



T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TALAŞLI İMALATTA KESME PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK
TOLERANSLAR ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

HASAN HÜSEYİN AKYIL

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Osman BİCAN

KIRIKKALE – 2023



T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TALAŞLI İMALATTA KESME PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK
TOLERANSLAR ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

HASAN HÜSEYİN AKYIL

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Osman BİCAN

KIRIKKALE – 2023

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında HASAN HÜSEYİN AKYIL tarafından hazırlanan “TALAŞLI İMALATTA KESME PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK TOLERANSLAR ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması, aşğıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Osman BİCAN

İmza:.....

Makine Mühendisliği A.B.D, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Dr. Öğretim Üyesi Zeki AZAKLI

İmza:.....

Makine Mühendisliği A.B.D, Gümüşhane Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Memik Taylan DAŞ

İmza:.....

Makine Mühendisliği A.B.D, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 19/01/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

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

o Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,

o Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,

o Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

o Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,

o Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hasan Hüseyin AKYIL

22.01.2023

ÖZET

TALAŞLI İMALATTA KESME PARAMETRELERİNİN GEOMETRİK TOLERANSLAR ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Osman BİCAN

Ocak 2023, 81 sayfa

İmalat sanayinde büyük öneme sahip olan talaşlı imalat prosesinde istenilen, hassas tolerans aralığında ve düşük yüzey pürüzlülük değerlerinde parça imal edebilmek en önemli amaç olarak görülmektedir. Yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı, temas ve etkileşim halinde çalışan makine parçalarının dayanımını ve performansını önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışmalar esnasında CNC tornalama işlemi ile üretilen ve özellikle imalat sektöründe genişçe kullanım alanına sahip olan SAE 1040 malzemelerin geometrik tolerans değerlerinden silindiriklik, dairesellik ve doğrusalık değerleri analiz edilmiştir. Prosese etkisi yüksek olan bu bağımlı değişkenler üzerine etki eden, tornalama işlemlerinde büyük öneme sahip olan kesme parametre değişkenlerinin etkisi incelenmiştir. Deneyler DOOSAN Lynx 2100 CNC torna tezgâhında Q8 Brunel XF 450 soğutma sıvısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Takım tutucu olarak WIDIA DWLNR-2525M08 ve kesici uç olarak WNMG0804086P TN20P tercih edilmiştir. İşlemler üç farklı talaş derinliğinde (1 mm, 1.5 mm, 2 mm), üç farklı kesme hızında (150 m/dak, 200 m/dak, 275 m/dak) ve üç farklı ilerlemede (0.15 mm/dev, 0.2 mm/dev, 0.24 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonrası elde edilen numune parçalarının silindiriklik, dairesellik ve düzlemsellik değerleri DEA GLOBAL CMM 3D ölçüm cihazında ölçülmüştür. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi için, istatistiksel yöntem olan Taguchi metodu kullanılmıştır. Bu metod ile deneylere harcanacak zaman ve maliyetten tasarruf sağlanmış, deney sonuçlarından elde edilen veriler yorumlanmıştır. Ek olarak bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki etkili olan parametreleri belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Talaşlı imalat, Tornalama, Kesme parametreleri, SAE 1040, Geometrik tolerans, Silindiriklik, Dairesellik, Doğrusallık, CMM

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON GEOMETRIC TOLERANCES IN MACHINING

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Osman BİCAN

January 2023, 81 pages

In the machining process, which is of great importance in the manufacturing industry, the most crucial aim is to be able to manufacture parts in the desired sensitive tolerance range and low surface roughness values. Surface quality and dimensional accuracy significantly affect the strength and performance of machine parts operating in contact and interaction. During these studies, of the geometric tolerance values, cylindricity, circularity and linearity values of SAE 1040 materials, which are produced by the CNC turning process and are widely used primarily in the manufacturing sector, were analysed. The effect of cutting parameter variables, which have a high impact on the process and have great importance in turning operations, were investigated. The experiments were carried out on a DOOSAN Lynx 2100 CNC Lathe by using Q8 Brunel XF 450 coolant. WIDIA DWLNR-2525M08 as a tool holder and WNMG0804086P TN20P as a cutting insert were used. The operations were performed at three different depths of cut (1 mm, 1.5 mm, 2 mm), three different cutting speeds (150 m/min, 200 m/min, 275 m/min), and three different feeds (150 m/rev), 200 m/rev, 240 m/rev). The cylindricity, circularity and linearity values of the sample parts obtained after the experiments were measured in the DEA GLOBAL CMM 3D measuring device. The Taguchi method, which is a statistical method, was used to evaluate the obtained data. With respect to the Taguchi method, time and cost savings were efficiently used, and the data obtained from the experiment were interpreted. In addition, analysis of variance (ANOVA) was used to determine the most influential parameters between dependent and independent variables.

Key Words: Machining, turning, cutting parameters, SAE 1040, geometric tolerance, cylindricity, circularity, linearity, CMM

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca desteğini esirgemeyen, tecrübesi ve katkılarıyla bana yol gösteren danıőmanım sayın Prof. Dr. Osman BİCAN'a sonsuz saygı ve őükranlarımı sunarım. Deneyleerin uygulanması aőamasındaki desteklerinden dolayı saygı değer Formmetal Makina Sanayi A.Ő. yöneticilerine ve yetkili personellerine teşekkür ederim. Son olarak hayatım boyunca beni her zaman destekleyen ve yanımda olmalarından mutluluk duyduğum, sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ETİK BEYANI	IV
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2
1.1.1. Yapılan Çalışmalar	2
2. ÇELİKLER	9
2.1. Karbon Oranına Göre Çelikler	10
2.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler	11
2.1.2. Orta Karbonlu Çelikler	12
2.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler	12
2.2. Çeliklere Alaşım Elementlerinin Etkisi	13
2.2.1. Karbon (C) Etkisi	13
2.2.2. Mangan (Mn) Etkisi	13
2.2.3. Silisyum (Si) Etkisi	13

2.2.4.	Kükürt (S) Etkisi	14
2.2.5.	Fosfor (P) Etkisi	14
2.2.6.	Krom (Cr) Etkisi.....	14
2.2.7.	Nikel (Ni) Etkisi	15
2.2.8.	Vanadyum (V) Etkisi	15
2.2.9.	Molibden (Mo) etkisi	15
2.2.10.	Volfram (W) Etkisi	15
2.2.11.	Bakır (Cu) Etkisi	16
2.3.	Çelik Standartları	16
2.3.1.	SAE ve AISI Çelik Normları	16
3.	TALAŞLI İMALAT ve TALAŞ OLUŞUMU	18
3.1.	Talaşlı İmalat Kavramı ve Önemi.....	18
3.2.	Talaş Kaldırma Mekanığı	18
3.2.1.	Dik (Ortogonal) Kesme:.....	19
3.2.2.	Eğik (Oblik) Kesme	20
3.3.	Tornalama	21
3.3.1.	Kesme Parametreleri	23
3.3.1.1	Kesme Hızı.....	23
3.3.1.2	İlerleme	24
3.3.1.3	Talaş Derinliği	25
4.	GEOMETRİK TOLERANSLAR.....	26
4.1.	Tolerans Kavramı.....	26
4.2.	Geometrik Tolerans Kavramı	26
4.3.	Geometrik Tolerans Sembolleri	27
4.4.	Şekil Toleransları.....	28
4.4.1.	Düzlemsellik.....	28
4.4.2.	Doğrusallık	29
4.4.3.	Dairesellik	30
4.4.4.	Silindiriklik.....	31
4.5.	Profil Toleransları	32
4.5.1.	Doğru Profili	33
4.5.2.	Yüzey Profili	34
4.6.	Yön Toleransları	35

4.6.1.	Diklik Toleransı.....	35
4.6.2.	Paralellik Toleransı	36
4.6.3.	Açısallık Toleransı	38
4.7.	Yalpalama (Salgı) Toleransları	39
4.7.1.	Dairesel Yalpalama (Salgı)	39
4.7.2.	Toplam Yalpalama (Salgı)	40
4.8.	Yerleşim Toleransları.....	42
4.8.1.	Konum Toleransları.....	42
4.8.2.	Eş Merkezlik (Eş Eksenlilik) Toleransı	43
4.8.3.	Simetri Geometrik Toleransı.....	43
4.9.	Geometrik Tolerans Sembollerinin Şekil Üzerinde Gösterilmesi....	44
4.9.1.	Tolerans Çerçevesi	44
4.9.2.	Datum Sembolü.....	46
4.9.2.1	Datum Sembolünün Uygulanması	47
4.10.	Geometrik Tolerans Avantajları.....	49
5.	DENEY TASARIMI TEKNİKLERİ.....	51
5.1.	Deney Tasarımı	51
5.2.	Taguchi Yöntemi.....	51
5.2.1.	Taguchi Metodunun Uygulama Adımları	53
5.3.	Varyans Analizi (ANOVA)	53
6.	MALZEME ve METOT	55
6.1.	Deneylerde Kullanılan Deney Malzemesi.....	55
6.2.	Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı ve Yardımcı Aparatları	56
6.3.	Deneylerde Kullanılan Kesici Uç ve Takım Tutucu.....	57
6.4.	Deneylerde Kullanılan Kesme Sıvısı	58
6.5.	Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları ve Aletleri	58
6.6.	Deney Numunelerinin Hazırlanması	61
6.6.1.	Deney Faktörlerinin Belirlenmesi ve Ortogonal Dizin	61
6.6.2.	Deney Malzemesinin Sertliğinin Ölçülmesi	61
6.6.3.	Numune Parçaların Üretilmesi	63
6.6.4.	CMM 3D Ölçüm Cihazında Geometrik Toleransların Ölçülmesi	65
7.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	68

7.1. Deney Sonuçlarının Analizi	68
7.1.1. Silindiriklik Toleransının Sonuçları	68
7.1.2. Dairesellik Toleransının Sonuçları	70
7.1.3. Doğrusallık Toleransının Sonuçları	72
8. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	74
9. KAYNAKÇA	76
ÖZGEÇMİŞ	81



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çelik standartları.....	16
Çizelge 6.1. SAE 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	55
Çizelge 6.2. LYNX 2100 CNC Torna tezgâh özellikleri.....	56
Çizelge 6.3. CNC Çubuk sürücü özellikleri.....	57
Çizelge 6.4. DEA Global CMM teknik özellikleri	59
Çizelge 6.5. EMCOTEST sertlik ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	60
Çizelge 6.6. Deney faktörleri ve seviyeleri.....	61
Çizelge 6.7. Taguchi L9 deney tasarımı tablosu.....	61
Çizelge 7.1. Ölçülen silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık tolerans değerleri.....	68
Çizelge 7.2. Silindiriklik toleransı değerlerinin S/N oranları	69
Çizelge 7.3. Silindiriklik toleransı değerlerinin S/N oranları	69
Çizelge 7.4. Silindiriklik toleransı için ANOVA sonuçları	70
Çizelge 7.5. Dairesellik toleransı değerlerinin S/N oranları	71
Çizelge 7.6. Dairesellik toleransı değerlerinin S/N oranları	71
Çizelge 7.7. Dairesellik toleransı için ANOVA sonuçları	72
Çizelge 7.8. Doğrusallık toleransı değerlerinin S/N oranları.....	72
Çizelge 7.9. Doğrusallık toleransı değerlerinin S/N oranları.....	73
Çizelge 7.10. Doğrusallık toleransı için ANOVA sonuçları.....	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çeliklerin karbon oranına bağlı olarak gerilme şekil değiştirme diyagramı (Kaya Demir Çelik, 2016).....	10
Şekil 2.2. Çeliklerin karbon miktarı ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler (Karabayrak, 2017).....	11
Şekil 3.1. Dik kesme modeli (Karayel, 2015).....	20
Şekil 3.2. Eğik kesme modeli (Karayel, 2015)	20
Şekil 3.3. Tornalama işlemi	21
Şekil 3.4. CNC Torna tezgahı (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2012).....	22
Şekil 3.5. Tornalama işlemleri a) Alın torna işlemi b) Konik torna işlemi c) Kontur torna işlemi d) Şekil torna işlemi e) Pah kırma f) Kanal açma işlemi g) Diş açma işlemi h) Delik büyütme işlemi i) Delik delme işlemi j) Tırtıl çekme işlemi (Groover, 2010)	23
Şekil 4.1. Tolerans sembolleri (Töre, 2004)	28
Şekil 4.2. Düzlemsellik toleransı gösterimi ve uygulaması	29
Şekil 4.3. Doğrusallık toleransı gösterimi.....	30
Şekil 4.4. Dairesellik toleransı gösterimi	30
Şekil 4.5. Dairesellik toleransı uygulaması.....	31
Şekil 4.6. Silindiriklik toleransı gösterimi	32
Şekil 4.7. Silindiriklik tolerans uygulaması	32
Şekil 4.8. Doğru profil toleransı gösterimi	33
Şekil 4.9. Doğru profili tolerans bölgesinin gösterimi.....	33
Şekil 4.10. Yüzey profil toleransı gösterimi	34
Şekil 4.11. Yüzey profil tolerans bölgesinin gösterimi.....	35
Şekil 4.12. Diklik toleransı gösterimi	36
Şekil 4.13. Diklik tolerans bölgesinin gösterilmesi	36
Şekil 4.14. Paralellik toleransı gösterimi	37

Şekil 4.15. Paralellik tolerans bölgesinin gösterilmesi	37
Şekil 4.16. Açısallık toleransı gösterimi	38
Şekil 4.17. Açısallık tolerans bölgesinin gösterilmesi (Geiss, 2014).....	38
Şekil 4.18. Dairesel yalpalama gösterimi.....	39
Şekil 4.19. Dairesel yalpalama uygulaması (Cimquest Marketing, 2021).....	40
Şekil 4.20. Toplam salgı gösterimi	41
Şekil 4.21. Toplam salgı uygulaması (Cimquest Marketing, 2021)	41
Şekil 4.22. Delikli bir levhanın delik eksen konumu için konum toleranslandırma.....	42
Şekil 4.23. Konum toleransının detaylandırılması.....	42
Şekil 4.24. Eş merkezlik toleransının gösterimi	43
Şekil 4.25. Silindiriklik toleransı	44
Şekil 4.26. Silindiriklik tolerans uygulaması	44
Şekil 4.27. Tolerans çerçevesi.....	45
Şekil 4.28. Basit tolerans çerçevesi gösterimi.....	45
Şekil 4.29. Referanslı tolerans çerçevesi	46
Şekil 4.30. Üç referanslı tolerans çerçevesi	46
Şekil 4.31. Datum sembolü.....	47
Şekil 4.32. Şekil üzerinde datum gösterimi	47
Şekil 4.33. Şekil üzerinde datum gösterimi	48
Şekil 4.34. Datumun bir eksen olması durumunda	48
Şekil 4.35. Datum üçgeninin herhangi bir noktadan gösterimi.....	49
Şekil 4.36. Datumun doğrudan bağlanması	49
Şekil 6.1. Doosan Lynux 2100 Torna tezgâhı.....	56
Şekil 6.2. CNC Çubuk sürücü.....	57
Şekil 6.3. a) Takım tutucu b) Kesici uç.....	58
Şekil 6.4. DEA Global CMM.....	59
Şekil 6.5. EMCOTEST Sertlik ölçüm cihazı	60
Şekil 6.6. a) Kesilen numune parça b) Yüzeyi zımparalanmış parça	62
Şekil 6.7. a) Pleyt üzerine parçanın yerleştirilmesi b) Ölçüm sonuç ekranı	62
Şekil 6.8. Sertlik ölçüm sonuçları	63
Şekil 6.9. Numune parçanın teknik resim	64
Şekil 6.10. Malzemenin sınırlayıcıya sürülmesi	64
Şekil 6.11. Bitmiş numune parça	65
Şekil 6.12. Deney numunelerinin ölçüm cihazına bağlanması	66

Şekil 6.13. a) Kalibrasyon ekranı b) Kalibrasyon küresi ile açıların doğrulanması	66
Şekil 6.14. a) Dairesellik ölçümünün gösterimi b) Silindiriklik ölçümünün PC-DMIS programı üzerinde gösterimi	67
Şekil 7.1. Silindiriklik toleransı değeri sinyal gürültü oranları.....	70
Şekil 7.2. Dairesellik toleransı değeri sinyal gürültü oranları.....	71
Şekil 7.3. Doğrusallık toleransı değeri sinyal gürültü oranları	73



SİMGELER DİZİNİ

a: Tabaka kalınlığı (mm)

D : Çap (mm)

F_c: Esas kesme kuvveti

F_f: İlerleme kuvveti

n: Devir (devir / dak)

R: Yarıçap

V: Kesme hızı (m/dak)

V_f: İlerleme hızı

KISALTMALAR DİZİNİ

AISI: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü

ASME: Amerikan Makine Mühendisleri Birliği

Ar-Ge: Araştırma ve Geliştirme

BUE: Talaş Yığılması

CMM: Koordinat Ölçme Makinesi

CNC: Bilgisayarlı Nümerik Kontrol

CVD: Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi

DIN: Alman Standartlar Enstitüsü

HSS: Yüksek Hız Çelikleri

ISO: Uluslararası Standartlar Organizasyonu

MIL STD: Askeri Standart

PVD: Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi

Ra: Yüzey Pürüzlülüğü

TS: Türk Standartları

TSE: Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi ve bu teknolojiye olan ilginin her geçen gün artmasıyla birlikte işletmeler, müşterilere daha kaliteli ürün imal edebilmek için üretim ve kalite stratejilerinde değişiklikler yapmak ve farklı stratejiler uygulamak zorunda kalmışlardır. Rekabet ortamında işletmelerin başarıya ulaşabilmesi için öncelikle müşterilerine istenilen kalitede ve istenilen şartlarda üretim yapması gerekir. Bunu yapabilmek ise, mevcut müşterilerin karşısına rakip işletmelerden daha düşük maliyet ile daha kaliteli ürün imalatı yapılmasına bağlıdır (Simga-Mugan & Erel, 2000). İşletmeler müşterilerinin karşısına rakip işletmelerden daha donanımlı çıkabilmek için imalatta kullanılan makinelere, kalite kontrol ekipmanlarına ve kalite süreçlerine yatırım yapmakta ve çabalarını bu yaklaşım üzerine yoğunlaştırmaktadırlar. Çünkü müşteriler, işletmesinde ihtiyaç ve isteklerini karşılayacak ürünlerin kalite açısından uygun olmasını ve bunun yanı sıra verimliliğin artması, kalite maliyetlerinin azalmasını beklemektedir (Ağın, 2020). Bu yüzden zaman içerisinde tolerans kavramları işletmeler arasında aktif olarak kullanılmaya başlamıştır. Makine üreticilerinin tasarladıkları makinelerin, montaj esnasında veya çalışma esnasında arızalarla karşılaşmaması için ürün makine üreticilerinin ya da standart makine elamanı üreticilerinin belirlediği ölçü toleranslarına uymalıdır. Uygun parçalar makinaların veya üretilen parçaların güvenilirliğini arttırarak verimlilik ve işletme maliyetine olumlu katkılar sağlamaktadır (Erdoğan, 2009). Talaşlı imalat yöntemi ile imal edilen ürünler de kalite artışını belirlemede kullanılan önemli etkenler bulunmaktadır, bunlar, kullanılan takım tezgâhı, kesici takımların özellikleri ve kaplaması, soğutucu sıvı kullanımı, Kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarı gibi kesme parametreleri bitmiş malzemenin kalitesini doğrudan etkiler (Debnath, Reddy, & Yi, 2016).

Talaşlı imalatta sık sık kullanılmakta olan torna ile işleme, talaşlı imalat üzerine yapılan çalışmalar da en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Tornalama işlemi genel olarak silindirik parçaları torna tezgâhının bağlama aparatı olan aynaya bağlanarak,

aynının iş parçası ile birlikte dönmesi ve takımın ilerleme hareketi yaparak malzeme üzerinden talaş kaldırma işlemidir (Thamizhmanii, Saparudin, & Hasan, 2007).

Bu çalışma da; talaşlı imalatta kullanılan makineler, takımlar, kesme parametreleri, geometrik toleranslar, geometrik tolerans ölçülendirme yöntemleri kavramlarının uygulama teknikleri ve bu konular üzerine yapılmış akademik çalışmaların incelenmesi amaçlanmıştır.

SAE 1040 malzeme işlenerek kesme parametrelerinin geometrik toleranslar üzerine etkisi araştırılacaktır. Bu araştırma da, kesme parametresi değerlerinden ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliklerinin farklı birleşimlerine bağlı olarak dairesellik, silindiriklik ve doğrusallık değerlerindeki değişimler incelenecektir.

1.1. Literatür Araştırması

Torna işlemlerinde malzemelerin işleme kalitesini arttırmak ve işleme maliyetini düşürmek için işleme parametrelerinin ve şartlarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunu hayata geçirebilmek için kesici takımların takım ömrünü göz önünde bulundurarak işleme faktörlerinin tespit edilmesi maliyet açısından oldukça önemlidir. İşleme sırasında uygun tolerans değerleri elde edilebilmesi için uygun kesme parametrelerinin tercih edilmesi kullanıcı açısından birçok yarar sağlayacaktır. İşlenen parçaların, yüzeylerine verilen geometrik toleranslar uygun şekilde verilmez veya işleme esnasında uygun olmayan parametreler ile işleme gerçekleştirilir ise üretim aşamasında ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Bu sorunlardan dolayı işlenen parçalar, kalite kontrol işlemi sırasında uygun görülen toleransların dışarısına çıkmaktadır. Bu sorunlar da parçanın maliyetini, imalat sürecini doğrudan etkilemektedir. Yaşanan olumsuzluklardan dolayı bu çalışma da tornalama işlemleri sırasında kesme parametrelerinin geometrik toleranslar üzerindeki etkileri incelenecektir.

1.1.1. Yapılan Çalışmalar

Literatüre baktığımız da tornalama işlemleri, kesme kuvvetleri, geometrik toleranslar konularında birçok araştırma ve çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmalardan bazılarında sadece takımların kesme kuvveti üzerine etkisini anlatırken, bazı çalışmalarda işlenen malzeme üzerinde kesme kuvvetlerinin etkisi üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Aydın ve arkadaşları yaptıkları çalışmada HC-35 kaplamalı sert metal kesici takım kullanarak universal torna tezgâhında AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeye silindirik tornalama metodu kullanarak işlenebilirlik üzerine deneyler yapmışlardır. Deneylerde soğutma sıvısı kullanımı tercih edilmemiştir. Kuru olarak farklı kesme parametrelerinin iş parçasına olan etkilerini incelemişlerdir. Deneyler, sabit ilerleme miktarlarında ve sabit talaş derinliğinde HC-M35 kaplamalı takımla gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, talaş derinliği sabit, altı farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme hızı, ilerleme miktarı sabit, altı farklı kesme hızı ve dört farklı talaş derinliği değeri kullanılarak yapılmıştır. Deneysel malzemesi AISI 304 paslanmaz çelik olarak uygun görülüp tercih edilmiştir. Deneyler sırasında 60, 70 ve 80 mm çap ölçülerinde parçalara 500 mm uzunluğunda tornalama işlemi yapılmıştır. Talaş kaldırmak için Tungsten karbür kesici uçları tercih edilmiştir. Kesicinin en üst katmanı TiN ile kaplanmıştır. HC-M35, darbeye karşı dayanıklı kesme kenarına ve geometriye sahiptir. Bu avantajlarından dolayı paslanmaz östenitik çeliklerinin tornalama işleminde talaşların birikmesinin önüne geçer ve kesme sırasında oluşan ısının iletilmesiyle, öncelikle altlığa sonrasında ise kater üzerine aktarılmasıyla işlenen parçanın daha düşük miktarlarda ısınmasını sağlar. Deneyler de altı farklı kesme hızı (30, 45, 55, 75, 110 ve 130 m/dak), kesme derinliği sabit 0.75 mm ve 3 farklı ilerleme (0.05, 0.08 ve 0.11) kullanılmıştır. Ayrıca ilerleme sabit 0.11 mm/dev kullanılan 6 kesme hızını kullanarak 4 farklı kesme derinliği (0.15, 0.35, 0.50, 0.75 mm) değerleri kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlardan bazıları, kesme hızının düşük olduğu durumda kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin arttığı, ortalama kesme hızında ise, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Tornalama işlemi sırasında kesme kuvvetinin ölçümleri yapılmıştır. Özellikle kesici kenarın burun kısmında hem serbest yüzeyinde hem de talaş yüzeyinde aşınmalar meydana geldiği ve kaplamanın malzemesinin aşındığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışma, 70-90 m/dak kesme hızı aralığında 0.5-0.7 mm talaş derinliği ve 0.08-0.011 mm/dev ilerlemeleri kesme şartları uygun olarak elde edilmiştir (Aydın, Uçar, & Cengiz, 2010).

Ay ve Turhan yaptıkları bu çalışma da, parça kalitesine etki edebilecek olan iş parçasının boyu, iş parçasının çapı, kaldırılacak talaş derinliği ve ilerleme miktarı değişkenlerinin etkisini incelemiştir. Çalışmalarında tornalama işlemi için önemli bir parametre olan kesme hızını sabit tutmuşlardır. İstatiksel yöntem olarak Taguchi metodu kullanılmıştır ve deney sonuçlarından elde edilen sonuçlar analiz edilerek

iyileştirmeler yapılmıştır. Talaşlı imalatta geniş bir kullanım alanı olan tornalama işlemlerinde işleme parametreleri ürünün kalitesini etkileyen etmenlerin başında gelir. Tornalama işleminde gezer punta merkezleme aracının kullanılması özellikle silindiriklik değerinin üzerinde çok etkilidir. İş parça işleme anında kesici takımdan kaynaklı olarak birden fazla kuvvete maruz kaldığı bilinmektedir, kuvvetlerin etkileri sonucu istenilen silindiriklik değerlerini elde etmek zorlaşmaktadır. Yaptıkları bu çalışmada günümüzde kullanımı devam eden kesici takımlar ve işleme parametreleri tercih edilmiştir. Deneyselerde boyları 50, 70, 90 mm ve çapları 25, 20, 15 mm olan transmisyon kullanılmıştır. Talaş derinliği (0.5, 1.0, 1.5 mm) ilerleme (0.25, 0.30, 0.45) ve kesme hızı 2500 dev/dak olarak sabittir. Bu değerlerde işlenen her bir numune parça ölçülmüştür ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğünde sadece kesme parametreleri değil işlenen parçanın büyüklüğünün de yüzey kalitesinde önemli bir etken olduğu ortaya konulmuştur (Ay & Turhan, 2010).

Bozkurt, çalışmasında alüminyum malzemenin tornalama işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve geometrik toleranslara olan etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyselerde AA7075 T651 Alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Üç adet ilerleme miktarı (0.05, 0.1, 0.25 mm/dev), dört adet kesme hızı değeri (100, 200, 300, 400 m/dak) ve üç adet kesme derinliği (0.5, 1.5, 3 mm) kesme parametresi değerlerini farklı birleşimler oluşturarak, otuz altı farklı deney kombinasyonu elde etmiştir. Bu elde edilen değerlerden faydalanılarak torna tezgâhında numune parça imalatı yapılmıştır ve işlenmiş parçaların hassas bir şekilde CMM yardımı ile ölçülmesi sonucu geometrik toleranslara ve yüzey pürüzlülüğüne kesme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonrası, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesme hızı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, geometrik toleranslar üzerine etkileri (silindiriklik, dairesellik, doğrusalılık) istatistiksel yöntemler yardımı ile kıyaslamalar yapılarak en iyi ve en kötü geometrik tolerans değerlerinin ve yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği kesme parametreleri belirlenmiştir. Yapılan tüm deneyler sırasında kesici uç bölgesinde (BUE) oluştuğunu bu durumun da geometrik tolerans ölçülerini ve yüzey pürüzlülük değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir (Bozkurt, Tekaut, DEMİR, & Şeker, 2018).

Yaka, Uğur ve Akkuş çalışmalarında, optimum yüzey pürüzlülüğü değerlerini bulmak için ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği kesme parametrelerine göre Taguchi metodu kullanarak deney tablosu oluşturulmuştur. Tornalama işlemi ile yapılan deneylerin

sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ölçülmüştür. Makine ve aparat yapımında, orta zorlanmalı parçalarda, dişlilerde sıklıkla tercih edilen AISI 1040 imalat çeliği, deney numune malzemesi olarak seçilmiştir ve normalizasyon tavlaması uygulanmıştır. Deney parçalarının boyutları Ø 60 mm ve boyu 100 mm olarak seçilmiştir. Tam faktöriyel tasarımı ile 27 adet deney yapılması maliyetli ve zaman kaybına sebebiyet vereceği için Taguchi metodu ile L₉ ortogonal dizilim oluşturulmuştur. Ve belirlenen kesme parametreleri, üç farklı kesme hızı (V=200, 220, 240 m/dak) değeri, üç farklı ilerleme (f=0.25, 0.30, 0.35 mm/dev) değeri ve üç farklı talaş derinliği (a= 1.5, 2.5, 3.5 mm) olarak deney tablosu oluşturulmuştur. Sonuç olarak en etkin parametrenin ilerleme olduğu tespit edilmiştir (Yaka, Uğur, & Akkuş, 2016).

Kavak ve Üstel çalışmalarında, endüstride sıklıkla tercih edilen AISI 1040 çeliğin işlenmesinde, kesme hızının ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyleerde kullanılan işleme parametrelerinden kesme derinliği parametresi (2 mm) sabit tutulmuştur, üç farklı kesme hızı değeri (39, 91 ve 128 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0.16, 0.22 ve 0.28 mm/dev) değerleri deney parametreleri olarak kullanılmıştır. Deney uygulamalarında AISI 1040 çeliğinden Ø 30 mm çap ve 100 mm uzunluğunda numuneler, kaplamasız sementit karbür kesici takımlar ve soğutma sıvısı kullanılarak işlenmiştir. İşlenen parçaların yüzey pürüzlülük değerlerinin takım aşınmasından etkilenmesini engellemek için deneyler sırasında, her deney için yeni bir kesici uç kullanılmıştır. İşlenen parçanın yüzey kalitesi, kesme hızının düşürülmesi veya ilerleme miktarının artması ile kötüleştiği gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucu 128 m/dak kesme hızı, 0.16 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliğinde yüzey kalitesi için en uygun kesme parametreleri olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca tornalama esnasında oluşan talaşların ilerleme ve kesme hızlarının değişimi ile farklılaştığı gözlemlenmiştir (Kavak & Üstel, 2012).

Habalı, Gökkaya ve Sert yaptıkları çalışmada, farklı kaplamalardaki takımların farklı işleme parametrelerine bağlı olarak, tornalama yöntemi ile işlenmiş iş parçalarının yüzey kalitesi üzerine etkileri araştırmışlardır. Çalışma da AISI 1040 çelik PVD yöntemi ile Al₂O₃ kaplanmış ve CVD yöntemi ile üç katlı kaplama yöntemi uygulanmıştır. En üst katmanda Tin kaplamalı iki farklı sementit karbür takımla tornada soğutucu sıvı kullanılmadan deney numunesi olan parçalar işlenmiştir. Deneyleerde kesme parametresi değerlerinden kesme derinliği 2.5 mm de sabit

tutularak beş farklı kesme hızı (58, 83, 116, 163, 225 m/dak) ve farklı iki ilerleme değeri (0.24, 0.32 mm/dev) kullanılarak bu parametre değerlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, en iyi sonucu veren ortalama yüzey pürüzlülük değeri en üst katmanda üç katlı TiN kaplama olan takım ile elde edilmiştir. İlerlemenin %33 arttırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde %14 artış gözlemlenmiştir ve kesme hızının %388 arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde %114 düzelme gözlemlenmiştir (Habalı, Gökkaya, & Sert, 2006).

Yardımeden ve Turan yaptıkları çalışmada, imalat sektöründe sıklıkla tercih edilen AISI 1040 çeliğinin tornalama işleminde ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin, kesme parametre değerleri (ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliği) ile değişimi incelemiştir. Deneylerinde CNMG 120404-NM KLP 115 kesme takımı ve 250 mm uzunluğunda 50 mm çapında deney numuneleri kullanılarak 27 adet deney yapılmıştır. Deneylerde kesme parametre değerleri olarak üç farklı kesme hızı (87, 143, 238 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0.052, 0.104, 0.162 mm/dev) ve farklı üç kesme derinliği (0.5, 1, 1.5 mm) değeri belirlenmiştir. Farklı kesme şartlarında elde edilen kesme kuvveti değerleri Dynoware analiz programı kullanılarak, analizleri yapılan kesme kuvvetleri ile kesme parametrelerinin arasındaki ilişki gözlemlenmiştir. Sonuç olarak kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine önemli bir etkisi bulunmaktadır. Kesme hızı değeri arttığında kesme kuvvetinin düştüğü gözlemlenmiştir, ilerleme miktarı arttığında kesme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. Kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetinde artış gözlemlenmiştir (Yardımeden & Turan, 2015).

Singaravel ve arkadaşları bu çalışmalarında, işleme parametrelerinin geometrik toleranslardan dairesellik ve silindiriklik boyutsal kararlılığını analiz etmişlerdir. Çalışma üzerinde çalışılan parametreler ise kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğidir. Parçalarda yüksek performans alınması ve imalatta kalitenin sağlanması için kesme parametrelerinin seçilmesi önemli rol oynar. Boyutsal doğruluk tornalama işlemi yapılmış parçaların montajında doğrudan etkilidir. Çalışmada konu olan dairesellik parametresi maksimum ve minimum yarıçap arasındaki farktır. Silindiriklik ise bir silindirik yüzeyde aynı eksenli iki yüzey arasında kalan kabul edilebilir silindirik sapmayı belirtir. Bu parametreler montaj doğruluğunu büyük ölçüde etkilemektedir. Deneyde DIN (32NiCrMo10-4) çeliği kullanılmıştır. Bu çelik genel olarak makine ekipmanları, akslar ve şaftlar gibi araç bileşenleri için kullanılmaktadır. Deneyde kesme hızı olarak (95, 155, 215 m/dak) besleme olarak (0.07, 0.15, 0.23

mm/dev) talaş derinliği olarak (0.5, 1.0, 1.5 mm) değerlerinde çalışmalar yapılmıştır. Tornalanmış parçaların dairesellik ve silindiriklik ölçümleri 4.5 mikron hassasiyetinde ölçüm yapabilmekte olan EV-002 CMM 3D ölçüm cihazında yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda kesme hızı 215 m/dak ilerleme 0.07 mm/dev ve kesme derinliği 1.00 mm kombinasyonu dairesellik toleransı 0.0125 ve silindiriklik toleransı 0.0128 değerlerini vererek en ideal kesme koşulları olmuştur. Kesme hızı 95 m/dak ilerleme 0.23 mm/dev ve kesme derinliği 1.0 mm kombinasyonu dairesellikte 0.0239 ve silindiriklik değerinde 0.0232 değerini vererek en kullanım açısından uygun olmayan kesme koşulu olmuştur. Minimum dairesellik ve silindiriklik değeri daha yüksek kesme değerlerinde elde edilmektedir. Besleme ve kesme derinliği değerlerinin daha düşük değerlerde olması daha iyi dairesellik ve silindiriklik sonuçlarını vermiştir (Singaravel, C.Marulaswami, & Selvaraj, 2016).

PMTadvi ve arkadaşları CNC Torna tezgâhında işlenmiş parçaların kalite süreçleri açısından geometrik ve boyutsal olarak uygun olabilmesi için tornalama esnasında dairesellik, silindiriklik ve diklik geometrik toleranslarını incelemiştirler. Tornalama işlemi, işlenen parçaların daha hızlı ve oldukça iyi bir yüzey kalitesi ile üretim sağlandığı için sıklıkla tercih edilen bir imalat yöntemidir. Havacılık, otomotiv sektörleri başta olmak üzere çeşitli imalat endüstrisinde imalat yöntemi olarak tercih edilmektedir. Kalite de şekil toleransları olarak dört tane tolerans sınıfı vardır. Bunlar; doğrusalılık, yüzey düzgünlüğü, dairesellik ve silindirikliktir. Bu özellikler kontrol edilirken hepsi bireysel olarak kontrol edilmektedirler. Dairesellik iki boyutlu bir yüzey formu kontrol şeklidir, iki eş merkezli daire arasındaki radyal farkı vermektedir. Silindiriklik, bir yüzey formu kontrol şeklidir. İki dairesel yüzey arasında kalan sapmayı incelemektedir. Yönelim toleransları olarak üç tolerans sınıfı vardır. Bunlar paralellik, diklik ve açısallıktır. Paralellik, bir düzleme veya eksene ait her elamanın bir datumdan eşit uzaklıkta olmasıdır. Diklik bir veya birden çok yüzeyin parça üzerindeki referans olarak belirtilmiş bir başka yüzeye veya bir referans çizgisine dikliğinden kabul edilebilecek sapma miktarını belirtmektedir. Açısallık, bir yüzeyin referans olarak belirlenmiş başka bir yüzey ile olan açısından kabul edilebilir sapma miktarını belirtir. Sonuç olarak tornalama işlemi sonrasında elde edilen parçaların montaj işlemi sırasında hata ile karşılaşmamak için geometrik toleranslar son derece önem arz etmektedir. Ürün tasarımı sırasında ekonomik ve verimli bir üretim

gerçekleştirebilmek için geometrik özel gereksinimlerin tam yerinde ve uygun bir şekilde kullanılması gerekmektedir (PMTadvi, PMGeorge, & RGJivani, 2011).

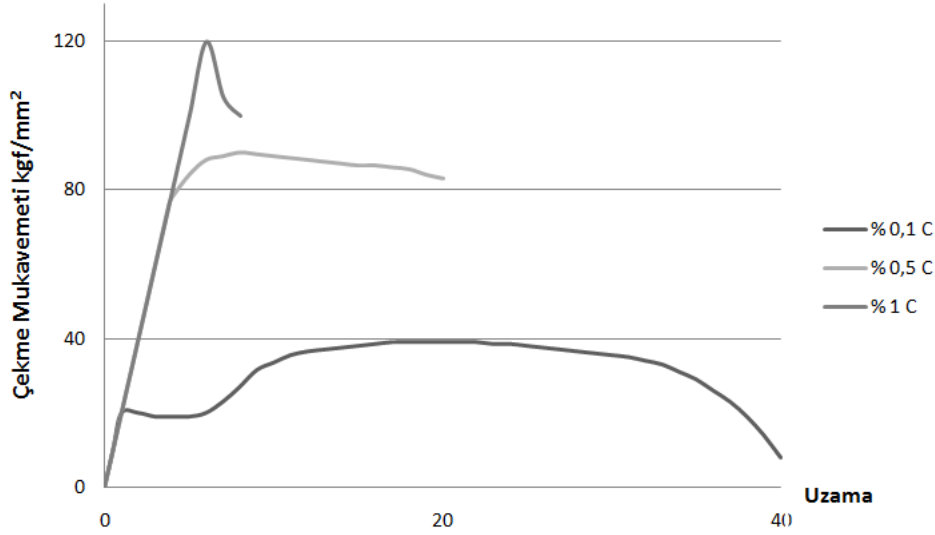
Işık ve Çakır bu çalışmada tornalama işleminde yüzey pürüzlülük değerinin önceden tahmin edilebilmesi için ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği değerlerine bağlı bir model geliştirmişlerdir. Kesme parametrelerine göre teorik olarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) deneyler yapılarak deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneylerde iş parçası olarak Ø60x340 mm çapında ve uzunluğunda AISI 420 (1.2083) ve AISI O2 (1.2842) kullanılmıştır. Sonuç olarak, tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğüne en büyük etki eden etmen ilerleme, sonrasında talaş derinliği ve en düşük etki kesme hızı olduğu gözlemlenmiştir, talaş derinliğinin ve ilerleme değerinin artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca oluşturulan matematiksel model sayesinde yüksek kalitede yüzeyler için gerekli olan kesme parametre değerlerinin önceden tahmin edilmesi mümkün olduğunu gözlemlemişlerdir (Işık & Çakır, 2001).

Yılmaz ve Güllü yaptıkları çalışmalarında AISI 1050 çeliği kullanarak farklı üç ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği ile tornalama deneyleri yapılmıştır. Yapmış oldukları deneylerin sonucu olarak, yüzey pürüzlülüğü için en etkisi yüksek kesme parametrelerini belirlemişlerdir. Deneyde kesme hızı değerleri (265, 295, 325 m/dak) ilerleme değerleri 80.20, 0.25, 0.30 F) Kesme derinliği değeri (2, 2.5, 3 mm) kullanarak, Taguchi metodu L9 deney tasarım modeli ile deney sayısını en aza indirmişlerdir. Kesme parametrelerini belirlerken katalog bilgilerinden yararlanılmıştır. Yüzeydeki pürüzlülük değerinin ölçümünde MAHR-Perthometer M1 cihazı kullanılıp, her deney sonrası işlenmiş numune parça eksenine etrafında 90 derece döndürülüp dört adet ölçüm alınmıştır. Elde ettikleri verilerin ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük değerlerinin tespiti yapılmıştır. Yapılan deney sonucu yüzey pürüzlülüğü değeri için en önemli parametrenin ilerleme olduğu belirtilmiştir. Koşulların sabit olduğu durumda düşük ve yüksek ilerleme değerleri karşılaştırıldığında, yüksek ilerleme değerlerine çıkıldığında, yüzey üzerinde oluşmaya başlayan ilerleme izleri arasındaki mesafenin artmasıyla pürüzlülük değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde ilerlemenin etkisi %96.46 gibi çok yüksek bir değer elde edilmiştir (Yılmaz & Güllü, 2020).

2. ÇELİKLER

Çelik, bir demir (Fe) karbon (C) alaşımı olarak adlandırılmaktadır. Demir elementi %0.02 ila %2.1 oranları arasında değişiklik gösteren karbon miktarlarının birleşmesinden ortaya çıkan bir alaşımdır. Çelikler karbon elementinin yanı sıra farklı oranlarda alaşım elementleri ve saf olmayan kirliliğe sebep olan elementlerde içermektedir. Çeliklerin farklı özellikler kazanmasının sebebi içerisinde bulundurduğu elementlerin kimyasal birleşimi ve çeliklerin içyapısıdır. Çeliklere farklı oranlar da ve birleşimler de alaşım elementleri katılabileceği gibi, farklı işlemler (normalizasyon, sementasyon vb.) ile içyapının da kontrol edilmesi ile kullanım amaçlarına göre çeşitli özelliklerde çelik elde edilebilmektedir. Çeliklerin işlenmesinde takım ömrünü arttırmak, işleme maliyetlerini düşürmek için çeliklere çeşitli ısı işlemler uygulanmaktadır. Mekanik özellikleri düşürmek için uygulanan bu ısı işlemlerde amaç, yapıyı yumuşatıp takıma verilen hasarı azaltarak takım ömrünü arttırmak ve kesme kuvvetlerini azaltmaktır (Özçatalbaş, 2020).

Çeliklerde karbon oranını yükselttikçe çeliğin içyapısında yumuşak ferrit fazının yanında sert ve gevrek şekilde demir karbür fazı miktarı artmaktadır. Bu nedenle şekil değişimi zorlaşır, sertlik ve mukavemet değerlerinde artış gözlemlenir ancak süneklik azalır. Şekil 2.1'de çeliklerin gerilme, şekil değiştirme diyagramı karbon oranına bağlı olarak grafik şeklinde gösterilmektedir. Düşük karbon içeren çeliklerde akma basamağı belirgin şekilde görünmektedir, mukavemeti düşüktür ve tokluğu fazladır. Karbon oranı yüksek çeliklerde mukavemet değeri yüksek ama tokluğu düşüktür (Kaya Demir Çelik, 2016).

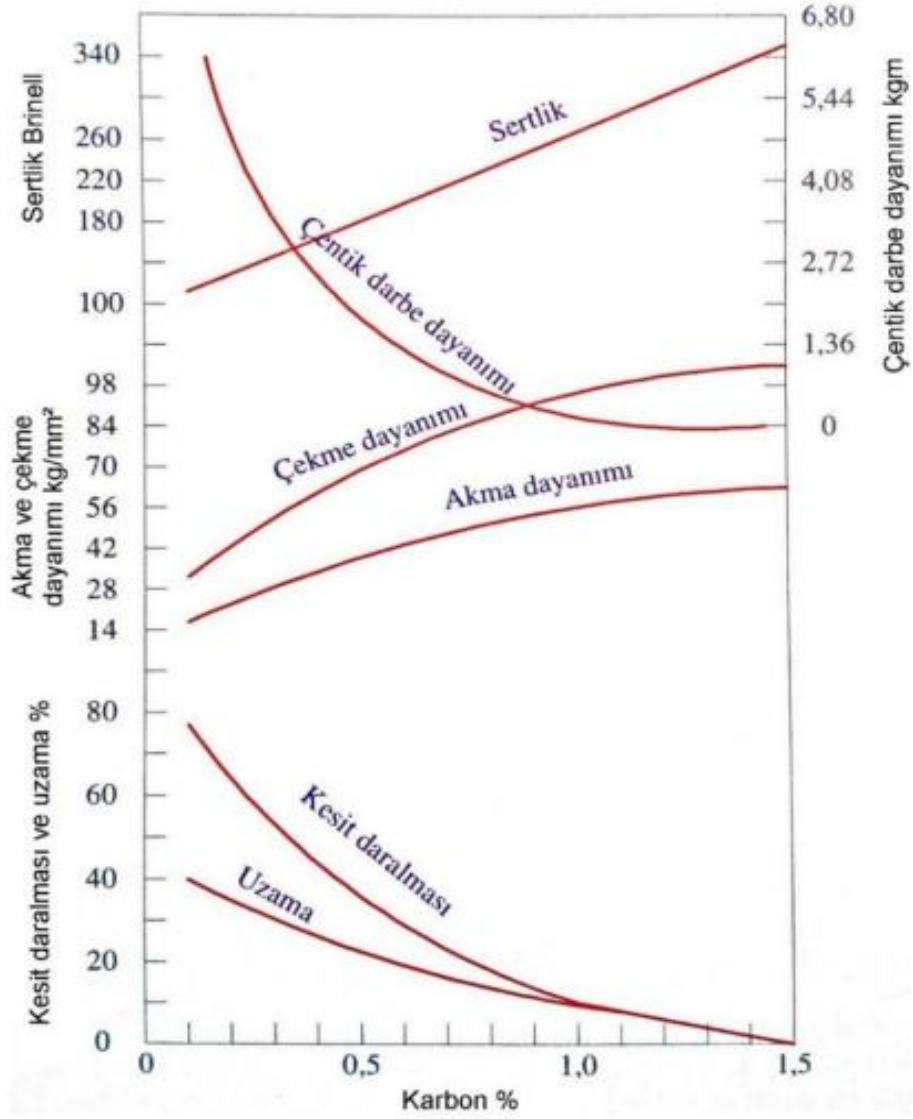


Şekil 2.1. Çeliklerin karbon oranına bağlı olarak gerilme şekil değiştirme diyagramı (Kaya Demir Çelik, 2016)

Çelik, demir cevheri olarak ya da hurdadan geri dönüştürme yolu ile imal edilebilmektedir. Üretimde sıvı hale gelen çelik döküm ile ingot olarak veya sürekli döküm yöntemi ile blum veya kütük olarak şekillendirilmektedir.

2.1. Karbon Oranına Göre Çelikler

Çelikler düşük karbonlu, orta karbonlu ve yüksek karbonlu çelikler olarak üç gruba ayrılır. Çeliğin içerisindeki karbon miktarı çeliğin sertlik derecesinin belirlenmesini sağlar. Çeliklerin yapısında karbon miktarı arttıkça mekanik özelliklerin değişimi Şekil 2.2'de verilmiştir. Karbon miktarındaki artış ile çeliklerin akma ve çekme dayanımlarının, sertliklerinin arttığı görülürken darbe dayanımının ve sünekliğin azaldığı görülmüştür (Karabayrak, 2017).



Şekil 2.2. Çeliklerin karbon miktarı ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler (Karabayrak, 2017)

2.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler

Bu gruba yapısında %0.20'ye kadar C bulduran çelikler denilebilir. Düşük karbonlu çelikler, üretim maliyetinin düşüklüğü nedeniyle, kaynaklı imalatlarda, yüksek kalınlık ve şekil alternatifleri sebebi ile otomotiv sanayii başta olmak üzere çoğu sektörde tercih edilmektedir. Düşük karbonlu çeliklerin mekanik özellikleri düşük olmasıyla birlikte, yapısında çok az miktarda karbon içerdikleri için şekillendirilebilmesi kolaydır. Düşük karbonlu çelikler genel olarak soğuk haddelenmiş ve tavlanmış halde, yassı haddelenmiş (levha veya şerit) ürünler olarak, otomobillerin gövde panelleri, levha, teneke ve plaka uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Akçaoğlu, 2013).

2.1.2. Orta Karbonlu Çelikler

Yapılarında %0.20-0.60 aralığında C bulunduran çeliklere orta karbonlu çelikler denilebilir. Bu tür orta karbonlu çeliklerin en önemli özellikleri, ısıl işleme iyi bir seviyede sertleştirilebilir olmalarıdır. Bu sebepten dolayı orta karbonlu çeliklerin kullanım alanları özellikle makine imalatı sanayinde en çok kullanılan çeliklerdir. Bu tür çeliklerin işlenebilme ve şekil alabilme yetenekleri düşük karbonlu çeliklere oranla düşüktür. Bu tür çeliklerin kaynak yapılabilme yetenekleri de az karbonlu çeliklere bakıldığında düşüktür çünkü kaynak yapıldığı esnada ortaya çıkan kontrol edilemeyen sıcaklığın etkisi çeliğin yapısal bütünlüğünde bozukluk olmasına sebebiyet verir. Bu sebepten imal edilen parçalarında bozulmalarına neden olabilir. Yapısında orta derece karbon bulunduran çeliklerin kaynak yapılırken çok dikkatli olmak gerekmektedir. Orta karbonlu çeliklerin tercih edildiği yerler; Civata somun imalatı, dişli imalatı, transmisyon mili, ray, vb. gibi.

Orta karbonlu imalat çeliği üzerine yapılan sıcak dövme işleminin mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiş ve sonuçları aşağıda ortaya konulmuştur (Çakır & Nas, 2016).

- a. Akma dayanımını arttırdığı,
- b. Kopma dayanımını arttırdığı,
- c. Çekme dayanımını arttırdığı,
- d. Sertlik değerini arttırdığı tespit edilmiştir.

2.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler

Yapısında %0.5'ten fazla karbon içeren çelikler yüksek karbonlu çelikler sınıfına girmektedir. Isıl işleme tabi tutulmuş halleri ile iyi bir aşınma direnci gösterirler. Çeliklerin maksimum sertlik durumlarında, çelik kırılıgandır ve temperleme ısıl işlemi uygulanarak sertliği bir miktar düşürüldükten sonra tokluk artırılmaktadır. Düşük süneklik değerlerine sahip olduğundan dolayı bu çeliklerin kullanım alanı sınırlıdır (Kuzyaka, 2014).

2.2. Çeliklere Alaşım Elementlerinin Etkisi

Çelik içerisine katılan her alaşım elementinin, çeliğe katılmasında özel bir sebep vardır. İstenilen özelliklere uygun olarak bir çelik alaşımı yapmak için de alaşım elementlerinin etkilerinin iyi seviyede bilinmesi gerekmektedir.

Çeliğin mekanik özellikleri üzerine alaşım elementlerinin belirli miktarlarda olumlu ve olumsuz etkileri vardır. Çeliklere alaşım elementlerinin katılmasındaki sebepler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sertleşme kabiliyetini iyileştirme
- İşleme kabiliyetini arttırmak
- Mukavemet, sertlik ve tokluğu arttırmak
- Korozyon direnci sağlamak
- Aşınmaya karşı direnci yükseltmek
- Çeliğe ince tane boyutu vermek

2.2.1. Karbon (C) Etkisi

Karbon çeliğin en temel alaşım elementidir. Karbon miktarındaki artış, çeliklerin dayanımını ve sertliğini önemli ölçüde artırır. Karbon oranındaki artış, sertlik ve mukavemet değerlerini artırır ancak süneklik değerini azaltır. Çeliklerdeki karbon miktarı yükseldikçe bazı özellikleri (süneklik, kaynak kabiliyeti gibi) olumsuz yönde etkiler. Ayrıca karbon oranı yüksek çeliklerin ısıtılma sırasında çatlama riski fazladır (Yalçın & Gürü, 2002).

2.2.2. Mangan (Mn) Etkisi

Mangan çelikler de dayanımı artırır fakat sünekliğini bir miktar azaltır. Mikro alaşımli çelikler yaklaşık olarak %1.5 mangan içermektedirler. Manganın oluşan ferritin tane küçülmesine etkisi bu miktarlardan daha yüksek olduğu miktarlarda önemsizdir. Bundan dolayı maksimum mangan miktarı %1.3-1.7 aralığında bulunmaktadır. Manganın en önemli faydası kükürtün olumsuz etkilerini önler (Savaşkan T. , 2017).

2.2.3. Silisyum (Si) Etkisi

Silisyum çelik içerisinde oksijen giderici olarak kullanılır. Çeliklerde akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Genellikle kullanım alanı yüksek elastikiyet

gereksinimi olan yay çeliklerinde tercih edilir. Çeliklerin döküm işleminde, döküme akıcılık sağlamak için ilave edilir. Ferrit içerisinde çözünebildiği için malzemenin tokluğunu ve sünekliğini azaltmadan, sertliğini ve dayanımını artırır. İçerisinde yüksek oranlarda silisyum içeren çeliklerin ısıl dayanımları da yüksektir. Silisyum seviyesi %4 üzerinde olduğunda alaşım kırılma hızı ve soğuk hadde metotları kullanılarak üretilmesi zorlaşır (Şahintürk, 2011).

2.2.4. Kükürt (S) Etkisi

Kolay işlenen kükürtlü çelikler, dışarısında kalan bütün çeliklerin birleşimlerinde, istenilmeyen elementlerden birisidir. Bundan dolayı çelik bileşimlerinde oldukça düşük seviyede tutulmaktadır. Kükürt oranındaki artış çentikli darbe tokluğunu ve enine süneklik değerini düşürür. Ayrıca kaynaklanabilme özelliği çok düşüktür. Demirle birleşen kükürt FeS fazını oluşturur. FeS fazı düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için haddeleme sıcaklığında ergiyerek sıcak kırılma hızına sebep olmaktadır. Kükürt manganla dengelenerek bu olumsuz etki önlenir (Şahintürk, 2011).

2.2.5. Fosfor (P) Etkisi

Fosfor, çelik imalatında çok fazla tercih edilen elementlerden birisi değildir. Çeliğin akma ve çekme dayanımını arttırıcı bir etkisi olsa da, tokluğu ve süneklik değerlerini oldukça olumsuz şekilde etkilemektedir. Bundan dolayı kullanım alanı sınırlıdır. Ayrıca çelik içerisinde karbon miktarı yükseldikçe, fosforun olumsuz etkilerinde artış gözlemlenmektedir. Yüksek kaliteye sahip bir çelik üretmek için, alaşım içerisinde fosfor seviyesi %0.030 – %0.050 aralığında olması gerekir (Oyuryüz, 1995).

2.2.6. Krom (Cr) Etkisi

Krom çeliğin sertleşebilirliğini, su verme derinliğini olumlu yönde etkileyen elementlerden birisidir. Kromun kuvvetli bir karbür yapıcı olması, çeliğin aşınma dayanımını ve sertliğini olumlu olarak etkilemektedir. Kromun önemli bir diğer özelliği çeliklerde paslanmaya karşı direnç sağlar. Yaklaşık olarak %14 ve üzerinde krom içermekte olan çelikler paslanmaz çelik olarak sınıflandırılmaktadır. Krom, çeliklerin yüksek sıcaklık ve çekme dayanımını arttırdığı için tercih edilmektedir. Kromun sünekliği azaltması gibi olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Olumsuz etkileri düşürmek için krom genellikle nikel ve molibden ile birlikte kullanılması tercih edilir (Güngör, 2001).

2.2.7. Nikel (Ni) Etkisi

Nikel birçok mühendislik uygulaması için mükemmel bir yapısal malzemedir. Nikel istenilen YMK kristal yapıda olması nedeniyle tok ve sünektir. Nikel aynı zamanda çoğu ortam için yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek oksidasyon dayanımını ve iyi derecede korozyon direncine sahiptir. Nikelin mühendislik özelliklerine benzeyen birkaç metal türü vardır. Nikelin en büyük dezavantajı, pahalı olmasıdır. Bu yüzden alaşımlar için esas metal olarak kullanımı oldukça sınırlıdır (Güngör, 2001).

2.2.8. Vanadyum (V) Etkisi

Vanadyum elementi çeliğe katıldığında çelikte sertliği ve aşınma direncini artırır. HSS imalatında önemli bir alaşım elementidir. Çeliğe yüksek darbe dayanımı kazandırır ve HSS'lerde keskinliğin artmasına neden olur, güçlü bir karbür yapıcı alaşım elementidir.

Vanadyum, V_C karbürünü oluşturur. V_C karbürü östenit içerisinde Fe_3C 'den daha zor çözünür. Bu sebepten sertleşme sıcaklığı $1250\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Bu çelikler, yaklaşık olarak $600\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa kadar yapılan tavlamalara dayanmaktadırlar. Çok az miktarlarda vanadyum bile, zor çözünebilir karbürler oluşturduğu için çeliğin aşırı ısıtılmaya karşı hassasiyetini azaltır. Vanadyum takımların kesme kabiliyetini ve havada sertleşme özelliğini artırır (Tayanç & Zeytin, 2000).

2.2.9. Molibden (Mo) etkisi

Molibden, genellikle alaşım oranı düşük çeliklerin içerisinde %0.15 – 0.30 aralığında bulunmaktadır ve genel olarak krom ve nikel ile birlikte bulunduğu en yüksek etkinliği gösterir. Molibden, çeliklerin sertleşebilirliklerini artırır. Karbür oluşturucu olduğundan aşınma direncini yükseltmek için yüksek oranlarda (%5 - 6) takım çeliklerinde kullanılabilir.

Molibdenin önemli etkilerinden biriside meneviş gevrekliğini azaltmasıdır (Oyuryüz, 1995).

2.2.10. Volfram (W) Etkisi

Tungsten alaşımı, vanadyum ve molibden gibi yüksek hız çeliklerinde kullanılmaktadır. Alaşıma tungsten ilave edilmesi halinde, tungsten çeliğinden yapılmış olan takımların yüksek performanslarını sürdürmelerini ve yüksek

sıcaklıklarda aşınmaya karşı dayanmalarını sağlar. Tungsten en çok ısıya dayanıklı kimyasal elementler arasında yer almaktadır. 6192 ° F (3422 ° C) sıcaklığında erimektedir. Sertliği ve ısıya dayanıklılığından dolayı tungsten, takım çeliği olarak bilinen yüksek hız çeliklerinde yaygın bir alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Tungsten içerikli çelikler, kesme kalıpları, testere bıçakları, kılavuzlar ve matkap uçlarında kullanılmaktadır. Tungstenli yüksek hız çelikleri havada sertleşebilen çelikler sınıfına girer (Eroğlu & Şahiner, 2019).

2.2.11. Bakır (Cu) Etkisi

Bakır, çeliğin sünekliğini ciddi oranda düşürmesine karşın korozyon dayanımını ve sertliğini arttırdığı için tercih edilir.

2.3. Çelik Standartları

Günümüzde kullanılmakta olan çelik türlerinin tahminen 2000 civarında olduğu düşünülmektedir. Doğru malzeme seçiminin yapılabilmesi için çelik standartları ve normları oluşturulmuştur.

Çelik konusunda dünya çapında önemli standartlar Çizelge 2.1’de yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Çelik standartları

Kısaltma	Açılımı
AISI	Amerikan Demir Ve Çelik Enstitüsü
ASTM	Amerikan Malzeme Test Birliği Standartları
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
EURONORM	Avrupa Standartları
AFNOR	Fransız Standartları Enstitüsü
JIS	Japonya Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
GOST	Rusya Standartları Enstitüsü
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
BS	İngiliz Standartları
SAE	Otomotiv Mühendisleri Birliği

2.3.1. SAE ve AISI Çelik Normları

Çeliklerin numaralandırılmasına ihtiyaç olduğunun tespiti ve sistem kurulması ilk defa Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE) tarafından yapımına başlandı. Daha sonrasında Amerika Demir Çelik Enstitüsü (AISI) benzer bir sistem geliştirdi. 1975 yılında SAE

metal ve alaşımlar için birim numaralandırma sistemini (UNS) yayınladı. UNS de malzemeyi tanımlayabilmek için harfler kullanılmaktadır. Alaşım elikleri için G harfi, Alüminyum alaşımları için A harfi paslanmaz malzemeler veya korozyon dayanımı olan malzemeler için S harfi, bakır alaşımları için C harfi, çinko ve çinko alaşımları için iki ön ekleri kullanılmaktadır. SAE ve AISI standartlarında dört harf kullanılmaktadır. İlk iki rakam (XX34) eliğın ait olduğu alaşım grubunu göstermektedir. Son iki rakam (12XX) karbon miktarını % olarak verir (İçin, 2019).



3. TALAŞLI İMALAT ve TALAŞ OLUŞUMU

3.1. Talaşlı İmalat Kavramı ve Önemi

Talaşlı imalat kavramı, imalat sanayinde kullanılan en yaygın üretim yöntemlerinden biri olarak yer almaktadır. İmalat sektörünün genel amacı, en hızlı ve en ekonomik şekilde gereken kaliteleri sağlayarak parça imalatını gerçekleştirmektir. Son yıllarda artarak devam eden talaşlı imalat makineleri imalatı sayesinde üretim kapasitesinde ve ürün kalitesinde artışlar meydana gelmiştir. Talaşlı imalat yaygın kullanılan bir eksiltmeli imalat yöntemidir (Tezel, Topal, & Kovan, 2018).

Talaşlı imalat şekli, boyutları ve yüzey kalitesi belirli olan parçaların talaşlı imalat tezgâhlarında talaş kaldırma işlemi ile şekil verilmesini kapsamaktadır. Talaşlı imalat, yüksek boyutsal hassasiyet ve yüksek derecede iyi yüzey kalitesine ulaşmak amacıyla ve genellikle karmaşık geometriye sahip iş parçalarının imalatında kullanılmaktadır (Yih-fong, 2005).

Yapılacak işlemin durumuna bağlı olarak kullanılacak olan takım tezgâhları ve kesici takımın şekli değişkenlik gösterir.

Talaşlı imalatta;

- Çeşitli geometrilerde ve boyutlarda parçalar elde edilmesi mümkündür.
- Talaşlı imalat işlemlerinde, işlenebilen malzeme ağı oldukça geniştir.
- Talaşsız imalata göre daha hassas tolerans aralıklarına sahip parçalar üretilmesi mümkündür.
- Düzgün köşe ve geometrili parçalar elde edilebilir.

3.2. Talaş Kaldırma Mekanığı

Talaş oluşurken kesici parçanın üzerine belirli bir kuvvet uyguladığında ve kuvvet yönünde hareket ettirildiğinde kesici takım ucunun temas ettiği malzeme yüzeyinde öncelikle elastik sonrasında plastik şekil değişikliği meydana gelir. Malzemenin yüzde

kopma sınırını birim şekil değıştirme miktarı geçtiği zaman talaş olarak adlandırılan malzeme katmanı, iş parçasından ayrılır (Özcan, 2018).

Talaş kaldırma işlemlerinde üretilecek ürünün belirlenen toleranslarda elde edilebilmesi için, kesici takım kullanılarak iş parçası üzerinden belirli bir miktar talaş kaldırılır. Talaş oluşumunun gerçekleşebilmesi için üç temel şartın sağlanması gereklidir;

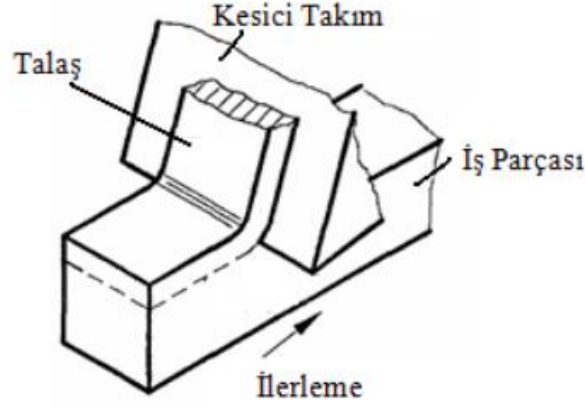
- Kesme işleminde işlenen parçanın sahip olduğu kesme direncini yenecek bir kesme hızı veya göreceli hareket oluşturulmalıdır.
- Kesici uç geometrisi, işlenen parçaya dalma işlemini yapabilecek, makul talaş derinliği ve ilerleme sağlayacak geometride olmalıdır.
- İmalatta tercih edilecek kesici uç malzemesinin, talaş kaldırma işlemi yapılacak iş parçası malzemesinden daha yüksek sertlikte ve aşınmaya karşı daha yüksek dirençte olmalıdır.

İki kesme işlem modeli vardır. Bunlardan ilki dik (Ortogonal) kesme ve diğeri eğik (Oblik) kesme işlemidir.

3.2.1. Dik (Ortogonal) Kesme:

Talaş kaldırma alanındaki ilk gelişme Merchant'ın çalışmaları sayesinde ortaya çıkmıştır. Dik (Ortogonal) kesme adı verilen modeli Merchant oluşturmuştur. Dik kesme işlemi yüzeyinden talaş kaldırılacak parça ile kesici takımın kesici kenarı arasındaki açının 90° olduğu kesme yöntemidir.

Talaş kaldırma işleminin analizi genellikle dik kesme modeli temel alınarak yapılır. şekil 3.1'de kesme işlemi yapan kesici takımın şekli kama gibidir ve kesici takım ağzı kesme hız doğrultusuna diktir. Kesici takım, parçanın işlenmiş yüzeyine dönük olan serbest yüzey ve talaşın temas ettiği talaş yüzeyi ile sınırlıdır. Kesicinin ucu bu yüzeylerin keşişmesi ile oluşur (Öztürk, 2021).



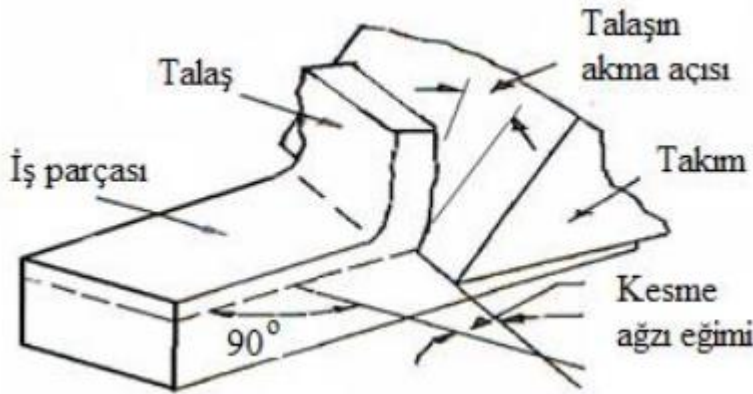
Şekil 3.1. Dik kesme modeli (Karayel, 2015)

Ortogonal kesmede kesim, kesici kenar boyunca aynı olarak düşünülür. Bu nedenle malzemenin kenarlarına yayılmaz. Düz birim şekil değiştirme işlemi meydana gelmiş olur. Böylece kesme kuvvetleri esas kesme kuvveti (F_c) ve ilerleme kuvveti (F_f) olarak bilinen hız ve kesilmemiş talaş kalınlığı yönünde etki eder (Karayel, 2015).

3.2.2. Eğik (Oblik) Kesme

Eğik kesme işlemi, kesici ucun kesme kenarının işlenen parçadan belirli bir açıda talaş kaldırması işlemi olarak tanımlanır.

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi eğik kesme, kesici takımın, kesme işlemi yaptığı kenarının iş parçasına açılı olduğu kesme metodudur. Kesme işleminde ortaya çıkan talaşın akış şekli iş parçası ve kesicinin kenarı arasındaki açıyla ilişkilidir.



Şekil 3.2. Eğik kesme modeli (Karayel, 2015)

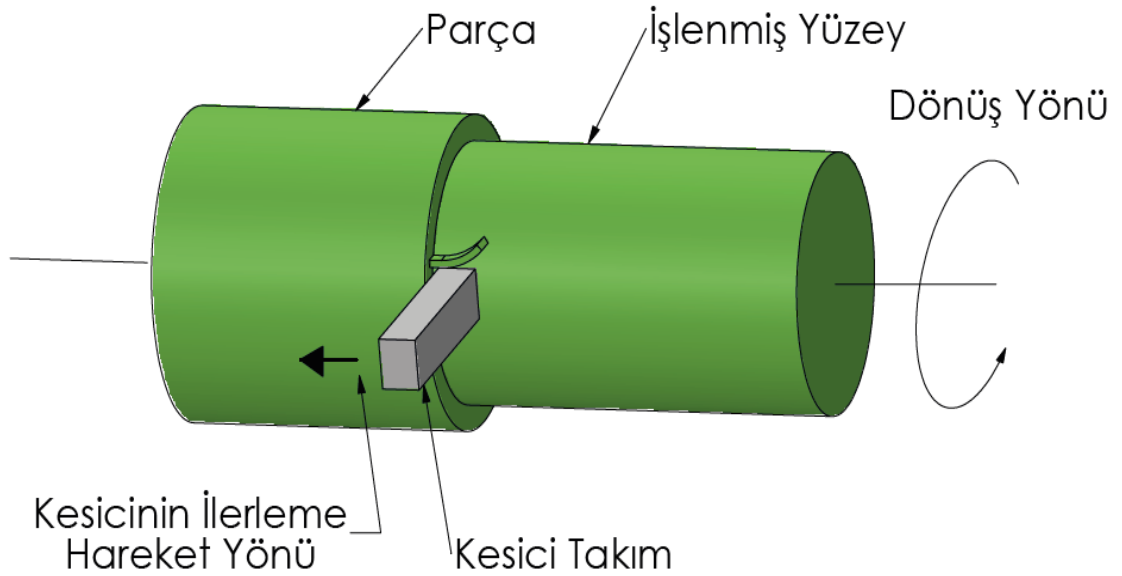
Üretimde kesme işlemleri genel olarak açılı eğik (Oblik) kesme şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu kesme yöntemi eğik şekilde olsa da, kesme modelinin

matematiksel ve nümerik ifadeleri daha karmaşık olduğundan, hesaplar işlemin dik kesme (Ortogonal) şekilde yapılmış gibi hesaplanır (Yılmaz E. , 2019).

3.3. Tornalama

Tornalama işlemlerinin imalat sektöründeki yeri çok önemlidir. Akslar, Miller, Pimler olmak üzere sıkça imalat işlemi sırasında kullanılmaktadır. Tornalama tanım olarak; döndürülmekte olan bir iş parçasından kesici bir takım yardımıyla iş parçasına şekil verme işlemi olarak tanımlanır. Tornalama işlemi genel olarak silindirik parçaların imalatında veya işlenmesi için kullanılır. Bazı özel durumlarda veya özel imalat işlemlerinde parça silindirik geometriye sahip olmasa da döndürülerek tornalama yöntemi ile işlenebilir.

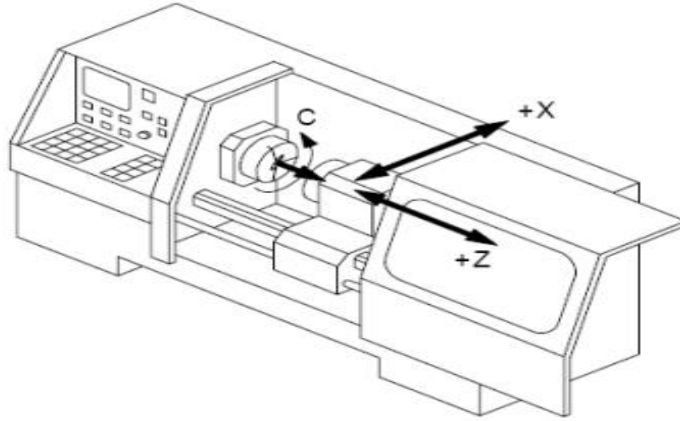
Şekil 3.3'te Standart tornalama işleminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.3. Tornalama işlemi

Teknolojinin gelişmesi, günümüzde torna tezgâhlarını bilgisayar destekli sayısal kontrol sistemleri ile birleştirmiş ve CNC tezgâhları geliştirilmiştir. CNC torna tezgâhlarını, torna tezgâhlarından ayıran en belirgin özellik, CNC Torna tezgâhları bilgisayarlı kontrol ünitesine gönderilen NC programlar ile eksenlerini hareket ettirir. Bu işlemi servo motorlar yardımı ile yapmaktadır. İş parçasını belirli ölçüde, devirde ve kısa zamanda seri olarak imalat yapabilen tezgâhlardır.

CNC torna tezgâhının genel görünümü Şekil 3.4’te verilmiştir.

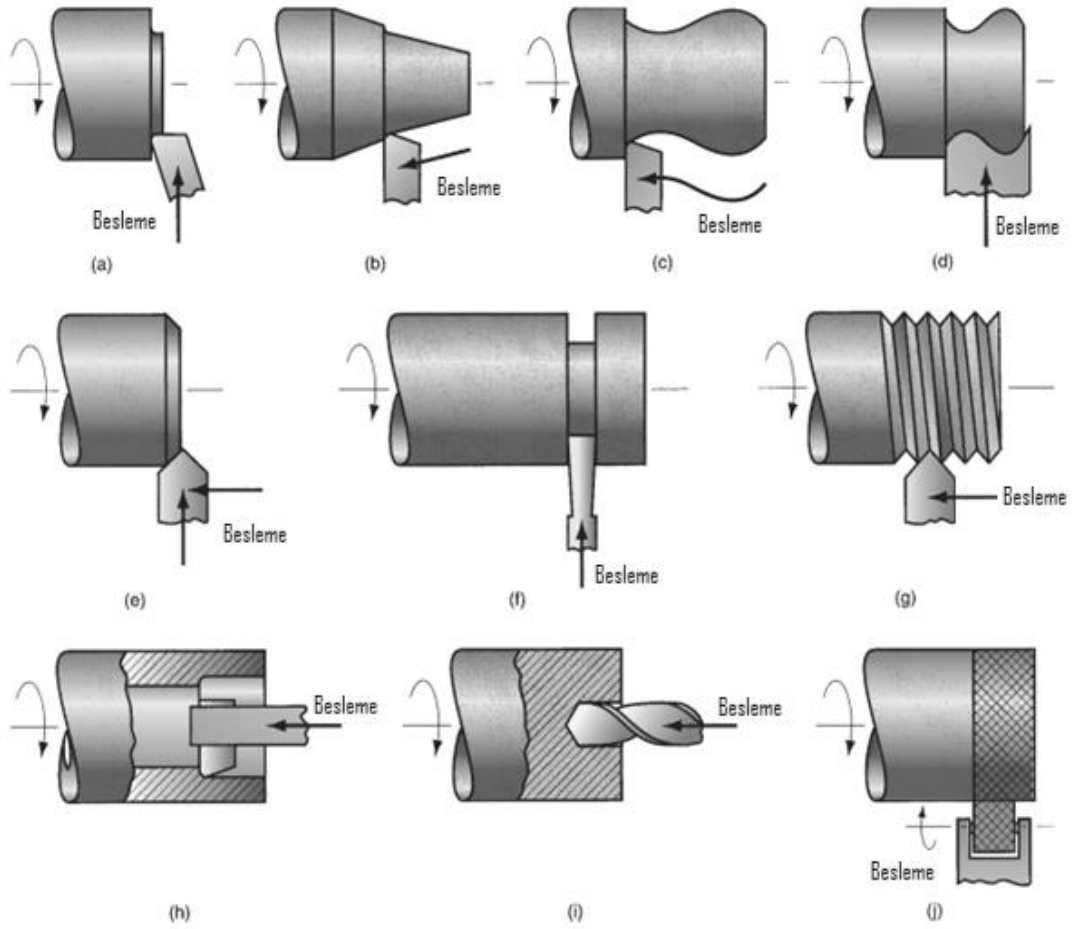


Şekil 3.4. CNC Torna tezgâhı (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

CNC Torna tezgâhlarının avantajları;

- İmalatın hızlandırılması ve birim maliyeti düşürmesi,
- İşlenmesi zor olan parçaların imalatını kolaylaştırması,
- Üretilen parçaların ölçüsel olarak aynı çıkması,
- Üretilen her parçanın çevrim süresinin eşit olması,

Temel seviyedeki torna tezgâhları iş parçasını aynaya bağlı şekilde döndürür ve kesme işlemi gerçekleştirmek için kesici takımını, eksene dik veya farklı işleme türleri için paralel olacak şekilde hareket ettirir. Hareketin yönüne ve dönmekte olan iş parçasının hangi bölgelerinden ve ne şekilde işleneceğine göre yapılacak işlemler farklı isimler alır. Şekil 3.5’te hareket gösteren oklar, kesici takımın iş parçasına göre yaptığı göreceli besleme hareketini göstermektedir.



Şekil 3.5. Tornalama işlemleri a) Alın torna işlemi b) Konik torna işlemi c) Kontur torna işlemi d) Şekil torna işlemi e) Pah kırma f) Kanal açma işlemi g) Diş açma işlemi h) Delik büyütme işlemi i) Delik delmiş işlemi j) Tırtıl çekme işlemi (Groover, 2010)

3.3.1. Kesme Parametreleri

Tornalama işleminde çalışmanın verimli olabilmesi için kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerleri önemlidir. İşlem esnasında belirlenen parametreler doğru seçilmezse, verimsiz talaşlı imalat gerçekleştirilir ve zaman kaybı, işleme maliyetinde artış ve yüzey kalitesinde bozulmaya sebebiyet verebilmektedir.

3.3.1.1 Kesme Hızı

Kesme hızı işlenecek iş parçasında ortalama çap için ortaya çıkan çevresel hızdır. Kesici takımın işlenen iş parçası üzerinde aldığı yoldur denebilir. Tornalama işleminde kesme hızı;

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/dak)} \quad 3.1$$

V: Kesme hızı (m/dak)

D: Ortalama çap (mm)

n: İş parçası devir sayısı (dev/dak)

Bağıntısı ile bulunmaktadır. (Eşitlik 3.1)

Boyuna dış tornalama işleminde, talaş kaldırma işlemi ile parçanın çapı D'den d'ye azalırken, takım ağzı, iş parçası ile işleme doğrusu boyunca temas halindedir. Parça çapı işleme boyunca azalacağı için, temas boyunca kesme hızı değişecektir. Ancak temas çizgisi çok küçük olduğundan dolayı kesme hızı parçanın başlangıçtaki çapı D'ye göre hesaplanmaktadır (Yılmaz E. , 2019).

Kesme hızı belirlenirken, parça malzemesine, takım malzemesine, uygun görülen talaş derinliğine, kesme sıvısına ve tezgâh yapısına bağlı olmaktadır. Tezgâh rijitliği yüksek olan tezgâhlarda, kesme hızları yüksek değerlerde seçilebilir. Rijitliği yüksek olmayan talaşlı imalat tezgâhlarında, yüksek kesme hızları, işlenen iş parçasının yüzeyinin bozuk bir şekilde çıkmasına neden olan, titreşimleri meydana getirir.

3.3.1.2 İlerleme

İlerleme, kesmeyi yapan takımın işlenen iş parçası üzerinde bir dakikada mm cinsinden aldığı yolun uzunluğudur. İlerleme (mm/dak) olarak ifade edilir. Kesme kuvvetlerinin oluşmasında ilerleme parametresinin etkisi yüksektir. İlerleme hızı ile kesme kuvvetleri arasında ters orantılı bir bağıntı bulunmaktadır.

İlerleme hızındaki artış takım da aşınmaya sebep olur. Meydana gelen bu aşınma, kesme hızındaki artışın sebep olduğu takım aşınması ile karşılaştırıldığında daha düşük bir aşınmadır. Tornalama işleminde parametreler seçilmeden önce bu durumlar göz önünde bulundurularak, ilerleme hızı uygun aralıklar arasından büyük değer seçilmelidir. Finiş tornalamada ise yüzey kalitesinin iyi elde edilmesi istendiği durumda ilerleme hızı düşük değer seçilmesi gerekmektedir. İlerleme hızı devir sayısı (n) ile ilerleme miktarının (f) çarpımının sonucu olarak elde edilir.(Eşitlik 3.2)

$$V_f = n \cdot f \quad 3.2$$

V_f : İlerleme hızı (dev/dak)

n: Devir sayısı (mm)

f: İlerleme miktarı(mm/dev)

İlerleme hızına etki eden faktörler dikkate alınarak uygun ilerleme hızı seçimi yapılmalıdır. İlerleme değerini başlıca etkileyen faktörler;

- Kesme hızı
- Talaş derinliği
- İş parçası malzemesi
- Kesici uç ve kaplaması
- Tezgâh kapasitesi

3.3.1.3 Talaş Derinliği

Talaş derinliği, kesme derinliği veya paso olarak da adlandırılabilir. Kaldırılacak malzeme tabakasının kalınlığı (a) ile ifade edilebilir. İş parçasının çapı başlangıçta D ve sonrasında bir paso kaldırıldıktan sonra d oluyorsa, pasonun kalınlığını dış tornalama ve iç tornalama için sırasıyla; (Yılmaz E. , 2019).

$$a = \frac{D - d}{2} \text{ (mm)}; a = \frac{d - D}{2} \quad 3.3$$

Şeklinde ifade edilir. (Eşitlik 3.3)

4. GEOMETRİK TOLERANSLAR

4.1. Tolerans Kavramı

Makine imalatında üretilecek parçaların teknik resimlerde verilmiş olan ölçülerde, istenilen yüzey düzgünlüklerinde hiçbir sapma olmadan tam verilen değerlerinde üretilmesi maliyetli ve zor bir yöntemdir. Parçaların imal edilmesi sonucunda elde edilecek ölçüsel değerler, esas istenilen ölçülerden biraz küçük veya biraz büyük olmaktadır (Karmakar & Maiti, 2012). Seri imalatta aynı parçadan, aynı çalışan tarafından aynı tezgâhta çok sayıda yapıldığı durumda bile her bir parçanın ölçüleri arasında küçüğe olsa farklılıklar olduğu görülmektedir. Parçanın istenilen ölçü tamlığında olması için çalışmak gereksiz zaman kaybına ve maliyetin artmasına sebep olduğu için tolerans kavramı ortaya çıkmıştır. Tolerans kavramı; imalat esnasında ortaya çıkabilecek olan ve ortadan tamamen kaldırılmasının imkânı olmayan ölçü hatalarını izin verilebilir değerler arasında sınırlandırmaktır (Kwun-Lon Ting & Long, 1996). Tek bir ölçüye bağlı kalınması yerine iki sınır ölçüsü belirlenir ve işlenecek iş parçalarının ölçüleri bu iki sınır arasında kalması uygun bulunur. Kısaca tolerans kavramı izin verilen minimum ölçü sınırı ile maksimum ölçü sınırı arasında kalan farktır (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2007).

4.2. Geometrik Tolerans Kavramı

Bir iş parçasının imalatı sırasında birçok yüzey işleme işareti ve ölçü toleransları bulunur. Tüm bu yüzey işlemlerinin ve ölçü toleranslarının hassas olarak elde edilmeye çalışılması işleme maliyetini, süresini ve işçiliği çok fazla arttıracak olduğundan sadece çok gerekli olarak görülen yüzeylerde bu işlemlerin hassas olarak gerçekleştirilmesini sağlamak, imalat performansının artmasını ve işleme maliyetinin düşürülmesini sağlar (Zong & Mao, 2015). İş parçasının imalatı esnasında sadece yüzey işleme işaretleri ve ölçü toleranslarının kullanılması, iş parçasının doğru bir şekilde üretilmesi için yeterli olmayabilir. Genellikle bir makine parçasının başka bir makine parçası ile ilişkili çalıştığı yerlerde Geometrik şekil toleransları

kullanılmaktadır (Armillotta & Semeraro, 2011). Parça imalatı küreselleştikçe ve mühendislik ürünleri daha karmaşık hale geldikçe, geometrik boyutlandırma ve toleranslandırma dünya çapında tanındı ve kabul gördü.

Geometrik toleranslar, geometrik tolerans özelliklerini simgeleyerek bu özelliklerin kabul edilebilir toleranslarını basitçe göstermeyi sağlamaktadır. Bu geometrik toleranslardan bir veya daha fazla yüzeye, eksene, doğruya bağımlı olanlar varsa bağımlılığı basit bir şekilde gösterilebilmektedir. Yüzey işleme işaretleri ve ölçü toleransları parçanın boyutsal olarak uygun olduğu konusunda bilgi verirken geometrik toleranslar şekil, yön, salgı, yerleşim konularında bilgi verir (Luo, Franciosa, Ceglarek, Ni, & Jia, 2018).

İmalat işlemi sırasında iş parçaları elde olmayan nedenlerden dolayı olması gereken ideal şekilden sapmalara uğrar. Bu sapmalar belirli sınırlar içerisinde olmalıdır. İki veya daha fazla olan parçanın birbirlerine göre olan konumlarının sınırlanmasına konum toleransları denilir.

Bir tasarım yapılırken geometrik boyutlandırma ve toleranslandırma özelliklerinden faydalanmak, tasarımın performansı ve işlevsel gereksinimleri ile doğrudan ilişkilidir. Tasarım esnasında geometrik toleranslardan faydalanmak, üretim ve kalite kontrol süreçlerine de doğrudan etki etmektedir (Tsai & Cutkosky, 1997).

4.3. Geometrik Tolerans Sembolleri

Parça imalatı sırasında parçaların uygun bir şekilde imalatını sağlamak için, boyut toleranslarının kullanılmasının yanı sıra, şekil ve konum toleranslarının da kullanılması uygundur.

Ölçülendirme ve toleranslandırma ile ilgili ilk Amerikan Askeri Standardı 1949 yılında (MIL STD-8A) yayımlanmıştır sonrasında 1953 yılında düzenlemeye uğramıştır (MIL STD-8A) ve toleranslar da sembol tanımına geçmiştir. Şekil 4.1' de tolerans sembolleri ASME Y15.5M ve ISO tablo halinde karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Örnekleri verilen sembol gösterimlerinin her iki standart için aynı olması, uluslararası alanda imalatında standartlaştığını gösterir (Töre, 2004).

TOLERANS TANIMI	ASME Y14.5M	ISO
DOĞRUSALLIK	—	—
DÜZLEMSELLİK		
DAİRESELLİK		
SİLİNDİRİKLİK		
PROFİL (ÇİZGİ)		
PROFİL (YÜZEY)		
ÇEVRE BOYUNCA		
AÇISALLIK		
DİKLİK		
PARALELLİK		
KONUM		
EŞ MERKEZLİLİK		
SİMETRİ		
DAİRESEL YALPALAMA		
TOPLAM YALPALAMA		
EN ÇOK MALZEME DURUMU		
EN AZ MALZEME DURUMU		

Şekil 4.1. Tolerans sembolleri (Töre, 2004)

4.4. Şekil Toleransları

Şekil (Form) toleransları, düzlemsellik, doğrusallık, dairesellik ve silindiriklik toleranslarını içermektedir. Şekil toleransları belirlenirken parçanın işlevine ve formuna dikkat edilmelidir, ayrıca bu toleranslar belirtilirken herhangi bir datuma bağlı olarak verilmesi gerekli değildir.

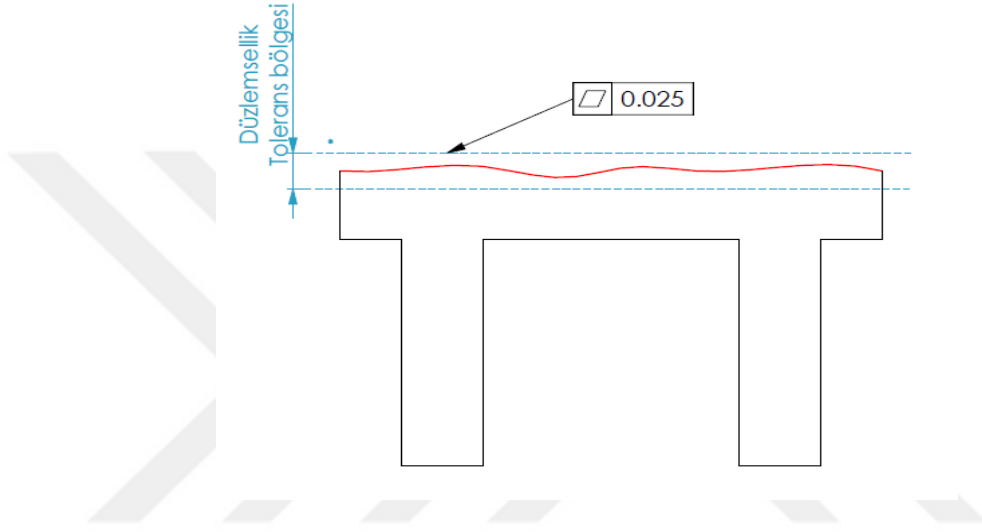
4.4.1. Düzlemsellik

Düzlemsellik veya düzlük kontrolü bir yüzeyin hatasız düz yüzeyden ne kadar farklı olduğunu yani ne kadar tolerans değerinden çıktığını belirtir. Hatasız düz yüzey, yüzeyde bulunan tüm noktaların aynı düzlemde yer alması durumudur (Haitjema, 2016).

Düzlemsellik;

- Düz olan yüzeylere uygulanmaktadır.
- Düzlemsellik toleransının sadece verildiği yüzey ile ilişkisi olduğu için referans yüzeyi tanımı gerektirmez.

Şekil 4.2’de verilmiş olan parça düzlemsellik toleransını sağlaması için parçanın yüzeyinin düzlemi 0.025 mm aralıklı iki paralel düzlem arasında bulunmak durumundadır.

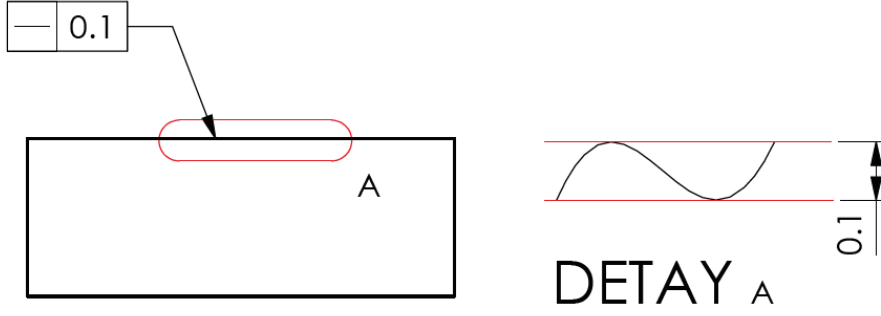


Şekil 4.2. Düzlemsellik toleransı gösterimi ve uygulaması

4.4.2. Doğrusallık

Doğrusallık bir yüzeyde veya bir ekseninde kabul edilebilecek derecede olan boylamasına dalgalanmayı ifade etmektedir. Eğer yüzey üzerinde sadece belirli bir kısmında doğrusallık şartı aranacak ise aranacak o kısmında boyu belirtilmesi gerekir.

Şekil 4.3’te silindir parça boyunca alınan bir doğrunun doğrusallık değerinin 0.1 mm değeri içerisinde olması gerektiği gösterilmiştir. Silindir yüzeyi üzerinden alınan her bir doğrunun birbirleri arasında 0.1 mm bulunan iki çizgi arasında bulunma zorunluluğu vardır.



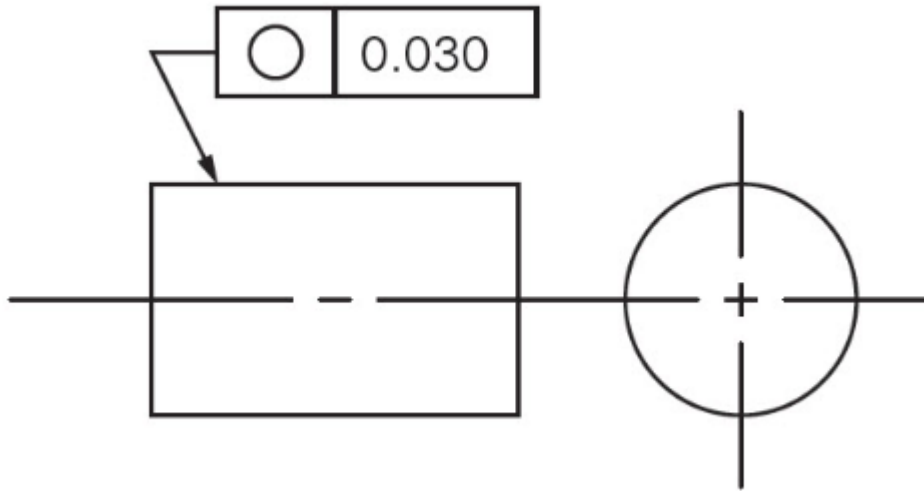
Şekil 4.3. Doğrusallık toleransı gösterimi

4.4.3. Dairesellik

Dairesellik mühendislikteki temel geometrik özelliklerden birisidir. Pratikte mükemmel yuvarlak parça elde edilemediğinden dolayı nihai her parçanın net şekli gerçek değerlerinden kaçınılmaz sapmalara sahiptir. Tasarımlarda hassasiyet gereksinimi arttıkça dairesellik toleransından faydalanılabilir. Dairesellik dönen millerin, yatak yuvalarının, pistonların, silindirlerin işlevselliğini doğrudan etkilemektedir (Cho & Tu, 2002).

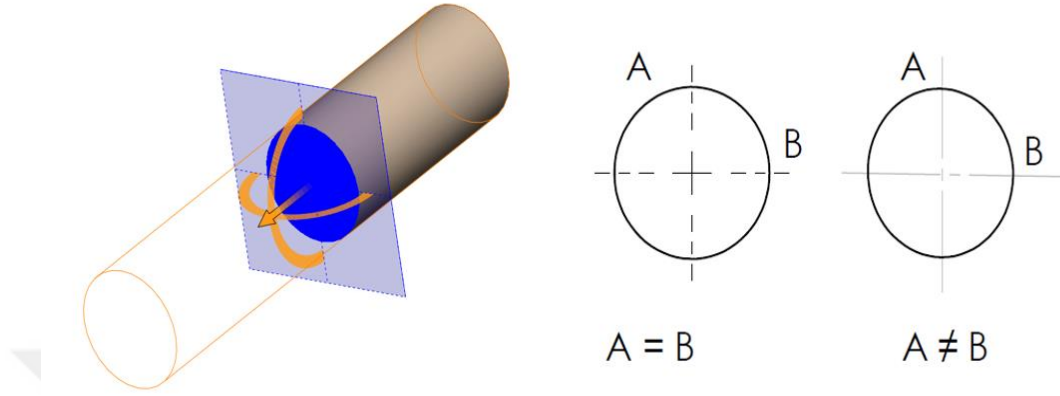
Dairesellik, bir eş merkezli iki daire arasında kabul edilebilir dairesel sapmayı belirtmektedir. (Şekil 4.4)

Silindirik bir iş parçası herhangi bir noktasından eksenine dik olarak kesildiğinde, kesilmiş bölgede ortaya çıkan dairesel şeklin bütün kenarlarındaki noktalarının merkeze eşit uzaklıkta olma durumudur.



Şekil 4.4. Dairesellik toleransı gösterimi

Şekil 4.5'te parça dik olacak şekilde kesildiğinde A ve B Noktaları birbirine eşit olması durumunda dairesellik sağlanmaktadır. A ve B noktaları birbirlerine eşit olmadığı durumda, dairesellik değeri tolerans içerisinde girmemektedir.



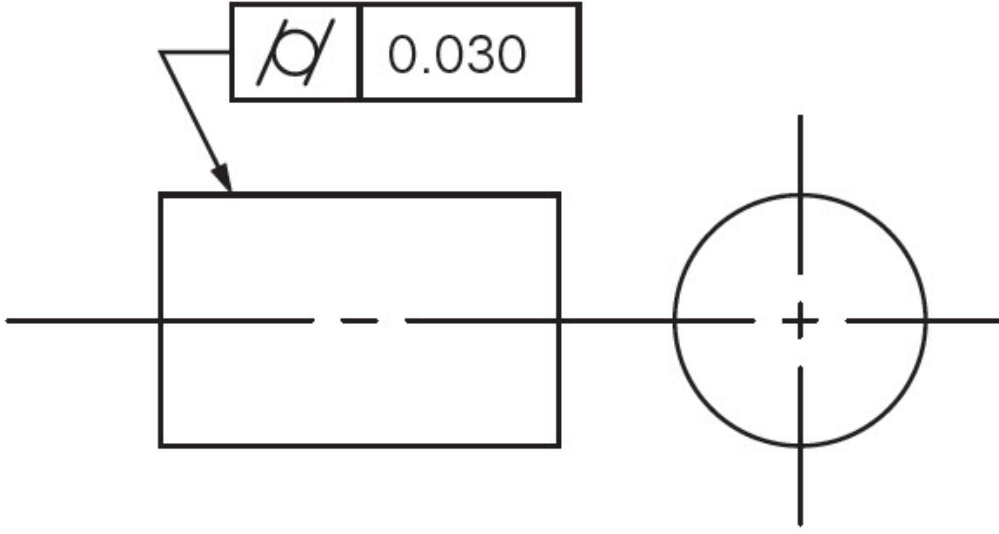
Şekil 4.5. Dairesellik toleransı uygulaması

4.4.4. Silindiriklik

Silindiriklik her zaman kullanışlı bir geometrik parametre olmuştur ve kullanımı giderek artarak yaygınlaşmaktadır. Kullanımındaki bu artış ile birlikte, sınırlamalar konusunda artan bir farkındalık oluşmuştur (Dawson, 1992).

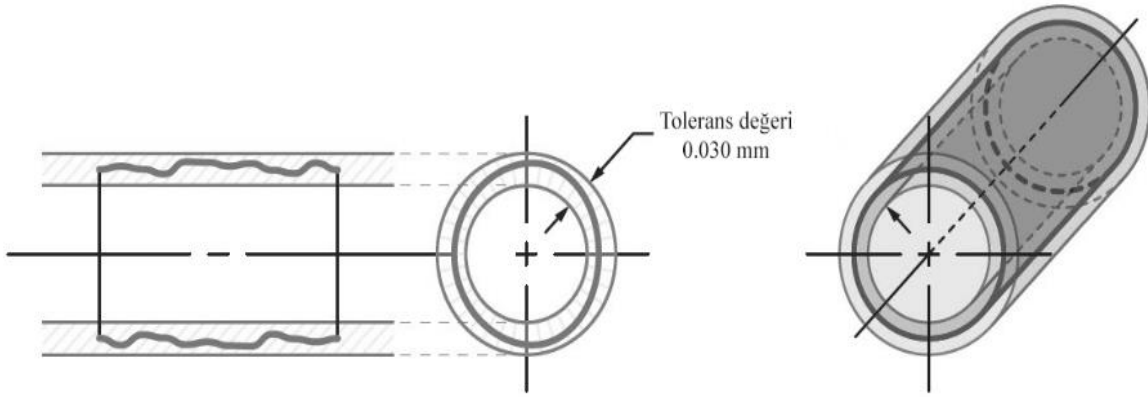
Silindiriklik sembolü, bir nesnenin gerçek bir silindire benzerliğinin ne kadar yakın olduğunu açıklamak için kullanılmaktadır. Silindir eksenini boyunca parçanın yeterince yuvarlak ve yeterince düz olmasını sağlamak için silindirik bir parçanın genel biçiminin doğruluğunu kontrol eden bir üç boyutlu toleranstır.

Geometrik şekli silindirik olan parçalara Şekil 4.6'da gösterildiği gibi uygulanmaktadır. Dairesellik tolerans kontrolü kesit alınıp belirli bir noktaya yapılırken, silindiriklik verilen yüzey boyuna bütün yüzeye uygulanılmaktadır.



Şekil 4.6. Silindiriklik toleransı gösterimi

Silindiriklik 4.7’de gösterildiği gibi parçanın ekseninden tüm uzunluğu boyunca uzanan iki eş merkezli silindir arasında kalan bölge tolerans bölgesini göstermektedir. Tolerans değerini sağlamak için parça yüzeyinden alınan her nokta bu iki eş merkezli silindir arasındaki bölgede bulunmak zorundadır.



Şekil 4.7. Silindiriklik tolerans uygulaması

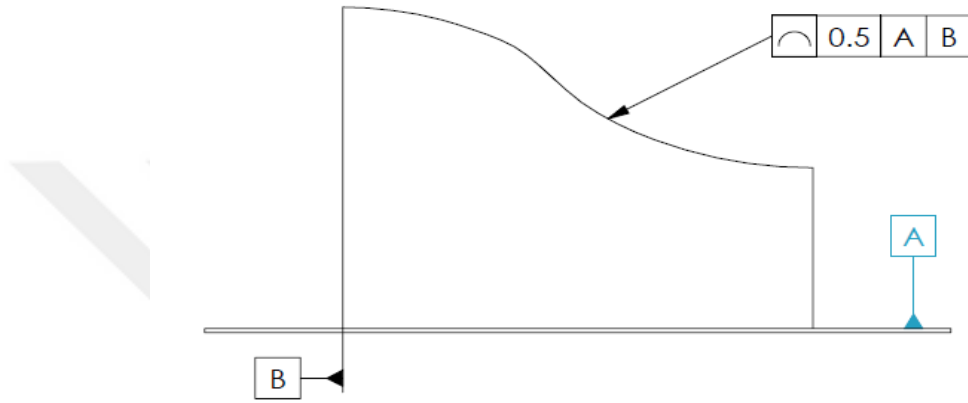
4.5. Profil Toleransları

Profil toleransları bir doğrunun veya yüzeyin profili ile alakalı verilen toleranslardır. Bu toleranslar bir datuma bağlı olarak verilebilirler. Geometrik tanım olarak

tanımlanabilen bir doğru veya yüzeyin, tanımlanmış doğru profil ölçülerinden sapma miktarını belirler.

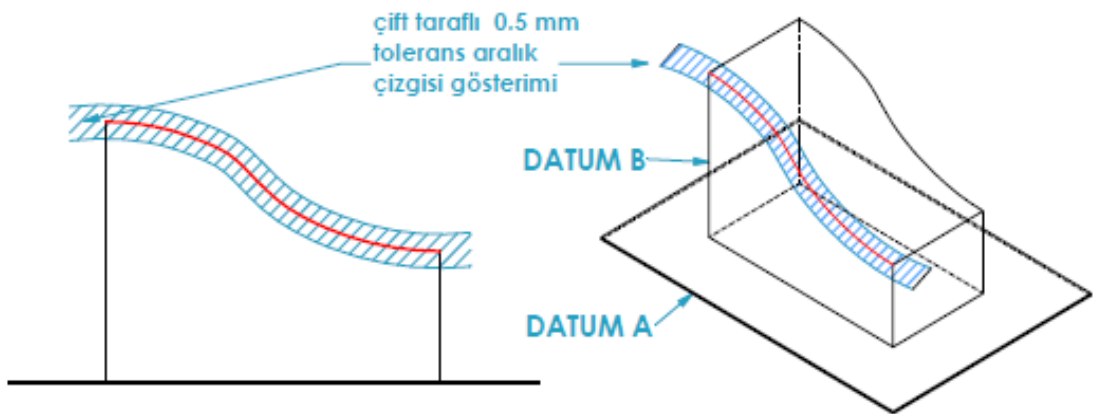
4.5.1. Doğru Profili

Doğru profili genellikle değişim gösteren kesitlere sahip parçalara veya bir parçanın işlevi için kritik olan belirli kesitlerin kontrol edilmesi için uygulanmaktadır. Şekil 4.8’de teknik resim üzerinde gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.8. Doğru profil toleransı gösterimi

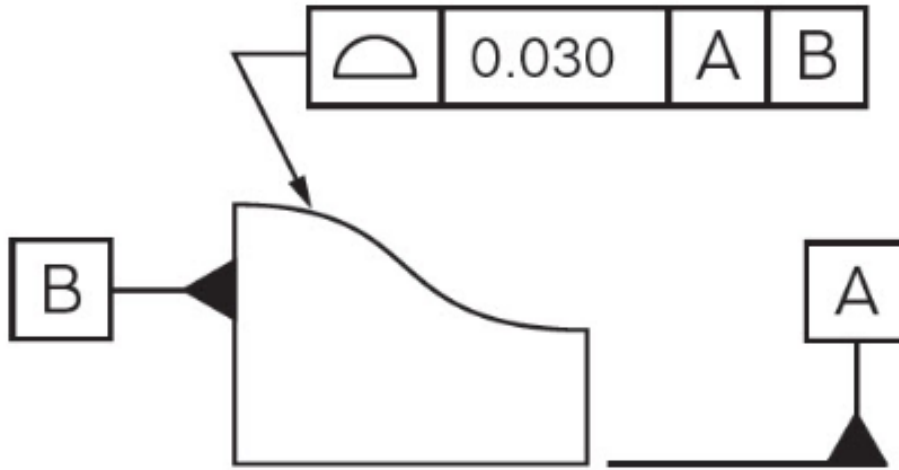
Bir doğru profili örneği Şekil 4.9’da verilmiştir. Bir doğrunun profili, tolerans değerlerini sağlayabilmesi için o profilin çevresini takip eden iki paralel eğri içerisinde yer almak zorundadır. Bir parçanın birden fazla kesitinden ölçüm yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.9. Doğru profili tolerans bölgesinin gösterimi

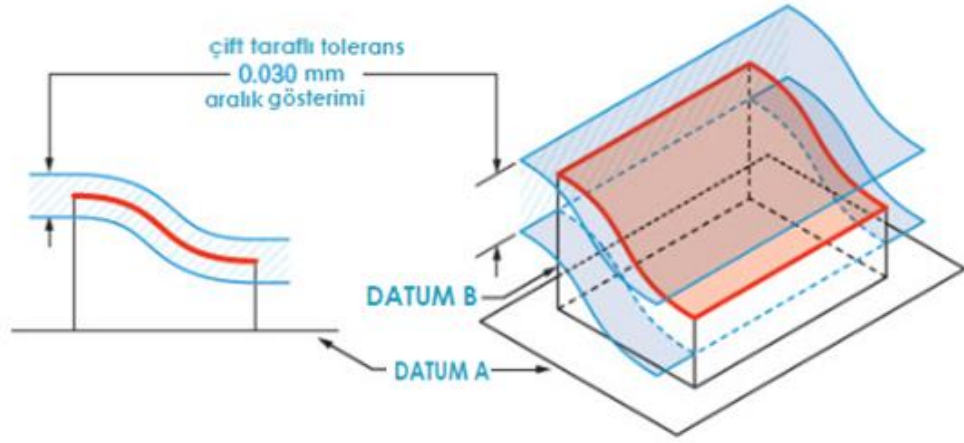
4.5.2. Yüzey Profili

Doğru profili yalnızca belirli bir enine kesite bakarken, bir yüzeyin profili, ölçümlerin bir kesitten diğerine nasıl değiştiğine bakmaktadır. A ve B yüzeylerinin yüzey profil tolerans gösterimi teknik resim üzerinde Şekil 4.10'daki gibi gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Yüzey profil toleransı gösterimi

Yüzey profili tolerans bölgesi, yüzeyin tüm uzunluğu boyunca, yüzey profilinin iki paralel eğrisi içinde kalan aralıktır. Yüzey boyunca tüm noktaları kontrol eder. Yüzeyde bulunan herhangi bir nokta, Şekil 4.11'de gösterildiği gibi yüzey profil toleransından daha fazla içte veya daha fazla dışta olmamalıdır (Luo, Franciosa, Ceglarek, Ni, & Jia, 2018).



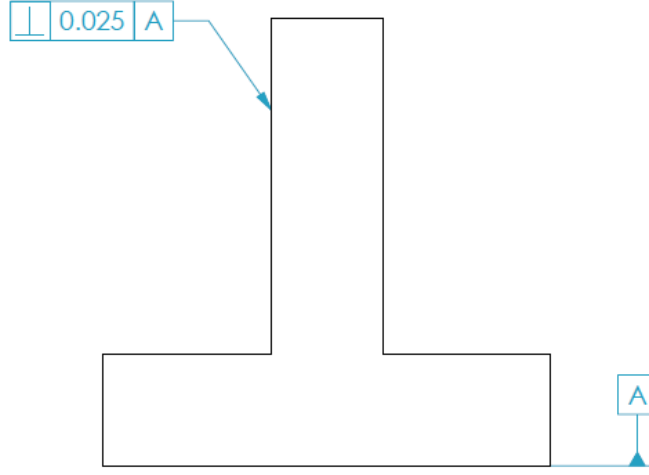
Şekil 4.11. Yüzey profil tolerans bölgesinin gösterimi

4.6. Yön Toleransları

Diklik, paralellik, açısallık bir unsurun yön toleranslarını belirten unsurlardır. Bu tolerans değerleri bir datumla bağlı olarak verilmektedirler. Bu toleranslandırma yöntemlerinin amacı, işlemenin ve parçaların birbirleri arasındaki ilişkinin kusursuz koşullarda gerçekleşmesini sağlamaktır.

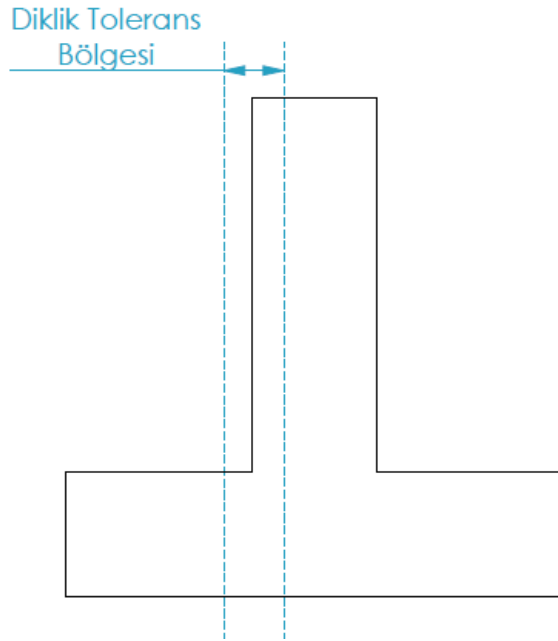
4.6.1. Diklik Toleransı

Diklik toleransı, basitliği ve kullanışlılığı nedeniyle çok yaygın kullanılan bir toleranstır. Hem yüzey hem de eksen dikliği istenilen mühendislik tasarımlarında sıklıkla kullanımına yer verilmektedir. Diklik toleransı, bir yüzey veya eksenin bir referans düzlemine veya eksenine 90° olmasıdır. Yüzey dikliği toleransı verilen yüzey iki paralel düzlem ile kontrol edilir. Şekil 4.12'de A datumuna göre yüzeyin 0.025 mm tolerans değerini sağlaması gerektiğini belirtmektedir.



Şekil 4.12. Diklik toleransı gösterimi

Şekil 4.13'te gösterilen parçanın toleranslara girmesi için gelen ölçünün iki düzlem arasında olması gerekmektedir. Gelen ölçü iki düzlem arasında bulunmadığında tolerans değeri aşıldığı için parça hatalı olacaktır.

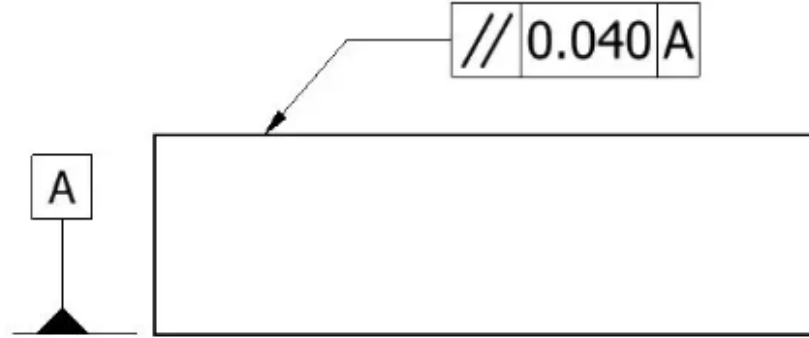


Şekil 4.13. Diklik tolerans bölgesinin gösterilmesi

4.6.2. Paralellik Toleransı

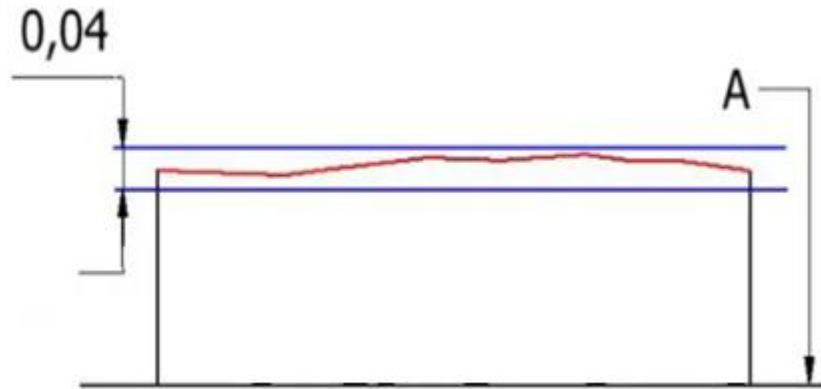
Paralellik toleransı, referans verilen bir yüzeyin, bir referans yüzeyi veya referans çizgisine paralel bir yönelimini tanımlayan oldukça yaygın bir geometrik tolerans sembolüdür. Tolerans, sınır noktasına göre yüzeyin diğer yüzeyler veya parçalar arasındaki açıyı dolaylı olarak kontrol eder. Paralellik tolerans sınırı, bir eksenden

veya bir referans düzleminden tüm noktalarda eşit uzaklıkta bulunan bir yüzey veya merkez düzleminin durumudur. Paralel yüzeyler veya çizgiler arasındaki mesafe, geometrik tolerans bölgesi tarafından belirlenir. Paralellik, unsurun yüzeyinin veya ekseninin içinde bulunması gereken, bir referans düzlemine veya eksenine paralel iki paralel düzlem veya çizgilerle tanımlanan bir tolerans bölgesi de belirtebilir. Paralellik gösterimi Şekil 4.14'teki gibidir (Khan & Ma, 2014).



Şekil 4.14. Paralellik toleransı gösterimi

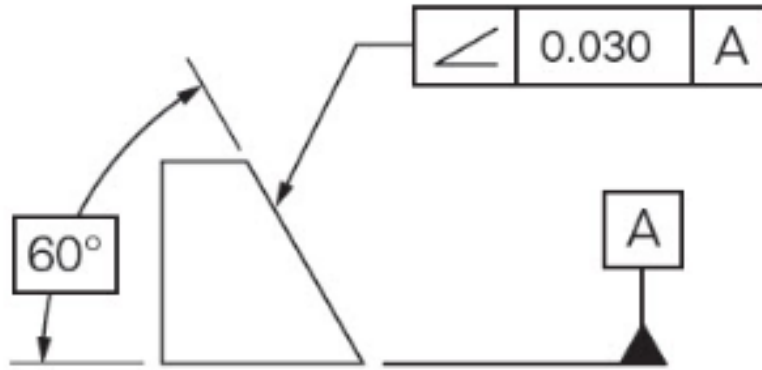
İki tür paralellik vardır. Bir yüzeyi veya bir eksenini kontrol etmek için kullanımımıza bağlı olarak, yüzey paralelliği veya eksen paralelliği anlamına gelir. Yüzey paralelliğinin kullanımı eksen paralelliğinden daha yaygındır. Her iki paralellik türünde amaç, tolerans çerçevesinde belirtilen değer sınırlarına göre referans elemanı, eksen veya düzlem ile paralelliği sağlamaktır. (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Paralellik tolerans bölgesinin gösterilmesi

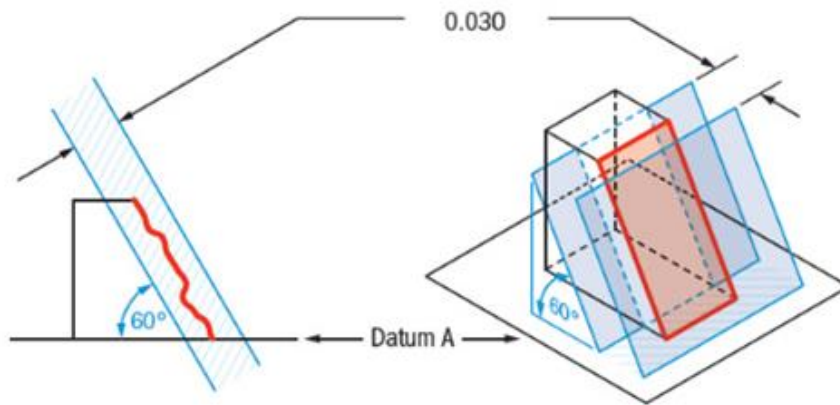
4.6.3. Açısallık Toleransı

Şekil 4.16’da verilen açısallık, referans verilen bir açıda bir yüzeyin diğerine özel açısının toleransını tanımlayan bir geometrik semboldür. Tolerans değeri, açı değişimini doğrudan kontrol etmemektedir ve 10° gibi açısız boyut toleransları ile karıştırılmamalıdır.



Şekil 4.16. Açısallık toleransı gösterimi

Açısallık toleransı, bir referans düzlemine göre bir çizginin veya yüzeyin iki paralel düzlem arasında bulunma durumudur. (Şekil 4.17)



Şekil 4.17. Açısallık tolerans bölgesinin gösterilmesi (Geiss, 2014)

4.7. Yalpalama (Salgı) Toleransları

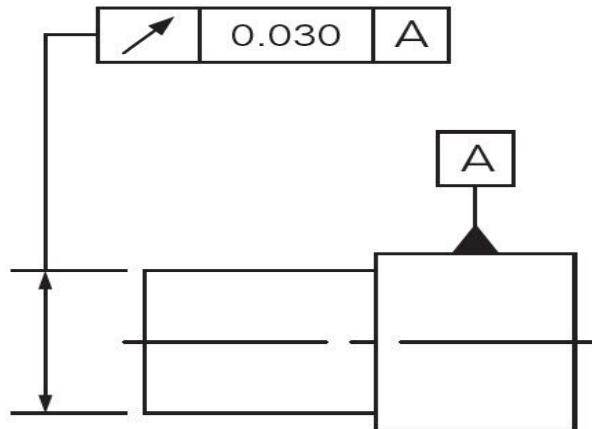
Yalpalama toleransları silindirik bir parçanın işleme esnasında eksenini etrafında döndürüldüğünde ideal şeklinden gösterdiği sapmadır. Salgı toleransları silindirik bir parçanın dönme yüzeyinin parça eksenine göre konumunu veya parçanın alın yüzeylerinin salgısı ile ilgili toleranslardır.

Dairesel salgı toleransı aynı zamanda parçada dairesellik ve eş merkezliliği kontrol etmektedir. Toplam salgı toleransı aynı zamanda doğrusallık, dairesellik, açısallık ve konikliği de kontrol etmektedir (Clasen, Davidson, & Shah, 2009).

Yalpalama toleransı verilen yüzey için salgı eksen takımının teknik resim üzerinde belirtilmesi gerekmektedir. Dairesel salgı ve toplam salgı toleransları eksene bağlı olarak tanımlanmaktadır.

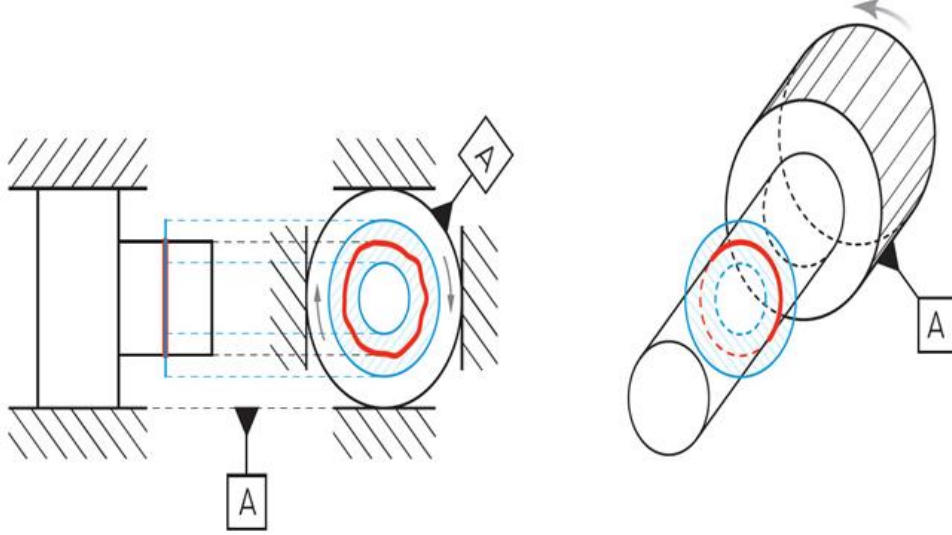
4.7.1. Dairesel Yalpalama (Salgı)

Dairesel salgı veya yalpalama, dönen mekanik sistemlerin veya iş parçalarının tam olarak ana eksenini ile aynı doğrultuda dönmemesi nedeniyle ortaya çıkan bir kalitesel bozuluktur. Örnek olarak delme işlemi yapacak olan bir matkap ekseninde dönmek yerine yani belirli bir hatta değil eksen dışına çıkacak bir şekilde döndürüldüğünde matkapta salgı meydana gelip, salgı matkabın nominal çapından daha büyük ve şekil olarak daha bozuk bir delik açmasına neden olur. Şekil 4.18’de verilmiş olan parçanın sağlaması gereken değer 0.030 dan küçük olmalıdır.



Şekil 4.18. Dairesel yalpalama gösterimi

Dairesel salgı tolerans gereksinimlerini karşılamak için parça döndürüldüğünde ölçülen parçanın salgısı belirtilen değer içerisinde olması gerekmektedir. (Şekil 4.19)

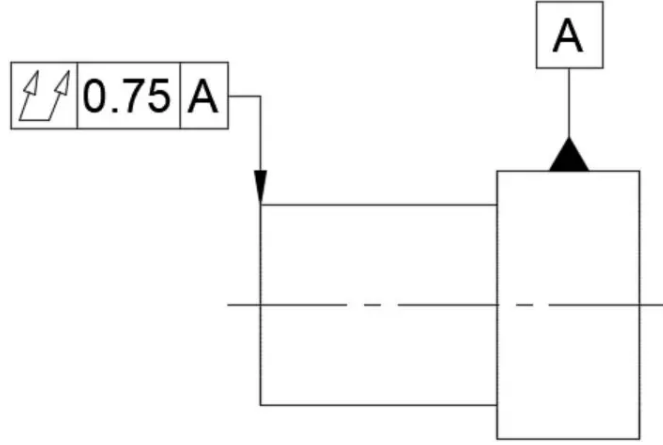


Şekil 4.19. Dairesel yalpalama uygulaması (Cimquest Marketing, 2021)

4.7.2. Toplam Yalpalama (Salgı)

Toplam salgı, tüm yüzeyin konumunu, yönünü ve silindirikliğini aynı anda kontrol eden birleşik bir toleranstır. Bunları bir referans eksenini belirleyerek ve parçayı 360 derece döndürerek yapar.

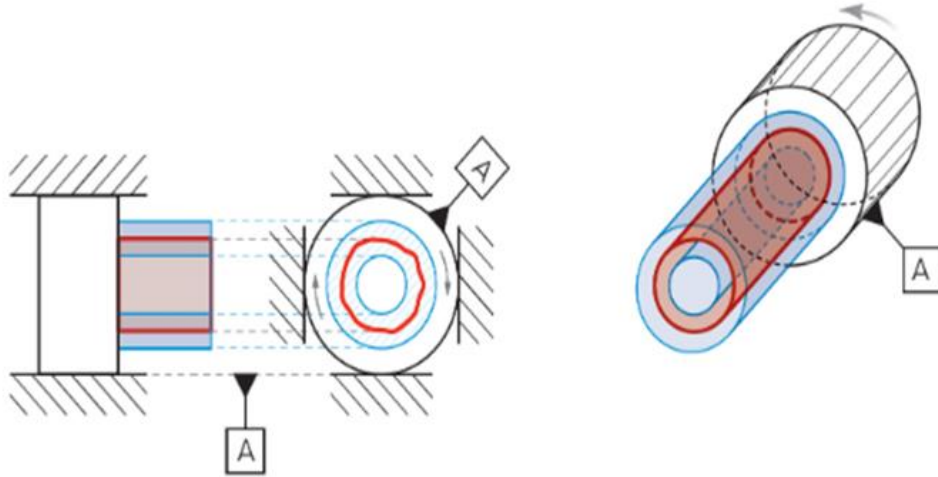
Toplam salgı, tüm parça uzunluğu boyunca salgıyı kontrol ettiğinden, salgı sembolü, kuyukları yatay bir çizgi ile birbirlerine bağlanan kuzeydoğuyu gösteren iki oktan oluşmaktadır. Oklar, toplam salgının belirtilen parça yüzeyinin bir ucundan diğerine dairesel salgıyı ölçtüğünü ve yatay çizgide kontrol altındaki yüzeyi temsil etmektedir. (Şekil 4.20)



Şekil 4.20. Toplam salgı gösterimi

Uygulama esnasında, toplam salgı tolerans bölgesine göre yüzeydeki farklı yerlerde yüksek ve alçak noktalar gözlenir. Yüzeydeki tüm bu noktalar verilmiş olan tolerans bölgesinin içinde olmalıdır. Tüm yüzey üzerindeki en yüksek ve en düşük nokta arasındaki fark, uygun bulunan tolerans sınırından daha düşük bir değerde olmalıdır.

Şekil 4.21'deki gibi silindirik parçalar söz konusu ise yüzey salgısını kontrol etmenin yanı sıra yüzey düzgünlüğünü, herhangi bir aksenal değişim olup olmadığını da kontrol eder.



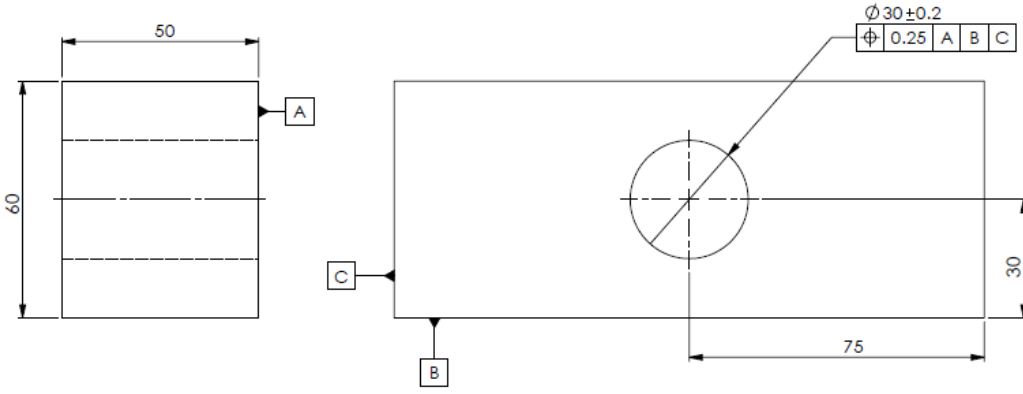
Şekil 4.21. Toplam salgı uygulaması (Cimquest Marketing, 2021)

4.8. Yerleşim Toleransları

4.8.1. Konum Toleransları

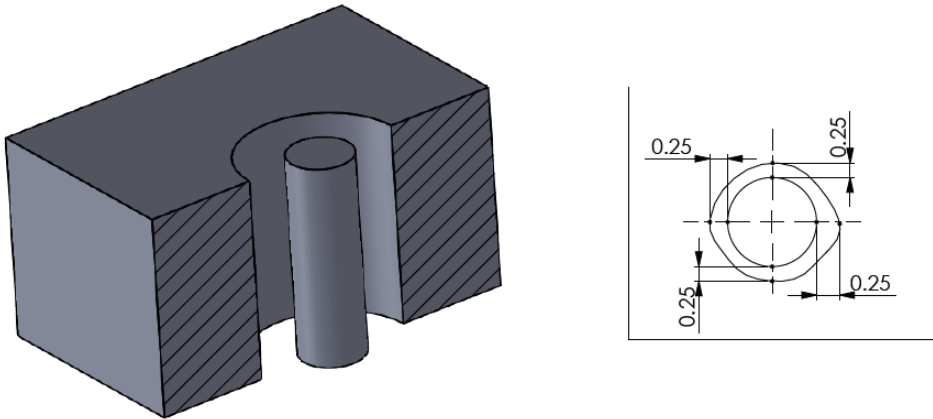
Konum toleransları, bir elemanın tam yerini belirtir. Belirli bir parça geometrisine uygunluk, ürün kalitesine ulaşmanın anahtarıdır (Romano & Vicario, 2002).

Tolerans bölgesi, geometrik toleransın verildiği merkez noktasının temel konumunda bir küre veya bir daire ile sınırlandırılmaktadır. (Şekil 4.22)



Şekil 4.22. Delikli bir levhanın delik eksenini konumu için konum toleranslandırma

Şekil 4.23'te belirtilen referans yüzeylerinden uzaklığı tam merkez ölçüsünde bulunan konumun merkezinden çizilecek 0.25 mm çapında bir daire içerisinde bulunması muhtemel olan tüm konumların kabul edilebilecek tolerans değerini sağladığını belirtmektedir.

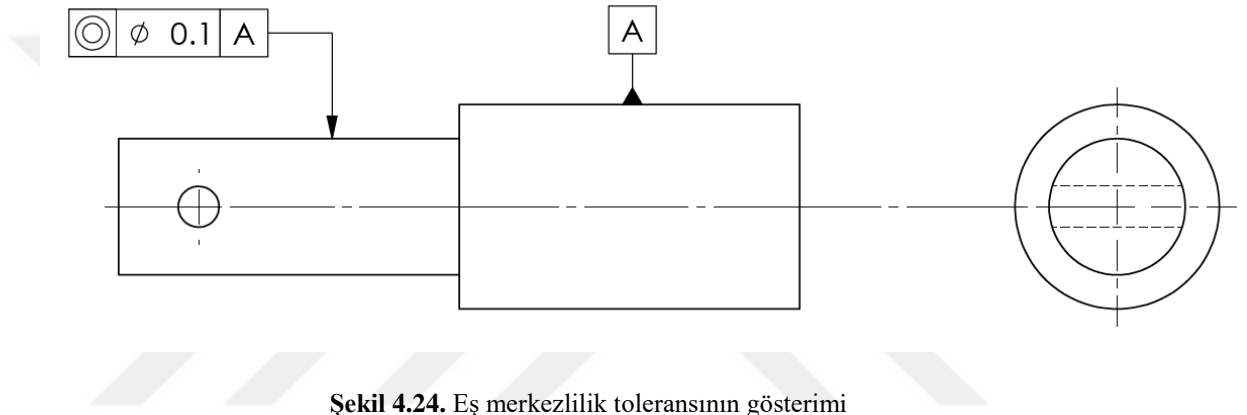


Şekil 4.23. Konum toleransının detaylandırılması

4.8.2. Eş Merkezlilik (Eş Eksenlilik) Toleransı

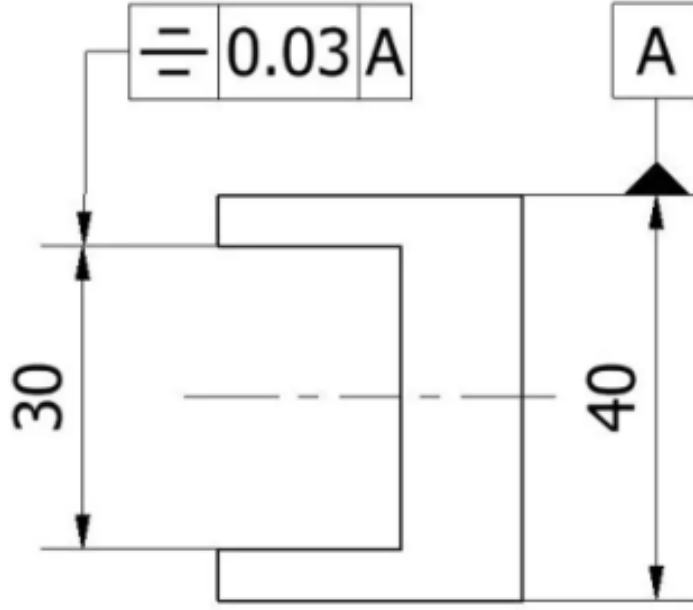
Eş merkezlilik, eş eksenliliğin özel bir şeklidir. Birçok mekanik parça son derece hassas bir eş merkezlilik tasarımı gerektirmektedir. Eş merkezlilik, taban tabana zıt iki noktanın orta noktasının belirli bir tolerans bölgesi içerisinde olmasını sağlamaktadır (Sild, 2021).

Şekil 4.24'te yer alan eş eksenli iki farklı çaptaki silindirik kısımdan oluşan iş parçası, referans oluşturması için datum A ile belirtilmiştir. Yüzeyinin A datumu ile eş merkezli olması istenmiştir. Bu parçadaki eş merkezlilik toleransının tespiti yapılabilmesi için yüzey boyunca birkaç kez ölçü alınması gerekmektedir.



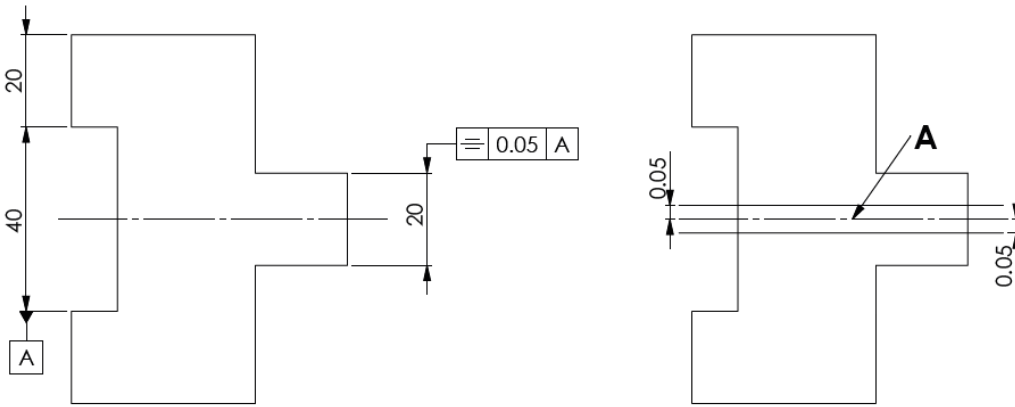
4.8.3. Simetri Geometrik Toleransı

Silindiriklik durumu bir elemanın veya bir yüzeyin referans düzlemine veya başka bir elemana göre simetrik olması durumudur. Simetri toleransı, referans merkez düzleminin her iki yanında da birer tane olmak üzere iki paralel düzlemden oluşur. İki paralel yüzey arasındaki mesafe, tolerans sınırını ifade etmektedir. Şekil 4.25'te bu değer A yüzeyi için 0.03 mm olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Silindiriklik toleransı

Simetriklik toleransı, kontrol edilmesi gereken elemanın içinde bulunması gereken tolerans bölgesinin genişliğini vermektedir. Bir parçanın simetriklik toleransın da, verilen tolerans bölgesi iki doğru veya iki düzlem ile sınırlandırılabilir. (Şekil 4.26)



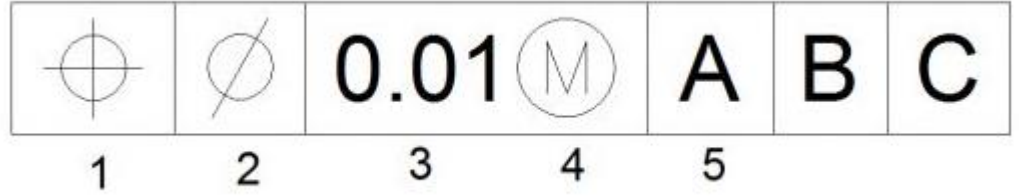
Şekil 4.26. Silindiriklik tolerans uygulaması

4.9. Geometrik Tolerans Sembollerinin Şekil Üzerinde Gösterilmesi

4.9.1. Tolerans Çerçevesi

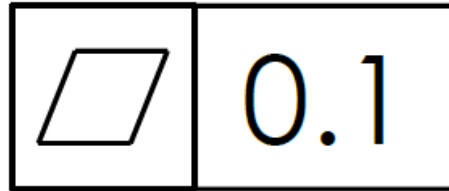
Gerekli göstergeler, iki veya daha fazla bölmelere ayrılmış dikdörtgen çerçeve içine yazılır, bölmeler içerisinde belirtilenler sırası ile soldan sağa doğru;

- Tolerans olarak belirtilmek istenilen özelliğin geometrik sembolü, diklik, doğrusalık, paralellik vb. geometrik toleransı yer alır.
- İkinci kutucukta eğer tolerans verilecek yüzey toleransı silindirik bir bölge için verilecekse çap sembolü verilmektedir. Düz yüzey için verilen toleranslar da bu sembol kullanılmaz.
- Üçüncü ölçülendirme için uygun görülen hassasiyette, ölçü milimetre cinsinden sayısal olarak yazılır.
- Dördüncü kutucukta ve sağ tarafında yer alan kutucuklar da gerekli olduğu durumlarda referans alınan yüzey veya yüzeyleri belirtmekte kullanılan harf veya harfler yazılmaktadır. (A, B, C, gibi) (Şekil 4.27)



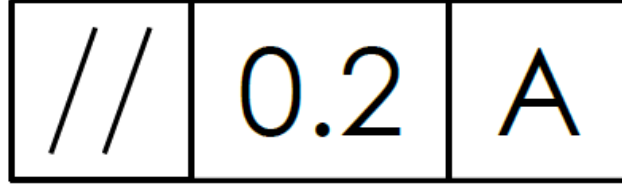
Şekil 4.27. Tolerans çerçevesi

Şekil 4.28 sembol ve tolerans değeri içeren çerçevedir. Geometrik karakteristiğin 0.1 mm düzlemsel olması gerektiğini ifade etmektedir.



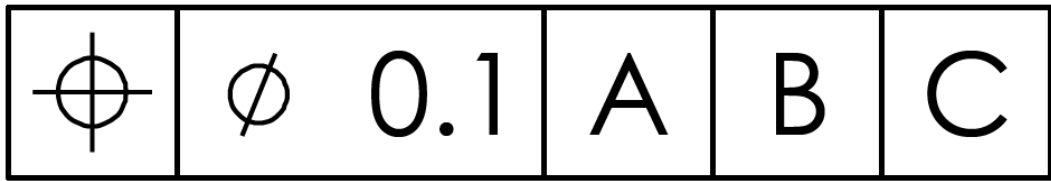
Şekil 4.28. Basit tolerans çerçevesi gösterimi

Şekil 4.29'daki sembol de, tolerans ve referanslı çerçeve görülmektedir. Verilen yüzeyin A yüzeyine 0.2 mm paralel olması gerektiğini belirtmektedir.



Şekil 4.29. Referanslı tolerans çerçevesi

Şekil 4.30'daki sembol de, tolerans ve üç referanslı çerçeve verilmiştir. A, B ve C referans yüzeylerine göre teorik tamlıktaki konumunda olan 0.1 mm çaptaki bir silindirin içerisinde yer almak zorunda olduğunu ifade etmektedir.

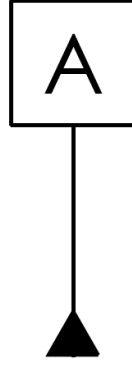


Şekil 4.30. Üç referanslı tolerans çerçevesi

4.9.2. Datum Sembolü

Bir parça ile ilgili boyutlandırmanın doğru yerden doğru şekilde başlatılması için parça üzerinde gerek duyulan bir araçtır. Datumlar, ürünler ile ilgili referans sistemleri kurulabilmesi için özellikler arasındaki geometrik ilişkiyi belirtirler. Genel olarak ulaşımı, anlaşılması kolay ve tolerans olarak verilmek istenen geometrik tolerans ile işlevsel ilişkileri bulunduran unsurlardan seçilmektedir (Srinivasan, 1999).

Parça tasarım aşamasında, üretim aşamasında ve ölçüm esnasında datumlar dikkate alınmaktadır. Tasarımcı tarafından uygun görülüp yerleştirilen datumlar, üretici ve kalite birimi tarafından da uygulanabilir ve erişilebilir olmalıdır. Datum sembolünün gösterimi Şekil 4.31'de verilmiştir.

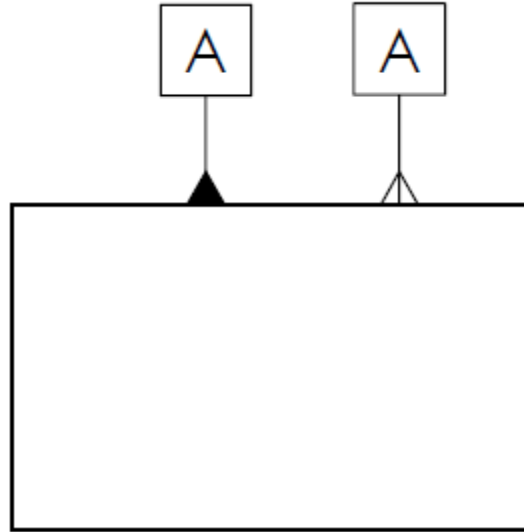


Şekil 4.31. Datum sembolü

4.9.2.1 Datum Sembolünün Uygulanması

Parça üzerinden bir unsur datum olarak tanımlanırsa datum çerçeve içerisinde büyük harf ile unsura bir üçgen yardımcı ile bağlanmış şekilde gösterilir.

- Datum üçgeni unsura doğrudan Şekil 4.32'deki gibi yerleştirilebilir.



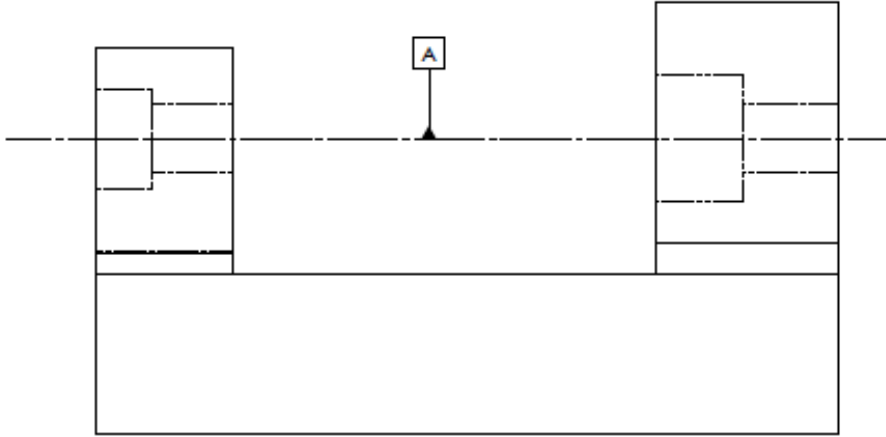
Şekil 4.32. Şekil üzerinde datum gösterimi

- Datum üçgeni dış ölçü çizgisinden uzatılmış olan bir çizgi üzerine Şekil 4.33 teki gibi yerleştirilebilir.



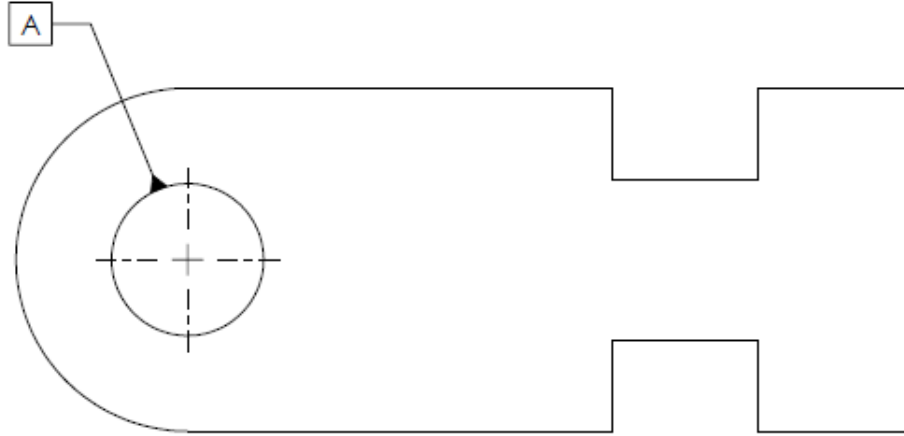
Şekil 4.33. Şekil üzerinde datum gösterimi

- Datum üçgeni doğrudan eksen üzerine konulursa, hangi unsurun datum olarak seçildiği açık şekilde belli olur. (Şekil 4.34)



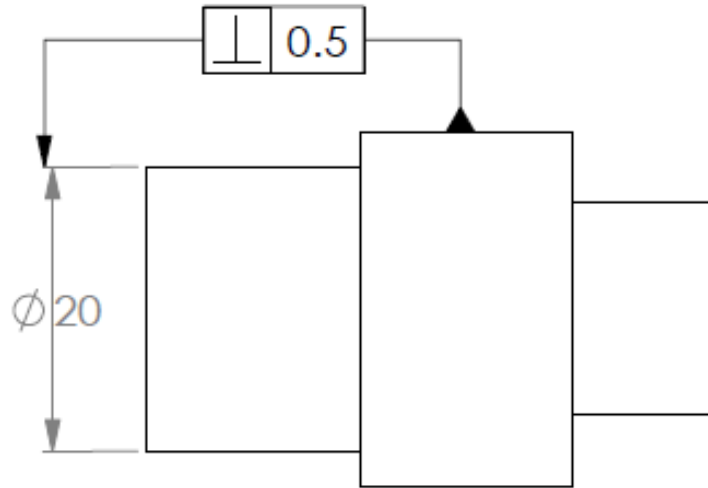
Şekil 4.34. Datumun bir eksen olması durumunda

- Bir yüzey datum olarak seçilirse datum üçgeni, yüzeyin üzerindeki herhangi bir noktadan çıkan doğru üzerine yerleştirilir. (Şekil 4.35)



Şekil 4.35. Datum üçgeninin herhangi bir noktadan gösterimi

- Verilmek istenilen geometrik tolerans eğer datuma doğrudan bağlanabilir ise, datum için harf kullanılmaya gerek yoktur. (Şekil 4.36)



Şekil 4.36. Datumun doğrudan bağlanması

4.10. Geometrik Tolerans Avantajları

Geometrik toleransların sağladığı avantajlar genel olarak;

- Bir veya daha fazla yüzeye, eksene, doğruya bağımlı olanlar var ise bu bağımlılığı basit bir biçimde sırası ile gösterilir.
- Birleşik, iki teklî konum tolerans kullanımı en yeni standartlarda yerini almakta, ürün tasarımı sırasında ve üretiminde güvenilirlik artmakta ve kalite garantisine katkı sağlamaktadır.

- İşleme esnasında esneme yapan parçalara tolerans verilmesini basitleştirir.
- Tolerans verme işleminde gereksiz yığılmaların önüne geçmektedir. Parça da yer alan unsurlarının gerçek işlev ve ilişkilerinin, tasarım esnasında göz önünde bulundurulmasını sağlar.
- Toleransları elimizden geldiği kadar geniş, ancak işin gereksinimlerine uygun şekilde dar seçilmesi gerekir. Verilen tolerans değerleri ne kadar az bir bölge içinde yer alırsa, fireye ayrılan parçalarda o oranda fazla çıkar. Ayrıca bu durum sık sık ölçüsel kontrolü gerektirir ve bu durumda imalat maliyetlerini yükseltir (Karabay, 2001).



5. DENEY TASARIMI TEKNİKLERİ

5.1. Deney Tasarımı

Deney tasarımı, bir sürecin veya sistemin performansını iyileştirmek için sürece etki eden değişken girdilerin üzerinde değişiklikler yapılarak, sürecin tepki değişkeni üzerine değişimlerinin gözlemlenmesi ve yorumlanması olarak bilinmektedir. Deney tasarımı üretim süreçlerinin performansında artış sağlamak amacıyla genellikle mühendislik uygulamalarında yaygın şekilde tercih edilen bir yöntemdir.

Deney tasarımı istatistiksel bir yaklaşımdan daha fazlasıdır, kaliteyi iyileştirmek, maliyetleri azaltmak, sonuçların güvenilirliğini arttırmak için kullanılan bir tekniktir. Uygulamada sağladığı faydalar; artan performans ve kalite, kaynakların verimli kullanımı, Ar-Ge faaliyetlerinin hızlandırılması, ürün veya süreç kalite özelliklerini belirleyen değerlerin kontrol edilmesi olarak listelenebilir (Savaşkan, Taptık, & Ürgen, 2004).

Deney tasarımı ilk olarak 1920'li yıllarda Ronald FISHER tarafından tarım ürünleri imalatının randımanlı şekilde yapılmasını sağlamak için geliştirilmiştir ve deney tasarımının temelini oluşturmuştur (Şanyılmaz, 2006).

Fisher ayrıca günümüzde istatistik analizde sıklıkla tercih edilen Varyans Analizi (ANOVA) yöntemini geliştirmiştir. Amerika'da bu yöntem tarım sektöründe kullanılmaya başlamış ve geliştirilmiştir. Sonrasında ilaç sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır (Şirvancı, 1997). Varyans analizi, test edilen parçaların ortalama performansları arasında bulunan değişkenliği bulmaya yarayan istatistik kökenli analiz metodudur. Deney tasarımının kökeni varyans analizine dayanır.

5.2. Taguchi Yöntemi

Genichi, Taguchi yaklaşımı ile deneylerin yapım ve değerlendirilmesi aşamasında, verimliliği arttıracak bir çözüm yolu ortaya koymuştur. Bu çözüm, deneyler

gerçekleştirilmeden önce yapılan ayrıntılı değerlendirmeler ve analizlerle gereken deney sayısını önemli ölçüde azaltmayı sağlamıştır.

Taguchi metodu, farklı parametrelerin arasında en etkili kombinasyonu belirlemek için tercih edilen en etkili yollardan birisidir. Ortogonal dizi seçimleri, deneysel çalışmalarda gerekli olandan daha az çalışmayla sonuca ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Taguchi metodu deney tasarım tekniğinin ötesinde yüksek kalite sistem tasarımları için faydalı bir teknik olmuştur.

Taguchi metodu kullanılarak bulunan deney sonuçları sinyal/gürültü oranına dönüştürülerek değerlendirilmektedir. Sinyal/Gürültü (S/N) oranı değeri büyük değer iyi, küçük değer iyi, nominal değer iyi olarak hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesap yapılmakta ve analiz edilmektedir.

Taguchi'nin geliştirdiği performans karakteristiğinin olması istenilen durumlara göre S/N oranlarından en çok tercih edilen 3 tanesi aşağıda verilmektedir.

- Performans karakteristiği “Hedef değer en küçük – en iyi” olduğu durumda, çıktı değerinin sıfır olduğu durumlardır. Hedef değer daima alt sınırdadır beklenir. Bu yöntem için sinyal/gürültü oranı eşitlik 5.1’de verildiği gibi tanımlanır.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad 5.1$$

- Performans karakteristiğinin “Hedef değer en büyük – en iyi” olduğu durumda, hedef değer bir üst sınırı bulunmamaktadır ve değer büyüdükçe verimliliğin artması beklenir. Yöntem için sinyal/gürültü oranı eşitlik 5.2’de verildiği gibi tanımlanır.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad 5.2$$

- Performans karakteristiğinin “Hedef değer nominal değer – en iyi” olduğu durumda, bir hedef değer bulunmaktadır ve sapmalar iki yönlü gerçekleşebilir. Yöntem için sinyal/gürültü oranı eşitlik 5.3’te verildiği gibi tanımlanır.

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{\overline{y^2}}{s^2} \right) \quad 5.3$$

5.2.1. Taguchi Metodunun Uygulama Adımları

Taguchi metodunu bir süreçte başarılı şekilde uygulayabilmek için sistemsel bir yaklaşım izlemek, hem yapılacak deneysel tasarımın anlaşılması, hem de doğru sonuçların daha basit şekilde elde edilebilmesi açısından önemlidir. (Şanyılmaz, 2006)

Taguchi Deneysel Tasarımı çalışmasında izlenen adımlar aşağıdaki şekildedir;

1. Problemin tespit edilmesi.
2. Ölçüm sistemlerinin ve performans karakteristiğinin tayin edilmesi.
3. Performans karakteristiğine etki eden faktörler ve seviyelerinin tayin edilmesi.
4. Kontrol edilebilen, kontrol edilemeyen faktörler olarak faktörlerin ayrılması.
5. Etkileşimlerin tayin edilmesi.
6. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması.
7. Performans istatistiklerinin belirlenmesi.
8. Deneysel yapılar ve sonuçların kayıt altına alınması.
9. Verilerin analiz edilmesi.
10. Doğrulama deneysel çalışmalarının gerçekleştirilmesi.
11. Performans istatistiklerinin belirlenmesi.

5.3. Varyans Analizi (ANOVA)

Bu yöntem İngiliz istatistikçi Ronald Fisher tarafından ilk defa 1920'li ve 1930'lu yıllarda geliştirilmiştir. Varyans analizinde hedeflenen, incelenmekte olan faktörlerin kalitenin ölçülebilmesi için seçilen çıktı değerini hangi ölçüde etkilediklerini ve farklı seviyelerinde nasıl bir değişime yol açtığını ortaya koymaktır. Bununla birlikte elde edilmiş sonuçların da istatistiksel olarak güvenilirliği kontrol edilir.

Varyans analizi (ANOVA), çeşitli grupların ortalamaları arasındaki ayrımları ya da grupların birbirinden farklı olup olmadıklarını ve bunlara bağlı olan işlemleri tanımlamak için tercih edilen istatistiksel yöntemdir. Farklı sayıdaki grupların ortalamalarının eşitliği, birlikte test edilmektedir.

Varyans analizi sonuçlarında değerlendirme işlemi yapılırken, elde edilen sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğuna karar vermek önemlidir. Bu nedenle yapılan deneysel çalışmalara ait analiz sonuçlarının, bağımsız değişken etki olasılığını belirleyen "P" değeri dikkate alınır. Eğer analiz sonuçlarında P değeri 0.05 değerinden küçük elde edilmişse sonuç anlamlı olarak bulunmaktadır. "P" değeri 0.05

düzeylerinde tutulsa da bu değerin geğerli olması, örneklemenin boyutuna göre değişecektir çünkü örnekleme sayısına bağlı analizin güven aralığı değişecektir. Genellikle, yapılan çalışmalar güven aralığının %95 olarak kabul edildiğini göstermektedir (Kul, 2014).



6. MALZEME ve METOT

6.1. Deneylerde Kullanılan Deney Malzemesi

Deneylerde SAE 1040 malzeme tercih edilmiştir. SAE 1040 çeliği ısıtılma işlemler sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilme yeteneği, mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada bulunmasına olanak sağlamaktadır. Araçların birçok parçasında, millerin ve dişlilerin imalatında sıklıkla tercih edilen bir malzemedir (Köse & Sakin, 2010).

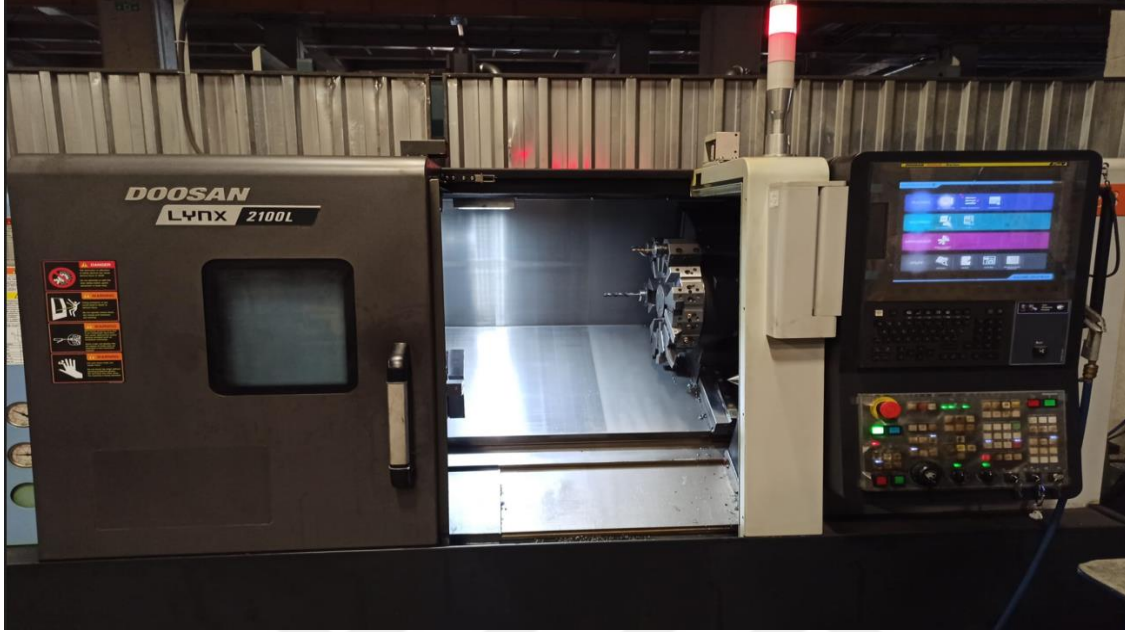
Çizelge 6.1’de deneylerde kullanılan SAE 1040 çeliğinin kimyasal birleşimi ve sertlik değeri verilmiştir. Deneyde kullanılan malzemelerin doğruluğunu teyit etmek için EMCOTEST Sertlik ölçüm cihazında sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Çizelge 6.1. SAE 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi

Çelik Kalitesi: C40E / 1,1186 / 1040						
Pota Analizi / Ladle %	C	Si	Mn	P	S	Sertlik (HV)
Max	0.440	0.400	0.800	0.025	0.035	255
Min	0.370	0.100	0.500	0.000	0.000	-
Değer / Value	0.410	0.150	0.730	0.017	0.023	187

6.2. Deneyleerde Kullanılan Takım Tezgâhı ve Yardımcı Aparatları

Yapılan deneyler Doosan Lynx 2100 CNC Torna tezgâhında yapılmıştır. (Şekil 6.1)



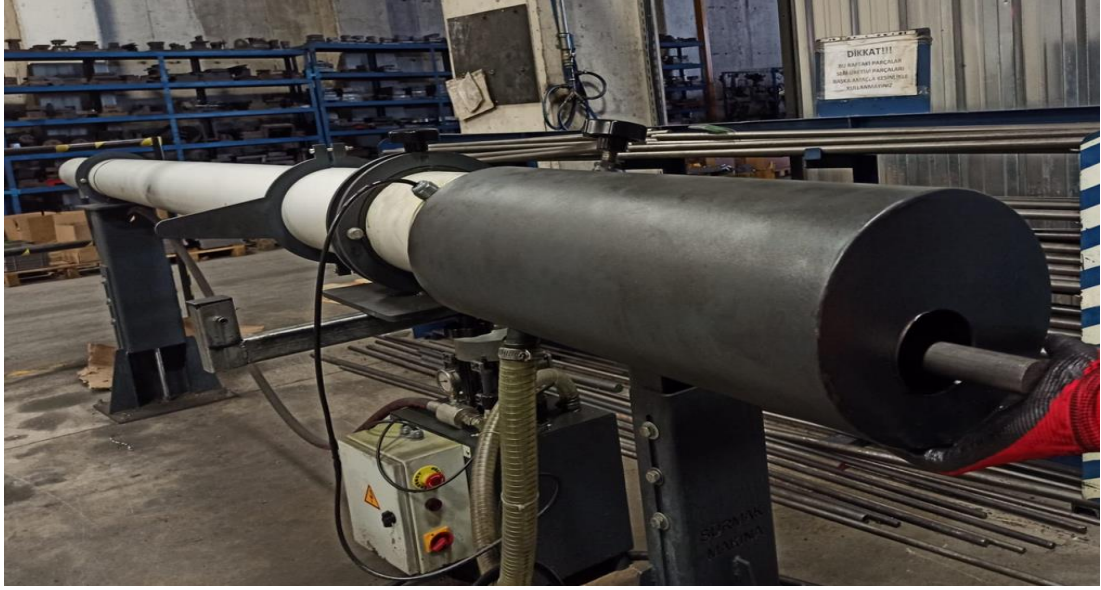
Şekil 6.1. Doosan Lynx 2100 Torna tezgâhı

Tezgâha ait teknik özellikler Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. LYNX 2100 CNC Torna tezgâh özellikleri

LYNX 2100 TEKNİK ÖZELLİKLERİ		
Maksimum torna çapı	Ø 350	mm
Eksen X	205	mm
Eksen Z	560	mm
Tezgâhın Gücü	15	kW
Devir	6000	r/min
Tekrarlama hassasiyeti	2	mikron
Taret kapasitesi	12	adet
X eksen hızı	30	m/min
Z eksen hızı	36	m/min
Kontrol	FANUC	

Çalışmada, zaman ve işgücü kaybını azaltmak için CNC tornalarda sıklıkla tercih edilen çubuk sürücü kullanılmıştır. Çubuk sürücüler, seri imalatı kolaylaştırmakta ve adet olarak fazla işlerin imalatını kısa sürede tamamlamaktadır. Kullanılan çubuk sürücü Şekil 6.2’de yer almaktadır.



Şekil 6.2. CNC Çubuk sürücü

Kullanılan çubuk sürücünün teknik özelliklerine Çizelge 6.3'te yer verilmiştir.

Çizelge 6.3. CNC Çubuk sürücü özellikleri

Çubuk Sürücünün Özellikleri	
Maksimum çubuk çapı	42 mm
Maksimum çubuk boyu	3200 mm
Motor	0,20 kW
Pompa	0,37 kW
Kullanılan yağ	HLP 68 L
Pnömatik basınç	8 bar
Ağırlık	350 Kg

6.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Uç ve Takım Tutucu

Deneylerde kesici uçları bağlamak için DWLNR-2525M08-KC04 NF5 kodu ile tanımlanan Şekil 6.3'teki kater kullanılmıştır. Yapılacak deneylerde kesici uç olarak Şekil 6.3'teki WIDIA WNMG0804086P TN20P kesici uç tercih edilmiştir. Bu ucun tercih edilmesindeki sebepler: 1040 imalat çeliğinde talaşı iyi kırması ve seçilen kesici uç ömrünün yüksek adetlere kadar dayanmasıdır.



Şekil 6.3. a) Takım tutucu b) Kesici uç

6.4. DeneYlerde Kullanılan Kesme Sıvısı

DeneYlerde Q8 BRUNEL XF 450 soğutma sıvısı kullanılmıştır. Soğutma sıvısı kullanımı talaşlı imalat problemlerinin çözümlenmesinde kesme sıvısı uygulamaları önemli bir yer tutmaktadır. İşlem süreçlerinde kesme sıvısı, kesme bölgesinde oluşan ısıyı düşürürken; yağlama etkisi ile takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmaktadır. Çıkan talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılmasında da etkin rol oynamaktadır. Dolayısıyla kesme sıvıları takım ömrünün uzamasını ve ürün kalitesinde artışı sağlar (Benó, Isaksson, & Pejryd, 2007), (Liao & Lin, 2007).

Soğutma sıvısı kullanılan uygulamalarda kesme sıvıları, imalat işlemlerindeki avantajlarının yanı sıra dezavantajları da mevcuttur. Kimyasal içeriğe sahip olan soğutma sıvıları üretim hattında çalışan personellerin tenine temas ederek insan sağlığına zarar verir. Eğer atık yönetim süreçleri iyi yönetilmezse toprağa karışarak doğaya da zarar vermektedir (Shashidhara & SR, 2010). Bunların yanı sıra toplam üretim maliyeti ile ilişkili kesme sıvılarının depolanması, tedarik işlemleri, atığının yok edilmesi gibi aşamalardan dolayı işleme maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır (Huang, Lv, Wang, & Xu, 2018).

6.5. DeneYlerde Kullanılan Ölçüm Cihazları ve Aletleri

Elde edilen numune parçaların hassas bir şekilde doğrusalık, dairesellik ve silindiriklik ölçümlerini almak için yüksek doğruluk değerleri veren Şekil 6.4'teki DEA Global köprü tipi CMM cihazı kullanılmıştır. Bu tip CMM cihazları en yaygın

olarak kullanılan, uzayda 3D ölçüm yapabilen, hem boyutsal hem de geometrik toleransların ölçümünü alabilen CMM cihazlarıdır. (Chena, Sun, Li, & Lai, 2014) Granit pleyt üzerine yerleştirilmiş farklı CMM modelleri mevcuttur. Granit yüzey üzerinde iki adet dikey yönde kolon bulunmaktadır. Bu kolonlar köprü denilen probun bulunduğu kafayı taşımaktadır. Köprü, dikey yönde hareketi sağlayan ve ölçüm sistemini bulunduran Z eksen kolonunu taşımaktadır. Tezgâh üzerine yerleştirilebilen her tür boyutsal olarak uygun malzemenin ölçümünde kullanılabilir.

CMM tezgâhları ayrıca otomatik çalışabilme özellikleri olduğu için operatörün ölçüm cihazı üzerinde kişisel becerileri ve el hassasiyetini ortadan kaldırır. Bu sayede ölçüm sonuçlarında operatör kaynaklı hataları engellemektedir (Zhu, 2010).



Şekil 6.4. DEA Global CMM

Cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.4'te ayrıntılı şekilde verilmiştir.

Çizelge 6.4. DEA Global CMM Teknik özellikleri

Marka	DEA
Model	GLOBAL
Faydalı Ölçüm Alanı	X:900 mm Y:1200mm Z:660 mm
Hız(v)	516 mm/s
İvme(a)	1700mm/s
Ölçüm Hassasiyeti	2 µm
Prob Tipi ve Modeli	Dokunma Tetiklemeli Prob, Renishaw
Kullanılan Yazılım	PC-DMIS

Deneylerde kullanılan malzemelerin sertliğini ölçmek için Şekil 6.5'teki EmcoTest DuraScan sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz çok küçük numune parçaların ve ince sac levhaların sertliklerinin ölçümüne elverişlidir. Karbürize, dekarbürize ve azot ile sertleştirilmiş yüzeylerle, elektrolitik olarak kaplama yapılmış malzemelerin sertlikleri de bu cihaz ile ölçülebilmektedir. Ayrıca cam, porselen, metalik karbürler gibi çok kırılğan ve sert malzemelerin ölçümlerinde de kullanılabilir (Bilecik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı, 2019).



Şekil 6.5. EMCOTEST Sertlik ölçüm cihazı

Cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.5'te yer almaktadır.

Çizelge 6.5. EMCOTEST Sertlik ölçüm cihazı teknik özellikleri

Cihaz Özellikleri	
Ekran	Dokunmatik
Kameranın takip mesafesi	25 x 25 mm
Çalışma ağırlığı maksimum	50 kg
Deney yükünün aralığı	10 g-10 kg
Görüntü değerlendirmesi	Otomatik
Analiz yüksekliği	260 mm
Analiz yüzey genişliği	< 200 mm
Maksimum derinlik	150 mm

6.6. Deney Numunelerinin Hazırlanması

6.6.1. Deney Faktörlerinin Belirlenmesi ve Ortogonal Dizin

SAE 1040 malzemelerinin işlenmesinde kullanılacak parametrelerden; talaş derinliği ilerleme ve kesme hızı gibi özellikler dikkate alınmıştır. En uygun parametre değerleri seçilerek, en uygun geometrik toleranslar elde edilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen parametreler ve bu parametrelerin değerleri Çizelge 6.6'da sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
Kesme Derinliği a (mm)	1	1.5	2
İlerleme f (mm/dev)	0.15	0.2	0.24
Kesme Hızı V (m/dk)	150	200	275

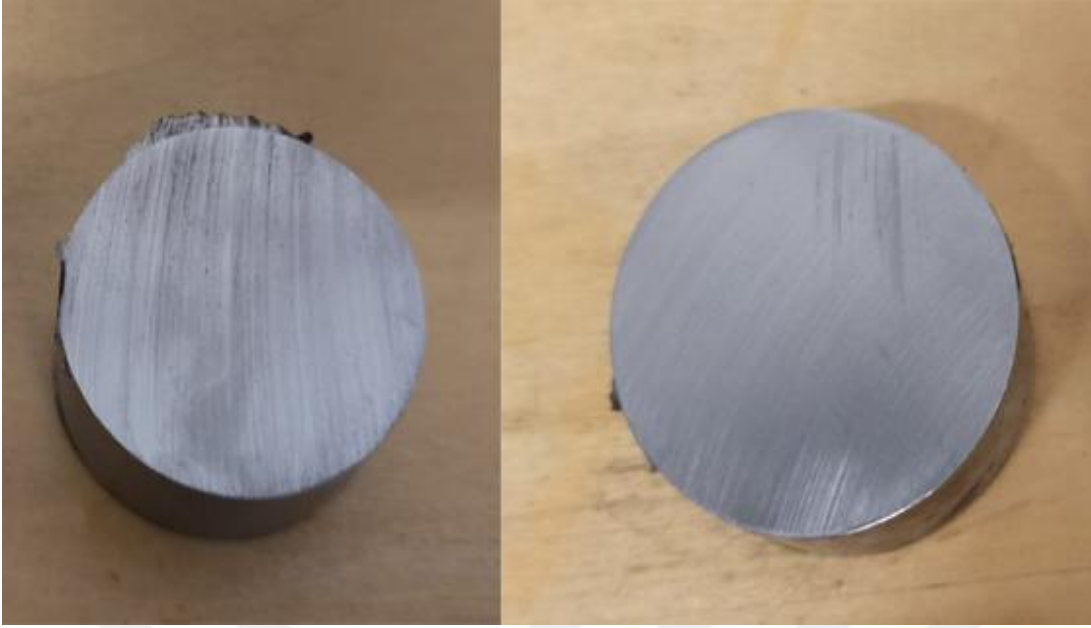
Yapılan deneysel çalışma için en uygun tasarım olarak Taguchi L₉ ortogonal dizin seçilmiştir. Çizelge 6.7'de Minitab 21 istatistik yazılımı ile belirlenen L₉ deney tasarımı görülmektedir.

Çizelge 6.7. Taguchi L₉ deney tasarımı tablosu

Deney Faktörleri ve Seviyeleri				
Deney Numarası	Değişkenler	A Talaş Derinliği	B İlerleme	C Kesme Hızı
Deney 1	A ₁ B ₁ C ₁	1	1	1
Deney 2	A ₁ B ₂ C ₂	1	2	2
Deney 3	A ₁ B ₃ C ₃	1	3	3
Deney 4	A ₂ B ₁ C ₂	2	1	2
Deney 5	A ₂ B ₂ C ₃	2	2	3
Deney 6	A ₂ B ₃ C ₁	2	3	1
Deney 7	A ₃ B ₁ C ₃	3	1	3
Deney 8	A ₃ B ₂ C ₁	3	2	1
Deney 9	A ₃ B ₃ C ₂	3	3	2

6.6.2. Deney Malzemesinin Sertliğinin Ölçülmesi

Deneylerde kullanılan SAE 1040 malzemedен, örnekler testerede kesilerek hassas zımpara makinesinde yüzeyleri Şekil 6.6'daki gibi zımparalanmıştır.



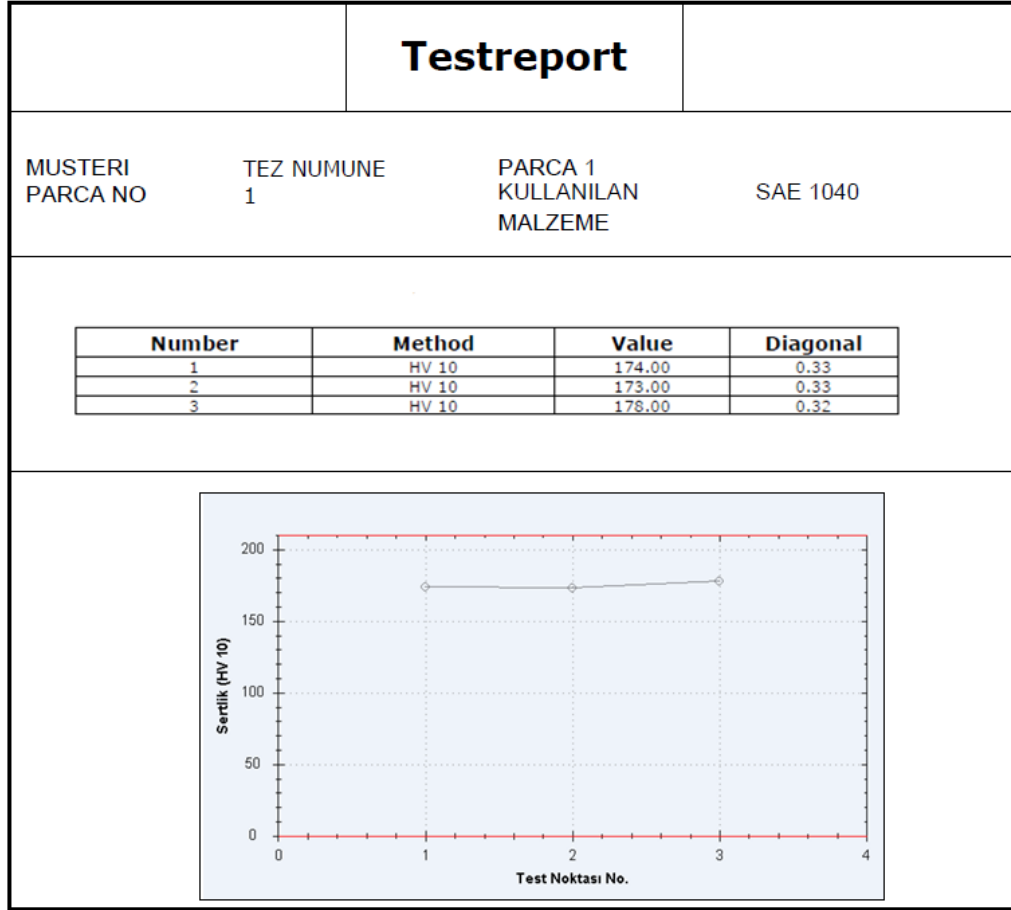
Şekil 6.6. a) Kesilen numune parça b) Yüzeyi zımparalanmış parça

Numune parçalar, Sertlik ölçüm cihazı tablasına yerleştirilerek sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. (Şekil 6.7)



Şekil 6.7. a) Pleyt üzerine parçanın yerleştirilmesi b) Ölçüm sonuç ekranı

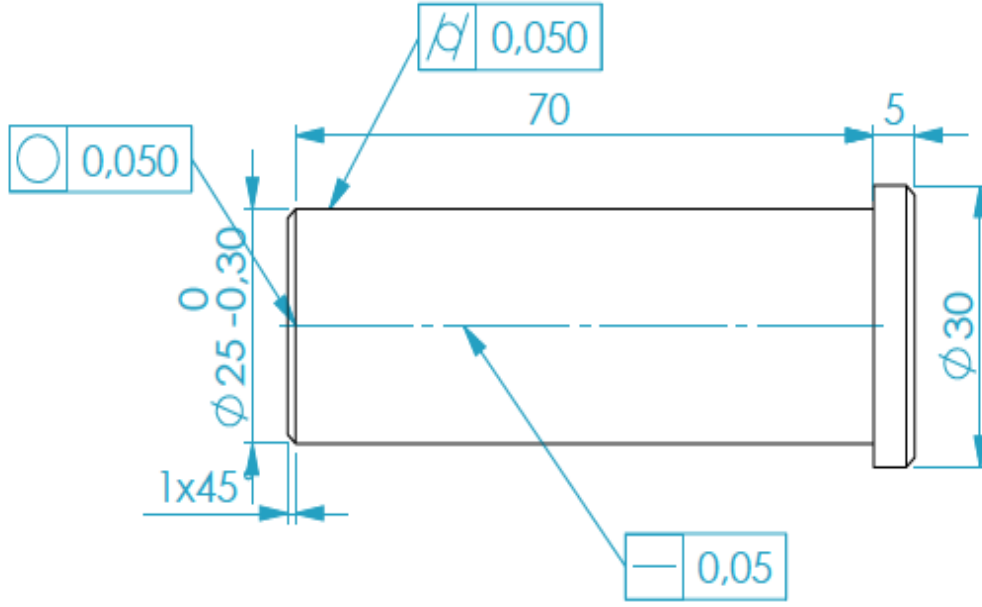
Sertlik ölçümlerinin sonuçları rapor olarak alınmıştır. Şekil 6.8'de yer alan rapor da elde edilen değerlerin 170-180 Hv aralığında olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.8. Sertlik ölçüm sonuçları

6.6.3. Numune Parçaların Üretilmesi

Deney numuneleri istenilen ölçüler de ve istenilen toleranslarda işlenmesi için geometrik toleransları ve boyut toleranslarını içeren teknik resim Şekil 6.9’da verildiği gibi hazırlanır.



Şekil 6.9. Numune parçanın teknik resim

Deney numunelerin hazırlanması için $\Phi 30 \times 1500$ mm boyutlarında SAE 1040 malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin $\Phi 25 \times 80$ mm'ye işlenmesi için $\Phi 30 \times 1500$ mm malzeme çubuk sürücüye yerleştirilir ve programda belirlenmiş olan sınırlayıcıya temas edene kadar otomatik çubuk sürme işlemi devam eder. (Şekil 6.10)



Şekil 6.10. Malzemenin sınırlayıcıya sürülmesi

Toplamda farklı parametre değerleri içeren 9 adet deney yapılmıştır. Deneylerden güvenilir sonuçlar elde edebilmek için yapılan deneyler üzerine 9 adet deneyin tekrarı yapılmıştır. Deney numunesinin bitmiş hali Şekil 6.11’de verilmiştir.

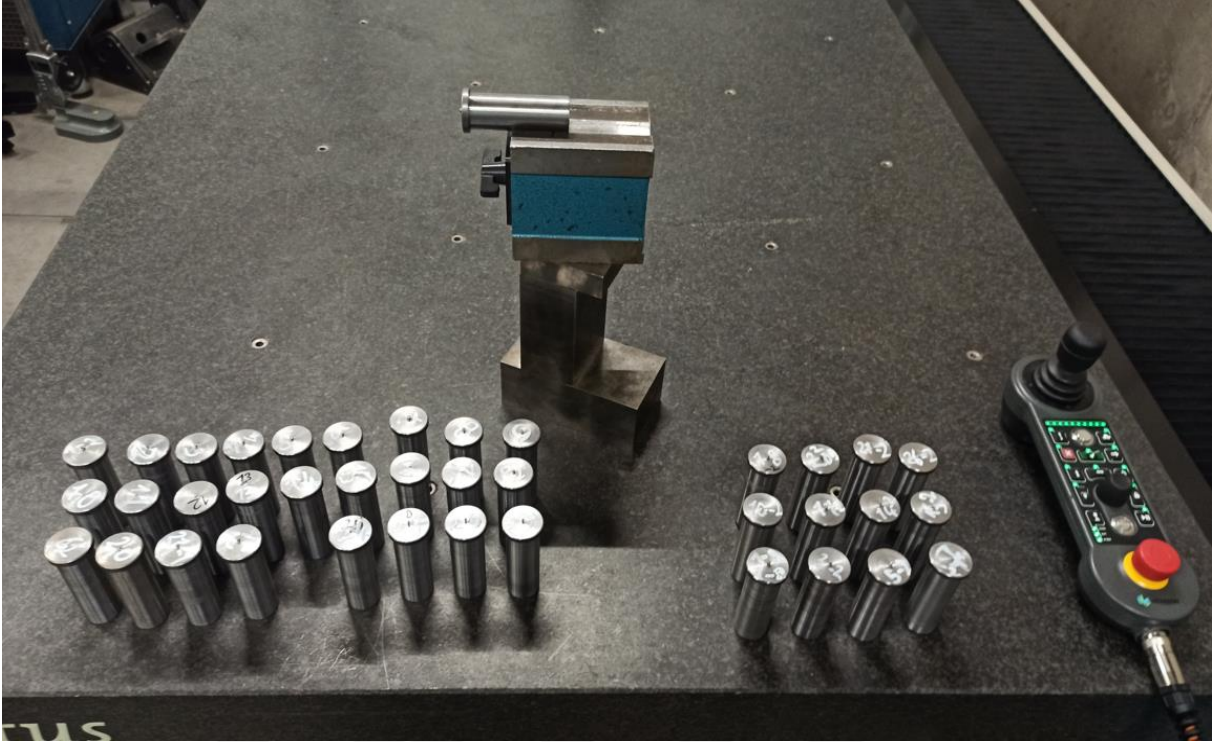


Şekil 6.11. Bitmiş numune parça

6.6.4. CMM 3D lm Cihazında Geometrik Toleransların llmesi

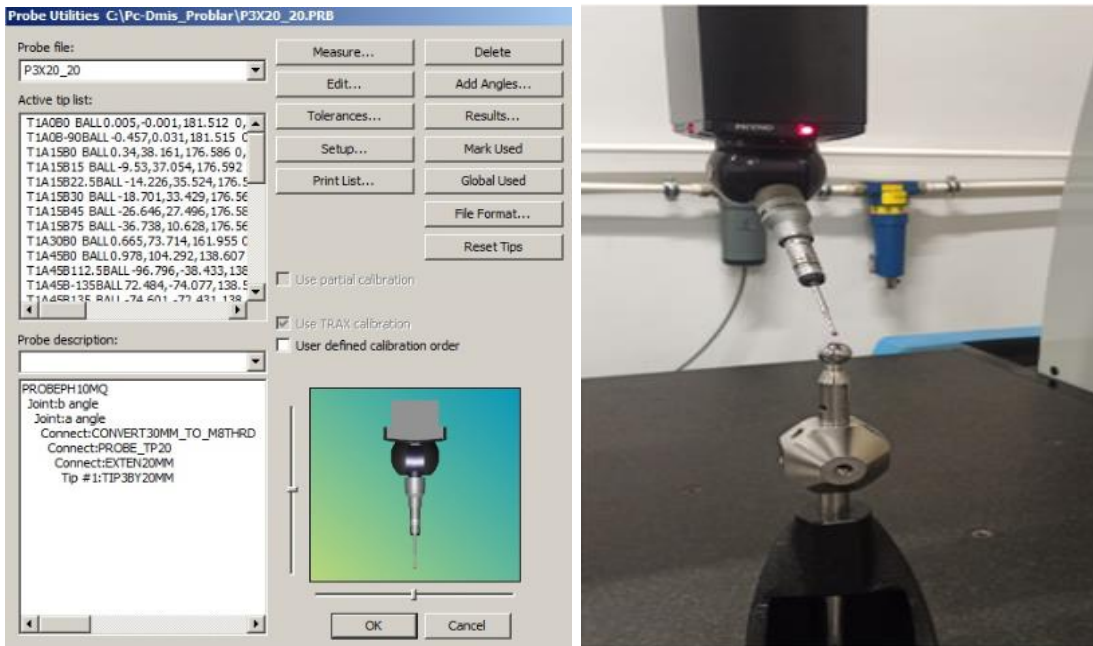
CMM cihazı ile ölüm yapılacak olan parçanın sabit bir Şekilde bağlanması, ölüm sonuçlarının doğruluğu için önemli bir etkidir. Ölüm yapılırken prob ucunun temasıyla, parçanın yerinden oynaması ölüm sonuçlarını ciddi oranda değiştirecektir. Bundan dolayı CMM’de ölüm yapılırken parçanın tablaya çeşitli aparatlar yardımı ile hareket etmeyecek Şekilde sabitlenmesi gerekmektedir (Işık U. , 2019).

Bu koşulların sağlanabilmesi için, ilk adım olarak CNC torna tezgâhında işlenmiş olan numune parça sabitleyici mıknatısa Şekil 6.12’deki gibi bağlanır.



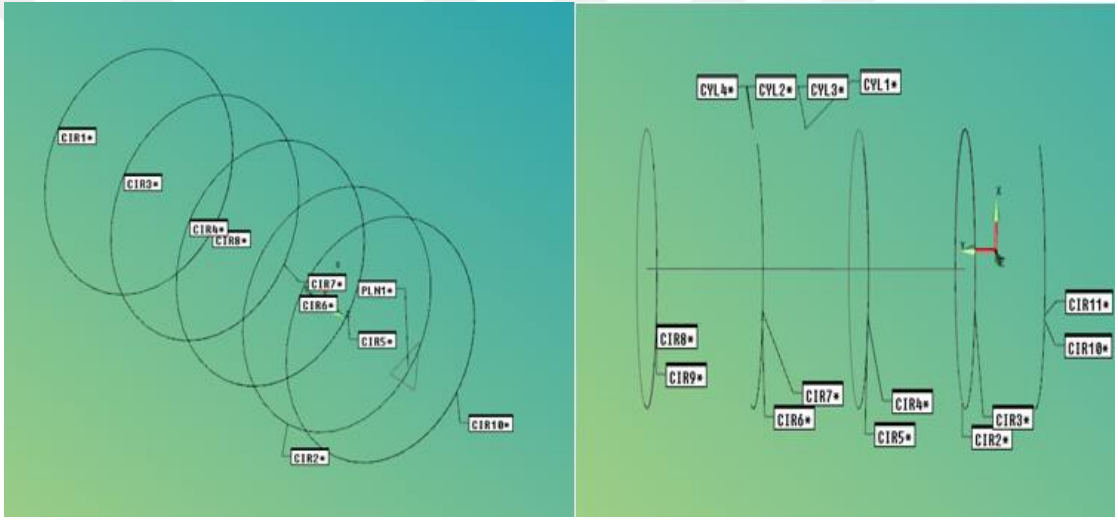
Şekil 6.12. Deney numunelerinin ölçüm cihazına bağlanması

PC-DMIS programında yeni ölçüm sayfası açılarak prob, ölçüsel hassasiyetinde kaçıklıklar olmaması için PC-DMIS programı üzerinden prob kalibrasyon sayfası açılarak kalibrasyon küresi yardımı ile prob açılarının seçimi ve kalibrasyonu yapılır. (Şekil 6.13)



Şekil 6.13. a) Kalibrasyon ekranı b) Kalibrasyon küresi ile açların doğrulanması

Sonrasında numune parçanın konumu, ölçüm probu ile programa tanıtılarak referanslanır. Referansı alınan parça üzerinden dairesellik, silindiriklik ve doğrusalık değerlerinin ölçümü için Şekil 8'deki gibi parçanın başlangıç noktasının 2 mm ilerisinde ve 2 mm gerisinde olacak şekilde eşit aralık ile 4 konumdan daire ve silindiriklik ölçümleri alınmıştır. Daireler alınırken maksimum doğruluk değerine ulaşabilmek için prob, her daire ölçümü için parça üzerinden 16 noktaya dokundurulmuştur. Doğrusallık ölçümü için parçanın başlangıç noktasının 2 mm ilerisinden ve bitişinin 2 mm gerisinden pay bırakılacak ve eşit aralık olacak şekilde 5 farklı konumda aralıkları sabit olacak ve doğrusal olacak şekilde her konum için farklı 16 nokta alınmıştır. Her bir numune parça ölçümü üçer kez tekrarlanmıştır ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14. a) Dairesellik ölçümünün gösterimi b) Silindiriklik ölçümünün PC-DMIS programı üzerinde gösterimi

7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

DeneySEL çalışmalarında her işlenen parçanın silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık değerleri CMM cihazında ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Ölçülen silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık tolerans değerleri

Deney Numarası	Değişkenler	Silindiriklik (mm)	Dairesellik (mm)	Doğrusallık (mm)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.019	0.006	0.003
2	A ₁ B ₂ C ₂	0.031	0.019	0.004
3	A ₁ B ₃ C ₃	0.014	0.007	0.007
4	A ₂ B ₁ C ₂	0.017	0.009	0.004
5	A ₂ B ₂ C ₃	0.017	0.012	0.005
6	A ₂ B ₃ C ₁	0.013	0.007	0.004
7	A ₃ B ₁ C ₃	0.012	0.006	0.004
8	A ₃ B ₂ C ₁	0.016	0.009	0.004
9	A ₃ B ₃ C ₂	0.024	0.014	0.008

7.1. Deney Sonuçlarının Analizi

Bu çalışma analizinde, Taguchi metodunun kalite karakteristiklerinden oranı en küçük olan en iyidir prensibi ile ölçülen silindiriklik, dairesellik ve doğrusallık tolerans değerleri analiz edilmiştir. Ayrıca ANOVA analizi kullanılarak kesme parametrelerinden toleranslar üzerine en etkili olan parametreler tespit edilmiştir.

7.1.1. Silindiriklik Toleransının Sonuçları

Silindiriklik toleransının kontrolü verilen yüzey boyunca bütün yüzeye uygulanırken, dairesellik toleransının kontrolü kesit alınıp belirli bir noktaya uygulanmaktadır. Çizelge 7.2’de numune parçaların işlenmesinde oluşan silindiriklik değerinin S/N oranları görülmektedir. Bu deneylerde ölçülen en yüksek silindiriklik değeri 0.031 mm iken en küçük silindiriklik değeri 0.012 mm olmuştur. Elde edilen bu sonuç, minimum silindiriklik toleransı elde etmeye olanak sağlamaktadır.

Çizelge 7.2. Silindiriklik toleransı değerlerinin S/N oranları

Deney Numarası	Değişkenler	Silindiriklik (mm)	S/N Oranı (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.019	34.368
2	A ₁ B ₂ C ₂	0.031	30.225
3	A ₁ B ₃ C ₃	0.014	37.039
4	A ₂ B ₁ C ₂	0.017	35.202
5	A ₂ B ₂ C ₃	0.017	35.202
6	A ₂ B ₃ C ₁	0.013	37.847
7	A ₃ B ₁ C ₃	0.012	38.646
8	A ₃ B ₂ C ₁	0.016	35.716
9	A ₃ B ₃ C ₂	0.024	32.579

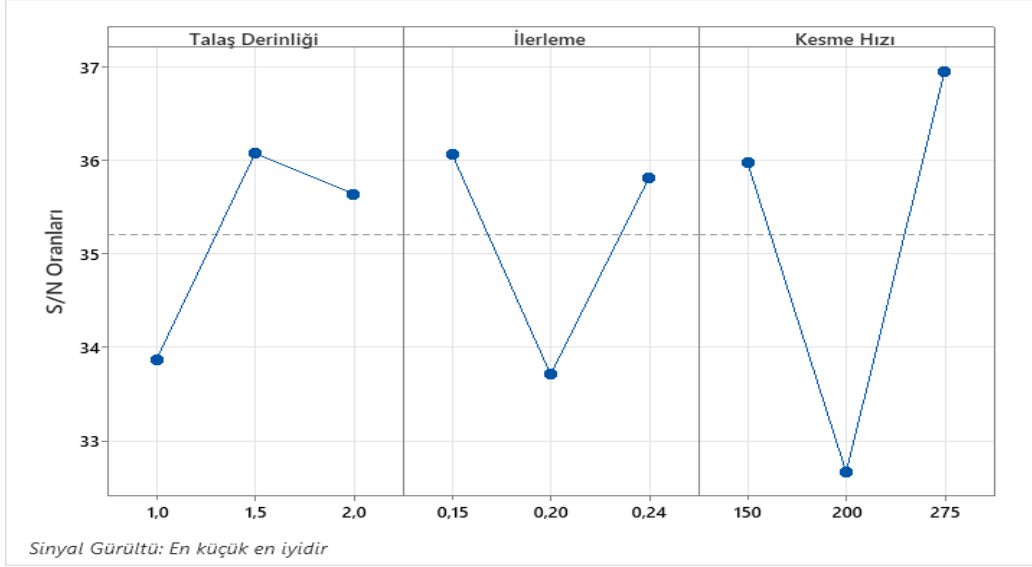
Taguchi deney tasarımının kurulmasında ve kalite ile ilgili faktörlerin değerlendirilmesinde S/N oranları kullanılmaktadır. Taguchi metodu ile elde edilen S/N oranından optimum kesme şartları belirlenmektedir (Krishankant, Taneja, Bector, & Kumar, 2012).

S/N değerlerine bağlı olarak, Delta ve sıralama değerleri Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3. Silindiriklik toleransı değerlerinin S/N oranları

Seviye	A	B	C
1	33.88	36.07	35.98
2	36.08	33.71	32.67
3	35.65	35.82	36.96
Delta	2.21	2.36	4.29
Sıra	3	2	1

Şekil 7.1'de talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı değerlerinin silindiriklik üzerindeki etkisini ifade eden sinyal gürültü oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Silindiriklik toleransı değeri sinyal gürültü oranları

ANOVA analizi, bu çalışma için kesme parametrelerinden silindiriklik toleransı üzerine en etkili olan parametreleri bize göstermektedir. Çizelge 7.4'te etki oranları yer almaktadır. Silindiriklik tolerans değeri için en etkili kesme parametresi, %54.88 oranı ile kesme hızı değeri olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.4. Silindiriklik toleransı için ANOVA sonuçları

Kaynaklar	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Talaş Derinliği	2	0.000049	17.42%	0.000049	0.000024	1.94	0.34
İlerleme	2	0.000053	18.74%	0.000053	0.000026	2.09	0.323
Kesme Hızı	2	0.000154	54.88%	0.000154	0.000077	6.13	0.14
Hata	2	0.000025	8.96%	0.000025	0.000013		
Toplam	8	0.000281	100.00%				

Silindiriklik toleransı için yapılan ANOVA analizi model özeti değerleri $S=0.0035493$ ve $R-sq= \%91.04$ olarak bulunmuştur.

7.1.2. Dairesellik Toleransının Sonuçları

Parçalar da hassasiyet gereksinimi arttıkça sadece boyut toleranslarını dikkate almak yeterli değildir. Dairesellik, bir eş merkezli iki daire arasında kabul edilebilir dairesel sapmayı belirtmektedir. Çizelge 7.5'te numune parçalarının işlenmesinde oluşan dairesellik değerinin S/N oranları görülmektedir. Bu deneylerde ölçülen en yüksek dairesellik değeri 0.019 mm iken en küçük dairesellik değeri 0.006 mm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 7.5. Dairesellik toleransı değerlerinin S/N oranları

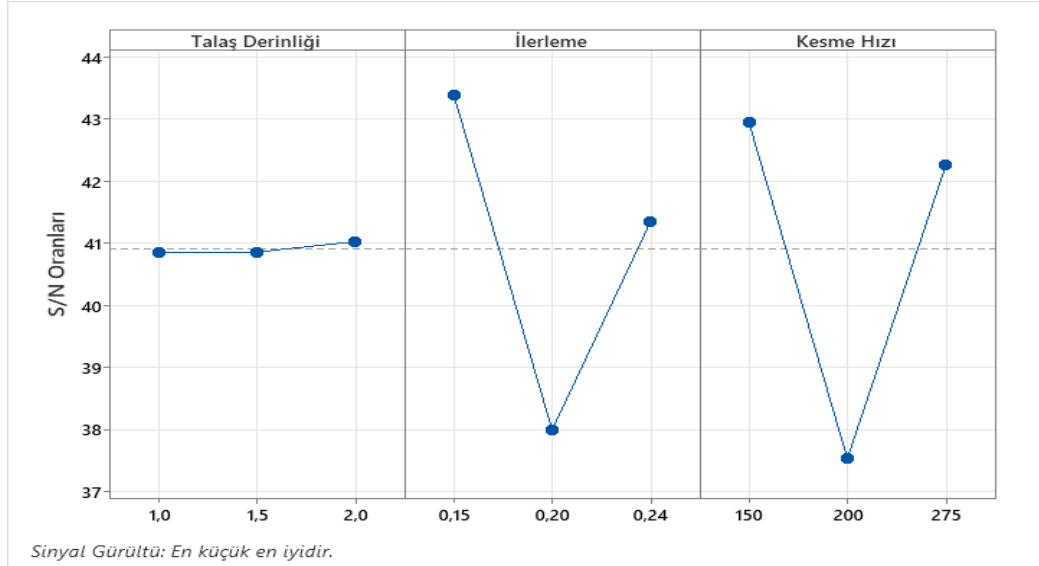
Deney Numarası	Değişkenler	Dairesellik (mm)	S/N Oranı (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.006	44.620
2	A ₁ B ₂ C ₂	0.019	34.340
3	A ₁ B ₃ C ₃	0.007	43.576
4	A ₂ B ₁ C ₂	0.009	40.915
5	A ₂ B ₂ C ₃	0.012	38.553
6	A ₂ B ₃ C ₁	0.007	43.098
7	A ₃ B ₁ C ₃	0.006	44.620
8	A ₃ B ₂ C ₁	0.009	41.098
9	A ₃ B ₃ C ₂	0.014	37.353

S/N değerlerine bağlı olarak, Delta ve sıralama değerleri Çizelge 7.6’da verilmiştir.

Çizelge 7.6. Dairesellik toleransı değerlerinin S/N oranları

Seviye	A	B	C
1	40.85	43.38	42.94
2	40.86	38	37.54
3	41.02	41.34	42.25
Delta	0.18	5.39	5.4
Sıra	3	2	1

Şekil 7.2’de talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı değerlerinin dairesellik üzerindeki etkisini ifade eden sinyal gürültü oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Dairesellik toleransı değeri sinyal gürültü oranları

Çizelge 7.7’de dairesellik toleransı üzerine etki eden kesme parametresi değerlerinin oranları verilmektedir. Buna göre en büyük etki eden kesme parametresi %50.60 oranıyla kesme hızıdır.

Çizelge 7.7. Dairesellik toleransı için ANOVA sonuçları

Kaynaklar	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Talaş Derinliği	2	0.000003	1.92%	0.000003	0.000002	0.26	0.796
İlerleme	2	0.000063	40.02%	0.000063	0.000031	5.36	0.157
Kesme Hızı	2	0.000079	50.60%	0.000079	0.00004	6.78	0.129
Hata	2	0.000012	7.46%	0.000012	0.000006		
Toplam	8	0.000157	100.00%				

Dairesellik toleransı için yapılan ANOVA analizi model özeti değerleri $S=0.0024177$ ve $R\text{-sq}= \%92.54$ olarak bulunmuştur.

7.1.3. Doğrusallık Toleransının Sonuçları

Doğrusallık bir yüzeyde veya bir ekseninde kabul edilebilecek derecede olan boylamasına dalgalanmayı ifade etmektedir. Çizelge 7.8’de numune parçaların işlenmesinde oluşan doğrusallık değerinin S/N oranları görülmektedir. Bu deneyler de ölçülen en yüksek doğrusallık tolerans değeri 0.008 mm iken en küçük doğrusallık tolerans değeri 0.003 mm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 7.8. Doğrusallık toleransı değerlerinin S/N oranları

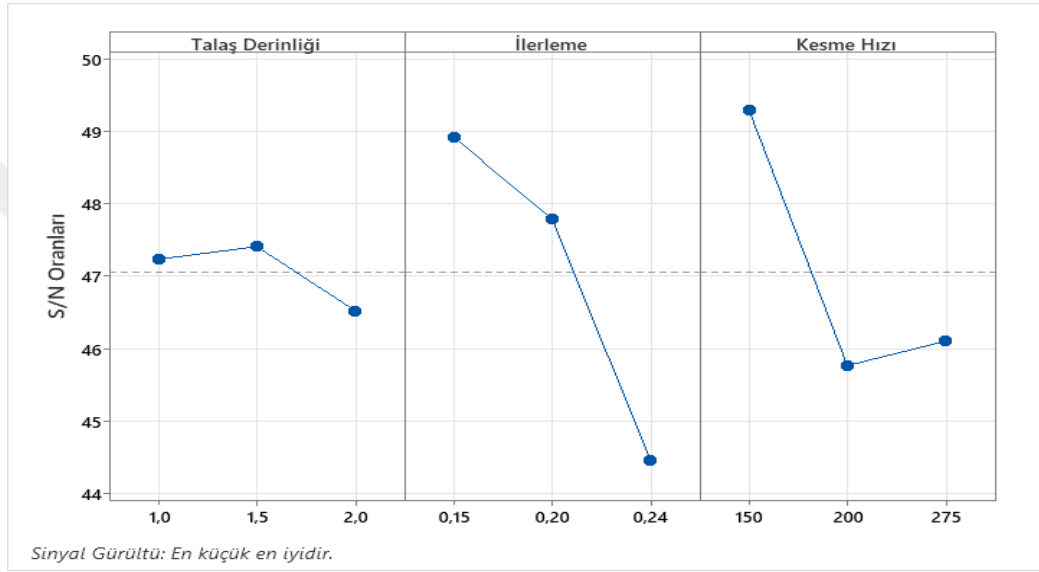
Deney Numarası	Değişkenler	Doğrusallık (mm)	S/N Oranı (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.003	50.458
2	A ₁ B ₂ C ₂	0.004	47.959
3	A ₁ B ₃ C ₃	0.007	43.307
4	A ₂ B ₁ C ₂	0.004	47.604
5	A ₂ B ₂ C ₃	0.005	46.315
6	A ₂ B ₃ C ₁	0.004	48.328
7	A ₃ B ₁ C ₃	0.004	48.715
8	A ₃ B ₂ C ₁	0.004	49.119
9	A ₃ B ₃ C ₂	0.008	41.759

S/N değerlerine bağlı olarak Delta ve sıralama değerleri Çizelge 7.9’da verilmiştir.

Çizelge 7.9. Doğrusallık toleransı değerlerinin S/N oranları

Seviye	A	B	C
1	47.24	48.93	49.3
2	47.42	47.8	45.77
3	46.53	44.46	46.11
Delta	0.89	4.46	3.53
Sıra	3	1	2

Şekil 7.3'te talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı değerlerinin doğrusallık toleransı üzerindeki etkisini ifade eden sinyal gürültü oranları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Doğrusallık toleransı değeri sinyal gürültü oranları

Çizelge 7.10'da doğrusallık toleransı üzerine etki eden kesme parametre değerlerinin oranları verilmiştir. Buna göre doğrusallık değerine en büyük etki eden kesme parametresi %51.30 oranıyla ilerleme değeridir.

Çizelge 7.10. Doğrusallık toleransı için ANOVA sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Talaş Derinliği	2	0.000001	4.49%	0.000001	0.000001	0.3	0.768
İlerleme	2	0.000012	51.30%	0.000012	0.000006	3.44	0.225
Kesme Hızı	2	0.000007	29.31%	0.000007	0.000003	1.97	0.337
Hata	2	0.000004	14.89%	0.000004	0.000002		
Toplam	8	0.000024	100.00%				

Doğrusallık toleransı için yapılan ANOVA analizi model özeti değerleri $S=0.0013229$ ve $R-sq= \%85.11$ olarak bulunmuştur.

8. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Talaşlı imalat tezgâhlarında üretilen parça kalitesinin artırılması ve hatasız ürün elde etmek için araştırmacılar birçok çalışma yapmışlardır. Bu çalışma da SAE 1040 malzemenin tornalama işlemindeki kesme parametrelerinin geometrik toleranslar (silindiriklik, dairesellik, doğrusallık) üzerine etkileri incelenmiştir. İşlenmiş numune parçaların, istenilen geometrik tolerans değerleri içerisinde ve hassas tolerans aralığında olması amaçlanmıştır. Sonuçlar Taguchi Ortogonal dizisi ve ANOVA metodu kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak Taguchi yönteminin kullanıldığı bu çalışmada geometrik tolerans değerleri minimize edilerek imalat performansı ve elde edilen ürün kalitesi artırılmıştır.

Yapılan deneylerde talaş derinliği düşük verildiği durumlarda iş parçasına talaş sardığı ve bu durumun parçanın yüzeyini bozduğu gözlemlenmiştir.

Farklı malzeme çeşitlerini kullanan farklı araştırmacılardan seçilen örnekler dikkate alındığında geometrik toleransı etkileyen kesme parametreleri seçiminde, malzemenin cinsine göre farklı aralıklarda değerler seçilebilmektedir. Ayrıca malzeme uzunluğu, tezgâhın rijitliği, kesici takımın özellikleri, soğutma sıvısının cinsi de işleme koşullarını etkileyen önemli faktörler arasındadır. Bu durumlardan kaynaklı, yapılan çalışmalar arasında farklılık gözlemlenebilir.

Bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Silindirik toleransı değerinin en uygun elde edildiği kesme parametresi değerleri: talaş derinliği 1.5 mm, ilerleme 0.15 mm/dev ve kesme hızı 275 m/dak olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan ANOVA analizi sonucunda silindiriklik toleransına en büyük etki eden parametrenin % 54.88 ile kesme hızı değeri olduğu gözlemlenmiştir.
- Dairesellik toleransı değerinin en uygun elde edildiği kesme parametresi değerleri: talaş derinliği 1.5 mm den çok az bir fark ile 2 mm, ilerleme 0.15 mm/dev ve kesme hızı 150 m/dak olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan

ANOVA analizi sonucunda silindiriklik toleransına en büyük etki eden parametrenin % 50.60 ile kesme hızı değeri olduğu gözlemlenmiştir.

- Doğrusallık toleransı değerinin en uygun elde edildiği kesme parametresi değerleri: talaş derinliği 1.5 mm, ilerleme 0.15 mm/dev ve kesme hızı 150 m/dak olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan ANOVA analizi sonucunda doğrusallık toleransına en büyük etki eden parametrenin % 51.30 ile ilerleme değeri olduğu gözlemlenmiştir.

Günümüze kadar yapılmış bilimsel çalışmalar değerlendirildiğinde, tornalama işlemi esnasında kesici takım da ve tezgâhta oluşan titreşimlerin işleme performansı üzerinde olumsuz etkiler yaptığı görülmektedir. Dolayısıyla talaşlı imalatta kesici takımda oluşan titreşimlerin, geometrik toleranslara olan etkilerinin deneysel olarak araştırılması yapılacak çalışmalar için önemli bir konu olabilir.

Yüzey kalitesi ve ölçüsel tamlık üzerinde önemli bir etkisi olan uç yarıçapı değişken bir parametre olarak belirlenip bu parametrenin geometrik tolerans ve yüzey kalitesi üzerine etkileri araştırılabilir.

Farklı bir tür çelik yapılan deneylere katılarak iki farklı malzeme özellikleri karşılaştırılıp, farklı malzemelerin aynı koşullarda işlendiğinde malzemelerin geometrik toleranslarında oluşan değişim incelenebilir.

İşlenen iş parçasında oluşan salınım parçanın geometrik toleransını istenilen tolerans değerinin dışarısına çıkarabilmektedir. Daha iyi tolerans değerleri elde edilmek istenilen durumlarda iş parçası ayna punta arasına alınarak deneyler tekrarlanabilir.

Farklı iş parçası uzunluklarında ve farklı iş parçası çaplarında yapılan deneyler tekrarlanabilir ve iş parçası boyutlarının değişiminin geometrik toleranslar üzerine etkisi araştırılabilir.

9. KAYNAKÇA

- Ağın, K. (2020). Toplam Kalite Yönetimi Bağlamında Kaizen Felsefesinin Örgütlerin Maliyet, Verimlilik ve Kalite Düzeylerine Etkileri. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(3), 1191-1207.
- Akçaoğlu, F. Ü. (2013). Investigating The Effect Of Deformation And Annealing Texture On Magnetic Anisotropy In Low-C Steel Sheets By Magnetic Barkhausen Noise Method. *Master Thesis*. Middle East Technical University, Ankara.
- Armillotta, A., & Semeraro, Q. (2011). Geometric Tolerance Specification. *Geometric Tolerances*, 10.1007/978-1-84996-311-4_1, 3-37.
- Ay, M., & Turhan, A. (2010). Tornalama İşleminde Kesme Parametrelerinin ve İş Parçası Uzunluğunun Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3), 55 - 67.
- Aydın, M., Uçar, M., & Cengiz, A. (2010). AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kuru Tornalanabilmesine Kesme Parametrelerinin Etkisi. 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 85-94.
- Beno, T., Isaksson, M., & Pejryd, L. (2007). Investigation of minimal quantity lubrication in turning of waspaloy. *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*, 305–310.
- Bilecik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı. (2019, 09 01). *Mikro Sertlik Ölçüm Cihazı*. Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uyg. ve Araş. Mrk.: <http://w3.bilecik.edu.tr/barum/wp-content/uploads/sites/69/2019/09/Sertlik-%C3%961%C3%A7%C3%BCm-Cihaz%C4%B1.pdf> adresinden alındı
- Bozkurt, S., Tekaiüt, İ., DEMİR, H., & Şeker, U. (2018). An investigation of cutting speed effects on geometric tolerances in turning of AA 7075 aluminum alloy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Chena, H., Sun, J., Li, Z.-m., & Lai, X. (2014). A comprehensive study of three dimensional tolerance analysis methods. *Computer-Aided Design*, 1-13.
- Cho, N., & Tu, J. (2002). Quantitative circularity tolerance analysis and design for 2D precision assemblies. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, 1391-1401.
- Cimquest Marketing. (2021, 06 09). *Metrology Minute – Runout and Total Runout in GD&T*. Cimquest Marketing: <https://cimquest-inc.com/metrology-minute-june/> adresinden alındı
- Clasen, P. J., Davidson, J. K., & Shah, J. J. (2009). Modeling of geometric variations within a tolerance-zone for circular runout. *ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering*, (s. 1-8). USA.

- Çakır, G., & Nas, E. (2016). Orta Karbonlu AISI1040 İmalat Çeliğine Uygulanan Sıcak Dövme İşleminin Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(1), 91-97.
- Dawson, D. J. (1992). Cylindricity and its measurement. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 247-253.
- Debnath, S., Reddy, M. M., & Yi, Q. S. (2016). Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on surface roughness and tool wear in turning process using Taguchi method. *Measurement*, 111-119.
- Erdoğan, E. (2009). Geometrik Boyutlandırma ve Ölçü Toleranslarının Arıza ve Periyodik Bakıma Etkisi. *Mühendis ve Makina*.
- Eroğlu, G., & Şahiner, M. (2019). Dünyada ve Türkiye’de Tungsten (Volfram). *Dünyada ve Türkiye’de Tungsten (Volfram)*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Geiss, T. (2014, 11 07). *Angularity*. GD&T BASICS: <https://www.gdandtbasics.com/angularity> adresinden alındı
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals Of Modern Manufacturing*. United States of America: JOHN WILEY & SONS, INC.
- Güngör, Y. (2001). *Malzeme Bilgisi*. İstanbul: Beta Basım.
- Habalı, K., Gökkaya, H., & Sert, H. (2006). Kesici Takım Kaplama Malzemesi ve Kesme Parametrelerinin AISI 1040 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 9(1), 35-38.
- Haitjema, H. (2016). Flatness. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, 1-6.
- Huang, S., Lv, T., Wang, M., & Xu, X. (2018). Enhanced machining performance and lubrication mechanism of electrostatic minimum quantity lubrication-EMQL milling process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 655–666.
- İçin, K. (2019, 03 25). *Çeliklerin Sınıflandırılması*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Akademik Veri Yönetim Sistemi: <https://avesis.ktu.edu.tr/resume/downloadfile/kursaticin?key=c84a4408-c528-418a-af3f-1286beadaf81> adresinden alındı
- Işık, U. (2019). Üç Boyutlu Koordinat Ölçme Cihazı (CMM) İle Optik Tarama Cihazının Performanslarının Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Işık, Y., & Çakır, M. C. (2001). Hız Çeliği Takımlar İçin Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Teknoloji*(1-2), 111-118.
- Karabay, M. (2001). Tasarımda Geometrik Ölçülendirme ve Toleranslama. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 20-32.
- Karabayrak, B. (2017). Düşük Alaşımli Çeliklerin Yorulma Davranışlarına Çelik Temizliğinin Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Karayel, B. (2015). Ç 4140 Malzemesinin Tornalanmasında İlerleme, Kesme Hızı Ve Kesici Takımın Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Ömrü Ve Aşınmaya Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karmakar, S., & Maiti, J. (2012). A review on dimensional tolerance synthesis: paradigm shift from product to process. *Assembly Automation*, 32(4), 373 - 388.
- Kavak, N., & Üstel, N. (2012). AISI 1040 Çeliğinin Kuru Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 2(2), 24-29.
- Kaya Demir Çelik. (2016, 04 08). *Teknik Bilgiler*. 09 30, 2022 tarihinde Kaya Demir Çelik: <http://kayademircelik.com/2016/04/28/teknik-bilgiler/> adresinden alındı
- Khan, M. I., & Ma, S. (2014). New method of plane to plane parallelism error measurement based on flatness plane. *Advanced Materials Research*, 941-944.
- Köse, S., & Sakin, R. (2010). AISI-1040 ve AISI-P20 Çeliklerde Alaşım Oranları ve Mikro Yapının Sertleşme Kabiliyetine Etkisi. 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, (s. 170-182). Balıkesir.
- Krishankant, Taneja, J., Bector, M., & Kumar, R. (2012). Application of Taguchi method for optimizing turning process by the effects of machining parameters. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 263-274.
- Kul, S. (2014). İstatistik Sonuçlarının Yorumu: P Değeri ve Güven Aralığı Nedir? *Plevra Bülteni*, 8(1), 11-13.
- Kuzyaka, M. S. (2014). Yüksek Karbonlu Bir Çeliğin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine İzotermal Tavlamanın Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kwun-Lon Ting, & Long, Y. (1996). Performance quality and tolerance sensitivity of mechanisms. *Journal of Mechanical Design*, 118(1), 144-150.
- Liao, Y., & Lin, H. (2007). Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1660-1666.
- Luo, C., Franciosa, P., Ceglarek, D., Ni, Z., & Jia, F. (2018). A novel geometric tolerance modeling inspired by parametric space envelope. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15(3), 1386-1398.
- Oyuryüz, V. (1995). 4140 Çeliğinin Kullanım Amaçları, Nitasyon İşlemi ve Yüzey Pürüzlülüğünün Nitasyon İşlemine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. T.C. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özcan, B. (2018). Gri Dökme Demir Malzemelerin İşlenebilirliğinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özçatalbaş, Y. (2020). Çeliklerin İşlenebilirliği: Kimyasal Bileşim, Mikroyapı, Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik İlişkisi. *Politeknik Dergisi*, 457-482.
- Öztürk, E. (2021). Talaşlı İmalatta Dik Kesme Modelinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. T.C. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- PMTadvi, PMGeorge, & RGJivani. (2011). Investigation of effect of cutting parameters on geometric tolerances in CNC turning. *National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology*.
- Romano, D., & Vicario, G. (2002). Inspecting geometric tolerances: uncertainty analysis in position tolerances control on coordinate measuring machines. *Statistical Methods and Applications volume*, 83-94.
- Savaşkan, M., Taptık, Y., & Ürgen, M. (2004). Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu. *İTÜ Dergisi*, 3(6), 117-128.
- Savaşkan, T. (2017). *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- Shashidhara, Y. M., & SR, J. (2010). Vegetable oils as a potential cutting fluid—An evolution. *Tribology International*, 1073-1081.
- Sild, S. (2021, 12 28). *Concentricity (GD&T) Explained*. 05 03, 2022 tarihinde Fractory: <https://fractory.com/concentricity-gdt-explained/> adresinden alındı
- Simga-Mugan, C., & Erel, E. (2000). Distribution of quality costs: evidence from an aeronautical firm. *Total Quality Management*, 11(2), 227-234.
- Singaravel, B., C.Marulaswami, & Selvaraj, T. (2016). Analysis of the effect of process parameters for circularity and cylindricity errors in turning process. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 255-259.
- Srinivasan, V. (1999). A geometrical product specification language based on a classification of symmetry groups. *Computer-Aided Design*, 30, 659-668.
- Şahintürk, U. (2011). Fe-Si İkili Alaşımlarında Artan Silisyum Miktarının Borlama Özelliklerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. T.C. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Şanyılmaz, M. (2006). Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Şirvancı, M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı*. İstanbul: LİTERATÜR YAYINLARI.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. (2007). *Ölçülendirme ve Yüzey İşlemleri*. Ankara: T.C. Millî Eğitim Bakanlığı.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. (2012). *Cnc Tornada Programlama 521MMI121*. Ankara: T.C. Millî Eğitim Bakanlığı.
- Tayanç, M., & Zeytin, G. (2000). Yüksek Hız Çeliklerinin İç Yapı ve Isıl İşlem Özellikleri. *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 103-122.
- Tezel, T., Topal, E. S., & Kovan, V. (2018). Hibrit İmalat: Eklemeli İmalat ile Talaşlı İmalat Yöntemlerinin Birlikte Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *International Journal Of 3D Printing Technologies And Digital Industry*, 2(3), 60-65.
- Thamizhmanii, S., Sapparudin, S., & Hasan, S. (2007). Analyses of surface roughness by turning process using Taguchi method. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 503-506.
- Töre, C. (2004). Teknik Resim, Ölçme Ve Tolerans Tarihçesi. *Mühendis ve Makina*, 45(531),26-34.

https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/42949df56ea8ae0_ek.pdf?dergi=61 adresinden alındı

- Tsai, J.-C., & Cutkosky, M. R. (1997). Representation and reasoning of geometric tolerances in design. *Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing*, 11(4), 325-341.
- Yaka, H., Uğur, L., & Akkuş, H. (2016). AISI 1040 Çeliğinin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Çoklu Regresyon ile İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(770-775), 770-775.
- Yalçın, H., & Gürü, M. (2002). *Malzeme Bilgisi*. Ankara: Palme Yayınevi.
- Yardımeden, A., & Turan, A. (2015). AISI 1040 Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetine Etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6(1), 51 - 58.
- Yih-fong, T. (2005). Parameter design optimisation of computerised numerical control turning tool steels for high dimensional precision and accuracy. *Materials and Design*, 665-675.
- Yılmaz, B., & Güllü, A. (2020). AISI 1050 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkilerinin araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 628-633.
- Yılmaz, E. (2019). Takım Çeliğinden (AISI 4340) Farklı İki Yöntemle Üretilen Takım Tutucularının Kesme Anındaki Performanslarının Deneysel Olarak Karşılaştırılarak, Uygun Takım Seçimine Karar Verilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhu, L.-r. (2010). Estimation of uncertainty in spatial straightness measurement according to next generation of GPS standard system. *Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence*, 666-669.
- Zong, Y., & Mao, J. (2015). Tolerance optimization design based on the manufacturing-costs of assembly quality. *Procedia CIRP*, 27, 324-329.