın çapı, mm

Kesme hızı değeri, genellikle kesici takım imalatı yapan firmaların kataloglarından seçilmektedir. Optimum kesme hızının seçilmesi işleme zamanı ve takım ömrü açısından önem arz etmektedir. Kesici takımın düşük kesme hızlarında işleme süresi artacağından zaman kaybı olmakta, aşırı hızda ise sürtünme ve ısıdan kaynaklı takım ömrünün kısalması ve buna bağlı değiştirilmesi de zaman kaybına neden olacaktır. Bu çerçevede işlenecek malzemeler için uygun kesme hızının seçimi önemlidir. Metallerin sertliği, yapısı ve işlenebilirliği değiştiğinden, farklı kesici takım ve iş parçası için uygun kesme hızları tercih edilmelidir [43]. Herhangi bir parçanın işlenmesi için uygun kesme hızının seçilmesinde:

- İş parçası malzemesi,
- Kesici takım malzemesi,
- Takım çapı,
- Gerekli bitirme yüzeyi,
- Talaş derinliği,
- Takım tezgâhı ve bağlama elemanlarının rijitliği, gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır [44].

1.2.1.3.2. İlerleme hızı (mm/dk)

İlerleme hızı, kesici takımın iş parçasına doğru birim zamandaki ilerlemesine denir. Ayrıca, tezgâh ilerlemesi ve tabla ilerlemesi olarak da bilinmektedir. Aşağıda yer alan bağlantı ile hesaplanır.

$$f = f_z \cdot z \cdot n \quad (1.2.2)$$

f = İlerleme hızı, mm/dk

f_z = Diş başına ilerleme, mm/z

z = Kesici uc sayısı, adet

Diş başına ilerleme (f_z,mm/z) frezeleme operasyonunda önemli bir parametredir. Freze takımı çok uçludur. Bu nedenle her bir dişin yeteri kadar talaş kaldırabilmesi için uygun bir değerde ilerlemeye ihtiyacı vardır. Kesici takımın bir kenarının işlenen parçaya girişi ile hemen sonraki kesici kenarın parçaya girişi arasında geçen zamanda tablanın kat ettiği mesafeye Diş başına ilerleme denilmektedir. Bu çerçevede bahse konu parametre, kesici takımdaki mevcut diş sayısı ve ilerleme hızına göre değişir [45].

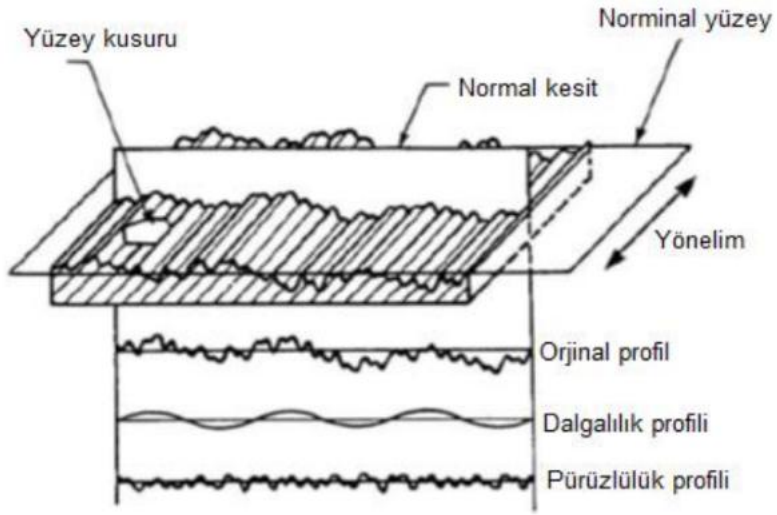
1.2.1.3.3. Talaş Derinliği

Talaş derinliği, kesici takımın iş parçası içinde dikey olarak aldığı yoldur. Aynı zamanda kesici takımın bir geçişte malzeme üzerinden kaldırdığı tabakanın (talaşın) derinliğidir. Genellikle, a_p ile gösterilir. Talaş derinliği önemli bir parametre olup işleme zamanını ve maliyeti doğrudan etkilemektedir. Yeterli talaş derinliğinin seçilmemesi durumunda, talaşlı imalat işleminin tamamlanması için birden fazla paso gerekecek olup dolayısıyla artan işlem nedeniyle daha fazla zaman kaybı oluşacaktır [44].

Talaş derinliğindeki artış/azalış talaşlı imalat sürecinde işlenebilirliği etkiler. Talaş derinliğinin artması talaş kalınlığının artmasına, dolayısıyla birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına neden olmaktadır. Bu durum da kesici takımı etkileyen ısıl ve mekanik yüklerin artması demektir. Talaş derinliğinin artması yüzey kalitesini (ilerleme kadar olmasa da) genelde olumsuz yönde etkiler [46].

1.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalat ile gerçekleştirilen işleme prosesinde; kesme türüne, kesici takımın türüne ve işleme şartlarına bağlı olarak talaş kaldırılmakta olan iş parçasının yüzeyinde istenmeyen izler meydana gelmektedir. İşleme yöntemi fark etmeksizin (frezeleme, delme, tornalama vb.) talaş kaldırılan yüzeylerde belli bir pürüzlülük oluşması kaçınılmaz bir durumdur. İşleme yöntemi, kesici takımın cinsi, işlenen parça ve kesme parametreleri, fiziksel, kimyasal ve ısıl etkiler sonucunda kesen ve kesilen parça arasındaki mekanik etkileşime bağlı olarak, anma yüzey çizgisinin altında ya da üstünde düzensiz kaçıklıklara neden olan bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir [47].



Şekil 1.8 Yüzey Yapısı Karakteristiği [48]

1.2.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

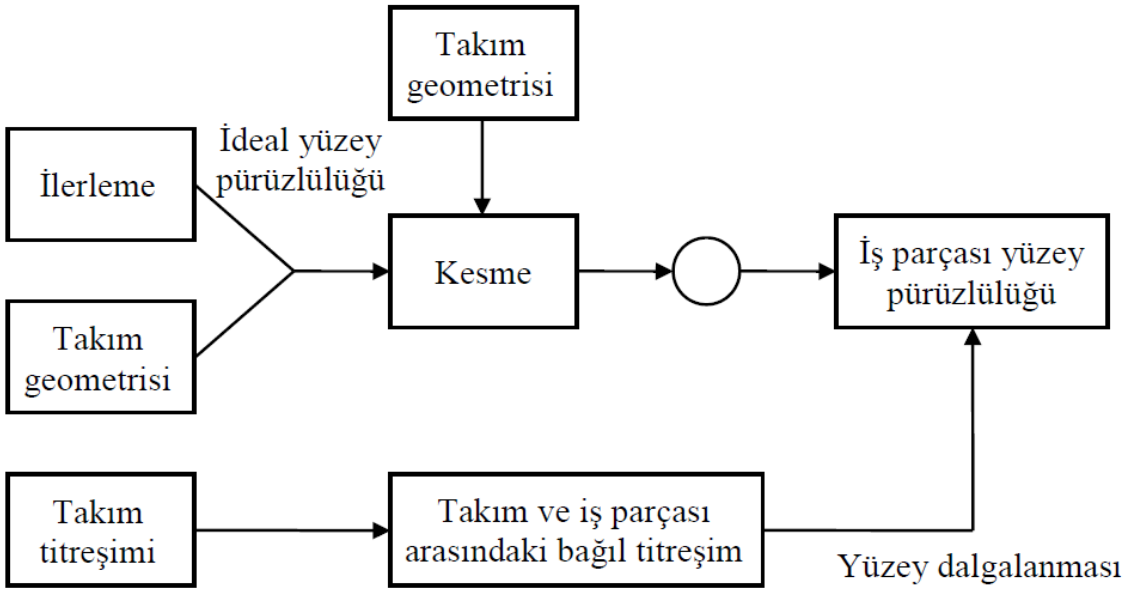
Elde edilen ürünlerin kaliteli olması ve endüstride kullanılan makinelerde performansı arttırması, kaliteli yüzeyler ile gerçekleşmektedir. Aynı malzemeler farklı yöntemler ile aynı toleranslarda işlenmiş olsa bile, zaman zaman bunların sürtünmeye, korozyona, yorulmaya ve aşınmaya davranışına karşı etkilerinin farklı olduğu bilinmektedir. Malzeme yüzeylerindeki pürüzlülükten farklı olarak yüzeylerin üzerindeki izlerin yönü de malzeme performansında önemli bir etkiye sahiptir [49, 50].

Talaş kaldırma operasyonlarında; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde durulan iki önemli kalite karakteristiğidir. Talaş kaldırma faaliyetlerinde talaş akışı ve malzeme taşınımının oldukça komplike oluşu nedeniyle yüzey pürüzlülüğünün matematiksel modellenebilmesi için çoklu parametrelere ihtiyaç vardır. Bu karmaşık

yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma parametresi olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği için optimum değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, talaş derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarının arttığı, kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı bilinmektedir [51].

Genellikle yüzey kalitesini etkileyen faktörler; takım tezgâhlarının yeterli rijitlikte olmaması, tezgâhın kinematik mekanizması, yataklama sisteminden kaynaklanan tezgâh hataları, işlenmekte olan malzemelerde bağlama yönteminden kaynaklı meydana gelen aşınma, takım ucu ve takım tutucunun rijit olmamasından kaynaklanan imalat hataları, takım konumlama ve bağlama hataları, kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi, talaş akışının sebep olduğu bozukluk, ilerleme hızındaki düzensizlikler, işlenen malzemenin yapısal bozukluğu, işlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar, takım aşınmasından kaynaklanan hatalar ve çevrenin etkisi ile oluşan hatalar vb. şeklinde sıralanabilir [52].

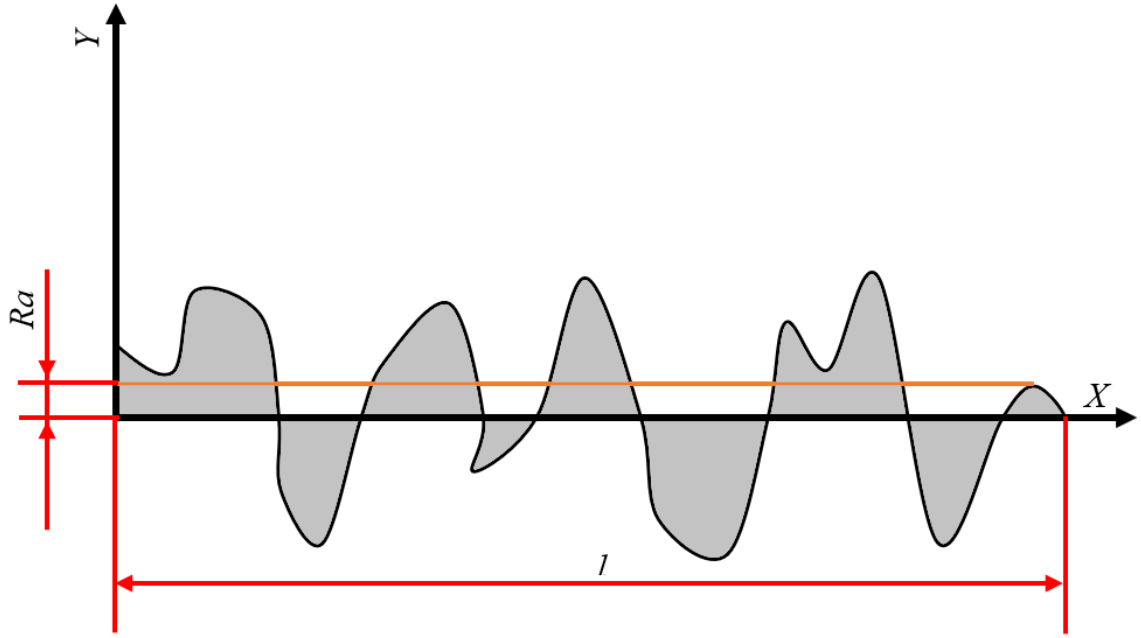
Yüzey pürüzlülüğüne etkiden faktörler Şekil 1.9'da belirtilmiş olup söz konusu faktörler ilerleme, takım geometrisi ve takım-iş parçası arasında meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısmımda gösterilmiştir.



Şekil 1.9 Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler [53]

1.2.2.2. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)

Seçili bir ölçüm değerindeki ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), merkez çizgisinden ölçüm değerine kadar olan mesafeden ölçülen yükseklik değerlerinin mutlak değişiminin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 1.10). Yüzey kalitesinin kontrolünde dünya genelinde kabul görmüş olan bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlanması ve ölçülmesi kolaydır. İş parçası teknik resimlerinde yüzey pürüzlülük ifadesi olarak çoğunlukla R_a kullanılmaktadır.



Şekil 1.10 Yüzey Pürüzlülük Ortalama Değeri, Ra [54]

1.3. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi birçok imalat sektöründe kendini ispatlamış başarılı bir yöntemdir. Mühendislik analizlerinde genişçe kullanılmakta olan Taguchi tekniği, proses ya da ürünlerin mühendislik optimizasyonunda üç adımlı yaklaşım önermiştir; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır [55-56].

1.3.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı taguchi yönteminin ilk basamağıdır ve tasarımcı ürünlerin değişimini irdeler ve ürün için uygun özelliklerin elde edilebilmesi maksadıyla çeşitli tasarımlar gerçekleştirilir ve ürün için en optimum olanı seçilir [57].

Sistem tasarımında mühendis, mühendislik ve bilimsel bilgisini temel fonksiyonel prototip tasarım üretmek için uygulanır. Bu tasarıma ürün tasarım safhası ve proses tasarım safhası dâhil edilir. Ürün tasarım safhası, malzeme belirlenmesi, ekipmanlar, deneme ürün parametre değerleri gibi hususları kapsamaktadır. Proses tasarım safhasına gelince, prosesin diziliş analizi, üretim ekipmanlarının seçimi, deneme proses parametre değerleri gibi konuları içerir. Sistem tasarımı başlangıç fonksiyon tasarımı olduğu için, kalite ve maliyet açısından optimum değerden uzak olabilir [55].

1.3.2. Parametre Tasarımı

Sistem tasarımından sonra sıra parametre tasarımı adımına gelmektedir. Taguchi'ye göre, ortaya çıkacak ürününün kalitesini geliştirmede en etkili çalışmaların yapılabileceği aşama, hem süreç parametre değerlerini optimum seviyede tutmak hem de optimal süreç parametreleri ile birlikte en uygun ürünü ortaya çıkartmak için, parametre tasarımı aşamasıdır [58].

Parametre tasarımında temel hedef, üründe meydana gelebilecek faklılığı minimize etmek, ürünün hem imalat hem de ömür boyu masrafını azaltmaktır. Taguchi, bu maksatla gerçekleştirilen ürün ve süreç tasarımını sağlam tasarım olarak adlandırmıştır. Sağlam tasarımda, kalitesizliğe neden olan ve kontrolü sağlanamayan bir kriterin etkisini, kontrolü sağlanabilen başka bir kriterin uyumlandırılması ile azaltmak hedeflenmektedir. Deney tasarımı bu maksatla kullanıldığında, maliyeti yükseltmeden kaliteyi iyileştirmenin mümkün olduğu görülmektedir [59].

Ürün ve süreç parametre tasarım aşamalarında, en uygun parametrenin tespit edilmesi ve en uygun ayarların yapılabilmesi için çok fazla kriter vardır. Ayrıca söz konusu kriterlerin çoğu birbirleriyle etkileşim halindedir. Bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen kriterlerin, ürün ve ürünün performansına olan tesirinin tümüyle tespit edilebilmesi için en işler yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı vasıtasıyla, çoğu kriterin ürün üzerindeki etkisini düşük maliyette belirlemek ve çeşitlilik oluşturan kriterlere karşı tedbirleri, tasarım safhasında almak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla Taguchi'nin off-line kalite kontrol sistemi için en önemli kalite sağlama yöntemi deney tasarımıdır [60, 61]. Parametre tasarımı özetle;

1. Kalite değerlerinin (bağımlı parametrelerin, örnek; yüzey pürüzlülüğü, kesici takım ömrü) ve tasarım parametrelerinin (bağımsız parametreler, örnek; talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme miktarı vb.) belirlenmesi,
2. Tasarım değerleri ve etkileşim miktarının seviyelerinin belirlenmesi,
3. Optimum lineer bir grafik veya ortogonal dizinin tespit edilmesi ve bu ortogonal diziye uygun değerlerin seviyelerinin girilmesi,
4. Ortogonal diziye yerleştirilen uygun seviyelerdeki deneysel çalışmanın yapılması,
5. Deneysel sonuçları ile S/N oranlarının hesaplaması ve elde edilen sonuçların analiz edilmesi,
6. Uygun tasarım parametrelerinin seçilmesi,
7. Doğrulama deneylerinin gerçekleştirilmesi adımlarını kapsamaktadır. Bu işlem adımları uygulandığında parametre tasarımı gerçekleştirilmiş olur [59].

1.3.3. Tolerans Tasarımı

Sistem tasarımı ile deneyler tamamlandıktan ve parametre tasarımı ile de tavsiye edilen her bir kriterin optimum seviyesi belirlendikten sonra tolerans tasarımı kısmına gelinmektedir. Parametre tasarımı ile kriterlerin hedeflenen seviyelerinde, istenilen değişkenlik değerleri elde edilmeyebilir. Söz konusu durum neticesinde tolerans tasarımı kullanılmaktadır. Bu kısımda tolerans tasarımı yardımıyla, varyans analiz tablosu hazırlanarak hedeflenen seviyelerde ürün elde edilmesi için çalışma yapılır. Tolerans hedefi çoğunlukla dizayn mühendisi tarafından belirlenir. Bu kapsamda, tolerans aralıkları testler ve deneyler sonrasında ayarlanır. Bahse konu tolerans aralıklarını; emniyet faktörü, hedef, beklenen kalite seviyesi, fonksiyonel limit ve hedeften olası sapma maliyet durumu ile ilgili kriterleri belirler [55, 62].

1.4. Şekil, Boyut ve Konum (Geometrik) Toleransları

İmal edilen veya işlenen parça üzerindeki her yüzey hassas bir şekilde üretilmesi çoğunlukla gereksiz ve masraflı olmaktadır. Seri ve hatasız üretimin oldukça önemli olduğu sanayi alanlarında ihtiyaç duyulan geometrik boyutlandırma ve toleranslandırma ile parçaların kullanılabilirliğini ve güvenilirliğini arttırarak maliyetleri ve üretim süresini azaltmak mümkündür [63].

İmal edilen malzemelerin yüzeylerinin birbirlerine ya da belirli elemanlara göre konumları, daire, kare vb. kesitleri veya silindir, prizma, piramit vb. hacimleri, bilinen geometrik şekillerden farklılık gösterebilir. Bu farklılıklar literatürde belli başlı toleranslarla belirtilir. İmal edilen ürünlerin bilinen geometrik şekillerden farklı olma nedenlerinden bir kısmı aşağıda sıralanmıştır.

- Malzemelerin yapısından dolayı değişiklikler,
- Takım tezgâhların ve kullanılan aparatların yapısı nedeniyle ve işlem sırasında tezgâhta ortaya çıkan değişiklikler,
- Talaşlı imalat sonrası kesici takımlarda ve işlem gören parçalarda oluşan değişiklikler,
- Isıl işlem nedeniyle oluşan değişiklikler,
- Ölçme ve kontrol sonrasındaki değişiklikler,

Talaş kaldırma işleminde amaç, imal edilen ürünlere sadece bir şekil vermek değildir. Söz konusu ürünlerin teknik resminde belirtilen belirli bir geometride, boyut ve yüzey açısından istenilen doğruluk derecesine göre imal edilmektir. Bu duruma işleme kalitesi olarak adlandırılmaktadır. Üretilen malzemenin geometrisini, boyutunu ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi, günümüzde talaşlı imalat prosesinin en önemli özelliklerinden biridir. Malzemenin gerçek boyutları arasında müsaade edilen sapmalar boyut kalitesidir. Bu sapmaların boyut toleransları ile ifade edildiği bilinmektedir. Geometrik kalite, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını kapsamaktadır [64].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

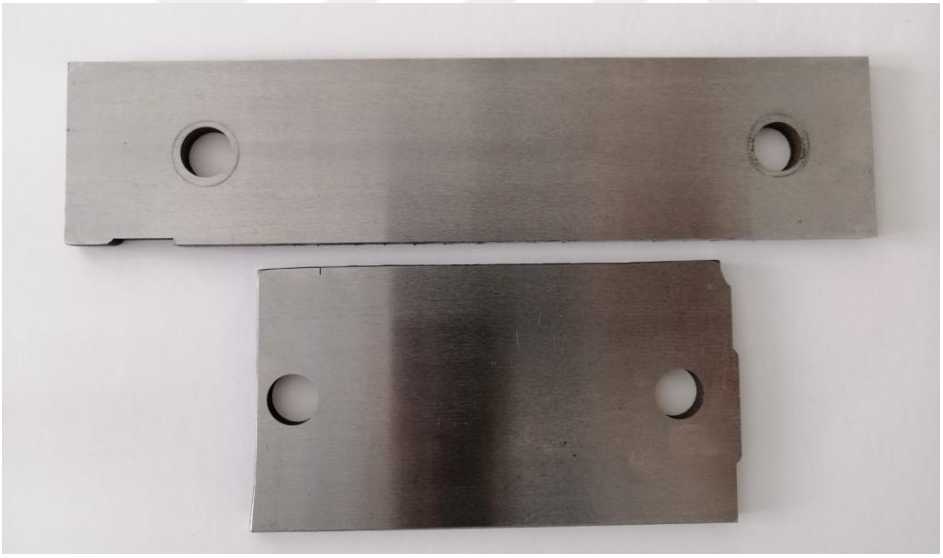
2.1. Malzeme

2.1.1. İş Parçası (Deney Numunesi)

Bu çalışmada, kimyasal spektrum analizi Tablo 2.1'de verilen zırh çeliği malzemesi kullanılmıştır. Şekil 2.1'de deney numunesi olarak kullanılan zırh çeliği malzemesi görülmektedir. Kimyasal spektrum analizi Şekil 2.2'de verilen cihaz ile yapılmıştır.

Tablo 2.1 Deney Numunesinin Kimyasal Birleşimi (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al
0,216	0,256	1,18	0,705	0,0068	0,0261	0,0333
Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
0,0114	0,0237	0,0020	0,0209	0,0088	0,0628	0,0152



Şekil 2.1 Deney Numuneleri

Kullanılan malzemenin kimyasal birleşimi spektrometre cihazı ile tespit edilmiş olsa da uygulanan ısıl işleme ilişkin elde bir veri bulunmamaktadır. Deneylerde kullanılan numune üzerinde yapılan frezeleme işlemi sırasında talaş derinliği arttıkça malzemenin işlenmesindeki zorluk neticesinde sertlik cihazı ile ölçüm yapılmış olup yüzeyde daha yumuşak, yüzeyden merkeze daha sert yapıda bir çelik olduğu tespit edilmiştir.

2.1.2. Deneyde Kullanılan CNC Freze Tezgahı

Deneylerde Johnford VMC 850 / 550 üç eksenli CNC freze tezgahı kullanılmış olup bir kısım teknik bilgileri Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 CNC Freze Tezgahının Teknik Özellikleri

Marka / Model	Johnford - VMC – 850 / 550+APC
Tabla Çalışma Yüzeyi	40" x 20" (1000 x 500 mm)
X, Y, Z hareket sınırı	X: 31.5" (800 mm)
	Y : 20" (500 mm)
	Z : 17.7" (450 mm)
İş mili motor gücü	10 HP (30 min.) / 7.4 HP
Tabla yükleme kapasitesi	1980 Lbs (900kg)
Tezgah zemin alanı	92.5" x 98.4" (2350 x 2500 mm)
Makine ağırlığı	12100 Lbs (5500 kg)

Deneylerde kullanılan CNC freze tezgahı; metrik ve inch ölçü birimlerinde ISO format programlamayla üç eksen lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen bir yapıdadır. Kontrol ünitesi FANUC Serisi O-M'dir [65]. Kontrol ünitesi ve CNC freze tezgahı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Johnford VMC - 550 Model CNC Freze Tezgahı

2.1.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takım

Deneysel çalışmada DIN 844K kalitesinde Gühring marka 3428 numaralı kesici takım kullanılmıştır. Kesici takımın tercih edilmesinde Üniversitemizin envanterinde bulunan mevcut takımlar içerisinden tercih edilmiş olup ve söz konusu takımın kullanılması durumunda nasıl bir sonuç elde edileceği görülmek istenmiştir. Kesici takıma ait bazı teknik özellikler Tablo 2.3'de verilmiştir. Kesici takım Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Kesici Takımın Teknik Özellikleri

Kesici Takım Standardı	DIN 844K
Malzeme	M42
Kesici Kenar Sayısı	4
Helis Açısı	30º
Çap	6 mm



Şekil 2.3 Deneylerde Kullanılan Kesici Takım (EK-1)

2.1.4. Yüksek Devir Sağlayıcı (Hız Kafası)

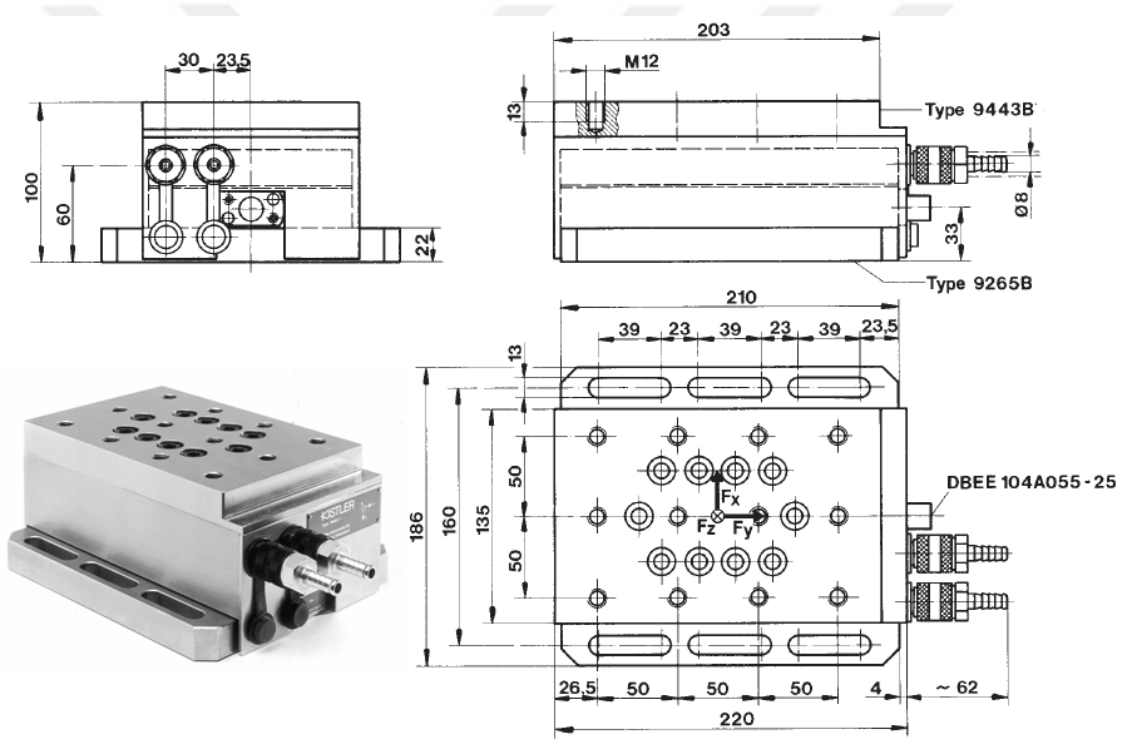
Yapılan deneysel çalışmada Nikken marka hız kafası yüksek devir sağlayıcı olarak CNC freze tezgâhının işleme merkezine monte edilmiştir. Hız kafası kesici takımın devrinde beş kat (1:5) artış sağlamaktadır. Yüksek devir sağlayıcıya ilişkin görseller 2.4'te verilmiştir (EK-2).



Şekil 2.4 Hız Kafası

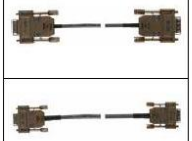
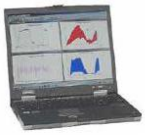
2.1.5. Dinamometre

Dinamometre kuvvetin üç eksenli bileşenlerini ölçmede kullanılan bir cihazdır. Yüksek doğal frekansa sahip olması çok rijit bir yapıda olmasından kaynaklıdır. Dört adet üç eksenli kuvvet sensörü bulunmakta olup bahse konu sensörler iki metal plaka arasına montajı yapılmış durumdadır. Her sensörde üç çift kuartz plaka yer almaktadır ve bunlardan biri Z yönüne basması durumunda, diğer ikisi X ve Y yönlerindeki kesme kuvvetine hassas olur. Söz konusu sensörler dinamometre içerisinde birbirleri ile uygun şekilde olmak üzere, çıkış sinyalleri de dokuz uçlu bir soket üzerinden dışarı bağlanmıştır [59]. Deneyde kesme kuvvetinin ölçümü için Şekil 2.5'te yer alan Kistler Type 9265B marka/model dinamometre kullanılmıştır (EK-3).



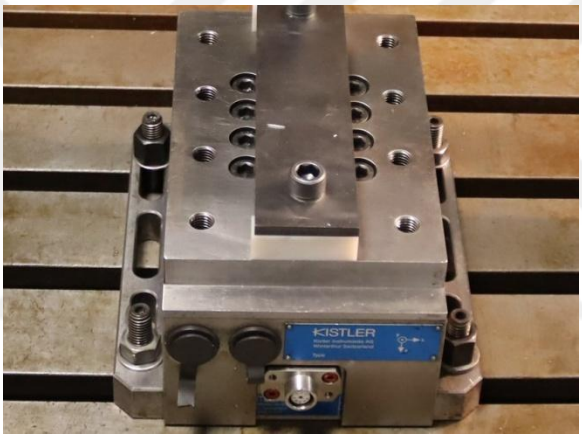
Şekil 2.5 Dinamometre [66]

Kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için dinamometre, amplifikatör, DAQ cihazı, bağlantı kabloları ve dynoware programının bulunduğu bir bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda, daha anlaşılır olması maksadıyla kullanılan ölçüm düzeneği Şekil 2.6'da belirtilmiştir.

					
Dinamometre	Bağlantı Kablosu	Amplifikatör	Bağlantı Kablosu	DAQ Sistem	Bilgisayar
Tip 9265B	Tip 16xx	Tip 5080A	Tip 1700A111A2 Tip 1200A27	Tip 5697A1	Dynoware Yazılımı

Şekil 2.6 Kesme Kuvvetinin Ölçümü İçin Kullanılan Ekipmanlar [66, 67]

İş parçasının frezelenmesinde kesme kuvvetinin ölçümü için Şekil 2.6'nın ilk sütununda gösterilen Kistler 9265B marka/model dinamometre kullanılmış olup söz konusu dinamometrenin tezgahtaki görüntüsü Şekil 2.7'de, bazı teknik bilgileri Tablo 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Deneyde Kullanılan Dinamometre

Tablo 2.4 Dinamometrenin Teknik Özellikleri

Özellikler	**Sembol**	**Birim**	**Değerler**
Ölçme Aralığı	F_x, F_y	kN	-15…15
	F_z	kN	-10…30
Aşırı Yük	F_x, F_y	kN	-20/20
	F_z	kN	-12/40
Hassasiyet	F_x, F_y	pC/N	~ -8
	F_z	pC/N	~ -3.7
Rijitlik	C_x, C_y	kN/µm	~ 0.8 - 1
	C_z	kN/µm	~ 2
Doğal Frekans	f_0 (X, Y)	kHz	~ 1.5 – 1.7
	f_0 (Z)	kHz	~ 2.5 – 2.7
Çalışma Sıcaklığı		ºC	≤ ±0.02 (0 – 70)

2.1.6. Amplifikatör

Deneylerde Kistler 5080A tipi, çok kanallı yük amplifikatörü kullanılmıştır. Şekil 2.8'de gösterilen bu cihaz dinamometreden üç eksende (x, y, z) gelen voltaj sinyallerini ayrı ayrı değerlendirmektedir. Bahse konu amplifikatör sekiz kanallı ve mikroişlemci kontrollü olup dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek volt olarak çıkış vermektedir. Bu veriler RS232 C ve USB 2.0 ara yüz çıkışları sayesinde bilgisayara aktarılmıştır (EK-4).



Şekil 2.8 Amplifikatör [64]

2.1.7. DAQ Cihazı

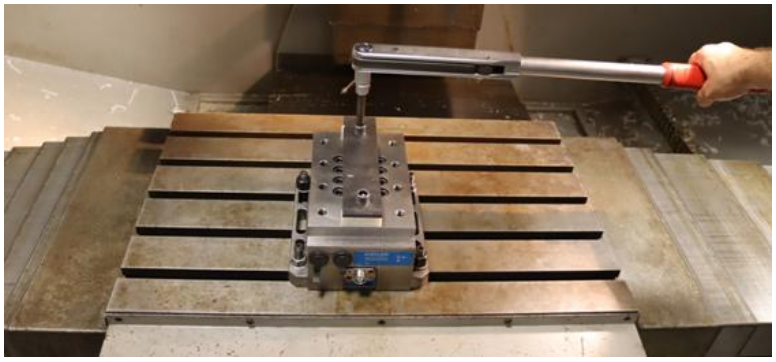
DAQ 5697A cihazı (Şekil 2.9), bir bağlantı kutusundan ve DynoWare programından oluşur. Bağlantı kutusuna iki adete kadar çok kanallı amplifikatör ve dolayısıyla iki ölçüm zinciri bağlanabilir. 16 bit A/D dönüştürücü ile analog çıkış verilerini dijital verilere dönüştürür. Bahse konu sistem PC'ye bir USB 2.0 portu ile bağlanır. Amplifikatörünün veya sinyal koşullayıcının kontrolü, bir RS-232C kablosu aracılığıyla bağlantı kutusu tarafından gerçekleştirilir. Bu sayede kullanıcılara, yüksek örnekleme oranına sahip, kullanımı kolay bir veri toplama sistemi sağlanır (EK-5).



Şekil 2.9 DAQ Cihazı [64]

2.1.8. Tork Anahtarı

Deneye başlamadan önce dinamometre üzerine bağlanan deney numunesi Şekil 2.10'da gösterilen tork anahtarı ile 50 Nm değerinde torklanarak bağlanmıştır.

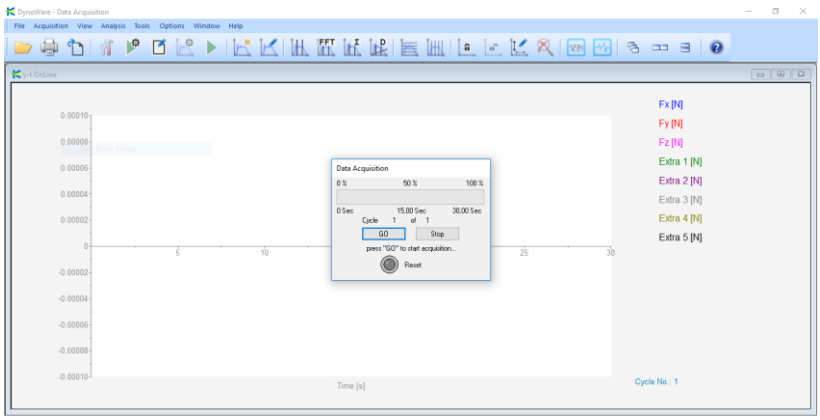


Şekil 2.10 Tork Anahtarı

2.1.9. Yazılımlar

2.1.9.1. Dynoware

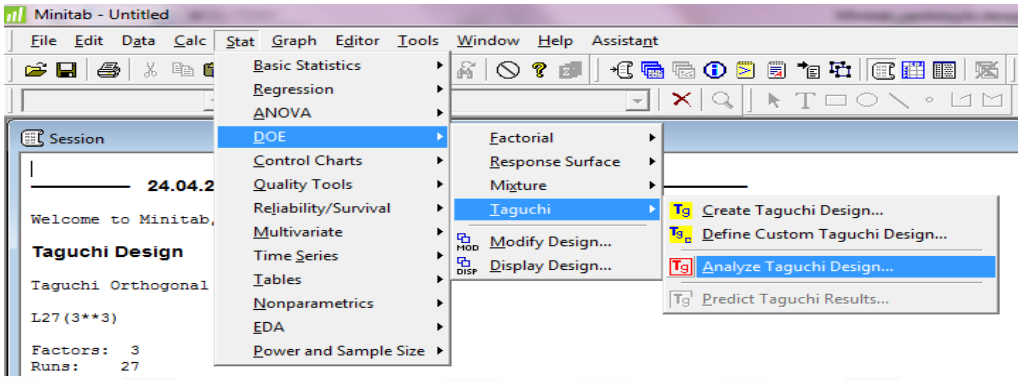
Dynoware, ölçüm sisteminde bir yazılım olarak kullanılmaktadır. Sinyal analizini hesaplama ve grafik işlevleriyle birlikte ölçülen eğrilerin gerçek zamanlı görselleştirmesini sağlar. En önemli ölçüm cihazlarının basit konfigürasyonunun yanı sıra bu yazılım, konfigürasyon verilerinin ve ölçülen verilerin saklanmasını ve ölçümün bireysel dokümantasyonunu destekler. Sinyal değerlendirmesi, örneğin sıcaklık etkisinden dolayı istenmeyen sinyal kaymasının telafisini de mümkün kılar. Yapılan deneylerde bu yazılım sayesinde amplifikatörden alınan veriler değerlendirilerek iş parçasına etki eden kuvvetler grafiksel olarak alınabilmiştir. Müteakiben veriler Excel formatına dönüştürülüp alınmıştır.



Şekil 2.11 Dynoware

2.1.9.2.Minitab

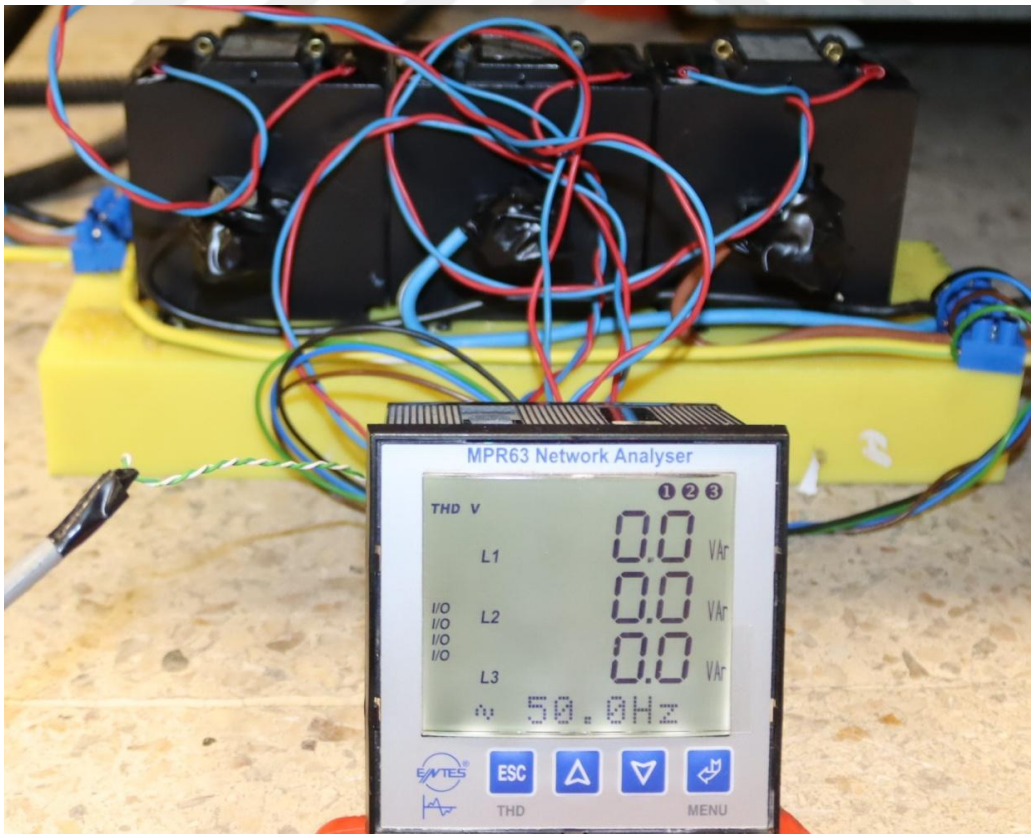
Deneyler sonrasındaki oluşan bulgular bir bilgisayar yardımıyla Minitab 16 yazılımı kullanılarak işlenmiş ve oluşturulan grafikler teze aktarılmıştır.



Şekil 2.12 Minitab Programı

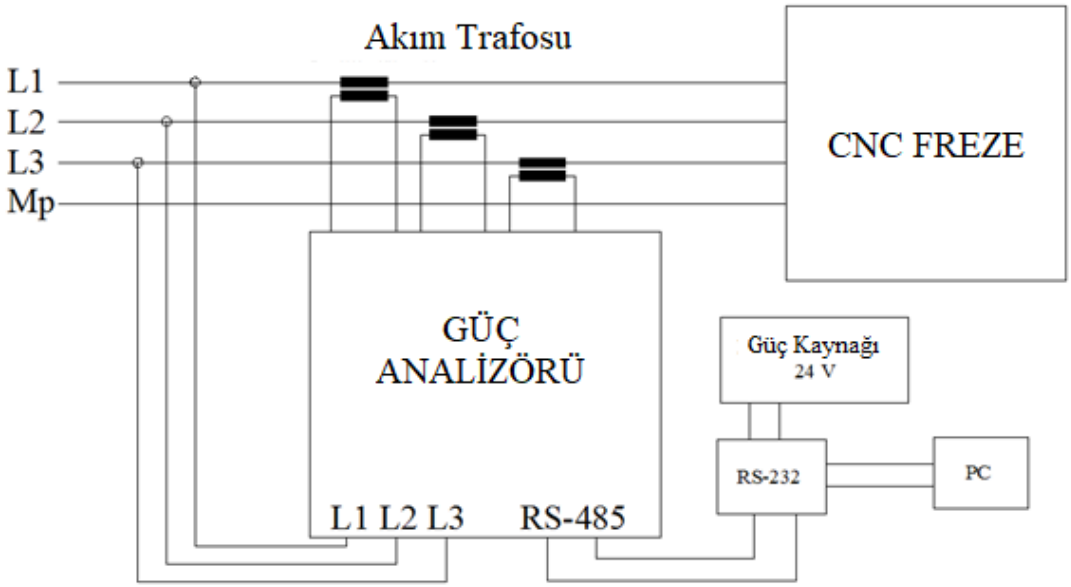
2.1.10. Güç Analizörü

Gerçekleştirilen deneylerde güç ölçümleri ENTES MPR-63 cihazı ile yapılmıştır. Söz konusu cihazın ve devre bağlantısının Şekil 2.13'de gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Güç Analizörü ve Devre Bağlantısı

Güç Analizörü ile CNC freze tezgâhı bağlantı şeması Şekil 2.14'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Devre Tezgah Bağlantı Şeması

2.1.11. Spektrometre Cihazı

Deneyde kullanılan malzemenin kimyasal birleşimini ölçmek maksadıyla Şekil 2.15'te yer alan PMI Master Pro marka/model cihaz kullanılmıştır.



Şekil 2.15 Spektrometre Cihazı

2.1.12. Sertlik Ölçüm Cihazı

Deneyde elde edilen bulgular neticesinde yüzeyden malzemenin içerisine doğru ilerledikçe sertlik değerinin artıyor olabileceği değerlendirilmiş olup Şekil 2.16'da verilen Digirock-Rbov cihazı ile yapılan ölçüm neticesinde; yüzeyde yaklaşık 42 HRC, merkeze doğru yaklaşık 49 HRC sertliğine ulaşıldığı görülmüştür.



Şekil 2.16 Sertlik Ölçüm Cihazı

2.1.13. Portatif Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

CNC frezeleme işlemlerinde kanal açılan numune yüzeyindeki pürüzlülük değerleri Şekil 2.17'de gösterilen portatif kullanılabilen ölçüm cihazının yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 2.17 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı, Probu ve Kalibrasyon Parçası

2.2. CNC Freze Tezgâhında Uygulanan İşleme Programı

Deney numunesinin dinamometreye bağlanmasına müteakip CNC freze tezgahı ile numune üzerinde farklı talaş derinliği, ilerleme ve devirlerde frezeleme yapılmıştır. Bu kapsamda talaş kaldırabilmek maksadıyla ve proses kolaylığı açısından CNC kontrol ünitesinde girilen kısa bir program her işleme adımı için tekrar edilmiş olup Tablo 2.5'te belirtilmiştir.

Tablo 2.5 İşleme Programı

Program		
G01	X	75
	F	150
	M	003
	S	1000
	Z	0,25

Numune üzerinde işleme yapılmadan önce CNC kontrol ünitesi yardımıyla her seferinde sıfırlama yapılarak parçanın Z ekseni sıfırlanmış olup deney tasarımında belirlenen sırada kesme parametreleri girilerek frezeleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.18'de görüldüğü gibi parça üzerinde kanal oluşturmak için X ekseninde 75 mm doğrusal hareket ve deney tasarımında belirtilen talaş derinliğine göre Z değeri girilerek işlem yapılmıştır.



Şekil 2.18 Kanal Açma İşlemi

"F" ile belirtilen sembol ilerlemeyi belirtmekte olup 150, 200 ve 250 değerleri girilmiştir. "G01" ve "M03" kodları sırasıyla doğrusal kesme hareketini ve takımın saat yönünde dönme hareketi yaptığını belirmektedir. "S" sembolü devir sayısını ifade etmektedir. Kontrol ünitesine deney tasarımında belirtildiği sırada 1500, 2000 ve 3000 değerleri, hız kafası kullanıldığında 300, 400 ve 600 değerleri girilmiştir.

2.3. Deney Tasarımı

Bu deneysel çalışmada, talaş derinliği (a_p), ilerleme (F) ve devir sayısı (n) kesme parametreleri olarak belirlenmiştir. Her bir kesme parametresi üç farklı değerde ele alınmıştır. Söz konusu parametreler Taguchi yöntemi ile belirlenen modele göre seçilmiş ve 9 deneyli Taguchi L_9 yöntemi uygulanmıştır. Deneylerde zırh çeliği kullanılmış olup deneyler kuru ortam şartlarında soğutma sıvısı kullanılmadan icra edilmiştir. Uygulanan kesme parametreleri, değerleri ve sembolleri ile birlikte Tablo 2.6'da belirtilmiştir.

Tablo 2.6 Kesme Parametreleri ve Değerleri

Kesme Parametreleri	**Sembol**	**Birim**	**Kod**	**Değerler**		
				1	2	3
Devir	n	dev/dk	S	1500	2000	3000
İlerleme	F	mm/dk	F	150	200	250
Talaş Derinliği	a_p	mm	A	0,25	0,5	0,75

Yukarıda belirtilen parametrelere yönelik Taguchi yöntemi kullanılarak oluşturulan deney tasarımı Tablo 2.7'de belirtilmiştir. Hız kafası olan ve olmayan kesme işlemleri yapıldığı için toplam 18 deney yapılmıştır.

Tablo 2.7 Deney Tasarımı

Deney No	**Parametreler**	**Devir (dev/dk)**	**İlerleme (mm/dk)**	**Talaş Derinliği**
1	S1F1A1	1500	150	0,25
2	S1F2A2	1500	200	0,5
3	S1F3A3	1500	250	0,75
4	S2F1A2	2000	150	0,5
5	S2F2A3	2000	200	0,75
6	S2F3A1	2000	250	0,25
7	S3F1A3	3000	150	0,75
8	S3F2A1	3000	200	0,25
9	S3F3A2	3000	250	0,5

Deneysel tasarımda yer alan S/N oranının hesaplanmasında ortalama ve değişimi olabildiğince küçültmek için kullanılan "daha küçük daha iyi" ifadesini temsil eden denklem esas alınmıştır. Daha küçük daha iyi kriterine göre S/N oranı;

$$S/N_s\,(\eta) = -10log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) \tag{2.1}$$

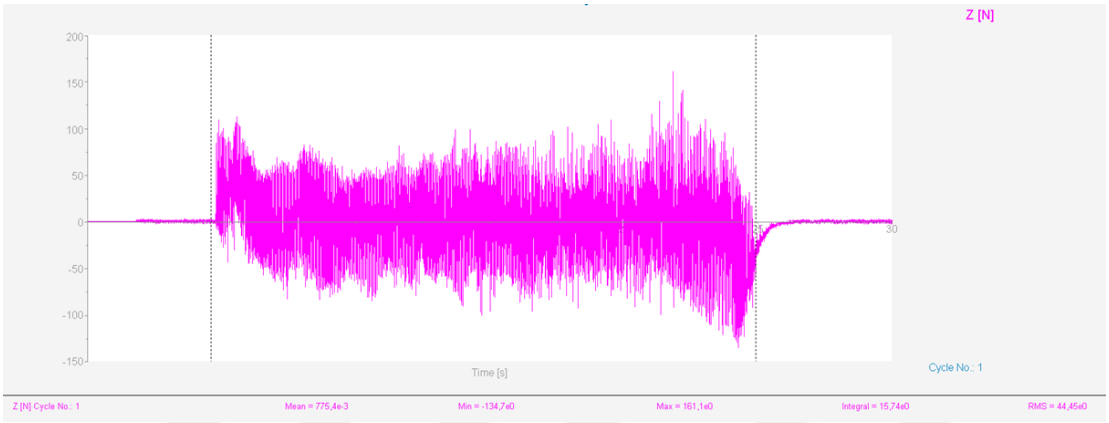
denklemiyle hesaplanır. Denklemde, y_i^2, ölçüm sonuçlarının toplamının karesi, n ise toplam deney sayısını ifade etmektedir [59].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneyler sonucunda kesme kuvveti (F_z), güç (W) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri elde edilmiştir. Bulgular, hız kafası kullanılmadan ve hız kafası kullanılarak olmak üzere iki aşamada incelenmiştir. Bu sayede, toplamda altı inceleme yapılmıştır.

3.1. Kuvvet Ölçümü

3.1.1. Hız Kafası Kullanılmadan Yapılan Kuvvet Ölçümü



Şekil 3.1 Yapılan Deneyler İçerisinden 1 Numaralı Deneyden Elde Edilen Grafik ((Hız Kafası Kullanılmadan)

Tablo 3.1 Kuvvet Ölçümü (Hız Kafası Kullanılmadan)

Deney No	Parametreler	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Talaş Derinliği (mm)	Kuvvet (N)
1	S1F1A1	1500	150	0,25	161
2	S1F2A2	1500	200	0,5	178
3	S1F3A3	1500	250	0,75	222
4	S2F1A2	2000	150	0,5	184
5	S2F2A3	2000	200	0,75	213
6	S2F3A1	2000	250	0,25	197
7	S3F1A3	3000	150	0,75	204
8	S3F2A1	3000	200	0,25	185
9	S3F3A2	3000	250	0,5	217

Hız kafası kullanılmadan gerçekleştirilen deneylerde kesme kuvveti değişiminin parametrelere göre S/N oranları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Kuvvet Ölçümü Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılmadan)

Seviye	Devir (S) (dev/dk)	İlerleme (F) (mm/dk)	Talaş Derinliği (A) (mm)
1	-45.36	-45.21	-45.12
2	-45.92	-45.64	-45.68
3	-46.09	-46.52	-46.56
Fark	0.73	1.31	1.44
Sıra	3	2	1

Tablo 3.2'de görüldüğü üzere dokuz deney sonucunda elde edilen S/N oranları, kesme parametrelerinin kuvvet üzerindeki etkisini ortaya koymakta olup bu değerler incelendiğinde "devir (S1) 1500 dev/dk, ilerleme (F1) 150 mm/dk ve talaş derinliği (A1) 0,25 mm" parametreleri kullanıldığında en düşük kesme kuvveti elde edildiği görülmüştür.

3.1.2. Kuvvet Ölçümü Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılmadan)

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda parametrelerin kesme kuvvetine etkisini belirlemek için yapılan ANOVA sonuçları Tablo 3.3'de sunulmuştur.

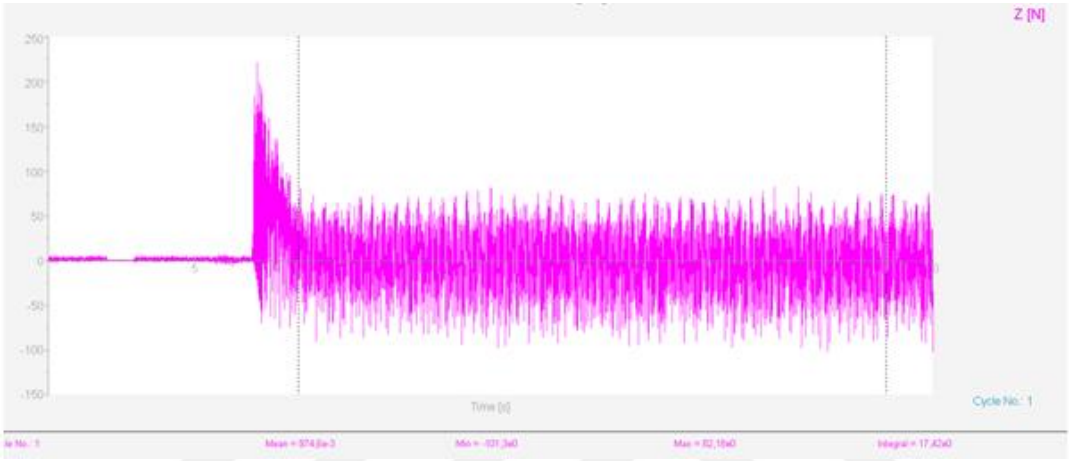
Tablo 3.3 Kuvvet Ölçümü İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılmadan)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	% Etki
Devir	2	362	181	11.31	0.081	11.02
İlerleme	2	1322	661	41.31	0.024	40.26
Talaş Derinliği	2	1568	784	49	0.02	47.75
Hata	2	32	16			0.97
Toplam	8					100
R-Sq = 99.03% **R-Sq(adj)** = 96.10%						

Devir, analizdeki toplam varyansın %11.02'sini açıklamaktadır. F istatistiği 11.31 olarak bulunmuş ve p-değeri 0.081 olarak hesaplanmıştır. Bu, devir parametresinin kesme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını gösterir. İlerleme, analizdeki toplam varyansın %40.26'sini açıklamaktadır. F istatistiği 41.31 olarak bulunmuş ve p-

değeri 0.024 olarak hesaplanmıştır. Bu, ilerleme parametresinin kesme kuvveti üzerinde oldukça güçlü bir etkiye sahip olduğunu gösterir. Talaş derinliği, analizdeki toplam varyansın %47.75'ini açıklamaktadır. F istatistiği 49.00 olarak bulunmuş ve p-değeri 0.020 olarak hesaplanmıştır. Bu, talaşlı imalat parametresinin kesme kuvveti üzerinde yüksek bir etkiye sahip olduğunu gösterir.

3.1.3. Hız Kafası Kullanılarak Yapılan Kuvvet Ölçümü



Şekil 3.2 Yapılan Deneyler İçerisinden 1 Numaralı Deneyden Elde Edilen Grafik (Hız Kafası Kullanılarak)

Tablo 3.4 Kuvvet Ölçümü (Hız Kafası Kullanılarak)

Deney No	Parametreler	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Talaş Derinliği (mm)	Kuvvet (N)
1	S1F1A1	1500	150	0,25	101
2	S1F2A2	1500	200	0,5	113
3	S1F3A3	1500	250	0,75	146
4	S2F1A2	2000	150	0,5	122
5	S2F2A3	2000	200	0,75	133
6	S2F3A1	2000	250	0,25	126
7	S3F1A3	3000	150	0,75	130
8	S3F2A1	3000	200	0,25	123
9	S3F3A2	3000	250	0,5	141

Tablo 3.5 Kuvvet Ölçümü Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılarak)

Seviye	Devir (S) (dev/dk)	İlerleme (F) (mm/dk)	Talaş Derinliği (A) (mm)
1	-41.48	-41.36	-41.3
2	-42.07	-41.78	-41.92
3	-42.35	-42.76	-42.68
Fark	0.88	1.4	1.38
Sıra	3	1	2

Tablo 3.5'de görüldüğü üzere dokuz deney sonucunda elde edilen S/N oranları, kesme parametrelerinin kuvvet üzerindeki etkisini ortaya koymakta olup bu değerler incelendiğinde "devir (S1) 1500 dev/dk, ilerleme (F1) 150 mm/dk ve talaş derinliği (A1) 0,25 mm" parametreleri kullanıldığında en düşük kesme kuvveti elde edildiği görülmüştür.

3.1.4. Kuvvet Ölçümü Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılarak)

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda parametrelerin kesme kuvvetine etkisini belirlemek için yapılan ANOVA sonuçları Tablo 3.6'da sunulmuştur.

Tablo 3.6 Kuvvet Ölçümü İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılarak)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	% Etki
Devir	2	196.22	98.11	2.28	0.305	13.00
İlerleme	2	643.56	321.78	7.46	0.118	42.65
Talaş Derinliği	2	582.89	291.44	6.76	0.129	38.63
Hata	2	86.22	43.11			5.71
Toplam	8					100
R-Sq = 94.29% **R-Sq(adj)** = 77.14%						

Devir, analizdeki toplam varyansın %13.00'ünü açıklamaktadır. F istatistiği 2.28 olarak bulunmuş ve p-değeri 0.305 olarak hesaplanmıştır. Bu, devir parametresinin kesme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını gösterebilir. İlerleme, analizdeki toplam varyansın %42.65'ini açıklamaktadır. F istatistiği 7.46 olarak bulunmuş ve p-değeri 0.118 olarak hesaplanmıştır. Bu, ilerleme parametresinin kesme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını gösterir. Talaş derinliği, analizdeki toplam varyansın

%38.63'ünü açıklamaktadır. F istatistiği 6.76 olarak bulunmuş ve p-değeri 0.129 olarak hesaplanmıştır. Bu, talaş derinliği parametresinin kesme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını gösterir. Sonuç olarak, bu analizdeki devir, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri kesme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir.

3.2. Güç Tüketimi Ölçümü

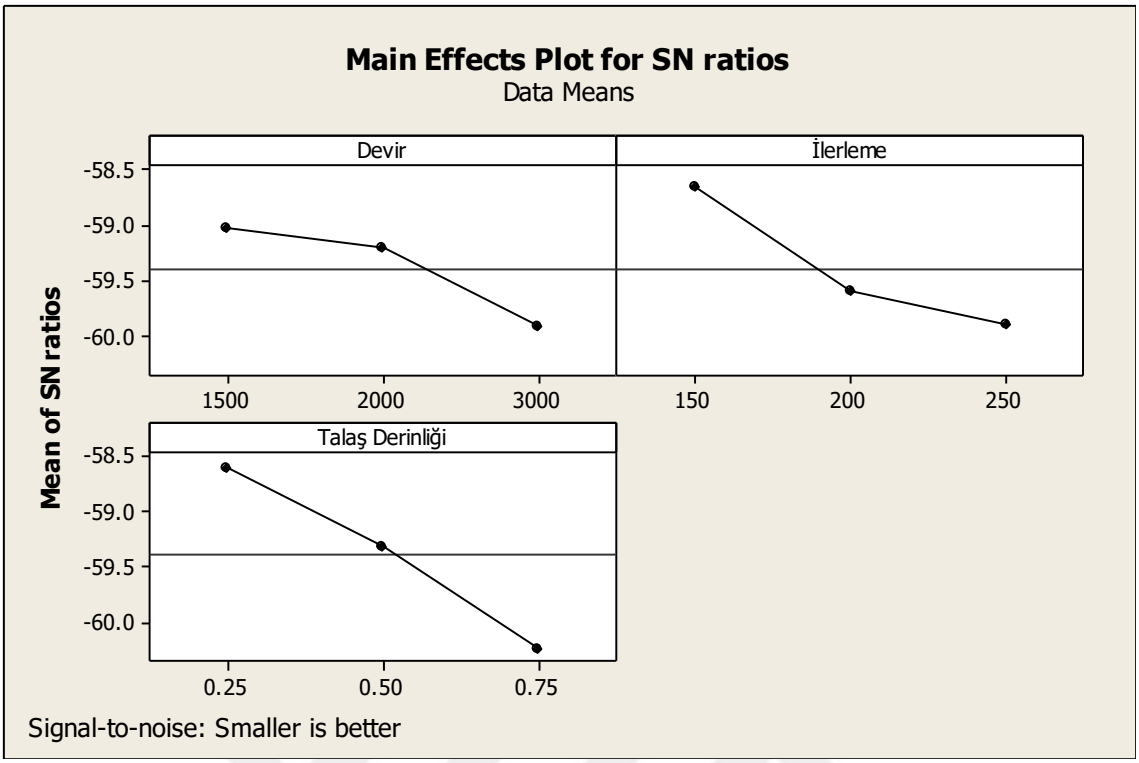
3.2.1. Hız Kafası Kullanılmadan Yapılan Deneylerde Güç Tüketimi Ölçümü

CNC freze tezgâhında zırh çeliği malzemesi üzerinde hız kafası kullanılmadan her bir kesme parametresi üç farklı değerde ele alınarak gerçekleştirilen dokuz deneyde güç tüketimi ölçülmüştür. Bu deneylerde güç tüketimi en düşük 744 W, en yüksek 1048 W olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerlen Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 Güç Tüketimi Deney Sonuçları (Hız Kafası Kullanılmadan)

Deney No	Parametreler	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Talaş Derinliği (mm)	Güç Tüketimi (W)
1	S1F1A1	1500	150	0,25	744
2	S1F2A2	1500	200	0,5	920
3	S1F3A3	1500	250	0,75	1048
4	S2F1A2	2000	150	0,5	832
5	S2F2A3	2000	200	0,75	1024
6	S2F3A1	2000	250	0,25	896
7	S3F1A3	3000	150	0,75	1016
8	S3F2A1	3000	200	0,25	928
9	S3F3A2	3000	250	0,5	1032

Şekil 3.3'de deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin güç tüketimi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Burada görüldüğü üzere devir, ilerleme ve talaş derinliği arttıkça güç tüketimi artmıştır.



Şekil 3.3 Kesme Parametreleri ile Güç Tüketimi Arasındaki İlişki (Hız Kafası Kullanılmadan)

Hız kafası kullanılmadan gerçekleştirilen deneylerde güç tüketimi değişiminin kesme parametrelerine göre S/N oranları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8 Güç Tüketimi Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılmadan)

Seviye	**Devir (S) (dev/dk)**	**İlerleme (F) (mm/dk)**	**Talaş Derinliği (A) (mm)**
1	-59,04	-58,66	-58,61
2	-59,22	-59,61	-59,32
3	-59,92	-59,91	-60,25
Fark	0,88	1,25	1,64
Sıra	3	2	1

Tablo 3.8'de görüldüğü üzere dokuz deney sonucunda elde edilen S/N oranları, kesme parametrelerinin güç tüketimi üzerindeki etkisini ortaya koymakta olup bu değerler incelendiğinde "devir (S1) 1500 dev/dk, ilerleme (F1) 150 mm/dk ve talaş derinliği (A1) 0,25 mm" parametreleri kullanıldığında en düşük güç tüketimi elde edildiği görülmüştür.

3.2.2. Güç Tüketimi Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılmadan)

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda parametrelerin kesme kuvvetine etkisini belirlemek için yapılan ANOVA sonuçları Tablo 3.9'da sunulmuştur.

Tablo 3.9 Güç Tüketimi İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılmadan)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	% Etki
Devir	2	13497	6748	73	0.014	15.79
İlerleme	2	26297	13148	142.23	0.007	30.77
Talaş Derinliği	2	45497	22748	246.08	0.004	53.23
Hata	2	185	92			0.22
Toplam	8					100
R-Sq = 99.78% **R-Sq(adj)** = 99.13%						

Devir, analizdeki toplam varyansın %15.79'unu açıklamaktadır. F istatistiği 73.00 olarak bulunmuş ve p-değeri 0.014 olarak hesaplanmıştır. Bu, devir parametresinin güç tüketimi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu gösterir. İlerleme, analizdeki toplam varyansın %30.77'sini açıklamaktadır. F istatistiği 142.23 olarak bulunmuş ve p-değeri 0.007 olarak hesaplanmıştır. Bu, ilerleme parametresinin güç tüketimi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu gösterir. Talaş derinliği, analizdeki toplam varyansın %53.23'ünü açıklamaktadır. F istatistiği 246.08 olarak bulunmuş ve p-değeri 0.004 olarak hesaplanmıştır. Bu, talaş derinliği parametresinin güç tüketimi üzerinde son derece güçlü ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu gösterir. Sonuç olarak, devir, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerinin, güç tüketimi sonuçlarını anlamak ve tahmin etmek için önemli rol oynamaktadır. Talaş derinliği, diğer faktörlere göre daha büyük bir etkiye sahip olup modelin büyük bir kısmını açıklamaktadır. İlerleme de önemli bir etkiye sahiptir. Ancak devir daha düşük bir etkiye sahip olup yine de anlamlıdır.

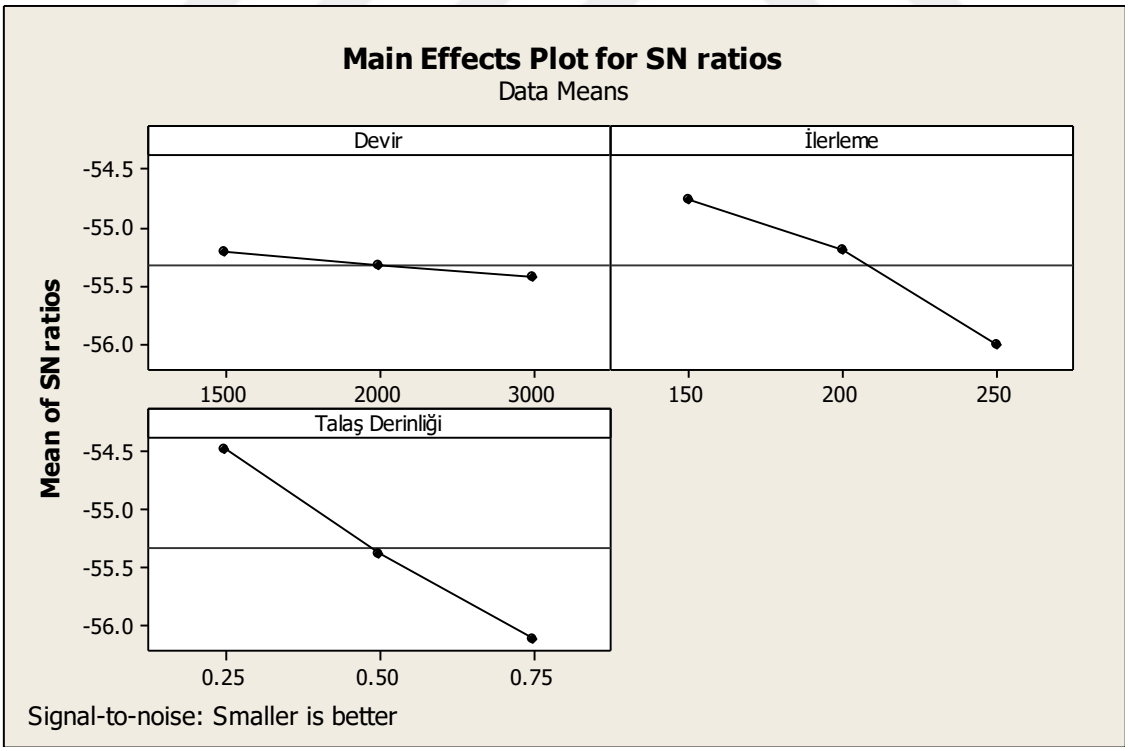
3.2.3. Hız Kafası Kullanılarak Yapılan Deneylerde Güç Tüketimi Ölçümü

Bu deneysel çalışmada, bir önceki deneylerde kullanılan kesme parametreleri bire bir uygulanmış olup ilave olarak deneyde kullanılan kesici takımlar yüksek devir sağlayan hız kafası kullanılarak CNC tezgâhına bağlanmıştır. Bu deneylerde güç tüketimi en düşük 476 W, en yüksek 704 W olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerlen Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10 Güç Tüketimi Deney Sonuçları (Hız Kafası Kullanılarak)

Deney No	Parametreler	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Talaş Derinliği (mm)	Güç Tüketimi (W)
1	S1F1A1	1500	150	0,25	476
2	S1F2A2	1500	200	0,5	572
3	S1F3A3	1500	250	0,75	704
4	S2F1A2	2000	150	0,5	568
5	S2F2A3	2000	200	0,75	612
6	S2F3A1	2000	250	0,25	574
7	S3F1A3	3000	150	0,75	608
8	S3F2A1	3000	200	0,25	544
9	S3F3A2	3000	250	0,5	624

Hız kafası kullanılarak gerçekleştirilen frezeleme işlemlerinde kesme parametreleri ile güç tüketimi arasındaki ilişki Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Kesme Parametreleri ile Güç Tüketimi Arasındaki İlişki (Hız Kafası Kullanılarak)

Hız kafası kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde güç tüketimi değişiminin kesme parametrelerine göre S/N oranları Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11 Güç Tüketimi Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılarak)

Seviye	Devir (S) (dev/dk)	İlerleme (F) (mm/dk)	Talaş Derinliği (A) (mm)
1	-55,22	-54,77	-54,48
2	-55,33	-55,20	-55,38
3	-55,43	-56,01	-56,12
Fark	0,21	1,24	1,64
Sıra	3	2	1

Tablo 3.8 ve 3.11'de görüldüğü üzere hız kafası kullanılan/kullanılmayan deneylerde en düşük güç tüketimi elde edilebilmesi için "devir (S1) 1500 dev/dk, ilerleme (F1) 150 mm/dk ve talaş derinliği (A1) 0,25 mm" kesme parametrelerinin kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır. Güç tüketimini etkileyen en önemli parametrenin sırasıyla "talaş derinliği, ilerleme, devir" olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra frezeleme operasyonlarında hız kafası kullanıldığında güç tüketiminin önemli ölçü de azaldığı tespit edilmiştir.

3.2.4. Güç Tüketimi Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılarak)

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda parametrelerin kesme kuvvetine etkisini belirlemek için yapılan ANOVA sonuçları Tablo 3.12'de sunulmuştur.

Tablo 3.12 Güç Tüketimi İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılarak)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	% Etki
Devir	2	118.2	59.1	0.06	0.939	0.38
İlerleme	2	10950.2	5475.1	6	0.143	35.27
Talaş Derinliği	2	18155.6	9077.8	9.95	0.091	58.47
Hata	2	1824.9	912.4			5.88
Toplam	8					100
R-Sq = 94.12% **R-Sq(adj)** = 76.49%						

Devir, veri setindeki toplam varyansın sadece %0.38'ini açıklamaktadır. F istatistiği çok düşük (0.06) ve p-değeri çok yüksek (0.939) olduğundan, Devir parametresinin güç tüketimi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varabiliriz. F faktörü, veri setindeki toplam varyansın %35.27'sini açıklamaktadır. F istatistiği düşük (6.00) ve p-değeri yüksek (0.143) olduğundan, ilerleme parametresinin güç tüketimi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varabiliriz. Talaş derinliği, veri setindeki toplam varyansın %58.47'sini açıklamaktadır. F istatistiği düşük (9.95) ve p-değeri yüksek (0.091) olduğundan, talaş derinliği parametresinin güç tüketimi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varabiliriz. Sonuç olarak, bu analizdeki devir, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri güç tüketimi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir. Bu parametreler, sonuçları anlamak veya tahmin etmek için önemli değildir ve varyansın büyük bir kısmını açıklamamaktadır.

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Gerçekleştirilen deneysel çalışmadan elde edilen bulgulardan sonuncusu olarak yüzey pürüzlülük değerleri ele alınmış olup hız kafası kullanılan/kullanılmayan deneysel faaliyetlerin verileri aşağıdaki başlıklar altında belirtilmiştir.

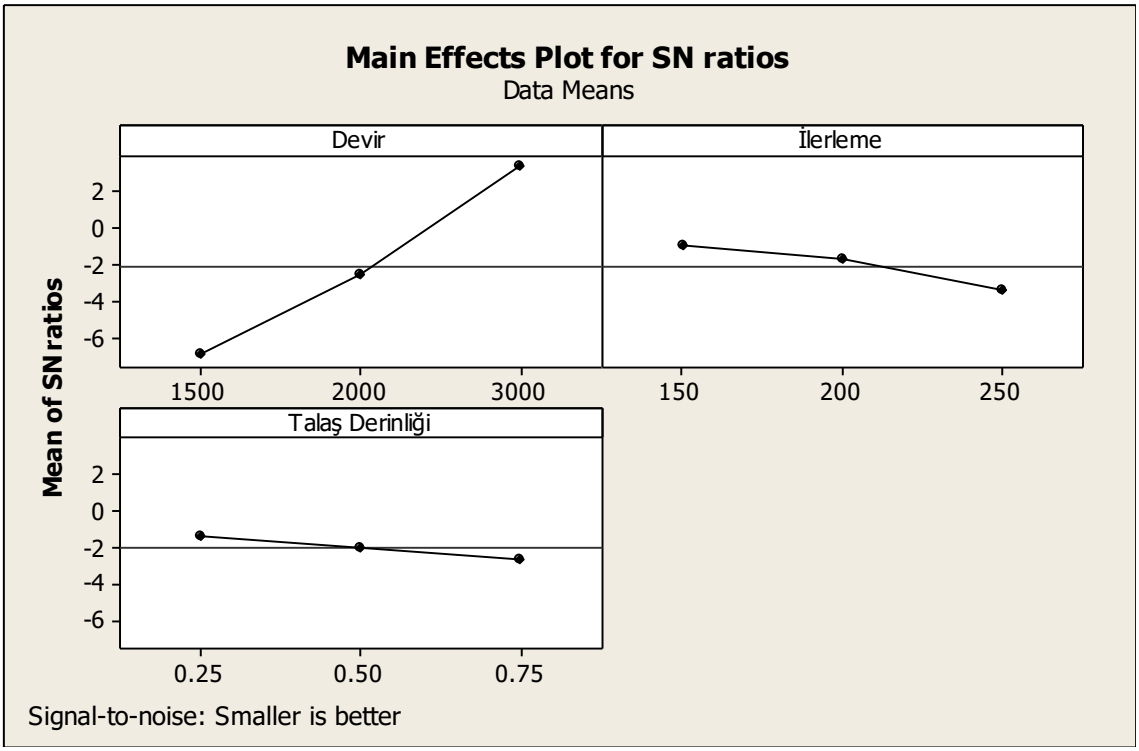
3.3.1. Hız Kafası Kullanılmadan Yapılan Deneylerde Yüzey Pürüzlülüğü

Hız kafası kullanılmadan yapılan frezeleme operasyonlarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3.13'de verilmiştir.

Tablo 3.13 Yüzey Pürüzlülüğü (Hız Kafası Kullanılmadan)

Deney No	Parametreler	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Talaş Derinliği (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)
1	S1F1A1	1500	150	0,25	1,935
2	S1F2A2	1500	200	0,5	2,217
3	S1F3A3	1500	250	0,75	2,54
4	S2F1A2	2000	150	0,5	1,073
5	S2F2A3	2000	200	0,75	1,472
6	S2F3A1	2000	250	0,25	1,521
7	S3F1A3	3000	150	0,75	0,675
8	S3F2A1	3000	200	0,25	0,546
9	S3F3A2	3000	250	0,5	0,852

Şekil 3.5'de, deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Burada görüldüğü üzere devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünde de artış olduğu ve talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünde arttığı ancak etkisinin diğer parametrelere göre yüzey pürüzlülüğünde daha az etkili olduğu elde edilen veriler sonucunda tespit edilmiştir.



Şekil 3.5 Kesme Parametreleri ile Yüzey Pürüzlülüğü Arasındaki İlişki (Hız Kafası Kullanılmadan)

Hız kafası kullanılmadan gerçekleştirilen deneylerde yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine göre S/N oranları Tablo 3.14'de verilmiştir.

Tablo 3.14 Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılmadan)

Seviye	**Devir (S) (dev/dk)**	**İlerleme (F) (mm/dk)**	**Talaş Derinliği (A) (mm)**
1	-6.9152	-0.9772	-1.3734
2	-2.5376	-1.6724	-2.0454
3	3.3538	-3.4494	-2.6803
Fark	10.2690	2.4721	1.3069
Sıra	1	2	3

Tablo 3.14'de görüldüğü üzere dokuz deney sonucunda elde edilen S/N oranları, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini ortaya koymakta olup bu değerler incelendiğinde "devir (S3) 3000 dev/dk, ilerleme (F1) 150 mm/dk ve talaş derinliği (A1) 0,25 mm" parametreleri kullanıldığında en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edilebileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle doğrulama deneyi yapılması gerekmektedir.

3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılmadan)

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda parametrelerin yüzey pürüzlülüğününe etkisini belirlemek için yapılan ANOVA sonuçları Tablo 3.15'da sunulmuştur.

Tablo 3.15 Yüzey Pürüzlülüğü İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılmadan)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	% Etki
Devir	2	3.57812	1.78906	327.83	0.003	91.06
İlerleme	2	0.25303	0.12652	23.18	0.041	6.44
Talaş Derinliği	2	0.08732	0.04366	8	0.111	2.22
Hata	2	0.01091	0.00546			0.28
Toplam	8					100
R-Sq = 99.72% **R-Sq(adj)** = 98.89%						

Devir, veri setindeki toplam varyansın %91.06'sını açıklamaktadır. F istatistiği yüksek (327.83) ve p-değeri düşük (0.003) olduğundan, devir parametresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu sonucuna varabiliriz. Bu parametre yüzey pürüzlülüğü sonuçları üzerinde büyük bir etki yapmaktadır. İlerleme, veri setindeki toplam varyansın %6.44'ünü açıklamaktadır. F istatistiği (23.18) olarak bulunmuş ve p-değeri (0.041) olarak hesaplanmıştır. Bu, ilerleme parametresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu gösterir, ancak etkisi daha düşüktür. Talaş derinliği, veri setindeki toplam varyansın %2.22'sini açıklamaktadır. F istatistiği (8.00) olarak bulunmuş ve p-değeri (0.111) olarak hesaplanmıştır. Bu, talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını gösterir. Sonuç olarak, devir parametresinin yüzey pürüzlülüğü sonuçları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve istatistiksel olarak anlamlıdır. İlerleme de anlamlıdır, ancak etkisi daha düşüktür. Talaş derinliği ise model üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir.

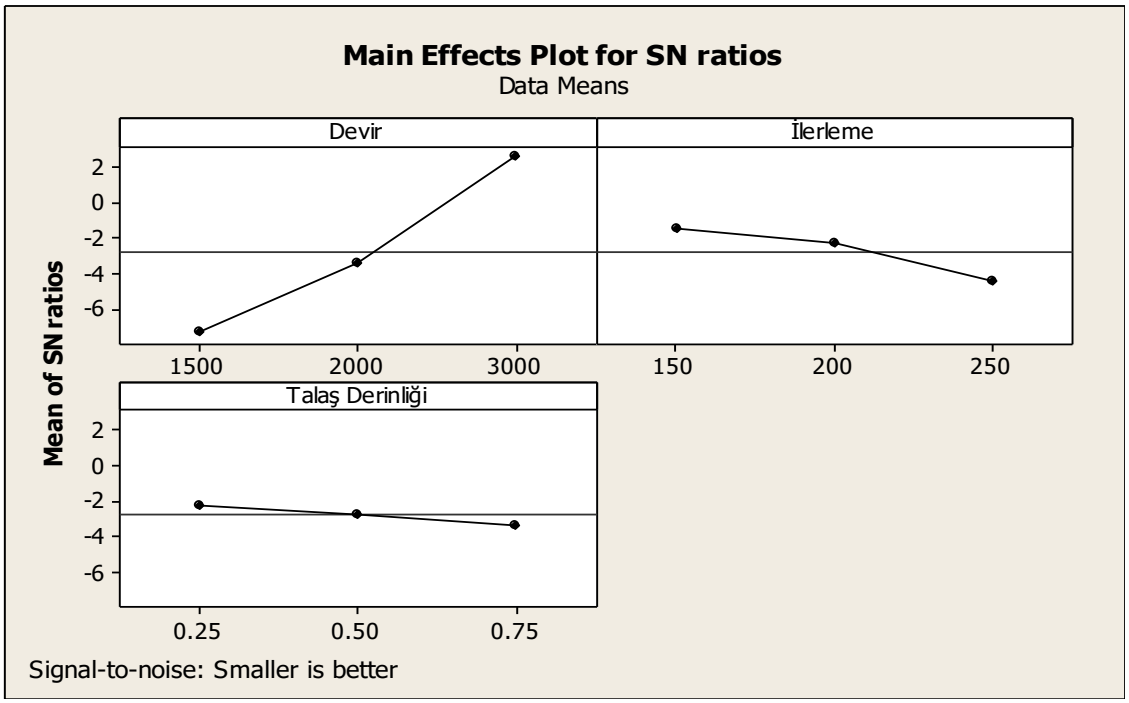
3.3.3. Hız Kafası Kullanılarak Yapılan Deneylerde Yüzey Pürüzlülüğü

Hız kafası kullanılarak yapılan frezeleme operasyonlarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3.16'da verilmiştir.

Tablo 3.16 Yüzey Pürüzlülüğü (Hız Kafası Kullanılarak)

Deney No	Parametreler	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Talaş Derinliği (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)
1	S1F1A1	1500	150	0,25	2,083
2	S1F2A2	1500	200	0,5	2,301
3	S1F3A3	1500	250	0,75	2,637
4	S2F1A2	2000	150	0,5	1,125
5	S2F2A3	2000	200	0,75	1,669
6	S2F3A1	2000	250	0,25	1,784
7	S3F1A3	3000	150	0,75	0,721
8	S3F2A1	3000	200	0,25	0,591
9	S3F3A2	3000	250	0,5	0,979

Şekil 3.6'da, deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Hız kafası kullanıldığında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü etkisinin hız kafası kullanılmadan elde edilen sonuçlar ile paralel olduğu görülmüştür.



Şekil 3.6 Kesme Parametreleri ile Yüzey Pürüzlülüğü Arasındaki İlişki (Hız Kafası Kullanılarak)

Hız kafası kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerine göre S/N oranları Tablo 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.17 Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin S/N Oranları (Hız Kafası Kullanılarak)

Seviye	Devir (S) (dev/dk)	İlerleme (F) (mm/dk)	Talaş Derinliği (A) (mm)
1	-7.345	-1.519	-2.278
2	-3.500	-2.373	-2.692
3	2.531	-4.422	-3.343
Fark	9.876	2.903	1.066
Sıra	1	2	3

Tablo 3.14 ve 3.17'de görüldüğü üzere hız kafası kullanılan/kullanılmayan deneylerde en düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilebilmesi için "devir (S3) 3000 dev/dk, ilerleme (F1) 150 mm/dk ve talaş derinliği (A1) 0,25 mm" kesme parametrelerinin kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle doğrulama deneyi yapılması gerekmektedir. Deney bulgularından anlaşıldığı üzere yüzey pürüzlülüğünün en önemli parametreleri sırasıyla "devir, ilerleme, talaş derinliği" parametrelerinin olduğu sonucuna ulaşılmış olup talaş derinliğinin çok etkili bir parametre olmadığı değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra frezeleme operasyonlarında hız kafası kullanıldığında yüzey pürüzlülüğünde çok olumsuz bir değişim görülmemiştir.

3.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü Varyans Analizi (Hız Kafası Kullanılarak)

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda parametrelerin yüzey pürüzlülüğününe etkisini belirlemek için yapılan ANOVA sonuçları Tablo 3.18'de sunulmuştur.

Tablo 3.18 Yüzey Pürüzlülüğü İçin ANOVA Tablosu (Hız Kafası Kullanılmadan)

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	% Etki
Devir	2	3.73017	1.86508	94.91	0.01	88.57
İlerleme	2	0.36302	0.18151	9.24	0.098	8.62
Talaş Derinliği	2	0.07927	0.03964	2.02	0.331	1.88
Hata	2	0.0393	0.01965			0.93
Toplam	8					100
R-Sq = 99.07% **R-Sq(adj)** = 96.27%						

Devir, veri setindeki toplam varyansın %88.57'sini açıklamaktadır. F istatistiği yüksek (94.91) ve p-değeri düşük (0.01) olduğundan, Devir parametresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu sonucuna varabiliriz. Bu parametre yüzey pürüzlülüğü sonuçları üzerinde büyük bir etki yapmaktadır. İlerleme, veri setindeki toplam varyansın %8.62'sini açıklamaktadır. F istatistiği 9.24 olarak bulunmuş ve p-değeri 0.098 olarak hesaplanmıştır. Bu, ilerleme parametresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını gösterir. Talaş derinliği, veri setindeki toplam varyansın %1.88'ini açıklamaktadır. F istatistiği düşük (2.02) ve p-değeri yüksek (0.331) olduğundan, Talaş derinliliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını sonucuna varabiliriz. Sonuç olarak, devir parametresinin yüzey pürüzlülüğü sonuçları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve istatistiksel olarak anlamlıdır. İlerleme ve talaş derinliği ise model üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir.

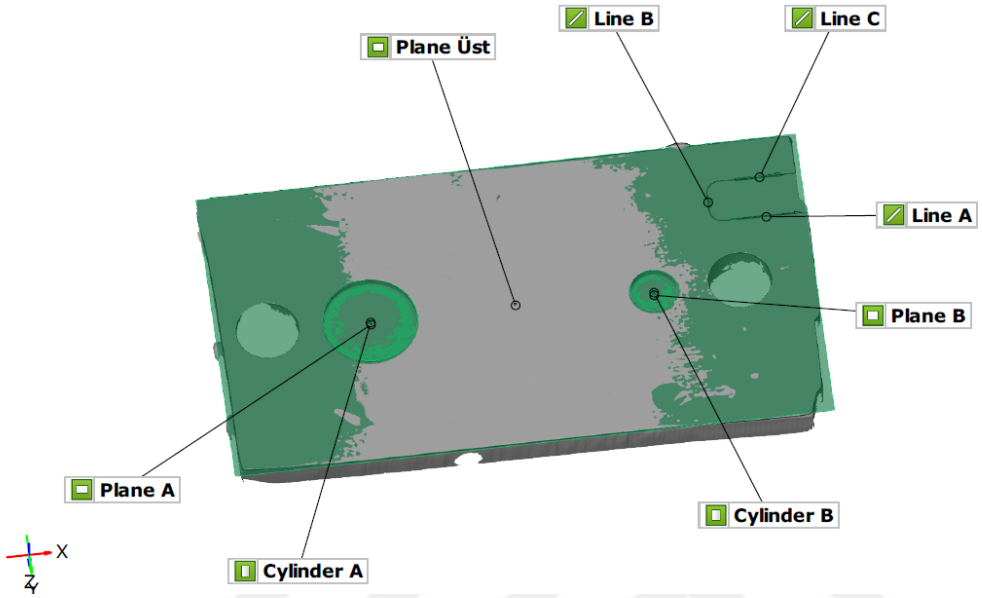
3.4. Şekil, Boyut ve Konum Toleransları

Hız kafası kullanılarak yapılan talaşlı imalat prosesi ile işlenen numune üzerindeki boyut değişimini incelemek maksadıyla bu deney gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen proseste 6 mm’lik karbür takım kullanılmış olup yapılan işleme ait görsel Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

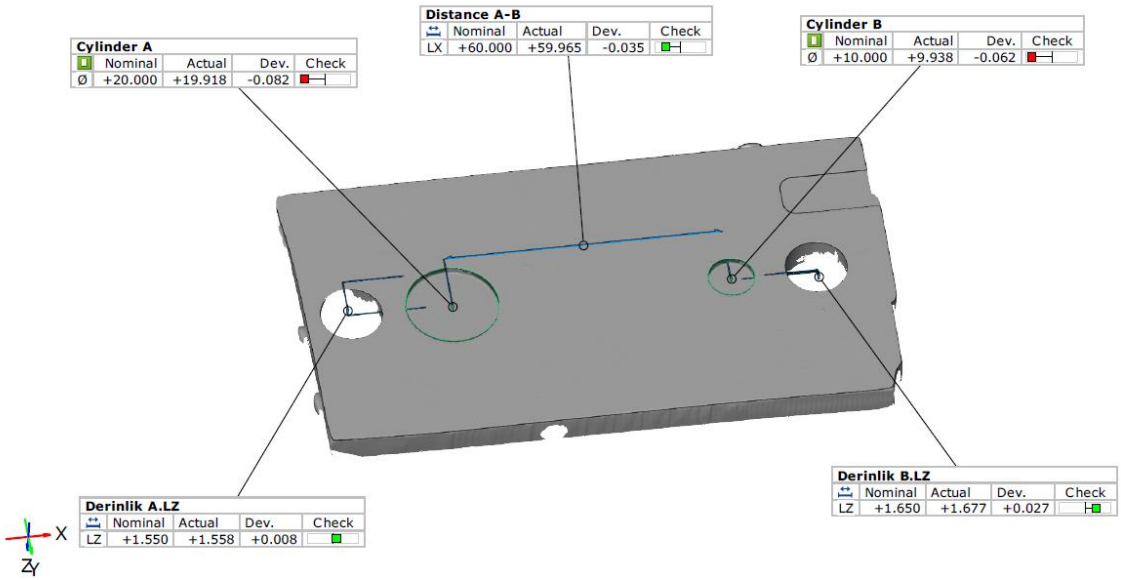


Şekil 3.7 Geometrik Tolerans Ölçümü İçin Gerçekleştirilen İşleme Faaliyeti

Yapılan deneyler sonucunda işlenen malzeme üzerindeki dairesel geometri Raptor 3DX optik tarayıcı [EK-6] ile yapılmıştır. Tarayıcıdan elde edilen görüntü Şekil 3.8'de gösterilmiş olup ölçülen geometrilere ilişkin bilgiler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



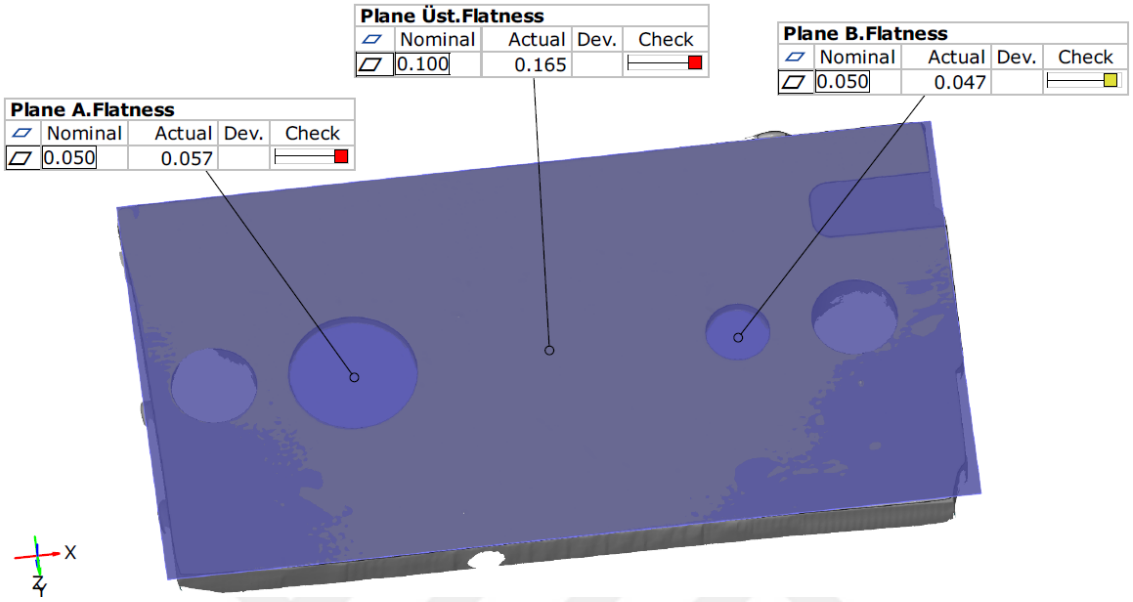
Şekil 3.8 Ölçülen Geometriler



Şekil 3.9 Delik Ölçüleri

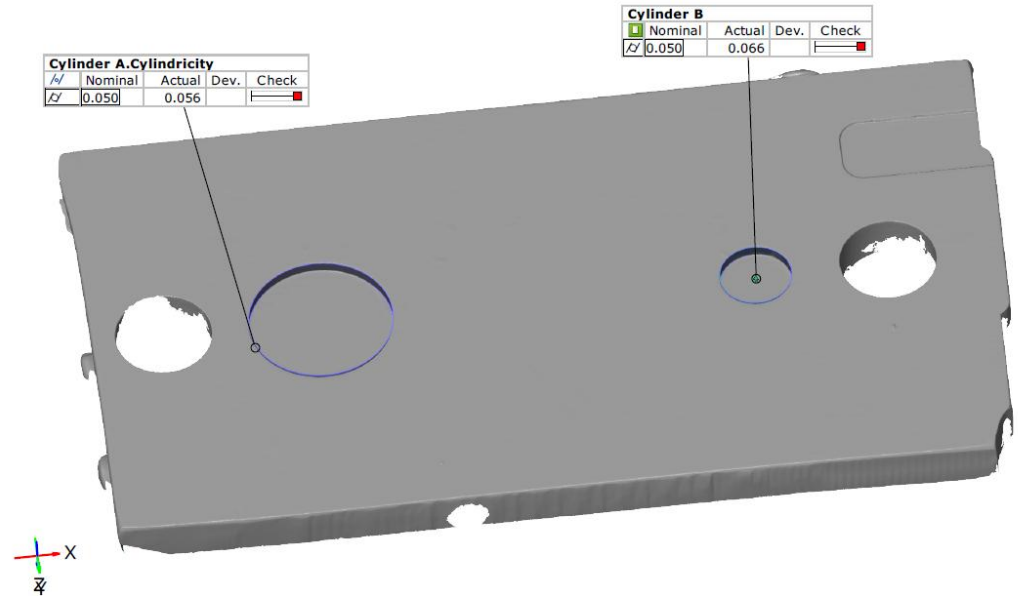
Şekil 3.9'da dairesel geometriye sahip cep işlemelerine ait çaplarındaki ölçü değişiklikleri ile merkezler arasındaki mesafe farkı deneysel olarak incelenmiştir. İşlemede 6 mm çapında karbür kesici takım kullanılmış ve 20 mm çapında cep oluşturulmuştur. Ölçümler neticesinde çap 19.918 mm olarak tespit edilmiştir.

Merkezler arası mesafe de 59.965 mm olarak ölçülmüştür. Her iki cep için ölçüm sonuçları tezgâh değerlerine göre düşük çıkmıştır. Büyük çaplı işlemelerde meydana gelen ölçü farkı küçük çaplı işlemeye göre daha yüksektir.



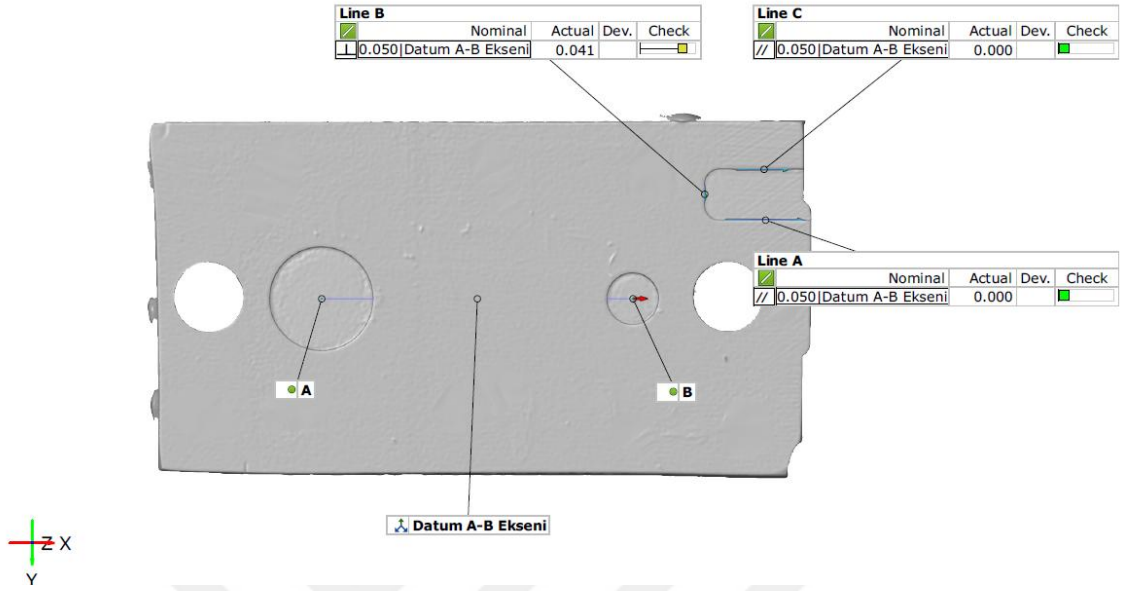
Şekil 3.10 Düzlemsellik

Şekil 3.10'da cep işleme taban yüzeylere ait düzlemsel seviyeler incelenmiştir. Bu analizde de büyük çaplı işlemede meydana gelen sayısal fark küçük çapa göre daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 3.11 Silindiriklik

Şekil 11’de görüldüğü üzere silindirik geometri incelemesi yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda büyük delikte meydana gelen fark küçük deliğe göre daha düşüktür.



Şekil 3.12 Paralellik ve Diklik

Şekil 3.12’de kanal işlemede yanal yüzeylerin simetri seviyesi ve cep işlemelerin merkezler arasındaki simetri durumu incelenmiştir. Her iki inceleme sonucunda da herhangi bir sapma veya fark çıkmamıştır.

4. SONUÇLAR

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Devir, ilerleme ve talaş derinliği arttıkça güç tüketimi artmaktadır.
2. Güç tüketimini etkileyen en önemli parametrenin sırasıyla "talaş derinliği, ilerleme, devir" olduğu görülmüştür.
3. Hız kafası kullanıldığında güç tüketiminin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.
4. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda minitab programı kullanılarak elde edilen S/N oranları kesme parametrelerinin güç tüketimi üzerindeki etkisini ortaya koymakta olup bu değerler incelendiğinde "devir (S1) 1500 dev/dk, ilerleme (F1) 150 mm/dk ve talaş derinliği (A1) 0,25 mm" parametreleri kullanıldığında en düşük güç tüketimi elde edildiği görülmüştür.
5. Güç tüketiminde elde edilen bulgulara paralel olarak hız kafası kullanıldığında Kesme Kuvveti değerlerinde de yaklaşık %35-40 arasında azalma tespit edilmiştir.
6. Devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme ve talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünde arttığı ancak talaş derinliği etkisinin diğer parametrelere göre yüzey pürüzlülüğüne etkisinin daha az olduğu anlaşılmıştır.
7. Deney bulgularından anlaşıldığı üzere yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin sırasıyla "devir, ilerleme, talaş derinliği" olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
8. Hız kafası kullanılmasının aynı ilerleme ve devirlerde yüzey pürüzlülüğüne etkisinin hız kafası kullanılmayan deneylerdeki değerlere yakın olduğu görülmüştür.
9. Hız kafası kullanılan/kullanılmayan deneyler sonucunda minitap programı kullanılarak elde edilen S/N oranları incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü için "devir (S3) 3000 dev/dk, ilerleme (F1) 150 mm/dk ve talaş derinliği (A1) 0,25 mm" kesme parametrelerinin kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Bu neden doğrulama deneyi yapılması gerekmektedir.
10. Uygun değer seçimi ile % 6-40 oranında enerjinden tasarruf sağlanabileceği [15, 16] belirtilmiş olup yapılan bu çalışmada da yaklaşık %37 oranında tasarruf edilebildiği görülmüştür.
11. Hız kafası kullanarak yapılan geometrik tolerans deneyleri ile işleme merkezinde büyük ve küçük çaplarda değişiklikler meydana geldiği tespit edilmiştir.
12. İleride, kesme işlemi gerçekleştirilirken soğutma sıvısı kullanılarak yüzey pürüzlülüğü azaltılabilir.

13. Kullanılan kesici takım yerine daha sert malzemeleri işleyen karbür takım kullanılabilir.
14. Hız kafasında kullanılan yağın viskozitesi artırılarak titreşim azaltılabilir.
15. Fiber takviyeli kompozit malzemeler üzerinde de benzer deneyler yapılabilir.

EKLER

EK-1 :Deneyde Kullanılan Kesici Takım

EK-2 :Hız Kafası

EK-3 :Deneyde Kullanılan Dinamometre

EK-4 :Amplifikatör

EK-5 :DAQ Cihazı

EK-6 :Raptor 3DX Optik Tarayıcı

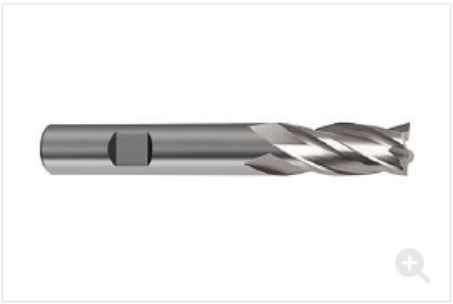
EK-1

Deneyde Kullanılan Kesici Takım

Home > End mills / Ø 6.000 mm / js12 / DIN 844K / M42 / bright

End mills / Ø 6.000 mm / js12 / DIN 844K / M42 / bright

Order number: 3428 6.000
EAN: 4031093378758



Qty
1
Add to Cart

Cutting data & Datasheet



Application | **Details**

Connection code machine side:	DIN 1835-B
Nominal Ø tolerance field:	js12
Internal cooling:	without
Norm:	DIN 844K
Surface:	bright
Discount group:	112
Type:	3428
Cutting direction:	right-hand
Type:	N
Material:	M42
No of cutting edges:	4
Form:	B
Helix angle:	30
Code no.:	6.000
Weight:	0.011
Total length:	57.000
Groove length:	16.000
Usable length:	21.000
Shank Ø:	6.000
Nominal Ø mm:	6.000
Cutting edge length:	13.000
Reach length:	21.000
Statistical goods number:	82077031

Hız Kafası

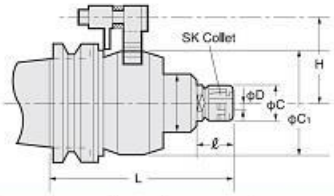


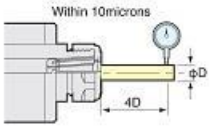
NX



10,000~40,000min-1

- **NIKKEN NX increases the spindle speed by 4 or 5 times, so economically convert your standard M/C to high speed M/C.**
- Inside gears are mirror-finish ground by NIKKEN original Fluid-Dynamic Grinding Process.
- **Run-out accuracy is more stable due to TiN Bearing Nut (standard accessory).**





Explanation of the Code No.

BT40 - NX 5 160

- BT40 : Shank
- NX : 4times, 5 times / PX : 6times, 10 times
- 5 : Ratio
- 160 : Length

TAPER	Code No.	D	L	C	C1	ℓ	H	Ratio	MAX. min-1	Weight (kg)	Collet
No.30	BT30-NX 5-153	1.75~10	153	27.5	85	32	55	5	20,000	2.9	SK10A
No.40	BT40-NX 5-153		153				60			5.0	
	(IT40)-PX 6-150GX	0.5~8.0	149	22	76	14.5		6	30,000	4.1	ETS14
	-PX10-160GX		162.5		98			10	40,000	4.5	
No.50	BT50-NX 4-192	1.75~16	192	40	118	46	82	4	10,000	11.0	SK16A
	(IT50)-NX 5-151	1.75~10	151	27.5	85			5	20,000	7.0	SK10A
	-PX 6-140GX	0.5~8.0	142	22	76	14.5		6	30,000	6.8	ETS14
	-PX10-155GX		155.5		98			10	40,000	7.2	

NX type

★For End Mill, please use **SK A type collet.** For Drill, please use **SK-P** class collet. ☞ P.39
★Wrench, Collet Extractor and **A type SK Collets** are supplied as standard.
NX5: SK10-6A, 8A, 10A NX4: SK16-8A, 10A, 12A, 16A
★Stopper block is available as an option. When ordering, please inform your M/C maker and Model as well as your M/C spindle flange dimension.
★**Air Clyinder for Cooling (NXE-COOL) is highly recommended to use for the stable milling.**



Air Cylinder for Cooling with ON/OFF Magnet NXE-COOL

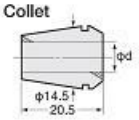
The best cooling is to cool the speeder body directly.



PX type

★Grease lubrication is standard.
★Please add "**MX**" instead of "**GX**" at the end of Code No. for the oil mist lubrication.
e.g. BT40-PX6-130MX
★**ETS** collet is supplies as an option.

ETS Collet



Explanation of the Code No.

ETS 14 0.5

- ETS : Symbol of ETS Collet
- 14 : Style No.
- 0.5 : MAX. Chucking Dia.

★φd=0.5~1.0: Each 0.1mm (Gripping range : 0.1mm)
e.g. ETS14-0.5 : 0.4~0.5mm
★φd=1.25~2.5: Each 0.25mm (Gripping range : 0.25mm)
★φd=3.0 ~8.0: Each 0.5mm (Gripping range : 0.5mm)

Deneyde Kullanılan Dinamometre



Type 9265B + 9441B



Type 9265B + 9443B

Technische Daten	Données techniques	Technical Data				
Typ	*Type*	*Type*			*9265B +9441B*	*9265B +9443B*
Bereich	**Gamme**	**Range**	F_x, F_y F_z	kN kN	–15 ... 15**) 0 ... 30**)	–15 ... 15*) –10 ... 30*)
Kalibrierter Teilbereich	**Gamme partielle étalonnée**	**Calibrated partial range**	F_x, F_y F_z	kN kN	0 ... 1,5 0 ... 3	0 ... 1,5 0 3
Überlast	**Surcharge**	**Overload**	F_x, F_y F_z	kN kN	–20/20 –12/40	–20/20 –12/40
Ansprechschwelle	**Seuil de réponse**	**Threshold**		N	<0,01	<0,01
Empfindlichkeit	**Sensibilité**	**Sensitivity**	F_x, F_y F_z	pC/N pC/N	≈–8 ≈–3,7	≈–8 ≈–3,7
Linearität, alle Bereiche **Hysterese,** alle Bereiche **Übersprechen**	**Linéarité,** toutes les gammes **Hystérésis,** toutes les gammes **Cross talk**	**Linearity,** all ranges **Hysteresis,** all ranges **Cross talk**		% FSO % FSO %	≤±0,5 ≤0,5 ≤±2	≤±0,5 ≤0,5 ≤±2***)
Steifheit	**Rigidité**	**Rigidity**	c_x, c_y c_z	kN/µm kN/µm	≈0,8 ≈2	≈1 ≈2
Eigenfrequenz (montiert an Flanschen)	**Fréquence propre** (installé sur brides)	**Natural frequency** (mounted on flanges)	f_0 (x, y) f_0 (z)	kHz kHz	≈1,5 ≈2,5	≈1,7 ≈2,7
Betriebstemperaturbereich **Temperaturkoeffizient** der Empfindlichkeit	**Gamme de temp. d'utilisation** **Coefficient de température** de la sensibilité	**Operating temp. range** **Temperature coefficient** of sensitivity		°C %/°C	0 ... 70 –0,02	0 ... 70 –0,02
Kapazität (pro Kanal) **Isolationswiderstand** (20 °C) **Masseisolation**	**Capacité** (de canal) **Résistance d'isolement** (20 °C) **Isolé à la masse**	**Capacitance** (of channel) **Insulation resistance** (20 °C) **Ground insulation**		pF Ω Ω	≈500 $>10^{13}$ $>10^{8}$	≈500 $>10^{13}$ $>10^{8}$
Schutzart **Gewicht**	**Classe de protection** **Poids**	**Protection class** **Weight**		– kg	IP 67****) 20	IP 67****) 19,8

*) Kraftangriff innerhalb und max. 100 mm oberhalb der Deckfläche.
**) Bereich beim Drehen, Kraftangriff bei Punkt A.
***) Kraftangriff innerhalb und max. 50 mm oberhalb der Deckfläche.
****) Mit Anschlusskabel Typen 1687B5, 1689B5

*) Point d'application de la force au-dedans et max. 100 mm au-dessus de la plaque supérieure.
**) Gamme lors du tournage, point d'application au point A.
***) Point d'application de la force au-dedans et max. 50 mm au-dessus de la plaque supérieure.
****) Avec câble de connexion types 1687B5, 1689B5

*) Application of force inside and max. 100 mm above top plate area.
**) Range for turning, application of force at point A.
***) Application of force inside and max. 50 mm above top plate area.
****) With connecting cable Types 1687B5, 1689B5

1 N (Newton) = 1 kg · m · s^{-2} = 0,1019... kp = 0,2248... lbf; 1 inch = 25,4 mm; 1 kg = 2,2046... lb; 1 Nm = 0,73756... lbft

Amplifikatör

Charge Amplifier

Type 5080A...

Multichannel laboratory charge amplifier

This universal laboratory charge amplifier can be used for force and torque measurements with piezoelectric dynamometers or force plates. Piezoelectric sensors produce an electric charge which varies in direct proportion with the load acting on a sensor. The amplifier converts this charge signal into a proportional output voltage.

- Multichannel charge amplifier
- Piezotron input (option)
- Setup of instrument is modular
- 1 ... 8 modules can be inserted
- 6-component analog summing calculation
- Wide measuring range
- USB and RS-232C interface for remote control
- Suitable for data acquisition software DynoWare Type 2825A

Description

Charge Amplifier Type 5080A... is the successor to charge amplifier Types 5017B... and Types 5019B... . Thanks to the modular design up to eight amplifier modules can be inserted. Charge modules Type 5067A0 with BNC connector are standard, as an option it is as also possible to integrate Piezotron modules Type 5067A2. A 6-component analog summing calculator Type 5245 is provided by default. This feature calculates the resulting force as well as the three components of the resulting torque real time. Dynamometer-specific values required for torque calculation can be set directly on the instrument.

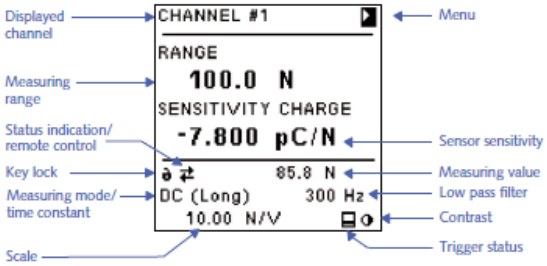
The liquid crystal display shows all channel settings. Various channels can be switched onto the display as required. The instrument is set up by means of different menus with the universal press-and-turn knob. All functions can, however, also be controlled externally via RS-232C or USB 2.0.

Application

This instrument is particularly suitable for general force measurements, cutting force measurements with Kistler dynamometers and wheel force measurements on tire test stands when a wide measuring range or high quality of signals is needed. Charge amplifier Type 5080A... finds its application in research and development.



Operation



Technical data

Charge input

Connector Type		BNC neg.
Measuring range FS	pC	±2 ... 2 200 000
Measurement uncertainty (0 ... 50 °C)		
FS ≥2 ... <10 pC	%	<±2
FS ≥10 ... <100 pC	%	<±0,6
FS ≥100 ... <2 200 000 pC	%	<±0,3
Drift, measuring mode DC (Long)		
at 25 °C, max. relative Humidity RH of 60 % (non-condensing)	pC/s	<±0,03
at 25 °C, max. relative Humidity RH of 70 % (non-condensing)	pC/s	typ. <±0,05
at 50 °C, max. relative Humidity RH of 50 % (non-condensing)	pC/s	<±0,3
Overload	%FS	≈±110

DAQ Cihazı

DAQ-System for DynoWare

Type 5697A...

Data acquisition system for force measurement

Data acquisition system for interfacing and controlling charge amplifiers and signal conditioners in general and cutting force applications using one or more component sensors and dynamometers. The system is connected via a USB 2.0 port and is controlled by the DynoWare program.

- Easy to install using USB 2.0 port
- Remote control of charge amplifier
- Powerful data acquisition system
- High sampling rate
- Trigger function



Description

The DAQ system for DynoWare consists of a connection box and the DynoWare program. Up to two multichannel charge amplifiers, and hence two measuring chains, can be connected to the connection box.[1] A 16-bit A/D converter digitizes the analog output data. The system is connected to the PC via a USB 2.0 port, control of the charge amplifier or signal conditioner is handled by the connection box via an RS-232C cable. Users have at their disposal an easy-to-use data acquisition system with a high sampling rate.

Application

Type 5697A... DAQ system has been developed specifically for piezoelectric measuring systems and their charge amplifiers and signal conditioners. The excellent resolution of the system and its very high sampling frequency of up to 125 kS/s with 8 measuring channels enables customers to measure highly-dynamic processes and covers a very broad range of applications. When used in conjunction with the DynoWare package, the DAQ system comes into its own in general measuring and cutting force measurement applications.

Technical data

General Data

Dimensions	mm	208x70x249
Weight	kg	2,15
Operating temperature range	°C	0 ... 50
Min./max. temperature	°C	–10/60

Power supply

Galvanic isolation (max. 40 V) between input voltage and supply voltage

Input voltage range	VDC	10 ... 36
Consumption	VA	≈5

A/D conversion

Number of channels		28[1]
Resolution (per channel)	Bit	16
Input voltage ranges (configured through software)	V	±0,1/±0,2/±0,5 ±1/±2/±5/±10
Input voltage	V	max. ±20
Sampling frequency (configured through software)	kS/s	... 1 000
max. @ 1 channel	kS/s	1 000
max. @ 3 channels	kS/s	333
max. @ 8 channels	kS/s	125
max. @ 14 channels	kS/s	71

Interfaces

USB 2.0 (high-speed)		
USB In (uplink, to PC)	Type	B, female
USB Out (for HASP licence key)	Type	A, female

[1] DynoWare Type 2825A and DynoWare Update Type 2825E currently only support the control of one multichannel charge amplifier on the connection box. A maximum of 28 channels can be acquired.

EK-6

Rampor 3DX Optik Tarayıcı



Flexible Usability

When higher freedom of scanning is required Raptor3DX sensor can be detatched from the automation platform. Being able to capture large scan area per single shot can enable large-scale projects such moulds and BIW

Automatic Mode w/ the robotic platform

- Digitize your object at a click of a button Place-and-scan method
- No fixation object required
- No need for scan markers
- Proprietary platform enables 360° full field scanning

Specification

Product Non-contact optical 3D scanner (stereo vision)

	Essential			Standard			Pro	
Sensor Resolution	2 MP			5 MP			12 MP	
FOV	FOV 150	FOV 330	FOV 500	FOV 140	FOV 300	FOV 600	FOV 450	FOV 550
Scan Volume*(mm)	120 x 90 x 90	270 x 200 x 200	400 x 300 x 300	110 x 85 x 85	230 x 180 x 180	500 x 350 x 350	360 x 270 x 270	440 x 330 x 330
Point Distance(mm)	0.07	0.16	0.25	0.04	0.09	0.18	0.09	0.11

*Scan volume of one single shot

Working Distance	450 mm
Platform	SSS Technology applied 2 + 1 axis platform (360° rotation / 90° arm / ±45° sensor tilt)
Dimension	320 x 220 x 140 mm (sensor) / 700 x 916 x 252 mm (platform)
Weight	3.3kg (sensor) / 30kg (platform)
Data Output	Polygon mesh STL, OBJ
Input	DC 24V, 5A, 120W
Interface	Gigabit Ethernet (Multi-channel for Pro model)
O/S	Windows 10 (64-bit)

KAYNAKLAR

[1] TUİK, (2022). https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Cevre-ve-Enerji-103.

[2] EPDK, (2021). https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/yillik-sektor-raporu.

[3] EIA, Monthly Energy Review February, (2023) Energy Consumption by Sector. http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/#consumption. Tables 2.1a—2.1b.

[4] Türkiye Elektromekanik Sanayi Genel Müdürlüğü Sektör Raporu, (2011). http://www.enerji.gov.tr

[5] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 Faaliyet Raporu https://enerji.gov.tr

[6] Narin M., ve Akdemir S., (2006). "Enerji Verimliliği ve Türkiye", UEK-TEK Uluslararası Ekonomi Konferansı, Türkiye Ekonomi Kurumu, sf. 2.

[7] Hu S., Liu F., He Y. ve Hu T., (2012). An on-line approach for energy efficiency monitoring of machine tools, Journal of Cleaner Production, cilt 27, pp. 133-140.

[8] Yan, J., and Li, L., (2013). Multi-objective optimization of milling parameters–the tradeoffs between energy, production rate and cutting quality, Journal of Cleaner Production, 52, 462-471.

[9] Shi K., Zhang D., Ren J., Yao C. ve Huang X., (2016). Effect of cutting parameters on machinability characteristics in milling of magnesium alloy with carbide, Advances in Mechanical Engineering, cilt 8, no. 1, pp. 168-179.

[10] Gok A., Demir H. ve Yaka H., (2017). Optimization of the cutting parameters affecting the surface roughness on free form surface, Sigma Journal of Engineering and Natural Science,, cilt 35, no. 2, pp. 323-331.

[11] Gok A., (2015). A new approach to minimization of the surface roughness and cutting force via fuzzy TOPSIS, multi-objective grey design and RSA, Measurement, cilt 70, pp. 100-109.

[12] Yang J. L. ve Chen J. C., (2001). A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations, Journal of Industrial Technology, cilt 17, no. 2, pp. 1-8.

[13] Mativenga, P.T., Rajemi, M.F., (2011). Calculation of optimum cutting parameters based on minimum energy footprint. CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol.60, No.1, pp. 149 – 152.

[14] Kara, S., Li, W. (2011). Unit process energy consumption models for material removal processes. CIRP Annals–Manufacturing Technology, Vol.60, No.1, pp. 37–40.

[15] Newman, S.T., Nassehi, A., Imani-Asrai, R., Dhokia, V., (2012). Energy efficient process planning for CNC machining. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 5 (2), 127-136.

[16] Jihong Y., Lin L., (2013). Multi-objective optimization of milling parameters e the tradeoffs between energy, production rate and cutting quality Journal of Cleaner Production 52 462-471

[17] He, Y., Liu, B., Zhang, X., Gao, H., Liu, X. (2012). A modeling method of task-oriented energy consumption for machining manufacturing system. Journal of Cleaner Production 23, 167-174

[18] Diaz, N., Redelsheimer, E., Dornfeld, D. (2011). Energy consumption characterization and reduction strategies for milling machine tool use. In: Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing: Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, pp. 263-267.

[19] Anderberg, S.E., Kara, S., Beno, T., (2010). Impact of energy efficiency on computer numerically controlled machining. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 224, pp. 531-541.

[20] Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland, J.W., Wakabayashi, T. (2004). Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication. CIRP Annals 53 (2), pp. 511–537.

[21] Şah, A., (2018). Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Kesme Enerjisine Etkisinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi.

[22] Schudeleit, T., Züst, S., Wegener, K. (2015). Methods for evaluation of energy efficiency of machine tools. Energy 93, 1964-70.

[23] Cai, W., Liu, F., Zhou, X., Xie, J. (2016). Fine energy consumption allowance of workpieces in the mechanical manufacturing industry Energy 114, 623-33.

[24] Eren N., Hayat F., Günay M. (2020). Sertleştirilmiş 1.2367 Takım Çeliğinin İşlenmesinde Enerji Tüketiminin Analizi ve Modellenmesi. İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları 1(3), 41-49.

[25] Altıntaş, R.S., (2014). Unsur Bazlı Frezeleme Operasyonlarında Enerji Tüketimi Karakterizasyonu ve Tüketimi Azaltma Stratejileri. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.

[26] Şahinoğlu A., Erbaş M., Güllü A. (2021). Yatay Freze Tezgahında Yüksek Talaş Derinliklerinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülük Değeri ve Güç Tüketimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi, 978-605-7594-91-4.

[27] Günay M., (2013). AISI 316L Çeliğinin İşlenmesinde Takim Radyüsü ve Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(3), 437-444.

[28] Pınarbaşı A., (2019). Al 7075'in CNC Frezelenmesinde İşlem Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Kesme Enerjisine Etkisinin Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu. Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarsus.

[29] Diaz N., Redelsheimer E., Dornfeld D., (2011). Energy Consumption Characterization and Reduction Strategies for Milling Machine Tool Use, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 978-3-642-19692-8_46.

[30] T. Behrendt, , Zein A, Min S., (2012). Development of an energy consumption monitoring procedure for machine tools, CIRP Annals - Manufacturing Technology 61, 43–46.

[31] Zhou L., Li J., Li F., Meng Q, Li J., Xu X. (2015) Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review, Journal of Cleaner Production, 1-14.

[32] Z. Zhou, C. Zhang, G. Tian, Y. Xie, W. Lin ve Z. Huang, (2016). Energy consumption modeling and prediction of the milling process: A multistage perspective, Journal of Engineering Manufacture, cilt 232, pp. 1973-1985.

[33] Karabulut Ş. ve Şahinoğlu A., (2018). R260 Çeliklerinin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Güç Tüketimi ve Makine Gürültüsü Üzerine Etkileri, Politeknik Dergisi, 21(1) : 237-244.

[34] Özdemir C. (2022). Al 6061-T6 Alaşımının Delinmesi Esnasında Kesme Bölgesindeki Sıcaklığa, Yüzey Pürüzlülüğüne ve Enerji Tüketimine Etki Eden Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.

[35] Öztürk, B. (2019). Prinç Boru Bağlantı Elemanının Seri Üretim Enerji Tüketiminde Optimizasyon, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 14(3):68-79.

[36] Şahinoğlu A., Yavuz M., Akkaş M. (2021). CBN Takımları ile DIN 1.2367 Çeliğin Sert Tornalanması Sırasında Güç Tüketimi ve Ses Seviyesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, GU J Sci, Part C, 9(2):262-271.

[37] J.-E. Ståhl, (2012). Metal Cutting - Theories and models, Division of Production and Materials Engineering, Lund University in cooperation with Seco Tools AB, Lund/Fagersta, Sweden.

[38] Aktaş E. (2021). Çeliklerin Talaşlı İmalat Prosesinde İşlenebilirlik Performansı ile İşletme Maliyeti Optimizasyonu. Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak.

[39] Tezel, T., Topal, E. S., & Kovan, V. (2018). Hibrit İmalat: Eklemeli İmalat ile Talaşlı İmalat Yöntemlerinin Birlikte Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Internatıonal Journal Of 3D Prıntıng Technologıes And Dıgıtal Industry, 2(3), 60-65.

[40] Schultheiss, F. (2013). On the Machinability of Ductile and Strain Hardening Materials, Media-Tryck, Lund University, Lund, Sweden, 1-173.

[41] Groover, Mikell P. (2007). Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Processes, and Systems. Hoboken, NJ :J. Wiley & Sons.

[42] Yaldız S. Talaşlı İmalat Yöntemleri Frezeleme – Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi.

[43] Gezgin, A., (2007). Prizmatik Parçaların Frezelenmesi Esnasında, Kesici Uç Sayısının Takım Ömrü ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi. Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112s, Ankara.

[44] Şahin, Y., (2003). "İmal Usulleri", Gazi Yayınevi, Ankara, 269–280.

[45] Çakır, C.M. (2000), "Modern talaşlı imalat yöntemleri", Vipaş A.Ş., Bursa, 232–235.

[46] Choudhury, I.A. and El-Baradie, M.A. (1997), "Surface Roughness Prediction In Turning of High-Strength Steel by Factorial Design of Experiments", Journal of Materials Processing Technology, 67: 55–61.

[47] Güllü, A., (1995), "Silindirik taslamada istenen yüzey pürüzlüğünü elde etmek için taslama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-30.

[48] Bhushan B, (2001), Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques. In: Modern Tribology Handbook, Bhushan B. (eds), CRC Press, 1, 49-119, USA.

[49] Thomas, T.R. (1981). Characterizing of suface roughness. Precision Engng, 1-3 (2), pp. 97-104.

[50] Sherington, I., Smith, E.H. (1987). Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Proc. Instn Mech. Engrs, 201 (c4), pp. 297-306.

[51] Kwon, Y., (2000), "Robust Control of Surface Roughness in a Turning Operation", Bell and Howell Information and Learning Company, The University of lowa.

[52] Işık, Y., Çakır, M.C., (2001), Hız Çeliği Takımlar için Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Teknoloji Dergisi, Yıl 4, Sayı 1-2, sayfa 111-118.

[53] Cheung, C.F., Lee, W.B., (2000), "A Theoretical and Experimental Investigation of Surface Roughness Formation in Ultra-Precision Diamond Turning", International Jurnal of Machine Tools & Manufacture, C: 40, 979-1002.

[54] Çodur Y., (2022). Yaşlandırma Uygulanmış 6063-T6 Alüminyum Alaşımının Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Form Hatalarına ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.

[55] Yang, W.H., Tarng, Y.S., (1998). "Design Optimization of Cutting Parameters for Turning Operations Based on the Taguchi Method", Journal of Materials Processing Technology 84, 122–129.

[56] Davim, J.P., (2003). "Design of Optimisation of Cutting Parameters for Turning Metal Matrix Composites Based on the Orthogonal Arrays", Journal of Materials processing Technology, 132, 340-344.

[57] Sudhaker, P.R. (1995). An Introduction to Quality Improvement Through Taguchi Methods, Industrial Engineering, 1, pp. 53.

[58] Byrne, D.M., Taguchi, S. (1986). The Taguchi Approach to Parameter Design ASQC Quality Congress Transaction, Anaheim. pp. 168-177.

[59] Bakır B., (2012). "Frezelemede Talaş Oluşumunun ve Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[60] Aydın M.E. (1994). Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Segman Sanayide Bir Uygulama, Standard, sf. 102 – 109.

[61] Şirvancı, M., (1997). Kalite İçin Deney Tasarımı "Taguchi Yaklaşımı", Literatür Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.

[62] Bass, I., (2007).: "Six Sigma Statistics with Excel and Minitab" McGraw-Hill Companies.

[63] Çınar A., (2017) "Teknik resim geometrik boyutlandırma & toleranslandırma www.etik.com.tr 1-51.

[64] Aydoğdu D., (2009). "Tel Erezyonda Kesme Parametrelerinin Parçanın Boyut Ve Şekil Toleranslarına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.

[65] Bakır, B., (2005). "CNC Freze Tezgahlarında Kullanılan Karbür Parmak Freze Takımı Geometrisinin İşlenebilirliğe Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.

[66] Kistler, https://www.kistler.com/?type=669&fid=78699&model=document, 29 Temmuz 2023

[67] Aydın, U., (2019). "Magnezyum Alaşımın Mikrofrezelenmesinde Kesme Şartlarının Yüzey Bütünlüğüne Etkilerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı **:** Hüseyincan SAĞIR

Yabancı Dil: **:** İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Derece	**Okul -Bölüm**	**Mezuniyet Yılı**
Yüksek Lisans	Marmara Üniversitesi- Makine Mühendisliği	-
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi- Makine Mühendisliği	2016
Lise	Samsun Anadolu Lisesi	2011

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görev**
2018-2021	Tersaneler Genel Müdürlüğü	Dizayn Başmühendisliği Ana Tahrik Sistem Mühendisi
2021-	Tersaneler Genel Müdürlüğü	ADKG Proje Kontrol Ofisi Teknik Üye
2023-	Tersaneler Genel Müdürlüğü	Gemi İnşa Başnühedisliği ADKG Proje Subayı