



**TAGUCHİ DENEY TASARIM YÖNTEMİ KULLANILARAK TEĞETSEL VE
ORTAGONAL TORNALAMA-FREZELEME YÖNTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Zahide KÜÇÜK
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Çetin ÖZAY

ARALIK-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAGUCHİ DENEY TASARIM YÖNTEMİ KULLANILARAK TEĞETSEL VE
ORTAGONAL TORNALAMA-FREZELEME YÖNTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zahide KÜÇÜK

(151143110)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Aralık 2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 29 Aralık 2017

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Çetin Özay

Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Ali Kaya GÜR

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ALTUĞ

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, her zaman yanımda olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Çetin ÖZAY'ave Öğr. Gör. Hasan BALLIKAYA'ya teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca benden manevi desteklerini esirgemeyen aileme, hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Zahide KÜÇÜK

ELAZIĞ – 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. GENEL BİLGİLER.....	7
3.1. Talaşlı İmalat	7
3.1.1.Talaşlı İmalat Teknolojisi	8
3.1.2. Talaş Kaldırma Modeli	9
3.1.3. Kesme Koşulları	10
3.1.4. Talaşlı İmalatta Talaş Oluşum Teorisi	11
3.1.5. Ortogonal Kesme Modeli	11
3.1.6. Gerçek Talaş Oluşumu	12
3.2. Talaş Kaldırma Sistemlerinin Esasları.....	14
3.2.1.Tornalama	15
3.2.2. Frezeleme	16
3.2.3.Matkap.....	17
3.2.4. Taşlama	17
3.2.5. Planyalama.....	18
3.2.6. Vargel	19
3.3. Tornalama-Frezeleme Yöntemi ve Çeşitleri	19
3.3.1. Ortogonal Tornalama-Frezeleme Yöntemi	21
3.3.2. Paralel Eksenli Tornalama-Frezeleme Yöntemi	22
3.3.3. Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemi.....	23
3.4. Kesme Parametreleri	24
3.4.1. Kesici Takım	24
3.4.2.Kesme Hızı.....	25
3.4.3. Talaş Derinliği.....	25

3.4.4. İlerleme	25
3.4.5. Takım Ömrü	25
3.4.6. Aşınma	26
3.4.7. İş Parçası Malzemesi	26
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü	26
3.5.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler	27
3.5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesindeki Parametreler	28
3.5.3. Aritmetik Ortalama Pürüzlülük, Ra.....	28
3.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Yapan Cihazlar ve Teknikleri	28
3.6.1. Elektriksel çalışan Sivri Uçlu Cihazlar	29
3.6.2. Dokunarak Yüzey Değerlendirme ve Mekanik Çalışan Cihazlar	29
3.7. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu.....	31
3.7.1. Taguchi Felsefesi.....	32
3.7.2. Taguchi Yöntemi	33
3.8. Anova Varyans Analizi	37
3.8.1. Kareler toplamının bulunması	38
3.8.2. Serbestlik derecesinin bulunması.....	39
3.8.3. Ortalama karelerin (Varyans) bulunması.....	39
3.8.4. F değerinin bulunması	40
3.8.5. % Dağılımın bulunması	40
4. MATERYAL VE METOT	41
4.1. Çalışmanın Amacı	41
4.2. Çalışmada Kullanılan Malzeme ve Kesici Takım.....	41
4.2.1. İş Parçası Malzemesi	41
4.2.2. Kesici Takım Malzemesi	42
4.3. İşleme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Deney Planının Hazırlanması	44
4.4. Teğetsel Tornalama-Frezeleme Deneyleri.....	47
4.5. Ortogonal Tornalama-Frezeleme Deneyleri	47
4.6. Deney Sonuçların Ölçülmesi.....	48
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	50
5.1. Ortogonal ve Teğetsel Tornalama-Frezeleme Deneylerinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi.....	50
5.1.1. Ç1040 Çeliğinin Ortogonal ve Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemi ile İşlenmesindeki Deneylerin Sonuçları.....	50
5.1.1.1. İşleme Yöntemi ve Kesici Takım Devri Parametrelerinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi	52
5.1.1.2. İş Parçası Devri ve Talaş Derinliği Parametrelerinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi	53

5.1.1.3. Eksenel İlerleme Hızı Parametresinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi	54
5.2. Ç1040 Çelik Malzemesinin Tornalama-Frezeleme Yöntemleri ile İşlenmesinde Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünün ANOVA Varyans Analizi	56
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	57
6.1. Öneriler	58
KAYNAKLAR.....	59



ÖZET

Tornalama-frezeleme, son zamanlarda imalat sektöründe hızlı bir gelişme ve araştırma gereği duyulan bir imalat yöntemidir. Tornalama ve frezeleme yöntemlerinin bir kombinasyonu olmasından dolayı işleme parametreleri de fazladır. Yapılan bu çalışmada tornalama-frezeleme yöntemlerinden ortagonal ve teğetsel çeşitleri deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Taguchi deney tasarım yönteminde L36 ortagonal dizini kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deney parametreleri işleme yöntemi, kesici takım devri, iş parçası devri, talaş derinliği ve eksenel ilerleme hızı seçilmiştir. Çalışmada seçilen bu parametrelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiki olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda işleme parametrelerinden işleme yöntemi parametresinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok etkili olduğu, teğetsel işleme yönteminin ortalama yüzey pürüzlülüğünü önemli bir oranda düşürdüğü belirlenmiştir. İş parçası devrinin de büyük bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Diğer parametrelerin ise ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha az etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tornalama-frezeleme, Yüzey Pürüzlülüğü, Taguchi Yöntemi

SUMMARY

Comparison of Tangential and Orthogonal Turning-Milling Methods Using Taguchi Experimental Design Method

Turning-milling is a method of manufacturing that has recently been in need of rapid development and research in the manufacturing sector. Because of the combination of turning and milling methods, the processing parameters are too high. In this study, orthogonal and tangential types of turning-milling methods were experimentally compared. Experiments were carried out using the L36 orthogonal array in the Taguchi experiment design method. The experiment parameters, the machining method, the cutting tool speed, the workpiece speed, the depth of cut and the axial feed rate were selected. The effects of these parameters on the average surface roughness were determined experimentally and statistically. As a result of this study, it was determined that the processing method parameter of the processing parameters was very effective on the average surface roughness, and the tangential processing method significantly reduced the average surface roughness. It was determined that the workpiece transfer had a great influence. However the other parameters were found to have much more effect on average surface roughness.

Key Words: Turning-Milling, Surface Roughness, Taguchi Method

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3. 1. Talaş oluşumunun kesit görünüşü (talaş açısı pozitif - negatif olan kesici takım.....	7
Şekil 3.2. Ortogonal kesme modeli: (a) üç boyutlu model ve (b) iki boyutlu model.....	11
Şekil 3.3. Talaş oluşumunda gerçekçi bir kesit.....	13
Şekil 3.4. Talaş oluşum şekilleri	14
Şekil 3. 5. Tornalama işleminin şematik gösterimi.....	15
Şekil 3.6. Klasik torna tezgâhı	15
Şekil 3.7. Frezeleme operasyonu	16
Şekil 3.8. Freze tezgâhı	16
Şekil 3.9. Matkap Tezgâhı	17
Şekil 3.10. Taşlama tezgâhı	18
Şekil 3.11. Planya tezgâhı	18
Şekil 3.12. Vargel tezgahı	19
Şekil 3.13. Tornalama-frezeleme çeşitleri ve hareket sistemleri	20
Şekil 3.14. Ortogonal tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi	21
Şekil 3.15. Ortogonal tornalama-frezelemede simetriklik ve eksantriklik.....	22
Şekil 3.16. Paralel eksenli tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistem	23
Şekil 3.17. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin sistematik gösterimi	24
Şekil 3.18. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi.....	24
Şekil 3.19. Yüzey pürüzlülüğü.....	27
Şekil 3.20. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	27
Şekil 3.21. Aritmetik ortalama	28
Şekil 4.1. İş parçası	42
Şekil 4.2. Kesici takım ölçüleri.....	43
Şekil 4.3. Freze tezgâhı	43
Şekil 4.4. Tornalama görevi gören düzenek.....	44
Şekil 4.5. Teğetsel tornalama-frezeleme işlemi	47
Şekil 4. 6. Ortogonal tornalama-frezeleme işlemi.....	48
Şekil 4.7. Yüzey pürüzlülük cihazı ve ölçüm için tasarlanan düzenek	49
Şekil 5.1. İşleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi	52
Şekil 5. 2. İşleme şekli ve kesici takım devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.....	53

Şekil 5. 3. İş parçası devrinin ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	54
Şekil 5.4. Kesici takım devrinin ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	55
Şekil 5.5. İşleme parametrelerinin S/N oranına etkisi.....	55



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. 2^k ve Taguchi dizaynı deney planları	34
Tablo 3.2. S/N oranı formülleri	37
Tablo 4. 1 Ç1040 malzeme özellikleri.....	42
Tablo 4. 2. Ç1040 malzeme standartları	42
Tablo 4.3. Ç1040 malzemesinin kimyasal bileşimi (%).....	42
Tablo 4.4. Deneydeki parametreler ve seviyeleri	45
Tablo 4.5. Deney planı.....	46
Tablo 5.1 Deney sonuçları	51
Tablo 5.2. Ç1040 çeliğinin tornalama-frezeleme yöntemleri ile işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğünün ANOVA analizi	56

SEMBOLLER LİSTESİ

T	:Kesici takımın ömrü
V	:Takımın kesme hızı
t	:Talaş derinliği
f	:İlerleme miktarı
K_A	:Kesme açıları
TM	:Takım / iş parçası malzemesi çifti
R	:Kesici uç radyüsü
d	:Paso
Q	:Talaş kaldırma oranı
Φ	:Kayma düzlemi açısı
t_o	:Kesme derinliği () ile
t_c	:Talaş kalınlığı () oranına
I_s	:Kayma düzlemi uzunluğu
γ	:Kayma birim şekil değişimi
Ra	:Profilin ortalama pürüzlülüğü
Rz	:Maksimum profil yüksekliği (ortalama)
Rt	:Maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı
Rp	:Maksimum tepe yüksekliği (ortalama).
k_A	:A faktörü seviye sayısı
N	:Dizideki toplam deney sayısı
V_o	:Hata serbestlik derecesi
SS_T	:Tüm değerlerin kareleri toplamı
SS_A	:A faktörü için kareler toplamı
SS_o	:Hata kareleri toplamı
V_A	:A faktörünün serbestlik derecesi
V_B	:B Faktörünün serbestlik derecesi
V_{AxB}	:A ve B faktörleri etkileşiminin serbestlik derecesi
V_T	:Dizinin toplam serbestlik derecesi
V_O	:Hata varyansı
N	:Elde edilen toplam veri sayısı

n_A	:A faktörü için veri sayısı
T	:Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması
y_i	:Gözlenmiş değer
k_A	:A faktörünün kademe sayısı
W	:Varyans
S/N	:Sinyal/gürültü oranı
O.T.F.	:Ortogonal tornalama-frezeleme
T.T.F.	:Teğetsel tornalama-frezeleme



1. GİRİŞ

Modern CNC tezgâhları çok karmaşık geometrilere sahip parçaların işlenmesinde yüksek kesme hızı, hassasiyet ve daha iyi verim elde etmek için imal edilmiş bilgisayar kontrollü tezgâhlardır. Gün geçtikçe CNC takım tezgâhlarının hassasiyeti, verimi, karmaşık yapıli parçaların işlenmesi ve işleme hızını artırma amacı ile farklı eksenler tanımlanmakta, farklı geometri ve işleve sahip kesici takımlar tasarlanmaktadır [1,2]. Tornalama- frezeleme yöntemlerde son yıllarda iş parçası ve kesici takımların eş zamanlı hareket etmesine imkân sağlayan yöntemler olarak ortaya çıkmışlardır. Endüstrinin birçok alanında kullanılan silindirik parçaların işlenmesinde genellikle tornalama işlemine tabii tutulan parçalar yüzey kalitesinin artırılması ve ölçü tamlığına getirilmesi için taşlama işlemlerine tabi tutulmaktadır. Bu da üretimi yavaşlatmakta ve maliyeti arttırmaktadır. Üretimdeki en önemli faktörler zaman, maliyet ve yüzey kalitesidir. Geleneksel yöntemlerden olan taşlama, tornalama gibi yöntemler ile silindirik parçalar işlenirken dezavantajlar oluşmaktadır. Bu dezavantajları gidermek amacıyla tornalama-frezeleme yöntemi geniş bir alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Verimlilik ve kalite yönünden daha iyi olan kesici ağızlı takımlar daha fazla önem kazanmışlardır. Bu tür uygulamalar genellikle düzlemsel yüzeylere gerçekleştirilir. Tornalama işlemlerinde çok kesen ağızlı takımlar kullanılarak benzer avantajların, özellikle yüksek miktarda talaş kaldırmanın [8], dönel yüzeyler için de elde edilmesi freze takımlarının kullanılmasıyla sağlanabilir. Tornalama işleminde talaş kaldırılırken kesici takım sadece bir bölgeden iş parçasına temas eder. Buna bağılı olarak kesici takımın iş parçasına temas ettiğı yüzeyde yüksek miktarda ısınma meydana gelmekte ve kesici takım kısa sürede körlenerek kesici olma özelliğini kaybetmektedir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünde de artış meydana gelmektedir. Yüzey kalitesini arttırmak amacıyla kesici takımın değıştirilmesi gerekir. Bu seçenek de maliyeti arttırmaktadır. Üstelik kesici takımın temas ettiğı süre boyunca ilerleme sürekli olarak devam ettiğı için yüzeyin tamamında temas oluşmamakta ve böylece yüzey pürüzlülüğü artış göstermektedir. Bu bağlamda, tornalama-frezeleme yönteminde kesici takım talaş kaldırma işlemi yaparken birden fazla ağız temas etmektedir, ayrıca kesici takım da döndüğü için iş parçası ve kesici takım ağızları arasında oluşan temas uzunluğu azalmaktadır. Bu azalmadan dolayı kesici takım ağızında oluşacak körelme gecikmekte ve oluşacak yüzey pürüzlülüğü de azalmaktadır.

Kesici takım dönel olduğu için talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilirken meydana gelen ısı da azaltmaktadır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Son zamanlarda imalat sektöründe rekabete bağlı olarak çok eksenli talaş kaldırma mekanizmaları üzerinde ciddi araştırmalar yapılmıştır. Özellikle tornalama-frezeleme yöntemi ilgi odağı hali gelmiştir. Bu yöntem ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Schulz H. ve diğ, Tornalama ve frezeleme gibi klasik tezgahların birbirine entegre edilmesi ile oluşturulan yeni tezgaha; özellikle bağlama zamanını azaltarak imalat sürelerini kısaltması ve maliyeti düşürdüğünü belirtmişlerdir [3].

Shulz H., motorlarda kullanılan rulman yatak gövdelerini tornalama-frezeleme yöntemi ile işlemişlerdir. Yöntemin tornalama yönteminden daha düşük yüzey pürüzlülüğü değeri verdiğini gözlemlemiştir [4].

M. Pogacnik ve J. Kopac, tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin dinamik dengesizliğe olan etkilerini inceleyip tornalama yöntemiyle kıyaslamıştır. Yaptığı çalışmada oluşmuş olan merkezkaç kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünde olan farklılığı araştırmıştır [5].

J. Kopac ve M. Pogacnik, yapmış oldukları çalışmada tornalama-frezeleme işleminde kesici ve iş parçası konumunun ve ayrıca titreşimin yüzey kalitesinin üzerindeki etkisini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir [6].

S.K. Choudhury J.B. Bajpai, yaptıkları çalışmada ortagonal tornalama-frezeleme yöntemindeki farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde oluşan etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları bu incelemeler sonucunda yüzey pürüzlülüğünün klasik frezeleme yöntemine kıyasla ortagonal tornalama-frezeleme yönteminde daha düşük olduğunu gözlemlemiştir [7].

Vedat savaş ve Çetin Özay, genetik algoritma yöntemini kullanarak teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde oluşan etkisini araştırmış ve optimizasyonunu yapmışlardır. Çalışmalarında kesici takım ve iş parçası devrinin artırılmasının belirli bir değere kadar yüzey kalitesini arttırdığını o değerden daha da fazla arttırıldığında yüzey kalitesinin düştüğünü ifade etmişlerdir [8].

Vedat savaş ve Çetin Özay geliştirdikleri yeni bir yöntem olan teğetsel tornalama-frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan araştırmalar neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin taşlama kalitesine yakın bir değerde olduğunu tespit etmişlerdir [9].

Yuan-Shin Lee, Chuang-Jang Chiou, yapmış oldukları çalışmada tornalama-frezeleme yöntemi ile eş eksenli olmayan iş parçaları işlemişlerdir. Bu parçaların işlenmesinde uygun kesme şartlarını araştırmışlardır. Eş eksenli olmayan iş parçalarının işlenmesinde tornalama-frezeleme yönteminin tornalamaya göre daha üstün olduğunu belirtmişlerdir [10].

Karagüzel ve diğ., ortagonal, teğetsel ve eş eksenli tornalam-frezeleme yöntemlerinde kesme kuvvetlerini, daireselliği ve yüzey kalitesi sonuçlarını analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçların oluşturulan analitik model sonuçları ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [11].

Karagüzel ve diğ., ortagonal tornalama-frezeleme işleminde takım ofset yerinin kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi ve takım ömrü üzerindeki etkilerini analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan deneysel ve analitik çalışmalar neticesinde takım ofset yerinin sonuçlar üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir [12].

Ratnam ve diğ., ortagonal ve teğetsel tornalama-frezeleme yöntemlerini kullanarak, kesme parametrelerinin titreşim ve yüzey pürüzlülüğü incelemişlerdir. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin ortagonal yöntemle göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [13].

Pujana, ve diğ., ortagonal tornalamada uygulanan yüksek hızlı işlemin fotoğraflarını elde etmişlerdir. Ortagonal tornalama testlerinde çelik işleme sırasında talaş oluşturma alanına odaklanan bir dizi dondurulmuş görüntünün gözlemini yapmışlardır. 42CrMo4 çeliğinde talaş geometrisi, kayma açısı, gerinme, gerinim oranı, talaş kalınlığı ve takım titreşim genliğini ölçmüşlerdir. Akış desenlerinin yer değiştirmesiyle elde edilen bilgiler plastik değişkenlerin ölçülmesine izin vermiştir. Gerinim ve gerinim oranı sonuçlarını hesaplayıp analitik modelleme ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda yüksek hızlı işlemede kesme açısı, talaş kalınlığı, takım titreşimi, gerinim hızı ve genliği, gerinme ve talaş topolojisi fotoğrafçılıkla ilgili çalışmalarla gözlemlenmiştir [14].

Pontes, ve diğ., temel radyal optimizasyon tahmini için kullanılan sinir ağı Taguchi'nin ortagonal dizinlerini kullanarak kaba torna işleminde yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Bu çalışma, radyal taban fonksiyonunun (RBF) sinir ağlarının tahmini için uygulanabilirliği üzerine bir çalışma sunmaktadır. Tasarımda; radyal birim sayısı, algoritma, radyal merkezlerin seçimi ve radyal fonksiyonun yayılma faktörünün seçimi için algoritma faktörleri göz önüne alınmıştır. Elde edilen Yapay Sinir Ağları (ANN)

modelleri, doğru ve hassas yüzey pürüzlülüğü sağlar. Bu çalışma deneylerin tasarımının uygulanmasını önermektedir [15].

San-Juan, ve diğ., ortagonal frezelemede kesme kuvvetlerinden sürtünmeyi deneysel olarak incelemişlerdir. Mevcut çalışma ortagonal frezelemede sürtünme çalışması için kullanılan prosedürü göstermektedir. Kesme kuvvetlerini ölçmek için kullanılan ekipman, dönen bir dinamometre ve çok kanallı taşınabilir bir veri toplama sistemi içerir. Dinamik sistem problemlerini azaltmak için sinyal filtresi uygulanmıştır. Kesme kuvveti (F_c) ile radyal kuvvet (F_r) arasındaki ilişkinin analizini, bağımlılığını ve sürtünmenin kesme hızına etkisini incelemişlerdir. Frezeleme işleminde iş parçası malzemesinin% 80'inde kesme kuvvetinin (F_c) azaldığını ve sürtünmenin arttığını gözlemlemişlerdir [16].

Zhou., ve diğ., grafitin ortagonal kesimiyle ilgili deneylerin mikro fotoğraflarını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuç; Sığ kesme derinliğinde sıkıştırma ile indüklenen makaslama ile yarı sürekli talaş oluşmuştur. Kesme derinliği arttıkça, talaş oluşumu modu ezilmiş parçacık haline sorunsuz geçmiştir ve sonunda kırık parçacık haline gelmiştir. Derinlik ne kadar fazla olursa kesme kuvveti arttığı için işlenen yüzey kaba hale gelir. Kesme kuvvetinin dalgalanmalarında kesme derinliği oldukça önemlidir. Kesme sırasında meydana gelen belirli dalgalanma özelliklerine sahip kuvvet ile özel talaş oluşumu meydana gelir. Kesme derinliğinin azaltılması ile kesme stabilitesi artırılabilir [17].

Egashira, ve diğ., mikro aletler için tasarlanmış bir mikro torna-freze makinesi geliştirip çeşitli kesitlere sahip mikro pimleri imal etmek için kullanmışlardır. Sonuç olarak, sadece silindirik iğneleri değil, kesitleri kare, üçgen ve çapraz şekilleri olanları da içeren çeşitli pimleri başarıyla üretmişlerdir. Üstelik işlenmiş şekil ve yüzey kalitesi gibi kesme özelliklerini de araştırmışlardır. İşlenmiş şekiller, aşağı kesmeli torna-frezelemede aşağı doğru kesme frezelemede veya döndürmeyle karşılaştırıldığında daha iyi olmuştur. Bunun tersine, dönme, yüzey kalitesi açısından dönüşlü freze işleminden daha başarılı olmuştur [18].

Çomak ve Altıntaş., kesme kuvvetleri, tork ve güç gereksinimlerini tespit etmek için tornalama-frezeleme işlemlerinin mekaniğini araştırmışlardır. Talaş kalınlığı, radyal daldırma, takım yolu boyunca gerçek beslemenin değişimi ve sonuçtaki kesme torku / güç / kuvvet değerleri, takım tezgahının kinematik konfigürasyonu tarafından yönetilen hem iş parçası ve hem de kesici takım hızlarıyla eşleşmiştir. Çalışma, makine ve takımın beş eksenli kinematiği tarafından belirlenen, takım ve iş parçası hızlarının bir fonksiyonu olarak gerçek besleme hızı hesaplamasının yeni bir matematiksel modelini sunmaktadır [19].

Karagüzel, ve diğ., iki geleneksel işleme operasyonunu birleştiren umut verici bir kesme işlemi olan dönüş frezelemesinin modellenmesi için analitik yaklaşımı sunmuşlardır. Çalışmanın amacı, torna frezeleme işlemleri için bir proses modeli geliştirmektir. Bu makalede, ortagonal, teğetsel ve eş eksenel torna frezeleme işlemleri için ilk kez kesikli talaş geometrisi ve takım-iş parçası bağlantı limitleri tanımlanmıştır. Yeni bir analitik dönüş-freze kuvvet modeli de deneyler ile geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. Ayrıca daha fazla kesme yüksekliği, dairesellik ve çevresel yüzey pürüzlülüğü gibi frezelemede işlenmiş parça kalitesi ile ilgili konular tanımlanmış ve analitik ifadeler türetilmiştir [20].

Bu çalışmada literatürden farklı olarak  1040 malzemesini teğetsel tornalama-frezeleme ve ortagonal tornalama-frezeleme yöntemlerini kullanarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu yöntemler birbiri ile kıyaslanmıştır.

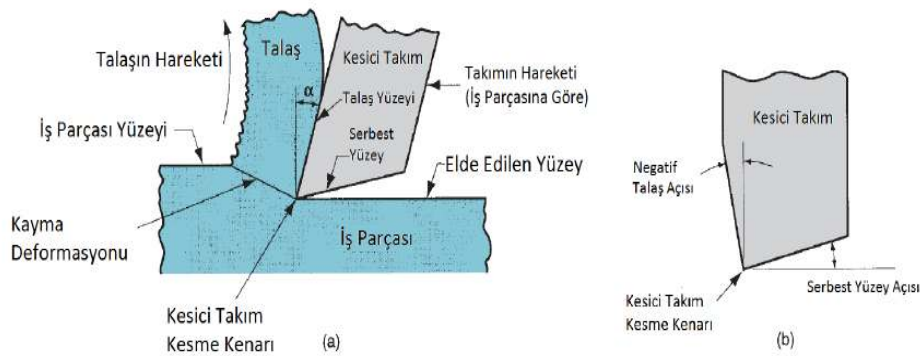
3. GENEL BİLGİLER

3.1. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat daha önce tasarımı ve konstrüksiyonu yapılmış olan, imalat aşamaları belirlenmiş olan makine elemanının, bu süreçle uygunluk sağlayan talaşlı imalat tezgâhlarında, belirlenen kesici takımların aracılığıyla kesme işlemi yapılarak şekillendirilmesini sağlayan bir imalat yöntemidir. Talaşlı imalat, kesici takım ile iş parçasının birbirlerine göre izafi hareketi neticesinde iş parçası yüzeyinde bir gerilim oluşturarak gerçekleştirilir [21].

Talaşlı imalat yöntemleri; parça üzerinden talaş kaldırma işlemi yapılarak şekillendirme yapan üretim yöntemleridir. Frezeleme, tornalama, taşlama, vargelleme, planyalama, honlama işlemleri bu grupta incelenir [21].

Talaşlı imalat yönteminde etkin olan kesme işlemi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Talaş oluşturmak amacıyla iş parçası yüzeyinde kayma deformasyonu oluşturmak gerekir. Bu sayede talaş kaldırma işlemi ile yeni bir yüzey ortaya çıkar. [22]



Şekil 3. 1. Talaş oluşumunun kesit görünüşü (talaş açısı pozitif - negatif olan kesici takım

Talaşlı imalat yönteminin önemini anlatan nedenler şöyle özetlenebilir;

- İş parçası malzemesindeki çeşitlilik; farklı iş parçası malzemeleri kullanılabilirken genel bağlamda bütün katı metaller işlenebilir. Ayrıca plastikler ve plastik içerikli kompozitler de işlenebilirken seramikler, yüksek sertlikleri ve gevreklikleri nedeniyle sorun meydana getirebilirler. Fakat aşındırıcı talaş kaldırma yöntemleri kullanılarak işlenebilirler.

- Parça şeklinin çeşitliliği; düzlemler, silindirik kesitler, dairesel delikler gibi şekli düzgün olan parçalar kolaylıkla oluşturulabilir. Ayrıca kesici takımın şekli ve takım yolundaki çeşitlilikler ile T-kanal ve vida dişi gibi şekli düzgün olmayan parçalar da elde edilebilir. Birden fazla işlem operasyonu ardı ardına uygulanarak birçok farklı ve zorlu şekiller oluşturulabilir.
- Boyutsal hassasiyet; düşük toleransa sahip ölçüler talaşlı imalat yöntemiyle elde edilebilir. Hatta $\pm 0,025$ toleransındaki ölçüler diğer imalat yöntemlerinden daha hassas olan bazı talaşlı imalat yöntemlerini elde etmek de mümkündür.
- İyi yüzey kalitesi; yine bu yöntemle çok iyi yüzey kalitesi elde etmek mümkündür. Hatta yüzey pürüzlülüğü 0,4 mikronun altına indirilebilir. Bunun yanı sıra aşındırıcı talaş kaldırma yöntemleri kullanılarak daha iyi yüzey kalitesi elde edilebilir.
- Talaşlı imalat yöntemi ve diğer talaş kaldırma yöntemlerinin bazı negatif yönleri de şöyle sıralanabilir;
- İş parçası malzemesinin israf edilişi; oluşturulan talaşlar nedeniyle iş parçası malzemesinde israf söz konusudur. Talaşların geri dönüşümü mümkün ise de yapılan her işlem için israfa neden olur.
- İşleme süresi; bu yöntemdeki işlemlerde elde edilmek istenen parça şekli için, dövme ve döküm gibi alternatif yöntemlere kıyasla daha fazla üretim süresi gerekir [22].

3.1.1.Talaşlı İmalat Teknolojisi

Talaşlı imalat teknolojisi talaş oluşturma işleminden ibarettir. Bu İşlemin esas amacı metal malzemeyi belirlenen şekle ve boyuta getirmek olsa da işlemde uygun talaş oluşumunun sağlanması gereklidir. Talaşlı imalat teknolojisi; içinde malzeme, kimya, statik, ısı, gibi birçok farklı bilim dalını barındıran dinamik bir teknolojidir[23].

Talaş kaldırma işleminin prensibi; kesici takımın iş parçasının üzerine kuvvet yönünde bastırılmasıyla malzemede oluşan elastik ve plastik şekil değişimlerinin ardından akmaların başlamasıyla gerilmelerin malzemenin kopma sınırını geçmesi anında talaş olarak isimlendirilen belirli bir yüzey tabakasının iş parçasından ayrılmasına dayanır [21].

Talaş kaldırma işlemine etki eden faktörler şöyle sıralanabilir;

- Takım-iş parçası malzemesi çifti (TM)

- Talaş derinliği (t)
- Kesici takımın ömrü (T)
- Kesme açıları (KA)
- Kesme hızı (V)
- İlerleme miktarı (f)
- Kesici uç radyüsü (R)
- Titreşim (Vİ)
- Soğutma sıvısı

Bu faktörler bir fonksiyon olarak ifade edilirse; $F(T, V, f, t, KA, Vİ, TM, R)=0$

Talaşlı imalat teknolojisi hem malzemelerde oluşan gelişmeler ve geliştirilen imalat stratejilerine hem de takım endüstrisinde meydana gelen gelişmeler nedeniyle devamlı bir değişim içerisinde. Böyle değişimlerle modern takım malzemeleri, kesici geometrileri ve kesici takım tespit yöntemleri de gelişmektedir. Böylece imalat alanında daha düşük maliyetli üretim alternatifleri ortaya çıkmaktadır [21].

Talaşlı imalat kesme parametrelerinin belirlenmesinde düşük maliyetli imalat ile ideal takım ömrü seçimi önemli bir rol oynar. Fazlasıyla zor olan bu işlem takım - iş parçası malzemesi çifti, kesme koşulları, takım tezgâhı ve kesici takıma bağlıdır [21].

3.1.2. Talaş Kaldırma Modeli

Talaş kaldırma teorisinin temelini talaş kaldırma olayının fiziki açıdan incelenmesi oluşturmaktadır. Ayrıca aşınma, kuvvet, sürtünme, ömür, sıcaklık, enerji gibi diğer incelemeler de talaş kaldırma teorisine dayanır [21].

Talaş kaldırma işlemi esnasında, tezgâh - kesici takım - iş parçası arasında bir ilişki kurulurken “kesme” kavramının iyi bilinmesi gerekir. Metal ve metal alaşımlarını işlerken kullanılan kesici takımların kesme kenarları keskin olduğu halde, talaş kaldırma işlemi esnasında meydana gelen gerilmelere karşı zorlanma söz konusudur. Bu nedenden dolayı kesici takımın dayanıklılığını sağlamak için en uygun kesit değeri ile kesmeyi kolaylaştıran ideal açıları yani bir diğer bağlamda ideal takım geometrisini belirlemek için pek çok araştırma yapılmıştır [21].

İlk çalışma, 1851’de Finnie Cocquilhat tarafından delme işleminde oluşan işi hesaplamak amacıyla yapılmıştır. 1873’te Hartig, kesme iş cetvellerini oluşturup bunları bir kitapta yayınlamıştır. Oluşan talaş şeklinin biçimlenmesi konusunda yapılan ilk çalışmalar ise 1870’de Time ve 1873’te Fransız bilim adamı Teresca tarafından yapılmıştır.

Daha sonra 1881’de Mollock, malzeme kesiminde, oluşan talaş biçimlenmesinde kesme metodunun esas olduğunu ileri sürmüş ve kesici takım yüzeyinde oluşan sürtünmenin etkisini incelemiştir. Kısmi olarak biçimlendirilen talaşın özellikleriyle talaş çeşitlerini ortaya çıkarmıştır. Takım ucu ve kesme sıvısı parametrelerinin kesme metoduna olan etkisini araştırmış, ayrıca dengesiz kesme metotlarını incelemiştir. Bu alanda yaptığı çalışmaların birçoğu bugün kullanılan modern teorilerin de esasını oluşturacak kadar büyük ölçüde etkili olmuştur [21].

Fakat kesme mekaniği alanında en etkin çalışmaları, bugün de yaygın şekilde kullanılan haliyle Taylor 1900’lü yıllardan sonra ortaya koymuştur. Taylor yaklaşık olarak 26 yıl boyunca yaptığı deneyleri ve inceleme birikimlerini toparlayarak, talaş kaldırma işlemleri esnasında kesme parametreleri ve takım malzemesinin takım ömrü üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu incelemeler sonucunda prensip olarak en ideal kesme şartlarını uygulamayı sağlayan ampirik formüller geliştirmiştir. Yaptığı bu çalışmalarla yaşadığı günün şartlarında çalıştığı kurumdaki verimi %500 civarında arttırmıştır. Bulduğu yöntemlerin günümüzde de kullanılması önemli bir ayrıntıdır. Taylor’un bir diğer önemli buluşu da, kesici takım ile kesme kenarı yüzeyinde meydana gelen sıcaklıklar sonucunda takım aşınma oranını kontrol edebilmesidir. 1941 yılında Ernst ve Merchant tarafından bu yöntemler daha fazla geliştirilerek talaş oluşum mekaniği olgunlaştırılmıştır. Merchant prensipleri olarak da bilinen bu prensipler bugün de yaygın olarak kullanılmaktadır [21].

Tresca, ve diğ. gibi bilim insanları metal talaş oluşum teknolojisinde gelişme sağlamışlardır. Bu bilim insanlarının ortaya koyduğu prensiplerden yola çıkılarak kesme kavramı açıklanacaktır [21].

Kesme; kesici takım kullanılarak malzeme yüzeyinin bir bıçak gibi ayrılmasıdır. Takım kesici kenarı, malzeme ile takım yüzeyinin belirli bir açı altında kesişmesiyle meydana gelir. Bileme yoluyla oluşturulmuş olan kesici kenar, ekmek kesme olayındaki gibi, malzeme gövdesinin içinde simetrik olarak zorlanır ve aynı anda gövde içerisinde kesici kenara paralel olarak hareket ettirilir. Kesilen malzemenin gövdesi, kesici takımın yüzeyleri tarafından ikiye ayrılmaya zorlanır. Bilinmiş olan kesici kenar, gövdenin düşük bir kuvvetle parçaların daha az pürüzlü bir şekilde kesilmesini sağlar [21].

3.1.3. Kesme Koşulları

Talaşlı imalat işlemini gerçekleştirmek için, takım ile iş parçası yüzeyi arasında izafi bir hareket gereklidir. İlk hareket belirlenen bir kesme hızı (v) ile gerçekleştirilir, birimi

mm/s'dir. Bunun yanı sıra kesici takımın iş parçası üzerinde hareket etmesi sağlanmalıdır. Bu hareket ilerleme (f) olarak tanımlanır, birimi mm'dir ve daha yavaş bir hareket söz konusudur. İş parçasının kesme işleminden önceki yüzeyi ile kesme işleminden sonra elde edilmiş yüzey arasındaki mesafe paso (d) olarak tanımlanır ve birimi mm'dir. Kesme hızı, ilerleme ve paso parametreleri aynı zamanda kesme koşulları olarak isimlendirilir. Bu parametreler kullanılarak birden fazla işlem için talaş kaldırma oranı (Q) şöyle hesaplanabilir [22];

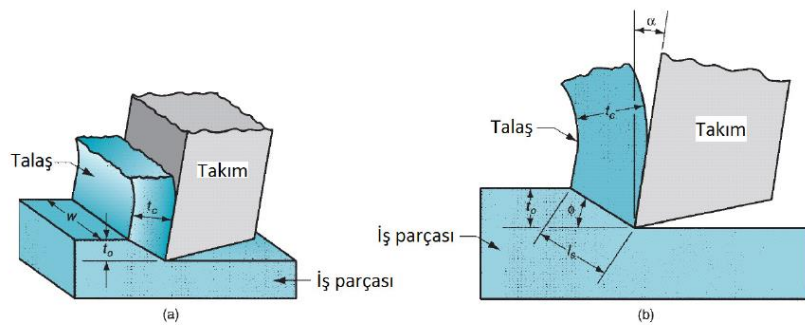
$$Q = v.f.d \text{ (mm}^3\text{/s)} \quad (3.1)$$

3.1.4. Talaşlı İmalatta Talaş Oluşum Teorisi

Genelde talaşlı imalat işleminde karmaşık geometriler mevcuttur. Fakat talaşlı imalatın basit hale getirilen bir modeli, talaş oluşum mekanizmasını tanımlamak için gereklidir. Tanımlanan model ortogonal kesme modeli olarak isimlendirilir. Gerçek bir talaşlı imalat işlemi üç boyutlu iken, ortogonal kesme modeli iki boyutludur ve bu model analizde büyük bir etkiye sahiptir [22].

3.1.5. Ortogonal Kesme Modeli

Ortogonal kesme modelinde, kesici takımın kesme kenarı yüzeyi kesme hızı doğrultusuna diktir. Kesici takım malzemeye doğru ilerledikçe, kayma düzlemi adı verilen düzlem üzerinde oluşan kayma deformasyonu talaş oluşumu gerçekleştirir. Oluşan kayma düzlemi ile malzeme yüzeyi arasında kalan açıya kayma düzlemi açısı (Φ) denir. Şekil 3.2.'de bu model gösterilmiştir. Talaşlı imalat yönteminde oluşan mekanik enerjinin büyük bir bölümü kayma düzleminde plastik deformasyonun meydana gelmesi nedeniyle harcanır. Ortogonal kesme modelinde takımda iki açı tanımlanır. Bu açılar; talaş açısı ve serbest yüzey açısıdır [22].



Şekil 3.2. Ortogonal kesme modeli: (a) üç boyutlu model ve (b) iki boyutlu model

Oluşan talaşın kalınlığı kesme derinliğinden daima büyüktür ve dolayısıyla kesme oranı da daima 1'den büyüktür. Ortogonal kesme modelinde genişliğin (w) analize fazla bir etkisi yoktur [22].

Ortogonal kesme modelinde kesme geometrisi ile talaş oranı, talaş açısı ve kayma düzlemi açısı arasında önemli bir bağlantı oluşturulabilir. Is kayma düzlemi uzunluğu olarak tanımlanırsa, bu durumda;

$$r = t_0/t_c \quad (3.2)$$

$$r = (I \sin \Phi) / (I \cos(\Phi - \alpha)) = (\sin \Phi) / \cos(\Phi - \alpha) \quad (3.3)$$

$$\tan \Phi = (r \cos \alpha) / (1 - r \sin \alpha) \quad (3.4)$$

Kesme işlemi esnasında oluşan kayma düzlemi üzerinde meydana gelen kayma birim şekil değişimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir [22].

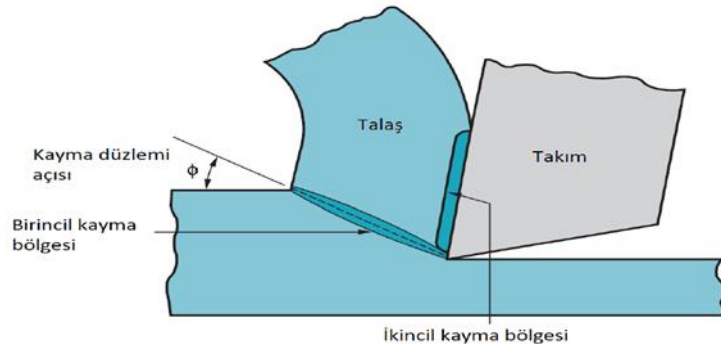
$$\gamma = AC/BD = (AD+DC)/BD \quad (3.5)$$

Bu eşitlik aşağıdaki forma dönüştürülebilir.

$$\gamma = \tan(\Phi - \alpha) + \cot \Phi \quad (3.6)$$

3.1.6. Gerçek Talaş Oluşumu

Gerçek talaşlı imalattaki talaş oluşum modeli ile ortogonal kesme modeli birbirinden farklıdır. Gerçek talaşlı imalatda deformasyon bir bölge içinde oluşur. Eğer kayma işlemi bir düzlem üzerinde oluşsaydı, kayma işlemi düzlem üzerinde belirli bir zaman dilimi içerisinde değil de hemen gerçekleşirdi. Bu nedenle gerçek bir malzemede kayma deformasyonu ince bir kayma bölgesi içerisinde oluşur. Gerçek talaşlı imalatda oluşan kayma deformasyonunun daha gerçekçi bir kesiti Şekil 3.3.'te gösterilmiştir. Yapılan talaşlı imalat deneylerinde, kayma bölgesi kalınlığının sadece bir inch'in binde biri kadar ya da bundan biraz daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kayma bölgesi kalınlığı çok küçük olduğu için bu bölgenin bir düzlem olarak kabul edilmesi etkili bir hata oluşumuna neden olmayacaktır [22].



Şekil 3.3. Talaş oluşumunda gerçekçi bir kesit

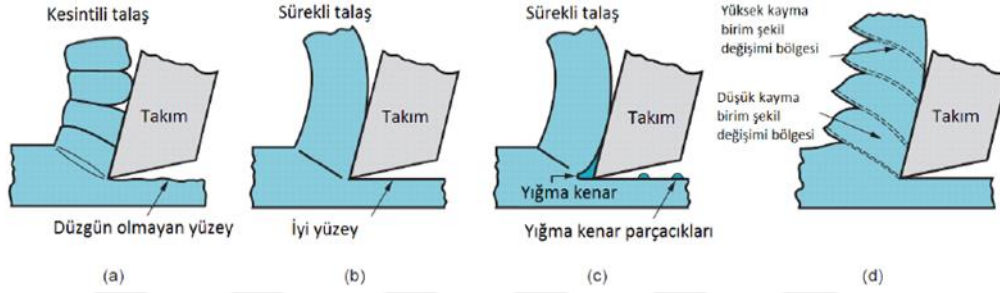
Diğer bir farklılık ise, işlenen malzemenin türüne ve işlemin kesme şartlarına bağlı olarak talaş şeklinin değişmesidir [22]. Bu talaş tipleri dört ana talaş şekli olarak tanımlanmış ve Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.

Kesintili Talaş: Gevrekliği daha düşük malzemelere (dökme demir gibi) kıyasla gevrekliği yüksek olan malzemelerin düşük kesme hızlarıyla işlenmesinde talaşın kısım kısım oluştuğu şekildir. Bu şekilde işlenmiş olan malzemenin yüzeyinde düzensiz bir alanın oluşumuna sebep olur. Kesici takım ile oluşan talaş arasında meydana gelen aşırı sürtünme, ilerleme ve pasonun derin olması talaşın kesintili oluşmasına neden olur [22].

Sürekli Talaş: Sünek malzeme tipindeki malzemeler yüksek kesme hızları, düşük ilerleme ve daha az pasolarda işlendiği taktirde uzun şekilde sürekli talaş oluşumu meydana gelir. Bu talaş şekliyle daha düzgün bir yüzey ve daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilir. Kesici takımın kesme kenarının keskin oluşu ve oluşan talaş ile kaldırılan talaş yüzeyi arasında oluşan sürtünmenin az oluşu bu şekilde talaş oluşumunu sağlar. Sürekli talaş oluşumu, tornalama işleminde olduğu gibi talaşın çıkarılması ve talaşın takımda sarılı kalması gibi sorunlar meydana getirir. Bu tarz sorunları ortadan kaldırmak amacıyla tornalama takımları genelde talaş kırıcılı hale getirilirler [22].

Yığma Kenarlı Sürekli Talaş: malzeme tipi olarak yine sünek malzemelerde orta veya düşük kesme hızlarında işlem yapıldığında kesici takım ile talaş arasında oluşan sürtünme, iş parçası malzemesinin bir bölümünün kesme kenarı yakınlarındaki talaş yüzeyi üzerine bağlanmasıyla yığma kenar oluşur. Yığma kenar oluşumu sürekli bir şekilde devam eder, oluşan kenar büyür ve kopar. Bu sayede oluşan yığma kenar talaş ile uzaklaştırılmış olur. Fakat bazen, kesici takımın talaş yüzeyinin bir bölümünün de aşınmasına sebep olur. Meydana gelen bu durum takım ömrünün azalmasına neden olur. Ayrıca talaş ile malzemeden uzaklaştırılamayan yığma kenar parçacıkları, işlenen yüzeyin üzerine tutunur ve yüzeyde pürüzlülük oluşturarak yüzey kalitesinin düşmesine neden olur [22].

Testere Dişi Şekilli Talaş: Böyle şekildeki talaşlar, görünümü testere dişi şeklinde olan yarı sürekli talaşlardır. Önce yüksek kayma birim şekil değişimi ve ardından düşük kayma birim şekil değişiminin devamlı halde işlemeyi etkimesiyle oluşan bu talaş şekli, titanyum alaşımları, nikel esaslı süper alaşımlar ve östenitik paslanmaz çelikler gibi talaşlı imalatla işlenmesi zor olan metallerin yüksek kesme hızlarıyla işlenmesinde meydana gelir [22].



Şekil 3.4. Talaş oluşum şekilleri

3.2. Talaş Kaldırma Sistemlerinin Esasları

Talaşlı imalatındaki takım tezgâhlarında, talaş kaldırma işlemiyle parçalar şekillendirilmesindeki ana esas; iş parçasının son hali ilgili malzemenin işlenmesi ile meydana gelir. İşlenmemiş parçada bulunan fazlalıklar, takım tezgâhına bağlanmış olan kesici takım ile talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilerek alınır. İş parçasından talaş kaldırılması işlemi, takımın kesici ucunun ya da kenarının malzeme yüzeyine temas etmesiyle ve bu etki alanında, talaş kaldırma enerjisinin talaşın kaldırıldığı tezgâhtan iş parçasına iletilmesiyle oluşur. Bu nedenle takım tezgâhı - kesici takım - iş parçası malzemesi arasındaki bağlantı çok iyi belirlenmeli ve kesme parametreleri olarak adlandırılan bu ilişkiyi oluşturan değişkenler iyi değerlendirilmelidir [21].

Takım tezgâhı - kesici takım - iş parçası malzemesi ilişkisinde talaş kaldırma işleminde gerekli olan etki hareketleri, kesici takımdan, iş parçasından ya da her ikisinden, iki ya da üç ekseninde oluşur. Oluşan bu etki hareketleri; dönme ve öteleme olarak tanımlanır. Hareketler; kesme, ilerleme ve talaş verme olarak üç farklı şekilde meydana gelir [21].

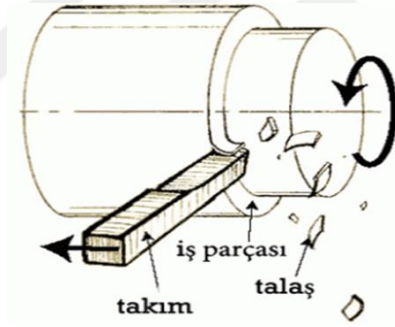
Talaşlı imalat yönteminde üretim yapan takım tezgâhları çalışma prensipleri açısından üç gruba ayrılır.

- ✓ Talaş kaldırma yöntemine göre; Torna, Freze, Matkap, Taşlama, Planya, Vargel
- ✓ Kontrol yöntemlerine göre;

- ✓ Elle kontrol,
- ✓ Otomatik kontrol; mekanik ve nümerik kontrollü tezgâhlar
- ✓ Amacına göre; üniversal ve tek amaçlı tezgâhlar

3.2.1.Tornalama

Belli bir geometrik yapıda kesici kenarları olan takımlarla (kalem, kesici uç) aynaya bağlı şekilde dönen iş parçasından dairesel olarak talaş kaldırma işlemidir. Şekil 3.5.'te gösterildiği gibi iş parçasına dönme hareketinin uygulanması ve kesici takıma ilerleme hareketinin uygulanmasıyla talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Klasik torna tezgâhları (Şekil 3.6.) ya da özellikle seri üretimde tornalama işlemi CNC torna tezgâhlarında yapılmaktadır. Silindirik ya da silindirik çaplı parçalara uygulanan tornalama işlemleri ile alın tornalama, iç ve dış tornalama, konik tornalama, profil tornalama, kanal açma, vida çekme, parça kesme işlemi, kavisli ve açılı pah kırma işlemleri ve delik işleme gibi işlemler yapılmaktadır [24].



Şekil 3. 5. Tornalama işleminin şematik gösterimi

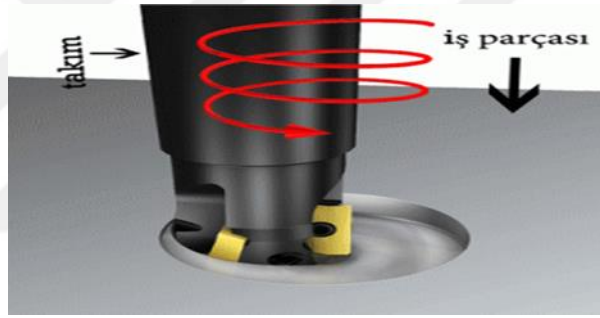


Şekil 3.6. Klasik torna tezgâhı

Talaşlı imalatın temel işlemlerinde kullanılan temel tezgâhlardan biri tornalamadır. Özellikle CNC torna tezgâhlarında kullanılan kaplamalı ve takma uçlar sayesinde talaş kaldırma potansiyeli artmıştır. Ayrıca az bir zamanda hassas ölçü ve daha az yüzey pürüzlülüğü ile başarılı işlenmiş parçalar elde edilmektedir [24].

3.2.2. Frezeleme

Düz ya da kavisli yüzeylere sahip olan parçaların, kanalların, helisel kanalların, dişlilerin ve vida dişlerinin işlenmesi, cep ve kademe işlenmesinde, delik açma ve büyütme işlemlerinde belirli geometrik yapıda tek veya çok ağızlı kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemidir. Şekil 3.7.'de gösterilen frezeleme işleminde kesici takım hareketli iş parçası sabit veya işlem durumuna göre her ikisi de hareketli olabilir. Frezeleme işlemi Şekil 3.8.'de gösterilen klasik freze tezgâhlarında ya da ince ve hassas işlem yapan CNC freze tezgâhlarında yapılmaktadır [24].



Şekil 3.7. Frezeleme operasyonu



Şekil 3.8. Freze tezgâhı

Genel olarak frezeleme işlemleri beş grupta sınıflandırılabilir. Bunlar düzlem yüzey frezeleme, kanal frezeleme, profil frezeleme, form frezeleme ve azdırma frezelemedir. Genelde tek parça HSS kesici takımlar kullanılırken son zamanlarda kaplamalı takma uçlar

da kullanılmaya başlanmıştır. Talaş kaldırma işlemi açısından Freze tezgâhları, torna tezgâhlarına kıyasla daha fazla kesme ve işleme gücüne sahiptir. Frezeleme işlemi ile her şekilde kanal açma, dişli açma, delik büyütme, düzlem yüzeylerinden talaş kaldırma, cep işleme, büyük adımlı vida açma, helisel ve açılı yüzeyler elde etme, delik delme, kör delik delme gibi çok fazla işlem hem hızlı hem de hassas olarak yapılmaktadır [24].

3.2.3. Matkap

Kesici matkabın kendi eksenini etrafında dönmesiyle ya da freze çakıları kullanılarak iş parçası yüzeyine boylu boyunca silindirik deliklerin açılması ya da belirli ölçülerdeki bir tarafı kapalı olan kör delik olarak adlandırılan silindirik deliklerin açılması işlemidir. Delik delme işlemi için Şekil 3.9.'da gösterildiği gibi genelde matkap tezgâhları kullanılır. Ayrıca tezgâha delik delme aparatı takılmak suretiyle CNC torna tezgâhlarında veya CNC freze tezgâhlarında da delik delme işlemi yapılabilir. Delik delme işlemi yapılırken matkap uçları kullanılabileceği gibi silindirik freze çakıları da kullanılabilir. Özellikle boydan boya olmayan dolayısıyla kör olan belirli derinlikteki deliklerin işlenmesinde, belirli hassas ölçülerde aksel deliklerin oluşturulmasında CNC freze tezgâhlarının delik delme aparatı ve freze çakıları kullanılabilir [24].

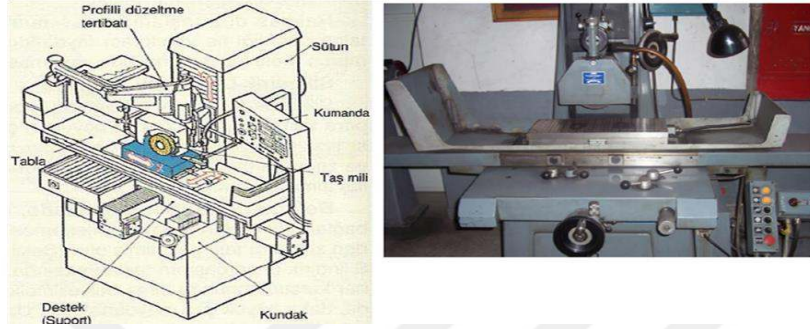


Şekil 3.9. Matkap Tezgâhı

3.2.4. Taşlama

Farklı tane büyüklüğündeki silindirik taşlarla, daha önce işlenmiş olan iş parçası yüzeyinden düşük miktarda talaş kaldırma işlemidir. İnce şekilde yüzey hassasiyeti elde

etmek, ölçüde tamlik sağlamak ya da daha iyi yüzey kalitesine sahip parçalar imal etmek amaçlanır. Taşlama işlemi, bazı bağlayıcı bileşenlerle bir araya getirilen farklı boyuttaki taneciklerin oluşturmuş olduğu zımpara taşlarının iş parçası malzeme yüzeyinden çok düşük miktarlarda kesme işlemi yapması bir diğer deyişle iş parçası malzemesini aşındırması işlemidir [24].



Şekil 3.10. Taşlama tezgâhı

Taşlama işlemi genel olarak Şekil 3.10.'da gösterildiği gibi taşlama tezgâhlarında yapılır. Ancak matkapta olduğu gibi ek aparatlar takılmak suretiyle CNC torna ve CNC freze tezgâhlarında da yapılabilir. Parçada ek işlem gerektiren yerlere zamandan tasarruf etmek için CNC ile dış yüzey veya basit delik taşlama işlemleri rahatlıkla yapılabilir [24].

3.2.5. Planyalama

İleri geri hareket yapan kesicinin altından iş parçasının sağa sola hareketi ile yapılan talaş kaldırma işlemine planyalama denir. Takım kesme işlemini, iş parçası ise ilerleme hareketi yapar.



Şekil 3.11. Planya tezgâhı

Şekil 3.11.'de gösterilen planya tezgâhı, düzlem yüzeylerini ve kavisli yüzeyleri işlemeye ve çeşitli kanalları açmaya yarar. Bir planya tezgâhının büyüklüğü kursunun büyüklüğü ile belirtilir.

Gitme hareketi esnasında talaş alınırken geri dönüş hareketinde talaş alınmaz. Bu nedenle planyalardaki verim azdır. Geri gelme hareketi hızlandırılrsa bile zaman tasarrufu dışında bir verim elde edilememiş, aksine enerji kullanımı çoğalmıştır [25].

3.2.6. Vargel

Vargel, Şekil 3.12'de gösterildiği gibi işlenecek olan parçanın üzerine bağlı olduğu kızağın ileri geri hareket ettiği ve kesici bıçağın sabit olduğu bir tür planya tezgâhıdır. Boyut olarak büyük ya da kütle olarak ağır parçalarda düzgün yüzey elde etmek için kullanılır. İş parçası yüzeylerinin düz veya eğik işlenmesi gereken iş parçalarında kullanılan bir tür imalat tezgâhıdır. Çalışma prensibi; hareketli olan tezgâh başlığına bağlanan tek uçlu bir kesici takım ile doğrusal olarak ileri/geri hareket eden başlık sonucunda talaş kaldırılmasıdır [26].



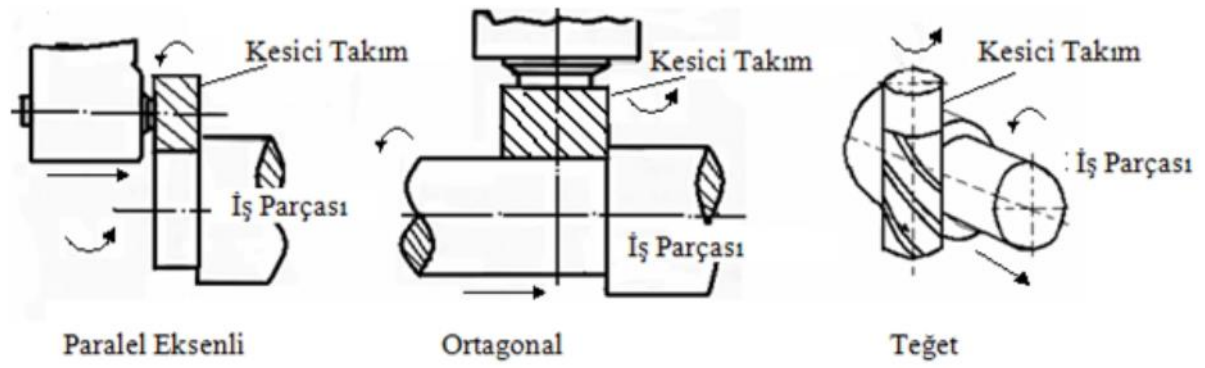
Şekil 3.12. Vargel tezgahı

3.3. Tornalama-Frezeleme Yöntemi ve Çeşitleri

Tornalama–frezeleme yöntemi, simetrik ve eksantrik iş parçalarının işlenmesinde kullanılan hem iş parçasının hem de kesici takımın döndüğü, tornalama ve frezeleme işleme yöntemlerinin birleşimi gibi düşünülebilen bir imalat yöntemidir. Tornalama-frezeleme, kendi eksenini etrafında dönen bir iş parçası üzerinden; etrafında birden fazla

kesici ağız bulunan ve kendi eksenini etrafında dönen bir kesici takım yardımıyla talaş kaldırma işlemi yapan bir yöntemdir. Tornalama ve frezeleme yöntemlerinde sınırlı işlemler yapılırken; tornalama-frezeleme yöntemi ile tornalama ve frezeleme ayrıca delme gibi birçok işlem aynı tezgâh üzerinde yapılabilmektedir. Ayrıca işlem kalitesi göz önüne alındığında taşlama işlemini aratmayacak şekilde bir yüzey kalitesi ortaya çıkmaktadır.

Tornalama-frezeleme yöntemi kesici takım ile iş parçasının dönme eksenlerine ve temas durumuna bağlı olarak üç farklı tip olarak incelenebilir. Bu yöntemlerin sistematik hareket ve temas durumları Şekil 3.13.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Tornalama-frezeleme çeşitleri ve hareket sistemleri

Tornalama-frezeleme yönteminin tornalamaya göre avantajları;

- Kesik kesme özeliğinden dolayı uygun talaş kaldırma yapılabilir, talaşın temizleme problemi ve seri çalışmayı engelleme gibi sorunları yoktur.
- İş parçasının devrinden bağımsız olarak kesme hızının optimum değerinde seçilmesi kesik kesme işlemi ile iş parçasındaki oluşan ısı talaş ile ısı dışarı atılır
- İstenilen değerlerde düşük iş parçası devri ve kesici takım devri elde edilebilir.
- Tornalamada yapılan alın yüzey işleme, silindirik dış yüzey işleme, konik işleme, silindirik iç yüzey işleme işlemleri bu yöntemle yapılabilmektedir.
- Frezelemede yapılan kanal açma, yüzeyden talaş kaldırma, kademeli delik işleme gibi işlemler bu yöntem ile yapılabilmektedir [27].

Tornalama-frezeleme yönteminin kullanım alanları:

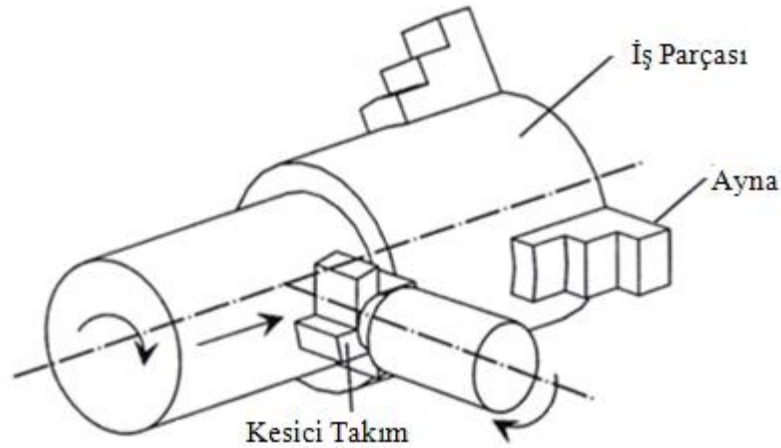
- Düzensiz bir yapıya sahip 500 mm çapında olan alçak basınç silindirlerin imalatında,

- İşlenmiş malzemelerin düzeltilmesinde kullanılan çapı 300 mm ile 600 mm, uzunlukları 12 m ve ayrıca ağırlıkları 60 tona kadar çıkabilen ruloların işlenmesinde,
- Eksantrik millerin işlenmesinde,
- Boyutları büyük ağır silindirik iş parçalarının işlenmesinde,
- Kam ve krank mili ve benzeri farklı geometrilere sahip iş parçaların işlenmesinde
- Kam milleri, radyal kam ve kontrol kamları konveks yada basit konkav profil şekillerin işlenmesinde,
- Dönel iş parçaların karmaşık işlemlerinin işlenmesinde kullanılır [28].

İş parçası devrinden bağımsız olarak kesme hızının optimum seçilmesi ile iş parçasında oluşan ısı kesik kesme hızı işlemi ile talaşla dışarı atılır. Kesici takım soğutma işlemi yaparak aynı zamanda soğutma sıvısı görevini de üstlenir [29].

3.3.1. Ortogonal Tornalama-Frezeleme Yöntemi

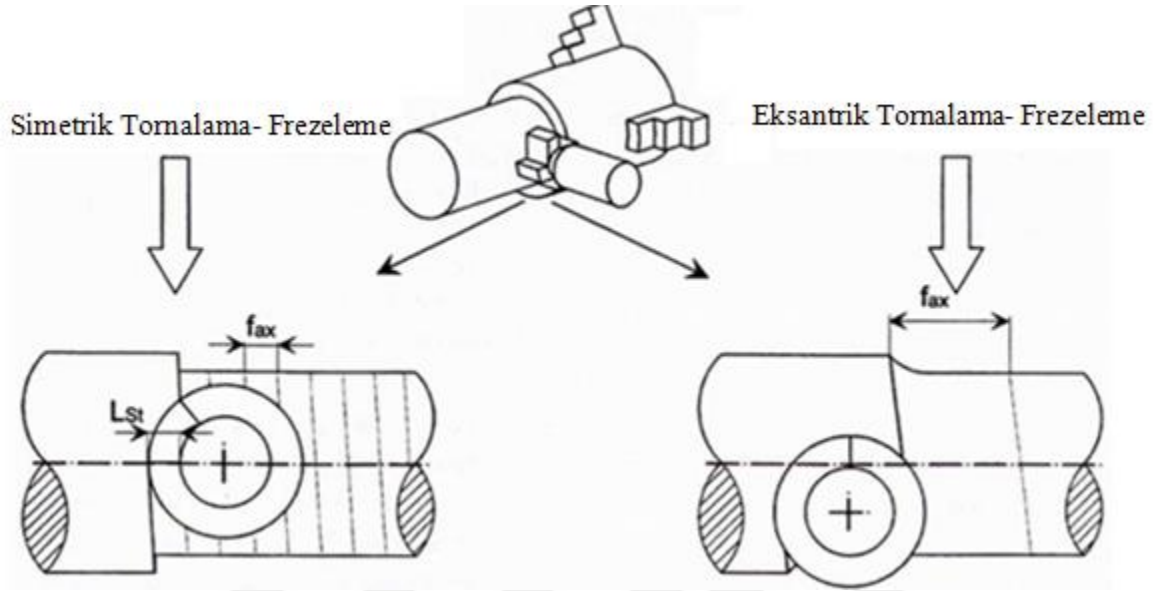
Ortogonal tornalama-frezeleme yöntemi, kesici takım eksenini ile iş parçası ekseninin birbirine dik olarak hareket etmesi durumundaki tornalama-frezeleme yöntemidir. Bu yöntemde hareket yönleri ve çakının temas durumu Şekil 3.14'deki gibidir. Bu yöntemde kesici takımın dönmesi kesme hareketi, iş parçasının dönmesi ile kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak hareket etmesi de ilerleme hareketi olarak tanımlanır.



Şekil 3.14. Ortogonal tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi

Kesici takımın iş parçası üzerindeki temas noktası, ortogonal tornalama frezeleme yönteminin işleme durumundaki bir özelliktir. Kesici takım eksenini ile iş parçası eksenini arasındaki kesişim noktası eş ise simetrik ortogonal tornalama-frezeleme olarak

adlandırılır. Her iki dönel eksen bir birini kesmiyor ise; kayık eksenli ortagonal tornalama frezeleme ya da eksantrik ortagonal tornalama-frezeleme olarak adlandırılır (Şekil 3.15.). Bu yöntemdeki ilerleme hareketi silindirik iş parçası üzerinde bir helise benzemektedir [28].

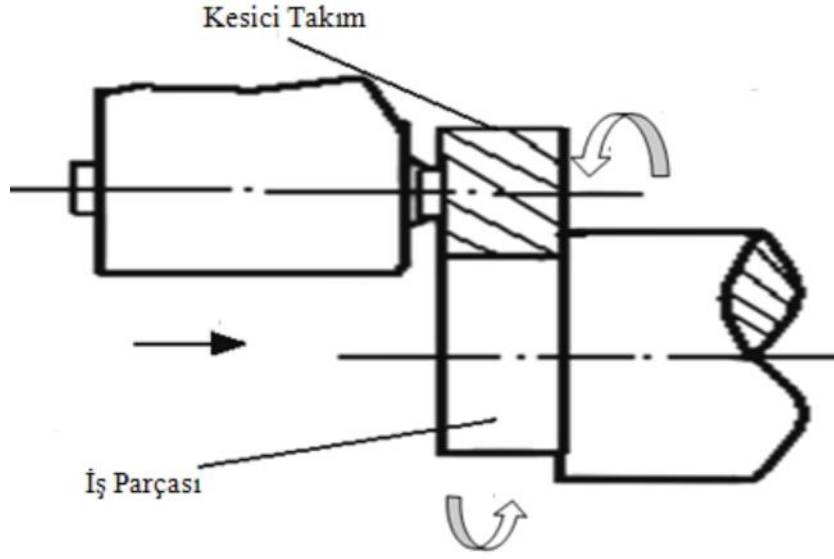


Şekil 3.15. Ortagonal tornalama-frezelemede simetriklik ve eksantriklik

Ortagonal tornalama-frezeleme yönteminde kesici takımın iş parçası eksenine dik pozisyonda olmasından dolayı iç yüzeyde talaş kaldırma işlemi yapılamaz. İşleme uzunluğu ile ilgili herhangi bir sınırlama yoktur. Kesici takım ve iş parçasının temas anındaki dönme yönlerine göre frezelemedeki gibi eş yönlü ve zıt yönlü olarak da ayrılabilir.

3.3.2. Paralel Eksenli Tornalama-Frezeleme Yöntemi

Paralel eksenli tornalama-frezeleme yöntemi, kesici takım eksenini ile iş parçası ekseninin aynı doğrultuda olduğu şartlardaki tornalama-frezeleme yöntemidir. Bu yöntemdeki hareket yönleri ve çakının temas durumu Şekil 3.16.'da görülmektedir. Paralel eksenli tornalama-frezeleme yönteminde kesici takımın dönmesi kesme hareketi olarak tanımlanır. Ayrıca iş parçasının dönmesi ile kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak hareket etmesi de ilerleme hareketi olarak tanımlanır.

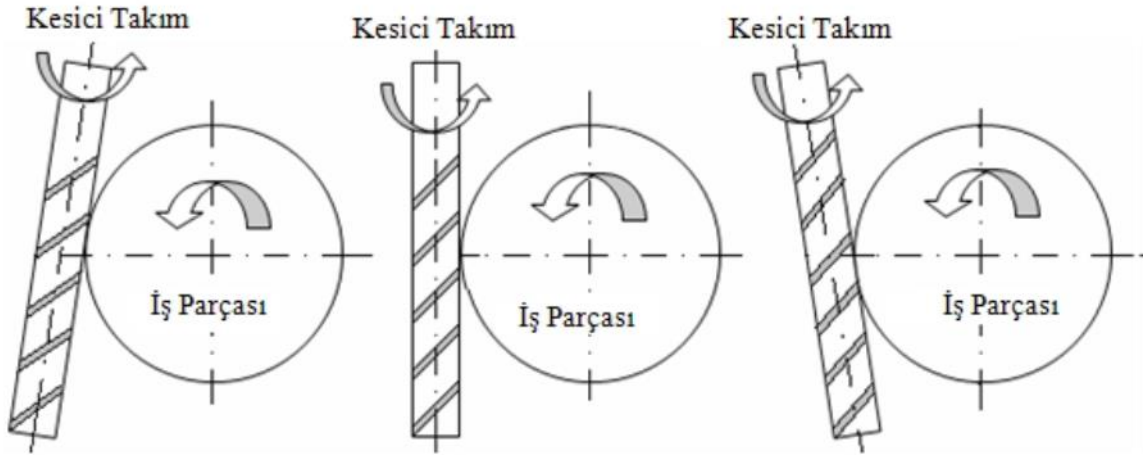


Şekil 3.16. Paralel eksenli tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistem

Paralel eksenli tornalama-frezeleme iş parçasının hem iç yüzeyin hem de dış yüzeyinin işlenmesine imkân sağlamaktadır. Genellikle bu yöntemde işleme uzunluğu sınırlıdır. İşleme uzunluğu en fazla kesici takım kesme boyu kadardır [29].

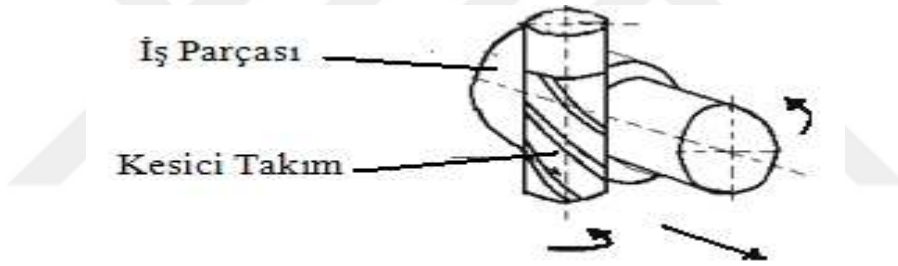
3.3.3. Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemi

Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi, ortagonal ve paralel eksenli tornalama frezeleme hareket sisteminden daha farklı bir yapıya sahiptir. Bu nedenle ayrı bir grup olarak tanımlanabilir. Bu yöntemde kesici takım ile iş parçası eksenleri birbirleri ile kesişmez ve birbirleri ile paralel değildir. Kesici takım iş parçasının dış yüzeyine teğet olarak temas etmektedir. Şekil 3.17.' de bu yöntemdeki kesici takım ile iş parçasının farklı temas durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin sistematik gösterimi

Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde şekil 3.18.'de gösterildiği gibi kesici takımın dönmesi kesme hareketi olarak; iş parçasının dönmesi ile kesici takımın iş parçası eksenine paralel hareket etmesi de ilerleme hareketi olarak adlandırılır [29].



Şekil 3.18. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi

3.4. Kesme Parametreleri

Talaşlı imalatta kesme parametrelerinin uygun olarak belirlenmesi işlemin kalitesi ve maliyeti arasındaki bağlantı açısından çok önemlidir. Kesme parametrelerinin tanımlanması ve kesme parametrelerinin birbirlerini nasıl etkilediği çok iyi analiz edilmelidir [30].

3.4.1. Kesici Takım

Kesici takımlar, bir malzemeye şekil veren aletlerdir. Genelde malzeme yüzeyinden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilerek şekil verme işlemi oluşur. Kesici takım özellikleri bütün talaşlı imalat operasyonlarında hayati öneme sahiptir. Makro ve mikro ebatlardaki farklı makine ve makine parçalarını üretmek amacıyla kullanılan kesici takım, talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen yüksek kuvvetleri karşılamak zorundadır [30].

Bir kesici takımda aranan başlıca özellikler;

- Aşınma ve şekil değişimine karşı dayanıklı olabilmesi için yüksek sertlik,
- Kırılma ve özellikle meydana gelebilecek darbelere karşı yüksek tokluk,
- Oksidasyona dayanıklı olması için yüksek kimyasal kararlılık,
- Yüksek kızıl sertlik ve termik darbelere karşı yüksek mukavemet

3.4.2. Kesme Hızı

Kesme hızı frezenin dönmesi ile gerçekleştiği için devir ve kesici çapı ile bağlantılıdır. Kesme hızı parametresi kullanılan kesici takıma göre kesici takım üreticileri tarafından kesici takım kataloglarından belirlenir. Kesme hızı değeri kesici takım üreticileri tarafından işlenen malzemeye göre belirli aralıklarda belirlenir. Kullanıcılar bu aralık değerlerine göre en uygun kesme hızını seçmelidirler [30].

Kesme hızı tarafından etkilenen önemli bir parametre de kesici takım devir sayısıdır. Frezeleme işlemlerinde, devir sayısı kesme hızına ve takım çapına bağlı olarak hesaplanabilir [30].

3.4.3. Talaş Derinliği

Kesme hızı ve ilerleme değerine bağlı olarak kataloglarda belirlenen talaş derinliği ve ilerleme değeri bir aralık olarak belirtilir. Bu aralıkta en uygun talaş derinliğini seçmek gerekir. Talaş derinliği arttıkça kesme işlemi daha iyi yapılır ve maliyet azalır. Talaş derinliği fazla olursa kesici uç aşınmadan kırılır.

3.4.4. İlerleme

İlerleme hızı parametresi diş başına ilerlemenin; kesici takım diş sayısı ve devir sayısı ile çarpımı ile elde edilir. Bu durumda ilerleme hızı, kesici takım devir sayısı ve kesici takım diş sayısı ile doğru orantılıdır [30].

3.4.5. Takım Ömrü

Takım ömrü üzerinde kesme hızının etkisi oldukça fazladır. Kesme hızı parametresi takım ömrü üzerinde etkisi olan en önemli parametredir. Takım ömrü üzerinde etkili bir diğer önemli parametre ise ısıdır. Isının artmasıyla takım ömrü kısalmır. Takım ömrünün uzun olması için kesme esnasında oluşan ısının kesme bölgesinden uzaklaştırılması çok önemlidir. Bu da soğutma sıvısıyla sağlanır [30].

3.4.6. Aşınma

Talaş kaldırma esnasında kesici takım yüzeyinde oluşan sürtünme, yapışma ve ısı transferi sonucunda oluşan malzeme kaybı aşınma olarak tanımlanır [30].

3.4.7. İş Parçası Malzemesi

İşlenen parça malzemesi birçok parametrenin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. İşlenmek istenen malzemenin teknik özellikleri kesme parametrelerinin belirlenmesinde önemlidir [30].

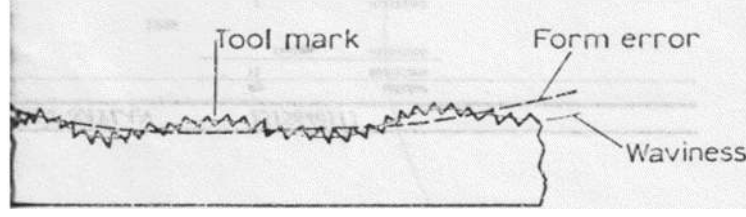
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Pürüzlülük; kesici takımın, iş parçası yüzeyi üzerinde bir uçtan diğer uca gitmesi hareketiyle oluşan çizikli ve düzensiz kısa boylu dalga uzunluklarıdır [31].

Talaş kaldırarak şekillendirme esnasında; seçilen yöntem, kesicinin cinsine ve işleme şartlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısı faktörlerinin ve kesici takım - iş parçası çifti arasında oluşan mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmeyen fakat engellenemeyen işleme izleri oluşmaktadır. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denmektedir [32].

Talaşlı ya da talaşsız imalat yöntemi ile elde edilen yüzeyde pürüzler kalır (Şekil 3.19.). Bu pürüzler imalat yöntemine göre gözle görülebilir ya da elle hissedilebilir olabileceği gibi hassas kontrol cihazları gerektiren büyüklüklerde de olabilir. İmal edilen parçanın kullanım alanına ve iş görebilirliğine göre yüzey pürüzlülüğü belirlenir [31].

Yüzey yapısında, kızak aşınmalarından dolayı oluşan, tornalama işleminde kesici takımın merkezinin iş parçası merkezine göre daha aşağıda ya da daha yukarıda oluşundan, iş parçasının işlenmesi esnasında iş parçasındaki eğilip bükülmelerden dolayı oluşan form hataları meydana gelebilir. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için kullanılan cihazlar yüzey profilini grafik olarak çizmek suretiyle ölçüm yaparlar. Ölçülen yüzeyin uzun dalga boylarında oluşu, yüzey pürüzlülüğü ölçme parametre değerini etkiler (Şekil 3.20.). Bu sebeple fazla uzun olan dalga boylarının etkisi önlenmelidir [31].



Şekil 3.19. Yüzey pürüzlülüğü



Şekil 3.20. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

3.5.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

Birden fazla faktörün yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi bilinmektedir. Bunlardan en önemlileri şu şekilde sıralanabilir.

- İşlenmekte olan malzemede yanlış bağlamadan dolayı meydana gelen deformasyon,
- İlerleme mekanizmasında meydana gelebilecek düzensizlikler,
- İşlenmekte olan malzemedeki yapı bozuklukları,
- Gevrek malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan düzensiz talaş akışı,
- Kolaylıkla şekil alabilen malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesi,
- İşlenmekte olan malzemenin yüzeyindeki yırtılmalar,
- Talaş akışının neden olduğu bozukluk,
- Kesme hızında oluşan düzensizlikler,
- İlerleme hızında oluşan düzensizlikler,
- Kesme sırasındaki talaş derinliği,
- Kesici takımı soğutma ve yağlama koşulları,
- İşlenecek olan malzemenin kimyasal bileşimi ve atomik yapısı,
- Kesici takımın tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
- Takım tezgahının tipi, rijitliği ve çalışma şartları,
- Kalıp ve bağlama aparatları,
- İşlenmekte olan malzemedan talaş kaldırma şekli,

- Yatak ve takımlarda meydana gelebilecek geometrik bozukluklar.

3.5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesindeki Parametreler

Kullanılan parametreler şu şekilde açıklanabilir;

Ra: Profilin ortalama pürüzlülüğü

Rz : Maksimum profil yüksekliği (ortalama)

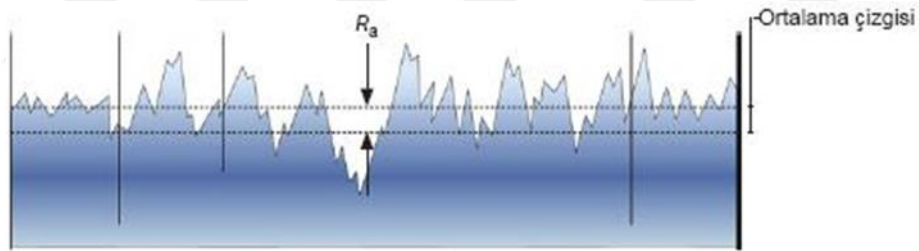
Rt: Ölçülen tüm uzunluk için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı

Rp: Maksimum tepe yüksekliği (ortalama).

Standartlarda açıklanan parametrelerden en çok kullanılan Ra tanımlanmıştır.

3.5.3. Aritmetik Ortalama Pürüzlülük, Ra

Belirli bir birim uzunluk içerisinde bulunan en büyük pürüzlülük değeri ile (mikrometre cinsinden) en düşük pürüzlülük değerlerinin toplamının, ölçüme tabi tutulan tepelik sayısına bölümüdür (Şekil 3.21.). Bir diğer ifadeyle yüzey pürüzlülük profiline karşılık gelen y- koordinatlarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Profil çıkıntı ve boşluk kesitleri ile ilgili olarak hassasiyet göstermez.



Şekil 3.21. Aritmetik ortalama

3.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Yapan Cihazlar ve Teknikleri

İşlenen parçada meydana gelen yüzey pürüzlülüğünü belirlemek amacıyla farklı cihaz ve teknikler kullanılmaktadır. Mühendislik alanında yaygın olarak kullanılanlar;

- ✓ Elektriksel çalışan sivri uçlu cihazlar
- ✓ Dokunma ile yüzeyin değerlendirilmesi ve mekanik çalışan cihazlarla ölçümünün yapılması
- ✓ Farklı tipteki ışık interferans mikroskopları
- ✓ Yüzey kopyaları elde etme

Bu metotlardan 1 ve 2 numaralı metotlar yüzey üzerinde bir dizi profil gösteren metotlardır.

3.6.1. Elektriksel çalışan Sivri Uçlu Cihazlar

Bu cihazlarda mevcut olan kol üzerine yerleştirilen elmas uç malzemeyi boydan boya çizdirir. Elmas ucun yüzey üzerindeki düşey hareketi elektriksel sinyaller aracılığıyla gösterge ya da yazıcıya iletilerek ölçüm yapılmış olur [31].

3.6.1.1. E Göbek Tipli Cihaz

Mıknatıslarla tutturulan göbek ve göbeğin uç kısmında bulunan kolun malzeme üzerinde düşey hareket etmesiyle göbek uçlarında farklı aralıklar oluşur. Göbek üzerindeki bu değişimler elektrik sinyallerini azaltıp çoğaltarak ölçüm yapar. Gerekli olursa sinyaller ara durum elemanı kullanılarak büyütülebilir. Bir filtre sistemi kullanılarak sinyaller lineer düzgün bir yazdırma işlemi ile okunup ölçüm yapılabilir [31].

3.6.1.2. Bobin Tipli Cihaz

Bir elmas uç üzerine yerleştirilen bobinin arasına bırakılan mıknatıs yardımı ile düşey yönde bir manyetik alan sağlanır. Uç hareket ettikçe bobin de aşağı yukarı hareket eder. Elmas ucun düşey hareket etmesiyle manyetik alan da değişim oluşur. Oluşan bu manyetik alan yüzeyin şiddeti ve dalga boyu ile ya da elmas ucun hareket frekansı ile orantılıdır. Eğer hassas frekans istenirse bir düzeltme devresi konularak istenmeyen frekanslar ayrılabilir [31].

3.6.1.3. Piezoelektrik Kristalli Cihaz

Üzerine uygulanan bir kuvvette gerilim meydana getiren piezoelektrik elemanın bulunduğu kristalin üzerine elmas ucun kolu pimlenir. Elmas uç, üzerinde kayan bir altlıkla yüzeye temas eder. Elmas ucun düşey hareket etmesiyle meydana gelen gerilim sinyal olarak alınır ve yazdırılır. Bu Gerilim değişimi belirlenerek yüzey pürüzlülüğü ölçülür. Çukurda minimum kuvvet uygulanırken tepede maksimum kuvvet uygulanır [31].

3.6.2. Dokunarak Yüzey Değerlendirme ve Mekanik Çalışan Cihazlar

3.6.2.1. Dokunarak Yüzey Değerlendirme

Kıyaslama temeliyle çalışan bu yöntemde yüzey üzerinde boydan boya tırnak ile kontrol yapılabilir. Kıyaslama yapabilmek için pürüzlülük değerleri belirtilmiş olan test blokları kullanılır. Dokunarak yüzey değerlendirilirken yüzeyin sürtünme özellikleri esas alınır. Dönel yüzeylerin dokunarak değerlendirilmesinde ölçüm esnasında farklılıklar

artacağından kontrol için elektriksel sivri elmas uçlu cihazlarda pürüzlülük kontrolü yapılmalıdır [31].

3.6.2.2. Mekanik Çalışan Cihazlar

Dokunma yönteminin hassas olmamasından dolayı mekanik olarak ölçüm yapan cihazlar geliştirilmiştir. Bu tür cihazlar genelde taşlanmış, eğelenmiş ya da zımparalanmış olan yüzeylere uygulanır. Çalışma prensibi; yüzeyi değerlendirilecek olan bölgeye ince metalik bir kanatçık sürülür. Sürülen kanatçık hem kayar hem de iki faktöre bağlı olarak eğilip bükülür. Kritik açılarının altında kalan açılarda kanatçık yüzey üzerinde boylu boyunca hafifçe kayar. Açılı arttıkça kanatçık daha sert kayacağı için artık eğilmeye başlar. Çok düzgün olan yüzeylerde kritik açı büyük olur. Bu açı esasen pürüzlülük değerinin bir fonksiyonudur. Yüzeye sürülen kanatçık, şeffaf bir örtü içinden gözlenebilir. Kritik açıya erişildiği anda göstergedeki ibreye bakılarak yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenir ve test blokları ile belirtilir [31].

3.6.3. Kadranlı Derinlik Cihazı

Aritmetik ortalama değeri R_a 'nın $5\text{ }\mu\text{m}$ değerinin üzerindeki değerlerde dolaşan kaba pürüzlülük terimi R_z 'dir. Elektriksel ölçüm yapan cihazların birçoğu R_z değerinin altındaki değerlerde dolaşır. Derinlik cihazı esasen tornalanmış, frezelenmiş kumda kalıptan çıkarılmış parçalarda ölçüm yapmak amacıyla geliştirilmiştir. Böyle yüzeylerde R_z parametresi R_a parametresinden daha büyük bir önem taşır. Bu ölçme cihazının avantajı, grafik çizmeye gerek kalmadan hızlı bir şekilde ölçüm yapabilmesidir. Cihaz, içerisinde çubuk (mil) bulunan bir gösterge kadranından oluşur. Çubuğun içerisindeki elmas uç, yüzeyin silindirik ya da düz olmasına bağlı olarak iki veya üç noktadan sabitlenir. Cihaz ölçüm yapmadan önce standart ve sabit bir blok üzerinde sıfırlanır. Sonra ölçülecek yüzeye bastırılır ve yüzeyin çukur tepelerine girmesi sağlanır. Uç iyice sıkıştırılır ve ölçüm sonucu okunur. Hassas bir ölçüm için bu işlemin en az 4 noktadan tekrarlanması gerekir. Ortalaması R_z değerine eşittir. Eğer R_a bilinmek istenirse, bulunan R_z değeri 4'e bölünür. Kaba pürüzlülük değeri $R_z = 4R_a$ dır. Tolerans $\pm 15\%$ civarındadır [31].

3.6.4. Işık İnterferans Mikroskopları İle Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Düz veya eğimli yüzeylerin üstünde gölge oluşturma tekniğiyle çalışan sistemde cihazın optik sisteminde uygun şekilde bir düzeltme yapılarak yüzey pürüzlülüğü

ölçümünde de kullanması mümkündür. İnterferans gölge bantları yalnızca incelenen yüzeyin alanında görülür. Gölge devamlı olarak her bakılan yüzeyde görülmek istenirse kamera ya da büyültmeyi sağlayan oldukça masraflı dönüştürücülere gereksinim vardır. Bu cihazlar yüksek kararlılığa sahiptir. Bu cihazlarla genişliği 0,5 μm olan çizgi aralıkları rahatlıkla görülebilir. Elektriksel sivri uçlu cihazlarda kararlılık 2,5 μm 'nin altına düşerken ışık interferans gölgeleri önce mastar üzerinde görülür. Sonrasında ölçülen yüzeyin gölgeleri arasında kıyas yapılır. Küresel rulmanlı yataklardaki yüzey pürüzlülüğü bu metodla kontrol edilebilir [31].

İncelenen kısımdaki yüzey karışık olsa dahi detaylı görüntü elde edilmesi yöntemin önemli bir avantajıdır. Metot tahribatsızdır ve yüzeyle direkt olarak temas etmez. Cihaz tekrar tekrar kalibreleme istemez [31].

3.6.5. Yüzey Kopyalama İle Yüzey Değerlendirme

Yüzey cihaza sığmıyorsa ya da çok büyük parçalarda bu yüzey pürüzlülüğü ölçüm metodu ve kullanılabilir. Bu yöntemin esası, yüzey üzerine yumuşatılmış sıvı plastiğinin numune çevresine duvar örerek ya da bir halka geçirilerek dökmektir. Uygun bir süre sonra dökülen plastik kaldırılır. Yumuşatılmış plastikte %80, sıvı plastik dökme ile %100 doğruluk elde edilir [31].

3.7. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu

Deney, hipotezleştirilmiş bir inancı desteklemek veya çürütmek ya da ürün, proses veya hizmet hakkında yeni bir bilgiyi açığa çıkarmak için yapılan planlı bir sorgulama metodu şeklinde tanımlanmaktadır [33].

Tasarlanmış deney, bir prosesin çıktılarındaki değişimleri gözlemlemek ve tanımlamak üzere girdi faktörlerinin bilinçli olarak değiştirilmesi şeklinde yapılan test veya testler dizisidir. Proses, girdi malzemeyi çıktı ürüne dönüştüren makinelerin, metotların ya da insanların bir kombinasyonu olarak düşünülebilir. Çıktı ürün bir veya daha fazla gözlemlenebilir kalite özelliğine sahiptir. Bazı proses girdileri kontrol edilebilir iken bazıları gürültü diye de adlandırılan kontrol edilemeyen girdi faktörleridir. Deneylerin amacı şu şekilde sıralanabilir;

- Girdi faktörlerden hangilerinin çıktı üzerinde en çok etkili olduğunun tespit edilmesi,

- En uygun çıktının elde edilmesi için etkili girdi faktörlerinin alması gereken değerin tespit edilmesi
- Çıktı değerinin en az varyansa sahip olması için etkili girdi faktörlerinin alması gereken değerin tespit edilmesi
- Kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerini minimize etmek için etkili girdi faktörlerinin alması gereken değerin tespit edilmesi [33].

3.7.1. Taguchi Felsefesi

Taguchi felsefesinde 5 temel esas;

- Rekabet halindeki pazar koşullarında, sürekli kalite gelişimleri ve maliyeti azaltma çalışmaları devamlılığı sürdürebilmek için gereklidir.
- Kalitenin bir diğer esas ölçüsü, üretilen ürünün toplum üzerindeki toplam kaybıdır.
- Ön üretimin deneysel sürecini değiştirerek, aynı anda birden çok faktörün incelenmesi gerektiğini savunur. Böylelikle, kalite ürün ve sürecin içine yerleştirilmiş olur.
- Meydana gelen müşteri kaybı kaybının nedeni esasen düşük kalite standartları ve belirlenen hedeften doğan sapmalardır. Bu bağlamda Taguchi felsefesinde tüm amaçlar ve kalite tanımları değiştirilerek, “spesifikasyonlara uygunluk” yaklaşımının yerine “hedefe ulaşma ve değişkenliği minimize etme” yaklaşımı savunulmaktadır.
- Ürün ya da hizmetin performansında meydana gelen değişkenlikleri önlemek için performans karakteristikleri üzerinde etkili olan, lineer olmayan faktörlerin incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca hedeften herhangi bir şekilde sapma söz konusu olursa düşük kalite kaçınılmaz olur.

Taguchi'nin esas amacı, ürün imalatında hedeften olası sapmaları etkileyecek olan, sürecin ve ürünün tasarlanmasında etkili olan kontrol edilebilen faktörlerin ve bunların seviyelerinin belirlenmesi gerektiğidir. Bu faktörlerin seviyelerinin optimal seviyelerde olması operasyonlar esnasında çevre koşullarının da dikkate alınması ile tek düze bir ürün imalatı mümkün olmaktadır. Ayrıca Taguchi meydana gelen kötü etkileri ortadan kaldırmak yerine kötü etkilere neden olan faktörlerin üzerinde çalışmayı tercih etmiştir. Bu şekilde üründe yüksek kaliteye ulaşılmış olur [35].

3.7.2. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi farklı parametrelerin, farklı seviyeleri içerisinde en iyi kombinasyonu belirlemek için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışmanın yapılması gerektiği durumlarda Taguchi yönteminde ortogonal dizi tablosu kullanılarak çok daha az sayıda deneysel çalışmayla sonuca ulaşmak mümkündür [35].

Taguchi yönteminde yapılan işlemler;

- Problemin tespit edilmesi (yapılacak deneysel çalışmanın amacının ve amaç fonksiyonunun tespit edilmesi)
- Amaç fonksiyonunu etkileyen faktörlerin (parametreler) ve seviyelerinin tespit edilmesi
- Deney tasarımının yapılmasında kullanılacak ortogonal dizinin seçilmesi
- Deneysel çalışma planlanması ve yapılması
- Deney sonuçlarının alınması
- Uygun performans karakteristiğinin seçilmesi sonuçların S/N oranına dönüştürülmesi

3.7.2.1. Problemin Tespiti

Yapılan kalite geliştirme çalışmalarında tespit edilen aksaklıktır. İncelenmek istenen değer belirlenir. Problemin tespiti en önemli aşamadır çünkü bu aşamada yapılan yanlışlık sonucun da yanlış çıkmasına neden olur.

3.7.2.2. Amaç Fonksiyonunu Etkileyen Faktörlerin ve Seviyelerinin Tespiti

Faktörlerin seçimi ve faktör seviyelerinin tespit edilmesi, o işle uğraşan kişiler ve o alanda uzmanlık kazanmış teknik personeller tarafından yapılır. Bu aşamada etkili olan en iyi yöntem beyin fırtınası yöntemidir. Hatta akış şeması ile birlikte sebep-sonuç diyagramlarının da incelenmesi faktör ve faktör seviyelerinin tayin edilmesinde etkin bir rol oynar [36].

Beyin fırtınası yöntemi, işletmedeki sorunlara çözüm ararken ilgili personelin toplanıp, konu hakkındaki öneri ve görüşlerini belirttiği bir toplantıdan oluşur. Bu aktif toplantıya her düzeyden iş gören katılabilir. İş görenler görüşlerini belirttikten sonra oylama yapılarak çözüme doğru gidilir. Oylamada bütün görüşler önemsenir. Bu yöntemle kalite değişkeni

üzerinde etkin olarak rol alan faktörler belirlenir. Mevcut yöntemler içinden en etkin olanı genelde beyin fırtınası yöntemi olmaktadır [37].

3.7.2.3. Deney Tasarımında Kullanılacak Ortogonal Dizinin Seçimi

Ortogonal diziler temel olarak hangi denemede hangi faktörün hangi seviyesinin kullanılacağını belirler. En belirgin özelliği, birçok faktörün minimum sayıda test ile değerlendirilmesini sağlamasıdır. Klasik yöntemden farklı olarak faktör kademelerini tek tek değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirmeyi önerir (Tablo 3.1.). Eğer normal 2^k faktörlü bir deney tasarımı tasarlanacaksa tam faktöriyel tasarım gereği 2^k tane denemenin gerçekleştirilmesi gerekir. Deneyin yürütülmesi kademelerden birinin değiştirilip diğerinin sabit tutulmasıyla sağlanır. Fakat Taguchi deneme planlarının vereceği sonuçla 2^k deneme sonuçlarının arasında bir fark yoktur. Standart deneme planlarının temeli eş zamanlı olarak bir kaç faktörün aşamalarını değiştirip deneme sayısında olağanüstü bir azalma yapmasına dayanmaktadır [36].

Tablo 3.1. 2^k ve Taguchi dizaynı deney planları

Deney No	Parametre No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	1	2	1
4	1	1	1	1	1	2	2
5	1	1	1	1	2	1	1
6	1	1	1	1	2	1	2
:	:	:	:	:	:	:	:
128	2	2	2	2	2	2	2

2^k Dizaynı

Deney No	Parametre No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Taguchi Dizaynı

Böyle dizilere faktörlerin her birinde eşit oranda farklı seviye barındırdığı için ortogonal dizi denmektedir. Ortogonal diziler 2 seviyeli, 3 seviyeli, 2 ve 3 seviyeli olmak üzere üç şekilde belirlenmiştir. Belirlenen bu diziler standarttır ve Taguchi deneysel tasarımın temel yapıtaşlarını oluşturur. Taguchi metodu ile yapılması istenen deneylerde

standart dizilerden uygun olanı seçilip kullanılmalıdır. Eğer başlangıçta faktörlere uygun olan dizi bulunamazsa, faktörlerde bazı değişiklikler yapıp dizilerden birine uygun hale getirmek gerekir. Sıkça kullanılan diziler 2 seviyelilerde L_4 , L_8 , L_{12} ve L_{32} iken 3 seviyelilerde L_9 , L_{18} , L_{27} dizileridir. Her iki seviyenin karışık olarak kullanıldığı dizilerden bazıları da L_{18} , L_{36} , L_{54} dizileridir [37].

3.7.2.4. Ortogonal Dizi Seçimi

Deney için uygun ortogonal dizi seçimi yapılırken, faktörlerin seviye sayısına ve buna bağlı olarak da toplam serbestlik derecelerine göre karar verilmektedir. Böylece toplam serbestlik derecesine ya da toplam serbestlik derecesinden daha büyük deneme sayısına sahip olan ortogonal dizi uygun dizi olarak belirlenir.

Bir dizideki toplam serbestlik derecesi bulunurken bütün faktörlerin ayrı ayrı serbestlik dereceleri toplanır. Dizide sütunlara atanmış olan faktörler tek başına bir faktör veya iki faktörün etkileşimi olabilir. Serbestlik dereceleri şu şekilde bulunur:

V_A ; A faktörünün serbestlik derecesi

V_{A*B} ; A ve B etkileşiminin serbestlik derecesi

k_A ; A faktörü seviye sayısı

Gerekli olan toplam serbestlik derecesi faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. Bir faktör için serbestlik derecesi, o faktörün seviye sayısının bir eksiğine eşittir. Eğer faktörler arasında bir etkileşim var ise bu etkileşim için serbestlik derecesi, etkileşim içinde olan faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir [38]. Ayrıca toplam deney sayısından bir çıkarılarak da bulunabilir.

V_T ; Dizideki toplam serbestlik derecesi

N ; Dizideki toplam deney sayısı

V_o ; Hata serbestlik derecesi

$$V_T = N - 1 \quad (3.7)$$

$$V_A = k_A - 1 \quad (3.8)$$

$$V_{A*B} = V_A * V_B \quad (3.9)$$

$$V_o = V_T - (V_A + V_B + V_{A*B}) \quad (3.10)$$

Serbestlik derecesi hangi dizinin deneme sayısına uygunsa o dizi seçilir. Toplam serbestlik derecesi en fazla; seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Eşit olursa o zaman bir üst dizi seçilir. Yani serbestlik derecesine 1 eklendiğinde mevcut dizilerden hangisine eşit oluyorsa o seçilir. Eğer hiç birine eşit olmayıp herhangi ikisinin arasında kalıyorsa üstteki dizi seçilir [36].

3.7.2.5. Deney Yapımı ve Sonuçlar

Sütunlara faktörler yerleştirilip deney için gerekli fiziksel şartlar sağlandıktan sonra deneylerin yapılış sırası belirlenir. Yapılan deneyler birkaç kez tekrarlanır ve aritmetik ortalama alınır. Böylece deney sonuçları değerlendirilir.

3.7.2.6. Sonuçların Sinyal-Gürültü Oranına (S/N) Dönüştürülmesi

Tolerans tasarımı; parametre belirleme çalışmaları sonucunda istenilen hedefe ulaşamadığında yapılan ek çalışmalardır. Bu aşamada gözlemlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin oluşturduğu kayıplar bulunur ve sapmalar azaltılır [39]. Tolerans tasarlanırken belirlenen üç tane kalite değişkeni vardır (Tablo 3.2.). Bunlar;

- En büyük en iyi,
- En küçük en iyi
- Hedef değer en iyi'dir.

En Büyük En İyi; Bu tarz tolerans çalışmaları neticesinde kalite değişkeninde üst sınır yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü arttıkça verimlilik artar. Malzemelerin dayanıklılığı örnek olarak gösterilebilir.

En Küçük En İyi; Bu tip karakteristik kalite değişkeni negatif yönden bir sapma göstermez. Daima alt sınırın olması gerekir. Tolerans azaldıkça durumda iyileşme artar. Bir üretim sürecindeki hurda miktarı örnek olarak verilebilir.

Hedef Değer En İyi; İki taraflı tolerans söz konusudur. Bu durumda sapmalar iki yönlü olarak değişebilir. Buna en güzel örnek boyut kriterleri olarak gösterilebilir.

Tablo 3.2. S/N oranı formülleri

Seçim	Amaç	Sonuç
En Büyük En İyi $S/N = -10(\log(\sum \frac{1}{Y^2})/n))$	Sonucun maximize edilişi	Pozitif
Hedef Değer En İyi $S/N = -10(\log(s^2))$	Sadece standart sapmanın azaltılışı	Pozitif, sıfır ya da negatif
Hedef Değer En İyi $S/N = 10(\log(Y^2)/s^2)$	Standart sapmanın ve ortalamanın belirli bir hedef değerde olması	Ortalama sıfır olduğu zaman standart sapma da sıfır
En Küçük En İyi $S/N = -10(\log(\sum Y^2)/n))$	Sonucun minimize edilişi	Pozitif

3.8. Anova Varyans Analizi

Kalite ile ilgili tartışmaların büyük bir kısmı varyans ile ilgili olduğu için deneysel verilerin yorumlanışında ve gerekli kararların alınışında varyans analizi (ANOVA) istatistiksel metotları kullanılır. ANOVA, test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı meydana çıkarmak amacıyla kullanılan ve istatistiğe dayanan bir araçtır. Varyans analizi toplam varyasyonu bileşenlerine ayıştıran matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, kareler toplamı, ortalama kareler (varyans) gibi nicelikler hesaplanırken kullanılır. Deneysel tasarım temelde varyans analizine dayanmaktadır. Bu metot 1930’larda İngiliz istatistikçi Fisher tarafından geliştirilmesi nedeniyle isminin baş harfi F’ye dayanılarak yönteme F testi diyenlerde vardır. Varyans analizi tek faktörlü, iki faktörlü ve çok faktörlü olmak üzere geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Taguchi ortagonal dizileri iki ve üç kademeli oldukları için genellikle ikili veya üçlü kademe için varyans analizi bu aşamada kullanılır [40,41].

Varyans Analizinde yapılan işlemler;

- Kareler toplamının bulunması
- Serbestlik derecesinin bulunması
- Ortalama karelerin (Varyans) bulunması
- F değerinin bulunması

- % Dağılımının bulunması
- F değerlerinin tablo f değerleri ile karşılaştırılması ve yorumlanması

Analizde kullanılan semboller;

SS_T : Tüm değerlerin kareler toplamı

SS_A : A faktörünün kareler toplamı

SS_o : Hata kareleri toplamı

V_T : Toplam serbestlik derecesi

V_A : A faktörünün serbestlik derecesi

$V_{A \times B}$: A ve B interaksiyonunun serbestlik derecesi

V_O : Hata varyansı

N : Elde edilen toplam veri sayısı

n_A : A faktörünün veri sayısı

T : Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması

y_i : Gözlenmiş değer

k_A : A faktörünün kademe sayısı

3.8.1. Kareler toplamının bulunması

Tüm değerlerin kareleri toplamı (SS_T), Deneylerde bulunan S/N oranlarının kareleri toplamından S/N oranlarının toplam değerlerinin karesinin ortalaması çıkarılarak bulunur [42].

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (3.11)$$

A faktörünün kareler toplamının bulunması ise A faktörünün her bir seviye için ayrı ayrı S/N oranları toplamının karesinin ortalaması bulunur; bütün seviyeler toplanır. Bulunan değerden bütün verilerden elde edilen S/N oranları toplamının karesinin ortalaması çıkarılarak bulunur [42].

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (3.12)$$

Her bir faktör için ayrı ayrı kareler toplamı bulunur. Hata kareleri toplamı ise tüm değerlerin kareleri toplamından bütün parametrelerin kareleri toplamı çıkarılarak bulunur [42].

$$SS_o = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B} \quad (3.13)$$

3.8.2. Serbestlik derecesinin bulunması

Sonuca varabilmek için yapılması gereken bağımsız karşılaştırmaların sayısıdır. Kareler toplamı gibi serbestlik derecelerinin toplamı da toplam serbestlik derecesini verir [41].

V_T = Toplam serbestlik derecesi

V_A = A Faktörünün serbestlik derecesi

V_B = B Faktörünün serbestlik derecesi

$V_{A \times B}$ = A ve B faktörlerinin etkileşiminin serbestlik derecesi

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğine eşittir.

$$V_T = N - 1 \quad (3.14)$$

Bir faktörün veya sütunun serbestlik derecesi de seviye sayısının bir eksiğine eşittir.

$$V_A = k_A - 1 \quad (3.15)$$

$$V_B = k_B - 1 \quad (3.16)$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise etkileşim içinde olan faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

$$V_{A \times B} = (V_A) * (V_B) \quad (3.17)$$

Hata serbestlik derecesi de; toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik derecelerinin çıkartılmasıyla bulunur.

$$V_o = V_T - V_A - V_B - V_{A \times B} \quad (3.18)$$

3.8.3. Ortalama karelerin (Varyans) bulunması

Ortalama karelerin bulunmasında faktörün kareler toplamının o faktörün serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur.

$$\text{A faktörü için varyans;} \quad W_A = \frac{SS_A}{V_A} \quad (3.19)$$

$$\text{B faktörü için varyans;} \quad W_B = \frac{SS_B}{V_B} \quad (3.20)$$

$$\text{AxB etkileşimi için varyans;} \quad W_{A \times B} = \frac{SS_{A \times B}}{V_{A \times B}} \quad (3.21)$$

$$\text{Hata varyansı;} \quad W_e = \frac{SS_o}{V_o} \quad (3.22)$$

3.8.4. F değerinin bulunması

Testler yapılarak veriler elde edilip varyanslar bulunduktan sonra faktörlerden hangilerinin önemli bir etkiye sahip olduğunu görmek için F-testi uygulanır. Standart F-testi uygulanırken, hataların eşit sapmalarla normal dağıldığı ve bağımsız olduğu varsayılmaktadır. F-testi varsayımları yerine getirilmezse, önem derecesi hesapları doğru sonuçları yansıtmayabilir. A faktörünün F değeri, A faktörünün varyansı hatanın varyansına bölünerek bulunur. Diğer faktör ve etkileşimlerin F değerleri de bu şekilde bulunur [42].

$$F_A = \frac{W_A}{W_e}, \quad F_B = \frac{W_B}{W_e} \quad (3.23)$$

F- testi uygulanırken analiz esnasında hesaplanan F değerleri ile belirlenmiş güven seviyesindeki F tablo oranları karşılaştırılır. Tablo oranından daha büyük F değerine sahip olan faktörlerin performans karakteristiği üzerinde etkin rol oynadığı düşünülür. Verilerden elde edilen F değeri, faktör ya da etkileşim varyansının hata varyansına oranıdır [42].

3.8.5. % Dağılımın bulunması

Kareler toplamına göre yüzde dağılım yapılarak bulunur. $SS_T = \%100$ 'dür.

Diğer faktör ve etkileşimlerin % dağılımları da kendi kareler toplamındaki orana göre değişmektedir. Hatanın % dağılımı da yine aynı şekilde bulunur.

$$\%SS_A = \frac{100 * SS_A}{SS_T} \quad (3.24)$$

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Çalışmanın Amacı

Sanayileşen ve gelişen teknolojiye bağlı olarak üretim çeşitliliği artmakta ve talaş kaldırma yöntemleri de artan ihtiyaçlara bağlı olarak gelişmektedir. Özellikle yeni yöntemlerde parametre tespiti ve parametrelerin sonuca etkisinin belirlenmesi önemli bir aşamadır.

Tornalama ve frezeleme yöntemleri silindirik iş parçalarının işlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok yönlü işlemlerde kısıtlı sonuçlar veren bu yöntemler aynı zamanda maliyet açısından da pek kullanışlı değildir. Bu yöntemlere olan mecburiyeti azaltmak için tornalama-frezeleme yöntemi geliştirilmiştir. İki yöntemin kombinasyonu olan bu yeni yöntem hem parçaları daha seri işlemekte hem de maliyeti düşürmektedir. İki farklı tezgahta yapılması gereken işlemleri tek tezgaha düşürerek kolaylık sağlamaktadır. Kesme şekline göre paralel eksenli, ortagonal ve teğetsel olarak ayrılmaktadır.

Taguchi deney tasarım yöntemi ile deney sayısı düşürülerek parçaları hem daha az maliyetle hem de daha kısa zamanda işlemek mümkündür. Serbestlik derecelerine bağlı olarak ortagonal dizin seçimi ile deney sayısı belirlenir. Daha sonra deney planı hazırlanarak parametrelere göre deneyler yapılır.

Bu çalışmada, taguchi deney tasarımı kullanılarak ortagonal ve teğetsel tornalama-frezeleme yöntemleri yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılmıştır. İş parçası olarak Ç1040 ve kesici takım olarak HSS (yüksek hız çeliği) kullanılmıştır. Gerekli işleme parametreleri olarak ise işlem, iş parçası devri, kesici takım devri, eksenel ilerleme hızı ve talaş derinliği kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Minitab 15 kullanılarak S/N oranlarına bağlı optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Anova varyans analizi ile istatistiksel olarak incelenmiştir.

4.2. Çalışmada Kullanılan Malzeme ve Kesici Takım

4.2.1. İş Parçası Malzemesi

Ç1040 malzemesinin imalat sanayisinde mukavemet özelliklerinin iyi olmasından dolayı kullanım alanı oldukça geniştir. Taşıt, motor, makine ve makine parçaları yapımında orta zorlamalı parçalarda, cer kancaları, dişliler, miller ve kalıp setlerinde kullanılır. İmalat sanayisinde çok geniş bir kullanım alanına sahip olmasından dolayı, deneylerde Ç1040

kullanılmıştır. İş parçası boyu ISO 3685 ve TSE 10379 standartlarına göre Ø24x60 mm olarak hazırlanmıştır. Malzemenin özellikleri Tablo 4.1.'de, malzeme standartları Tablo 4.2.'de, malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 4.3.'te verilmiştir. İş parçası Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1 Ç1040 malzeme özellikleri

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Kesme Mukavemeti (MPa)	Elastiklik Modülü (MPa)	Yüzde Uzama (%)	Sertlik (HB)
600	361	410	190-210	25	190

Tablo 4. 2. Ç1040 malzeme standartları

DIN	AISI / SAE	EN
1.0501	1040	C35

Tablo 4.3. Ç1040 malzemesinin kimyasal bileşimi (%)

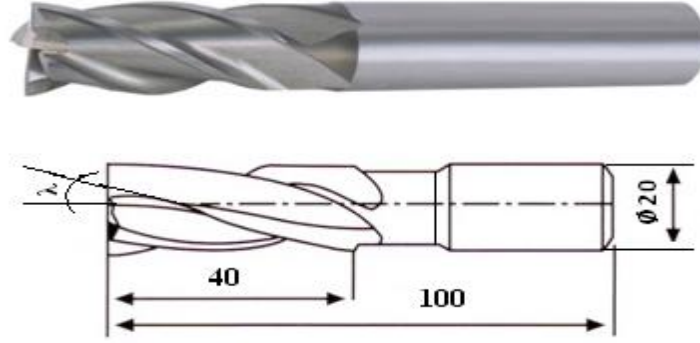
C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Mo	N
0.40-0.50	0.25-0.35	0.60-0.90	0.04	0.05	-	-	-



Şekil 4.1. İş parçası

4.2.2. Kesici Takım Malzemesi

Kesici takım malzemesi olarak çapı Ø20 mm, uzunluğu 100 mm, 4 ağızlı, helis açısı 30°, uç açısı 6° olan HSS kullanılmıştır. Takım, Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kesici takım ölçüleri

4.3. Deney Düzenəğinin Tanıtılması

Tornalama-Frezeleme deneyleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü CNC atölyesinde CNC JOHNFORD WMC 850 FANUC OM dik işleme merkezli freze tezgâhında yapılmıştır (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Freze tezgâhı

Dik işleme merkezli freze tezgâhına ekstra bir düzenek kurularak deney düzenėđi oluşturulmuştur. İş parçasının kendi eksenini etrafında istenilen devirlerde dönmesi için tablaya tornalama görevini görecek olan ikinci bir düzenek bağlanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Tornalama görevi gören düzenek

Micromaster 440 marka invertör kullanılarak devir ayarları yapılmıştır. İş parçası aynaya bağlandıktan sonra punta ile sabitlenmiştir. Salgılı hareketi önlemek amacıyla komparatör yardımıyla deney düzeneğinin paralelliği sağlanmıştır. Uygun pens ve adaptör seçildikten sonra başlığa bağlanıp çakı yerleştirilmiştir.

4.3. İşleme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Deney Planının Hazırlanması

Kesme parametreleri olarak işlem, kesici takım devri, iş parçası devri, aksenal ilerleme hızı ve talaş derinliği olarak 5 adet değişken belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 4.4.'te verilmiştir. İşlem parametresi ortagonal tornalama-frezeleme yöntemi için 1, teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi için 2 sembolü seçilmiştir.

Parametrelerin belirlenmesinde şunlar dikkate alınmıştır.

- O.T.F. ve T.T.F. yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü açısından kıyaslanması amaçlanmıştır.
- Malzeme ve kesici takımın devri belirlenirken, malzeme özellikleri ve tezgâhın özellikleri dikkate alınarak uygun değerler belirlenmiştir.
- Aksenal ilerleme hızı belirlenirken tezgâhın en küçük ilerleme hızı ve daha büyük ilerleme hızları dikkate alınmıştır.

- Talaş derinliği seviyeleri ise literatüre göre frezelemede kullanılan talaş derinliği seviyelerine göre belirlenmiştir.

Tam faktöriyel deney tasarımı yöntemi kullanıldığında 256 tane deney yapılması gerekecektir. Bu nedenle taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Taguchi deney tasarım yönteminde ortogonal dizin, parametrelerin serbestlik dereceleri toplamı dizinin serbestlik derecesinden fazla olması gerektiğinden dolayı L_{36} ortogonal dizini seçilmiştir.

Tablo 4.4. Deneydeki parametreler ve seviyeleri

Parametreler	Sembol	Seviyeleri		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
İşlem	A	1	2	
Kesici Takım Devri (dev/dak)	B	250	350	450
İş Parçası Devri (dev/dak)	C	140	180	224
Talaş Derinliği (mm)	D	0.1	0.5	1.0
Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)	E	3.2	7.9	12.6

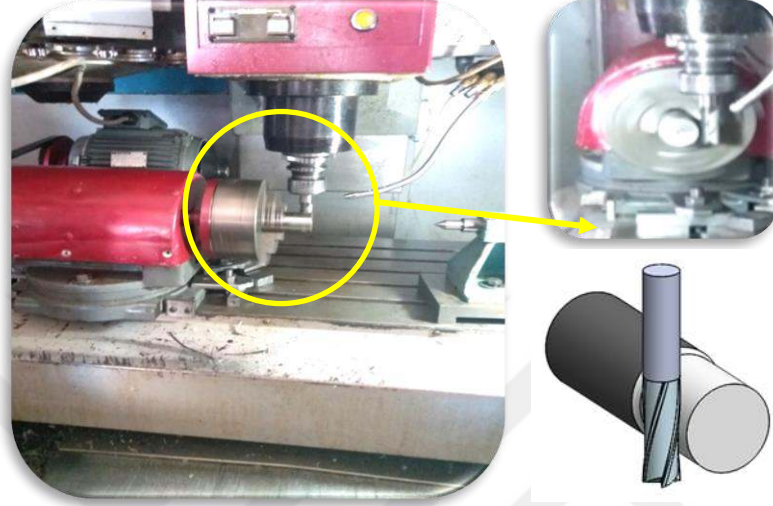
Tablo 4.5'te Minitab 15 paket programının Taguchi dizayn araç çubuğunda deney sayısı ve parametrelerin hangi seviyelerinin kullanılacağı belirlenmiştir.

Tablo 4.5. L36 Ortogonal Dizininde Deney planı

Deney No	İşlem	Kesici Takım Devri (dev/dk)	İş Parçası Devri (dev/dak)	Talaş Derinliği (mm)	Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)
1	1	250	140	0,1	3,2
2	1	350	180	0,5	7,9
3	1	450	224	1,0	12,6
4	1	250	140	0,1	3,2
5	1	350	180	0,5	7,9
6	1	450	224	1,0	12,6
7	1	250	140	0,5	12,6
8	1	350	180	1,0	3,2
9	1	450	224	0,1	7,9
10	1	250	140	1,0	7,9
11	1	350	180	0,1	12,6
12	1	450	224	0,5	3,2
13	1	250	180	1,0	3,2
14	1	350	224	0,1	7,9
15	1	450	140	0,5	12,6
16	1	250	180	1,0	7,9
17	1	350	224	0,1	12,6
18	1	450	140	0,5	3,2
19	2	250	180	0,1	12,6
20	2	350	224	0,5	3,2
21	2	450	140	1,0	7,9
22	2	250	180	0,5	12,6
23	2	350	224	1,0	3,2
24	2	450	140	0,1	7,9
25	2	250	224	0,5	3,2
26	2	350	140	1,0	7,9
27	2	450	180	0,1	12,6
28	2	250	224	0,5	7,9
29	2	350	140	1,0	12,6
30	2	450	180	0,1	3,2
31	2	250	224	1,0	12,6
32	2	350	140	0,1	3,2
33	2	450	180	0,5	7,9
34	2	250	224	0,1	7,9
35	2	350	140	0,5	12,6
36	2	450	180	1,0	3,2

4.4. Teğetsel Tornalama-Frezeleme Deneyleri

Teğetsel Tornalama-Frezeleme işleminde kesici takım silindirik iş parçasının orta eksenini geçecek konuma getirilmiştir. Talaş derinliği Y yönünde verilip kesme işlemi çevre ağızları tarafından yapılmaktadır. Bu işlem Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



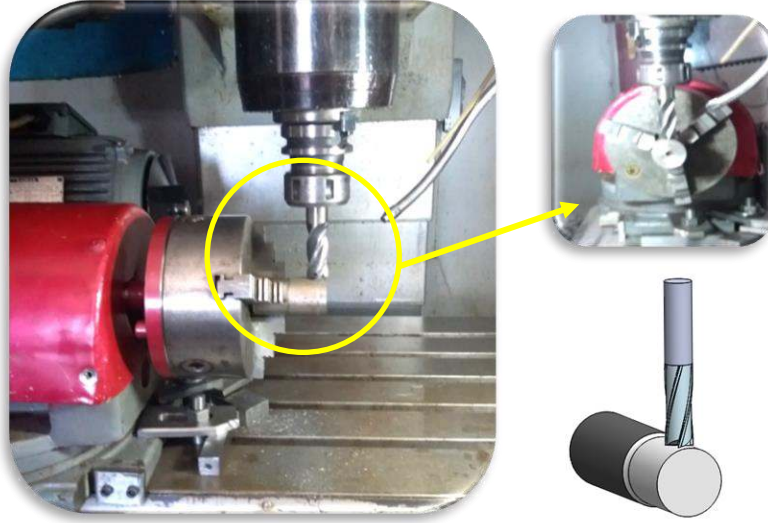
Şekil 4.5. Teğetsel tornalama-frezeleme işlemi

İş parçasına saat ibresinin tersi yönünde dönme hareketi, kesici takıma saat ibresi yönünde dönme hareketi ve tablaya X yönünde ilerleme hareketi verilmiştir. Öncelikle iş parçası ile kesici takımın teması sağlanmış ardından ilk talaş alınmıştır. Akabinde talaş kaldırma işlemi başlatılmış ve takım-talaş ara yüzeyine soğutma sıvısı uygulanmıştır.

Deney planına göre sırasıyla, parametre ve seviyeler değiştirilerek, diğer deneyler de aynı şekilde yapılmıştır. Her yeni deneyde, yeni numune kullanılmıştır ve her numune deneye başlamadan önce ilk talaş alınarak temizlenmiştir. İlk deneyde talaş hangi noktadan alınmaya başladıysa diğer deneylerde de hep aynı noktadan alınmıştır.

4.5. Ortagonal Tornalama-Frezeleme Deneyleri

Ortagonal Tornalama-Frezeleme işleminde kesici takım ile silindirik iş parçası eksenlerinin birbirine dik durumda olması gerekmektedir. Talaş derinliği Z yönünde verilip kesme işlemi alın ağızları tarafından yapılmıştır. Bu işlem Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.

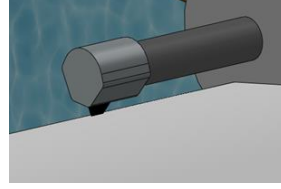
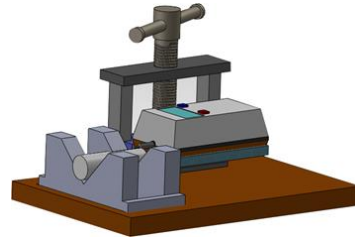


Şekil 4. 6. Ortogonal tornalama-frezeleme işlemi

Öncelikle tezgah değerleri ve invertör yardımıyla ayna devri sıfırlanmıştır. İş parçasına saat ibresinin yönünde dönme hareketi, kesici takıma saat ibresi tersi yönünde dönme hareketi ve tablaya X yönünde ilerleme hareketi verilmiştir. Eksenlerin dikliğini kontrol etmek için çakı iş parçasıyla temas ettirilmiş ve ilk talaş alınmıştır. Talaş kaldırma işlemi başlatıldıktan sonra soğutma sıvısı komutu verilip takım-talaş ara yüzeyine soğutma sıvısı uygulanmıştır. Çakıyı numunenin yarıçapı ve çakının yarıçapının toplamı kadar parça üzerinde hareket ettirdikten sonra deney sonlandırılmıştır.

4.6. Deney Sonuçların Ölçülmesi

Deney sonuçları MİTUTOYO SJ-210 yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür. Şekil 4.7.'de gösterilen, daha önce tasarlanmış olan düzenekte cihaz U kanalına ve silindirik iş parçası V yatağına yerleştirilmiştir. Cihaz ve numunenin merkezi aynı eksende olacak şekilde ölçüm kalibrasyonu yapılmıştır. ISO 1997 standartlarına göre 0,5 mm/sn ölçme hızı ve 0,8 ölçüm katsayısına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri R_a ölçülmüştür. Ölçümler iş parçası eksenini doğrultusunda ve işleme yönüne paralel olarak yapılmıştır. İşlenmiş yüzeyde silindirik parça her ölçümden sonra bir miktar döndürülerek 3 farklı noktadan ölçüm alınıp daha sonra bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Her numune ölçümünden sonra tarama başlığının aynı ekseninde tam temas etmesi sağlanarak cihaz kalibresi kontrol edilmiştir. Deney sonuçları, teğetsel veya ortogonal işlem görmüş numunelerde aynı şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.7. Yüzey pürüzlülük cihazı ve ölçüm için tasarlanan düzenek

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Ortogonal ve Teğetsel Tornalama-Frezeleme Deneylerinde Yüzey

Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Ç1040 çeliğinin O.T.F. ve T.T.F. yöntemleri ile işlenmesi neticesinde işlenen iş parçası yüzeyinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü, çıktılarının Taguchi yönteminde ‘ En küçük en iyi ’ performans karakteristiği kullanılmıştır. Taguchi tasarım yöntemi vasıtasıyla tespit edilen deneylerin yapılmasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları S/N oranlarına dönüştürülmüştür. Ayrıca O.T.F. VE T.T.F. yöntemlerinde kesici takım devri, iş parçası devri, ilerleme hızı ve talaş derinliği olmak üzere dört farklı kontrol faktörü bulunmaktadır. Taguchi tasarım yöntemi ile belirlenen deneylerin varyans analizleri de yapılmıştır.

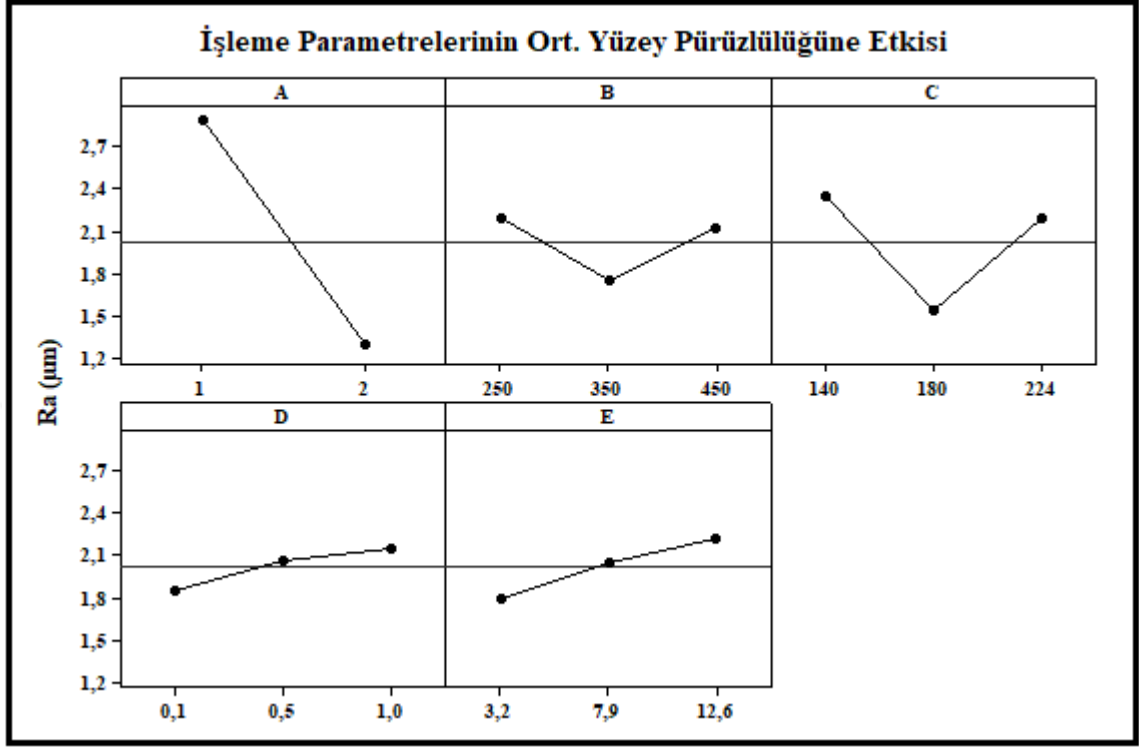
5.1.1.Ç1040 Çeliğinin Ortogonal Tornalama-Frezeleme ve Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemleri ile İşlenmesindeki Deneylerin Sonuçları

Taguchi deney tasarım tekniği ile belirlenerek yapılmış olan deneylerde, O.T.F. ve T.T.F. yöntemleri ile işlenmiş Ç1040 çeliğinden alınan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 5.1’ de gösterilmektedir. Şekil 5.1’de ise Ç1040 çeliğinin işlenmesinde işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.1 ve Şekil 5.1 incelendiğinde tornalama-frezeleme yöntemlerinden teğetsel işlemenin ortogonal işleme yöntemine göre ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından incelendiğinde daha iyi sonuçlar verdiği açık bir şekilde görülmektedir. Kesici takım devri ve iş parçası devri parametreleri ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini belirli bir değere kadar düşürdüğü, bu değerden sonra ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca talaş derinliği ve eksenel ilerleme hızı parametrelerinin artan değerlerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. . Ratnam, Ch., Arun Vikram, K., Ben, B.S., Murthy, B.S.N., yaptıkları çalışmada T.T.F. yönteminin üstünlüğü ile ilgili benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Tablo 5.1 Deney sonuçları

Deney No	İşlem	Kesici Takım Devri (dev/dk)	İş Parçası Devri (dev/dak)	Talaş Derinliği (mm)	Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)	Ort. Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
1	1	250	140	0,1	3,2	3,243
2	1	350	180	0,5	7,9	1,928
3	1	450	224	1,0	12,6	3,847
4	1	250	140	0,1	3,2	3,214
5	1	350	180	0,5	7,9	1,947
6	1	450	224	1,0	12,6	3,791
7	1	250	140	0,5	12,6	3,342
8	1	350	180	1,0	3,2	1,822
9	1	450	224	0,1	7,9	3,530
10	1	250	140	1,0	7,9	3,311
11	1	350	180	0,1	12,6	2,144
12	1	450	224	0,5	3,2	2,642
13	1	250	180	1,0	3,2	2,714
14	1	350	224	0,1	7,9	2,453
15	1	450	140	0,5	12,6	3,572
16	1	250	180	1,0	7,9	2,725
17	1	350	224	0,1	12,6	2,681
18	1	450	140	0,5	3,2	3,420
19	2	250	180	0,1	12,6	1,034
20	2	350	224	0,5	3,2	1,109
21	2	450	140	1,0	7,9	1,650
22	2	250	180	0,5	12,6	1,180
23	2	350	224	1,0	3,2	1,258
24	2	450	140	0,1	7,9	1,274
25	2	250	224	0,5	3,2	1,240
26	2	350	140	1,0	7,9	1,579
27	2	450	180	0,1	12,6	0,966
28	2	250	224	0,5	7,9	1,663
29	2	350	140	1,0	12,6	1,820
30	2	450	180	0,1	3,2	0,625
31	2	250	224	1,0	12,6	2,174
32	2	350	140	0,1	3,2	0,909
33	2	450	180	0,5	7,9	0,957
34	2	250	224	0,1	7,9	1,457
35	2	350	140	0,5	12,6	1,604
36	2	450	180	1,0	3,2	0,809



Şekil 5.1. İşleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi

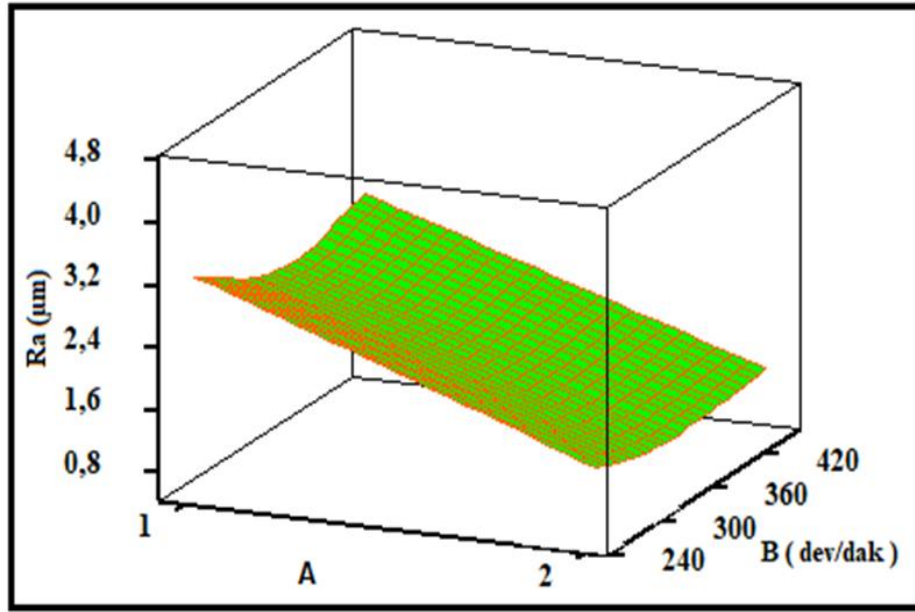
5.1.1.1. İşleme Yöntemi ve Kesici Takım Devri Parametrelerinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

Tablo 5.1. ve Şekil 5.2 incelendiğinde tornalama-frezeleme yöntemlerinden teğetsel işlem şeklinin ortagonal işleme şekline göre ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha düşük bir değere ulaştığı açık bir şekilde görülmektedir. Ortagonal işleme şeklinde kesici takım iş parçasına ortagonal olarak temas etmekte ve kesici takımın alın yüzeyindeki kesici ağızlar kesme işlemini gerçekleştirmektedir. İş parçasının silindirik olması kesici takımın bütün kesici ağızlarının iş parçası ile sürekli temas halinde olmamasından dolayı kesintili bir kesme olayının olmasına sebep vermektedir. Bu durumda kesici takım üzerinde titreşimin olmasına ve buna bağlı olarak da ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin yüksek olmasını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca kesme esnasında kesintili kesme işleminin gerçekleşmesinin olmasından dolayı periyodik olarak kesme kuvvetlerinin oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Teğetsel işleme şeklinde ise kesici takım iş parçasına teğetsel olarak temas etmekte ve kesici takımın yanıl kesici kenarları kesme işlemi yapmaktadır. Kesme

işleminde kesici ağızlar silindirik frezeleme işleminde olduğu gibi iş parçası ile sürekli temas durumunda olmasından dolayı titreşim oranı ve kesme kuvvetlerinin değişim oranı minimuma düşecek şekilde kararlı bir kesme gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak oluşan en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri de ortagonal işlemeye göre daha düşük olmaktadır. Vedat Savaş ve Çetin Özay yapmış oldukları çalışmada yüzey kalitesi açısından benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Kesici takım devri parametresinin her iki işleme tipi içinde belirli bir değere kadar olan artışında düşüş gözlenirken bu değer üzerine çıktığında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı belirlenmiştir. Bu kritik değerin kesici takım ideal kesme hızı değerine göre hesaplanan devre yakın değerde olduğu söylenebilir.

İşleme şekli ve kesici takım devri parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Şekil 5.2’de detaylı olarak gösterilmiştir.



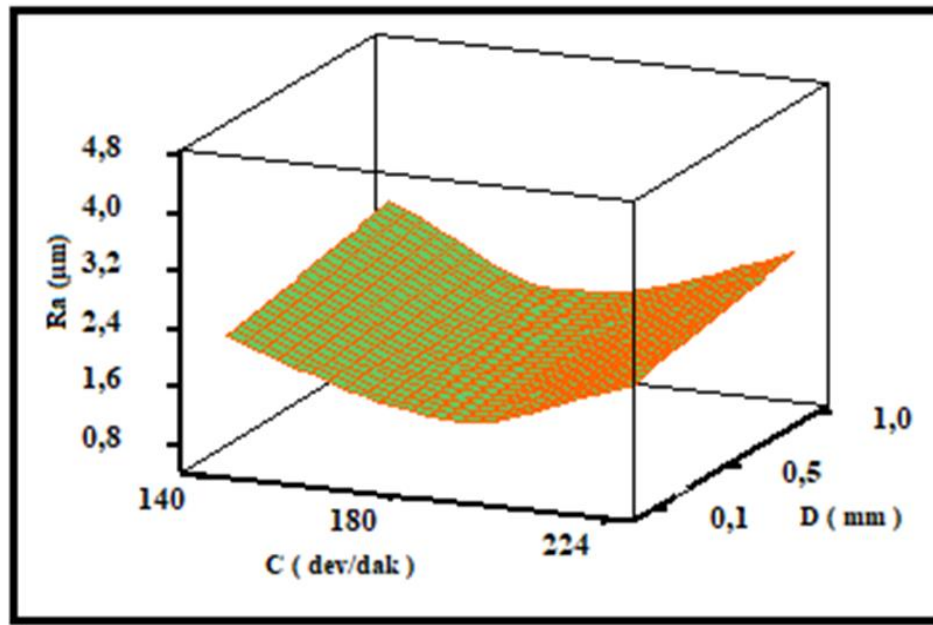
Şekil 5. 2. İşleme şekli ve kesici takım devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

5.1.1.2. İş Parçası Devri ve Talaş Derinliği Parametrelerinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

Tablo 5.1. ve Şekil 5.3 incelendiğinde iş parçası devrinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili bir parametre olduğu görülmektedir. Kesici takım devrine benzer bir durum sergilemektedir. İş parçasının belirli bir devrine kadar ortalama yüzey pürüzlülüğünde bir düşüş olduğu bu değerden sonraki artışlarda ise ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin

arttığı görülmektedir. Sonuç üzerinde iş parçası parametresindeki bu kritik değerin ideal kesme hızı formülündeki değere denk geldiği literatürden gözlemlenmiştir.

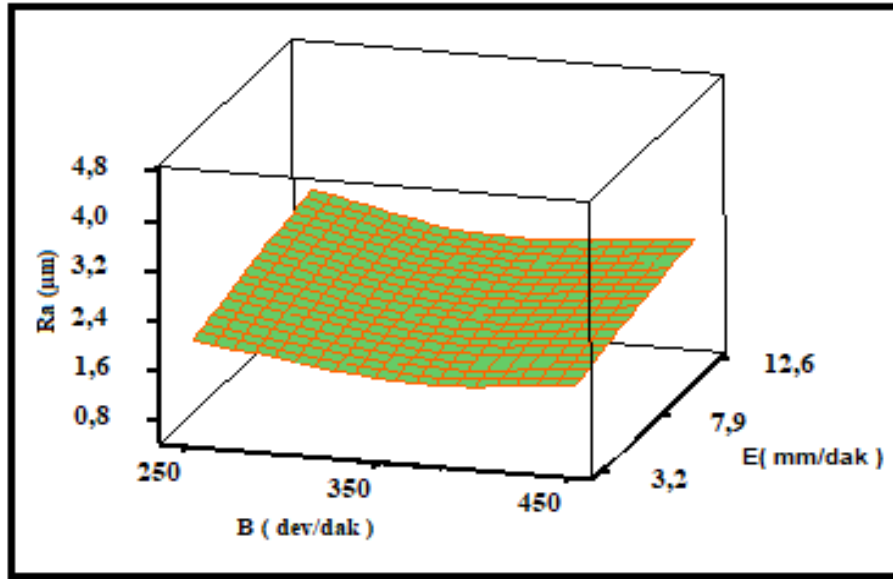
Talaş derinliği parametresi seviyelerindeki değişikliklerde de ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Talaş derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü de buna orantılı olarak artmaktadır. Talaş derinliğinin artması ile kesici takımın iş parçasından koparmaya çalıştığı talaş miktarı artmakta ve gerekli olan kuvvet artmaktadır. Bunun sonucunda kesici takım titreşiminin artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri de artmaktadır.



Şekil 5. 3. İş parçası devrinin ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

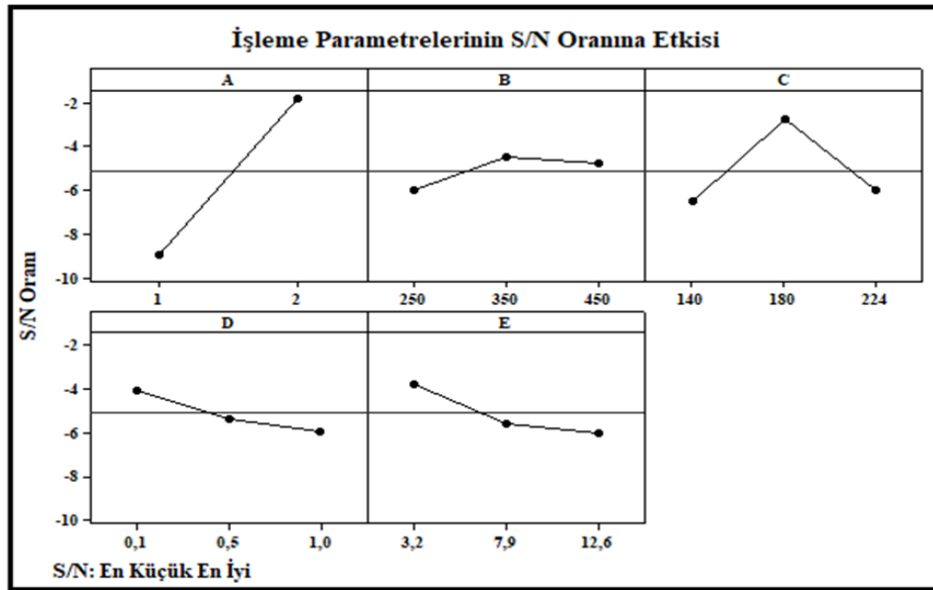
5.1.1.3. Eksenel İlerleme Hızı Parametresinin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

Tablo 5.1. ve Şekil 5.4 incelendiğinde eksenel ilerleme parametresinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi görülmektedir. Eksenel ilerleme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin önemli bir miktarda arttığı görülmektedir. Bu parametre değerinin artırılması ile kesici takımın iş parçası üzerinde birim zamanda temas ettiği mesafe azalmakta ve düşük değerlerine nazaran tüm yüzeyi taramamaktadır. Bu durumda ortalama yüzey pürüzlülük değerinin artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.4. Kesici takım devrinin ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.5.'te ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin “En Küçük En İyi” performans karakteristiğine karşılık gelen S/N oranları gösterilmiştir. Bilindiği üzere S/N oranı kontrol edilebilen faktörlerin kontrol edilmeyen faktörlerin sonuç üzerinde oluşturmuş olduğu etkileri oranıdır. S/N oranının en büyük değerleri kullanılan işleme parametrelerinin optimum seviyelerinin tespit edilmesini sağlamaktadır. En ideal seviyelerin işlem, kesici takım devri ve iş parçası devrinin 2. seviyeleri, talaş derinliği ve aksel ilerlemenin 1. seviyeleri olduğu görülmektedir.



Şekil 5.5. İşleme parametrelerinin S/N oranına etkisi

5.2. Ç1040 Çelik Malzemesinin Tornalama-Frezeleme Yöntemleri ile İşlenmesinde Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünün ANOVA Varyans Analizi

Tablo 5.2’de Ç1040 çelik malzemesinin tornalama-frezeleme yöntemleri ile işlenmesinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün ANOVA varyans analizindeki sonuçları görülmektedir. Analizin güvenilirlik düzeyi % 99 olarak seçilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bütün işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlüğü üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu parametrelerden özellikle işlem (talaş kaldırma) yöntemi parametresinin sonuç üzerinde çok ciddi bir etkiye sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca iş parçası devri parametresinin de önemli bir etkisinin olduğu diğer parametrelerin ise daha az etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 5.2. Ç1040 çeliğinin tornalama-frezeleme yöntemleri ile işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğünün ANOVA analizi

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Varyans	F Değeri	% Dağılımı	Tablo F Değeri
İşlem	1	465,8483	465,8483	463,6539	69,40766	7,721254
Kesici takım devri	2	19,62478	9,812388	9,766166	2,630213	5,526335
İş parçası devri	2	109,2044	54,60219	54,34498	16,0057	5,526335
İlerleme	2	20,12669	10,06335	10,01594	2,705156	5,526335
Eksenel ilerleme	2	28,80225	14,40113	14,33329	4,000539	5,526335
Hata	26	26,12305	1,004733	0	5,250725	0
TOPLAM		669,7295			100	100

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Ç1040 malzemesi teğetsel tornalama frezeleme ve ortagonal tornalama-frezeleme yöntemleriyle ayrı ayrı işlenmiştir. Deneysel çalışma planı Taguchi deney tasarımı L36 ortagonal dizinine göre seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda işleme parametreleri olarak; işlem, kesici takım devri, iş parçası devri, talaş derinliği ve eksenel ilerleme parametreleri seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda, sonuçlar Minitab15 paket programı kullanılarak S/N oranları belirlenmiş ve ANOVA varyans analizi ile de istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ve incelemeler sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir;

- ✓ İşlem parametresinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne çok ciddi bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. T.T.F. yönteminin O.T.F. yöntemine göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini çok fazla düşürdüğü tespit edilmiştir.
- ✓ İş parçası devri ve kesici takım devri parametrelerinin belirli bir değere kadar arttırılması (iş parçası devri 350 dev/dk ve kesici takım devri 180 dev/dk) ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin düştüğü, bu değerden sonraki değerlerde ise ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini yükselttiği belirlenmiştir.
- ✓ Talaş derinliği ve eksenel ilerleme hızı parametrelerinin değerinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı tespit edilmiştir. Optimum değerler talaş derinliğinde 0,1 mm ve ilerlemede 3,2 mm/dk'dır.
- ✓ S/N oranları incelendiğinde işleme parametrelerinin optimum seviyelerinin (A2B2C2D1E1) ortalama pürüzlülüğü değerinde en iyi sonucu verdiği görülmüştür.
- ✓ Varyans analizi incelendiğinde parametrelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.
- ✓ Varyans analizinde işlem parametresinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde %69'luk oranla en büyük etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. İş parçası devrinin %16 civarında etki ettiği; ayrıca kesici takım devri, talaş derinliği ve eksenel ilerleme hızı parametrelerinin ise ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha az etkili olduğu belirlenmiştir.

6.1. Öneriler

Yapılan bu tez çalışmasının devamı olabilecek çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- ✓ Belirli işlem parametrelerinde kesici takım değiştirilerek iki yöntem kıyaslanabilir
- ✓ Farklı iş parçası malzemeleri kullanılarak kıyaslama yapılabilir
- ✓ Talaş kaldırma sırasında etki eden kuvvetler bu iki yöntem için de ayrı ayrı incelenebilir ve hatta kıyas yapılabilir
- ✓ Analiz programları kullanılarak elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları kıyaslanabilir.



KAYNAKLAR

- [1]. **Kopac J, Pogacink M** (1997) Theory and practice of achieving quality surface in turn milling. *Int. J. Mach Tools Manuf* 37(5): 709–715.
- [2]. **Pogacink M, Kopac J** (2000) Dynamic stabilization of the turnmilling process by parameter optimization. *Proc Inst Mech Eng* 214:127–135.
- [3]. **Schulz H., Lehmann T.**, 1990. “Krafte und Antriebsleistungen beim Ortagonalen Drehfrasen (Forces and Drive Powers in Ortahogonal Turn-Milling)”, *Werkstatt und Betrieb*, **123**, p.921-924.
- [4]. **Schulz H.**, 1990. “High Speed Turn Milling A New Precision Manufacturing Technology fort he Machining of Rotationally Symmetrical Workpieces”, *Annals of the CIRP*, vol **39**, p 107-109.
- [5]. **Pogacnik M. ve Kopac J.** 1997. “Dynamic stabilization of the turn-milling process by parameter optimization” *Proceedings of the institution of mechanical engineers*, **214**, 2; ProQuest Science Journals Pg. 127-135.
- [6]. **Kopac J. ve Pogacnik M.** 1997. “Theory and Practice of Achieving Quality surface in turn milling” *Int. J. Mach. Tools Manufct.*, **37**, No.5, pp. 709-715.
- [7]. **Choudhury, S.K. ve Bajpai, J.B.** 2005. “Investigation in orthogonal turn-milling towards beter surface finish”, *Journal of Materials Processing Technology*, **170**, 487-493.
- [8]. **Savas V., Ozay C.**, 2008. “The optimization of the surface roughness in the process of tangential Turn-milling using genetic algorithm” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, **37**, pp.335–340.
- [9]. **Savas V., Ozay C.**, 2007. “Analysis of the surface roughness of tangential turn-milling for machining with end milling cutter” *Journal of Materials Processing Technology*, **186**, 279–283.
- [10]. **Lee, Y.S., Chiou, C.J.**, 1999. “Unfolded projection approach to machining non-coaxial parts on mill-turn machines “, *Computers in Industry* **39**, 147-173.
- [11]. **Kara güzel U., Uysal E., Budak, E., Bakkal M.**, 2015, “Analytical modeling of turn-milling process geometry, kinematics and mechanics. ”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume **91**, Pages 24-33.
- [12]. **Kara güzel U., Uysal E., Budak, E., Bakkal M.**, 2016, “Effects of tool axis offset in turn-milling process”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume **231**, Pp. 239-247.
- [13]. **Ratnam, Ch., Arun Vikram, K., Ben, B.S., Murthy, B.S.N.**, 2016, “Process monitoring and effects of process parameters on responses in turn-milling operations based on SN ratio and ANOVA”, *Measurement* **94**, 221–232.

- [14]. **J. Pujana, P.J. Arrazola, J.A. Villar**, 2008, “In-process high-speed photography applied to orthogonal turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, **202**, 475–485.
- [15]. **Pontes F.J., Paiva A.P., Balestrassi P.P., Ferreira J.R., Silva M.B.**, 2012 “Optimization of Radial Basis Function neural network employed for prediction of surface roughness in hard turning process using Taguchi’s orthogonal arrays”, *Expert Systems with Applications*, **39**, 7776–7787.
- [16]. **San-Juan M., Martín O., Santos F.**, 2010 “Experimental study of friction from cutting forces in orthogonal milling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **50**, 591–600.
- [17]. **L. Zhou, C. Y. Wang & Z. Qin**, 2014, “Investigation of Chip Formation Characteristics in Orthogonal Cutting of Graphite”, *Materials and Manufacturing Processes*, 24:12, 1365-1372.
- [18]. **Egashira K., Furukawa T., Yamaguchi K., Ota M.**, 2016, “Microcutting using a micro turn-milling machine”, *Precision Engineering*, **44**, 81–86.
- [19]. **Comak A., Altintas Y.**, 2017, “Mechanics of turn-milling operations”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **121**, (2017) 2–9.
- [20]. **Karaguzel U., Bakkal M., Budak E.**, 2017, “Mechanical and thermal modeling of orthogonal turn-milling operation”, *16th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations*, Procedia CIRP 58, 287 – 292.
- [21]. <http://www.ybmakina.com/talasli-imalat.asp>
- [22]. **Mikell P. Groover**, 2014, Theory of Metal Machining “*Fundamentals of Modern Manufacturing*” 483-507, Professor of Industrial and Systems Engineering, Lehigh University, New York.
- [23]. <http://www.kmsanayias.com/?Syf=26&Syz=469414>
- [24]. <http://www.cncelmas.com/Temel-talasli-imalat-yontemleri,DP-10.html>
- [25]. <http://www.bilgiustam.com/tornalama-hakkinda-hersey-freze-matkap-planlya-vargel/>
- [26]. <http://www.makinaegitim.com/?p=3900>
- [27]. **Dawim J. P.**; 2001. “A Note On the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using desing of experiments” , *Journal of Materials Processing Technology* 116, 305-308.
- [28]. **Dietmar, S.**; 1996. “Oberflächenbeschaffenheit und Produktivität beim orthogonalen hochgeschwindigkeits drehfräsen”. Shaker , Aachen.
- [29]. **Ballıkaya H.**, 2011, 100Cr6 çeliğinin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi işlenmesinde kesme parametrelerinin deneysel araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [30]. **Günaydın E.**, 2014, Mikro frezeleme uygulamalarında en uygun takım yolunun ve kesme parametrelerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Gebze.

- [31]. <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ot/yuzey.puruzlulugu.pdf>
- [32]. http://www.serkanaktashoca.com/FileUpload/ks406968/File/imalat_islemleri_ii.pdf
Kocaeli Üniversitesi Uzunçiftlik Nuh Çimento Meslek Yüksek Okulu Öğr. Gör. Serkan AKTAŞ.
- [33]. **Sirvancı, M.**, Kalite için Deney Tasarımı “*Taguchi Yaklaşımı*” s.112, Literatür Yayıncılık, Milwaukee ABD, 1996.
- [34]. <http://endustrimuhendisligi.blogspot.com.tr/2012/12/taguchi-metodu.html>, Taguchi Metodu, 13 Aralık 2012.
- [35]. **Güral, G.**, Gaz Kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2003.
- [36]. **Kayı, Y.**, “Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin taguchi metodu ile incelenmesi” *Yüksek Lisans Tezi*, 2006
- [37]. **Canıylmaz, E.**, “Kalite geliştirmede taguchi metodu ve bir örnek uygulama” *Yüksek Lisans Tezi*, 2001.
- [38]. **Ross, W., Sykes, S.**, 1989 Optimization Of A Hot-Stamping Process, 74 Michigan: Ameriken Supplier Institute Inc.
- [39]. **Gökçe G, Taşgetiren S.**, 2009 “Kalite için Deney Tasarımı Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi”. Cilt:6, No:1 (71-83).
- [40]. **Ross P. J.**, 1988, “Taguchi Tachniques for Quality Engineering”, McGraw-Hill, p.1-278, NewYork.
- [41]. **Durmaz, S.**, 2008, “Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyonu prosesine uygulanması” *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya.
- [42]. **Ozay C.**, 2009, “Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin teorik ve deneysel olarak araştırılması” *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

1993 tarihli Elazığ doğumlu olan Zahide KÜÇÜK ilk, orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladıktan sonra, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde 2011-2015 yılları arasında lisans eğitimini tamamlayarak mezun oldu. 2015 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Teknolojileri Programı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

