

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK HASSASİYETTE İŞ PARÇALARININ
GELİŞTİRİLMESİNDE 3D ÖLÇME TEKNOLOJİSİ VE
GEOMETRİK TOLERANSLANDIRMA**

BAHADIR İŞLER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ANIL NOMAK**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK HASSASİYETTE İŞ PARÇALARININ
GELİŞTİRİLMESİNDE 3D ÖLÇME TEKNOLOJİSİ VE
GEOMETRİK TOLERANSLANDIRMA

Bahadır İŞLER tarafından hazırlanan tez çalışması .../.../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Anıl NOMAK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Prof. Dr. Numan DURAKBAŞA
Viyana Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Anıl NOMAK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi İmal Usulleri Anabilim Dalı ve Viyana Teknik Üniversitesi İmalat Mühendisliği ve Lazer Teknolojisi programları bünyesinde hazırlamış olduğum Yüksek Lisans tezim için desteklerinden ve yardımlarından dolayı danışmanlarım Yıldız Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Anıl AKDOĞAN'a ve Viyana Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Numan DURAKBAŞA'ya teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında maddi, manevi desteğini esirgemeyen ve her türlü sabırlı davranışları sergileyen aileme de ayrıca teşekkürlerimi sunmak isterim.

Haziran, 2014

Bahadır İŞLER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	4
1.3 Hipotez.....	4
BÖLÜM 2	
GEOMETRİK ÜRÜN SPESİFİKASYONU.....	5
BÖLÜM 3	
GEOMETRİK ÜRÜN SPESİFİKASYONU – GPS TEMELİNDE	
GEOMETRİK TOLERANSLAR.....	12
3.1 Şekil ve Konum Toleransları Örnekleri.....	14
3.1.1 Doğrusallık Toleransı.....	14
3.1.2 Düzlemsellik Toleransı.....	15
3.1.3 Dairesellik Toleransı.....	17
3.1.4 Silindiriklik Toleransı.....	19
3.1.5 Çizgi ve Yüzey için Referans Sistemi ile Toleranslandırma...	20

3.1.6	Diklik Toleransı.....	25
3.1.7	Paralellik Toleransı.....	26
3.1.8	Açısallık (Eğrilik) Toleransı.....	27
3.1.9	Konum Toleransı.....	28
3.1.10	Eş Eksenlilik Toleransı.....	29
3.1.11	Simetriklik Toleransı.....	31
3.1.12	Salgı Toleransı.....	32
3.1.12.1	Radyal Yönde Dairesel Salgı Toleransı.....	32
3.1.12.2	Eksen Yönünde Dairesel Salgı Toleransı.....	35
3.1.12.3	Herhangi Bir Yönde Dairesel Salgı Toleransı.....	36
3.1.12.4	Toplam Salgı Toleransı.....	39
BÖLÜM 4		
KOORDİNAT ÖLÇME TEKNİĞİ VE KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZLARI.....		41
4.1	Koordinat Ölçme Tekniği.....	42
4.2	Koordinat Ölçme Cihazlarının Temel Tasarımları.....	47
4.3	Ölçme Sistemleri.....	50
4.4	Prob Sistemleri.....	51
4.4.1	Temas ile Ölçüm.....	51
4.4.2	Optik Prob Sistemleri.....	53
4.5	Koordinat Ölçme Cihazlarında Ölçme İşlemleri.....	53
BÖLÜM 5		
KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZLARI VE UYGULAMALARI.....		56
5.1	Etkili Tarama Teknikleri.....	56
5.2	Kontrol Ünitesi ve Bilgisayar Donanımları.....	60
5.3	Bilgisayar Destekli İmalatta (CAM) Koordinat Ölçme Cihazları.....	61
5.4	Koordinat Ölçme Cihazlarının Avantajları.....	62
5.5	Koordinat Ölçme Cihazı ile Ölçme Süreci.....	63
BÖLÜM 6		
DIŞLİLERDE 3 BOYUTLU ÖÇLÜMLER VE ANALİZLERİ.....		65
6.1	Dişli Hataları.....	65
6.2	Dişlilerin Kontrolü.....	65
6.2.1	Dişlilerin İmalat Sırasındaki Kontrolü.....	66

6.2.2	Dişlilerin İmalat Sonrasındaki Kontrolü.....	67
6.2.2.1	Görev Kontrolü.....	67
6.2.2.2	Diş Hatalarının Toplu Olarak Kontrolü.....	67
6.2.2.3	Dişli Hatalarının Teker Teker Kontrolü.....	69
6.3	Klingelnberg Üç Boyutlu Ölçme Cihazı ile Dişlilerin Ölçümü ve Analizleri.....	74
6.4	Klingelnberg Üç Boyutlu Dişli Ölçme Cihazı Gösterimleri ve Açıklamaları.....	77
6.5	Klingelnberg Üç Boyutlu Dişli Ölçme Cihazı ile Dişli Ölçümleri ve Uygulamaları	79
6.6	Sonuçlar, Dişlinin Değerlendirilmesi ve İyileştirilmesi.....	85
 BÖLÜM 7		
EGZOZ BORULARINDA 3 BOYUTLU ÖLÇÜMLER VE ANALİZLERİ.....		86
7.1	Uygulama 1.....	87
7.2	Uygulama 2.....	91
 BÖLÜM 8		
SÜSPANSİYON PARÇALARINDA 3 BOYUTLU ÖLÇÜMLER VE ANALİZLERİ.....		93
8.1	Uygulama 1.....	94
8.2	Uygulama 2.....	95
8.3	Uygulama 3.....	96
8.4	Uygulama 4.....	97
8.5	Uygulama 5.....	98
8.6	Uygulama 6.....	100
8.7	Uygulama 7.....	102
8.8	Uygulama 8.....	104
8.9	Uygulama 9.....	107
8.10	Uygulama 10.....	110
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		113
KAYNAKLAR.....		114
EK-A		120

EK-B	121
EK-C	123
EK-D	125
ÖZGEÇMİŞ.....	127

SİMGE LİSTESİ

R_{TK}	Prob topunun yarıçapı
F_i''	Yuvarlanma hatası
f_i''	Atlama hatası
F_α	Toplam Profil Sapması
ff_α	Profil Form Sapması
fH_α	Profil Açısı Sapması
$f_{\sigma\alpha}$	Profilin Form Standart Sapması
C_α	Profil Bombeliği
F_β	Toplam İstikamet Sapması
ff_β	İstikamet Form Sapması
fH_β	İstikamet Açısı Sapması
$f_{\sigma\beta}$	İstikamet Form Standart Sapması
C_β	İstikamet Bombeliği
Q	Kalite Seviyesi
X	Ölçülen Değerlerin Ortalaması
Z	Diş Sayısı
m_n	Normal metrik Modül (mm)
NDP	Normal İngiliz Modülü
α_n	Kavrama Açısı (°)
β	Helis Açısı (°)
β_b	Temel Daire Helis Açısı (°)
b	Diş Boyu (mm)
d_b	Temel Daire (mm)
fp_n	n. dişteki adım sapması
fp_{n+1}	n+1. dişteki adım sapması
fu	Bitişik iki adım arasındaki fark
$Fp_{z/8}$	Ardışık 8 dişte toplam adım sapması
Fp	Toplam adım sapması
Fr	Salgı (Run-Out)

KISALTMA LİSTESİ

CAM	Computer Aided Manufacturing
CAX	Computer Aided
CEN	European Committee for Standardization
CMM	Co-ordinate Measuring Machines
CNC	Computer Numerical Control
DMIS	Dimensional Measurement Interface System
ISO	International Standard Organization
SI	Système international d'unités (International System of Units)
TC	Technical Committee

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Ölçme aleti (komparatör).....	2
Şekil 2.1 Geometrik ürün spesifikasyonu.....	6
Şekil 2.2 GPS ana planı.....	7
Şekil 2.3 Gerçek model ve kabuk model (skin-model).....	9
Şekil 2.4 Tasarım işlemleri ve üretilmiş iş parçası tahkikinin karşılaştırılması.....	10
Şekil 2.5 GPS kapsamında ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi.....	11
Şekil 3.1 Şekil ve konum toleransları sembolleri.....	13
Şekil 3.2 Doğrusallık toleransı.....	14
Şekil 3.3 Düzlem yüzeylerde doğrusallık.....	14
Şekil 3.4 Silindir parçalarda doğrusallık.....	15
Şekil 3.5 Düzlemsellik toleransı.....	15
Şekil 3.6 Düzlemsellik tolerans bölgeleri.....	16
Şekil 3.7 Düzlemsellik toleransı örneği.....	16
Şekil 3.8 Dairesellik toleransı.....	17
Şekil 3.9 Küre parçalarda dairesellik toleransı.....	17
Şekil 3.10 Silindirik parçalarda dairesellik toleransı.....	18
Şekil 3.11 Konik parçalarda dairesellik toleransı.....	18
Şekil 3.12 Silindiriklik toleransı.....	19
Şekil 3.13 Silindiriklik tolerans bölgeleri.....	19
Şekil 3.14 Çizgi profil için tolerans bölgesi.....	20
Şekil 3.15 A – B referanslarına bağlı çizgi profili için tolerans çerçevesi.....	21
Şekil 3.16a Çizgi profil için toleransın teknik resimde gösterimi.....	21
Şekil 3.16b Çizgi profili için tolerans bölgesinin oluşturulması.....	21
Şekil 3.16c Farklı yönlerde iş parçası yüzeyleri.....	21
Şekil 3.16d Farklı konumlarda iş parçası yüzeyleri.....	21
Şekil 3.17 Referansa bağlı çizgi profil için tolerans bölgesi.....	22
Şekil 3.18 Referans sisteme bağlı olarak tanımlanmış çizgi profil toleransı.....	22
Şekil 3.19 Yüzey profil için tolerans bölgesi.....	23
Şekil 3.20 Referans sistem olmadan yüzey profili toleransı.....	23
Şekil 3.21 Referans sisteme bağlı olarak yüzey profili toleransı.....	24
Şekil 3.22 Referans sisteme bağlı olarak yüzey profili toleransı ve sembolü.....	24
Şekil 3.23 Diklik toleransı.....	25
Şekil 3.24 Referans eksene göre diğer bir eksenin diklik toleransı.....	25
Şekil 3.25 Referans düzleme göre diğer bir düzlemin diklik toleransı.....	25
Şekil 3.26 Paralellik toleransı.....	26
Şekil 3.27 Paralellik tolerans bölgeleri.....	26

Şekil 3.28	Açısallık toleransı.....	27
Şekil 3.29	Referans eksen ile açısallık toleransı bölgesi.....	27
Şekil 3.30	Referans düzlem ile açısallık toleransı bölgesi.....	27
Şekil 3.31	Konum toleransı bölgeleri.....	28
Şekil 3.32	Eksenin konum toleransı.....	28
Şekil 3.33	Düzlemin konum toleransı.....	29
Şekil 3.34	Eş eksenlilik toleransı.....	29
Şekil 3.35	Silindirik bir parçada eş eksenlilik toleransı bölgesi.....	30
Şekil 3.36	Eş merkezlilik toleransı bölgesi.....	30
Şekil 3.37	Simetriklik toleransı.....	31
Şekil 3.38	Simetriklik tolerans bölgesi.....	31
Şekil 3.39	Radyal dairesel salgı toleransı.....	32
Şekil 3.40	Radyal dairesel salgı tolerans bölgesi şematik gösterimi.....	33
Şekil 3.41a	Birden fazla referans ile ilişkili radyal dairesel tolerans.....	34
Şekil 3.41b	Açı değeri ile sınırlandırılan radyal dairesel tolerans.....	34
Şekil 3.42	Eksen yönünde dairesel salgı toleransı.....	35
Şekil 3.43	Eksen yönünde dairesel salgı toleransı bölgesi şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.44	Herhangi bir yönde dairesel salgı toleransı.....	36
Şekil 3.45	Herhangi bir yönde dairesel salgı toleransı bölgesi şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.46	Normali değişen yüzeyler için dairesel salgı toleransı.....	37
Şekil 3.47	Normali değişen yüzeyler için dairesel salgı toleransı bölgesi.....	37
Şekil 3.48	Seçilen yönde dairesel salgı toleransı.....	38
Şekil 3.49	Seçilen yönde dairesel salgı toleransı bölgesi şematik gösterimi.....	38
Şekil 3.50	Toplam salgı toleransı.....	39
Şekil 3.51	Toplam salgı toleransı bölgesi şematik gösterimi.....	40
Şekil 3.52	Eksen yönünde toplam salgı toleransı.....	40
Şekil 3.53	Eksen yönünde toplam salgı toleransı şematik gösterimi.....	40
Şekil 4.1	Koordinat ölçme cihazı bileşenleri.....	43
Şekil 4.2	İdeal geometri, reel geometri ve yedek geometri.....	44
Şekil 4.3	İş parçası koordinat sisteminin belirlenmesi.....	45
Şekil 4.4	Konvansiyonel ölçme tekniği ve koordinat ölçme tekniği.....	46
Şekil 4.5	Farklı tiplerde CMM bileşenleri.....	47
Şekil 4.6	Koordinat ölçme cihazları temel tasarımları.....	48
Şekil 4.7	Dokunma tetikli prob.....	51
Şekil 4.8	Prob ölçme sistemi.....	52
Şekil 4.9	Prob ölçme sistemiyle tarama işlemi.....	53
Şekil 4.10	CMM için ölçme işlemi akış şeması.....	54
Şekil 4.11	Boyutsuz sanal tarama küre.....	54
Şekil 5.1	Prob ucu.....	56
Şekil 5.2	Probun iş parçası yüzeyine teması.....	57
Şekil 5.3	Sap eksenine göre dik ve paralel yaklaşım.....	57
Şekil 5.4	Sap eksenine göre açılı yaklaşım.....	58
Şekil 5.5	Prob ucunun konumlandırılması.....	58
Şekil 5.6	Prob ucu boşluğu.....	59
Şekil 5.7	Koordinat ölçme cihazı kontrol ünitesi ekran görüntüsü.....	60
Şekil 5.8	Kontrol ünitesi yönetme kolları (Joystick).....	60
Şekil 5.9	CAD, CNC ve CMM çevrimi.....	61
Şekil 5.10	Zeiss UMM 500 koordinat ölçme cihazı.....	63

Şekil 5.11	Koordinat ölçme cihazı ile ölçme işlemi.....	64
Şekil 5.12	Koordinat ölçme cihazında ölçülendirilen iş parçası örneği.....	64
Şekil 6.1	Dişli ölçme mikrometresi ile diş kalınlığı kontrolü.....	66
Şekil 6.2	Modül mikrometresi ile helisel dişli kontrolü.....	66
Şekil 6.3	Dişli hatalarının mastar dişli yardımı ile tespiti.....	67
Şekil 6.4	Dişli hatalarının mastar dişli yardımı ile tespiti (Cihaz ekranı).....	68
Şekil 6.5	Dişlilerdeki hatalar ve sembolleri.....	69
Şekil 6.6	Temel daire hataları ve diş yanı form hatası.....	71
Şekil 6.7	Dişlilerde eksen aralığı tolerans değerleri örneği.....	73
Şekil 6.8	Klingelberg ZP350 üç boyutlu dişli ölçme cihazı.....	74
Şekil 6.9	Klingelberg üç boyutlu dişli ölçüm cihazı ile profil ve istikamet ölçümü diyagramı.....	75
Şekil 6.10	Klingelberg üç boyutlu dişli ölçüm cihazı ile adım hataları ve salgı diyagramı.....	76
Şekil 6.11	Klingelberg cihazının diyagramındaki değerler ve sembolleri.....	77
Şekil 6.12	Dişli adım sapmaları ve sembolleri.....	78
Şekil 6.13	Klingelberg üç boyutlu ölçme cihazı ile diş profillerinin diyagramı.....	79
Şekil 6.14	Klingelberg üç boyutlu ölçme cihazı ile diş istikametlerinin diyagramı.....	81
Şekil 6.15	Dişlilerin istikamet ve salgı hatalarının 3 boyutlu ölçme cihazı ile ölçümü.....	82
Şekil 6.16	Dişli yanaklarının adım hataları diyagramı.....	83
Şekil 6.17	Dişli yanaklarının toplam adım sapmaları diyagramı.....	84
Şekil 6.18	Dişlerin salgı hataları diyagramı.....	85
Şekil 7.1	Faro Quantum çok eksenli 3 boyutlu ölçme kolu.....	86
Şekil 8.1	Süspansiyon sistemi.....	93
Şekil 8.2	Uygulama 1 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	94
Şekil 8.3	Uygulama 2 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	95
Şekil 8.4	Uygulama 3 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	96
Şekil 8.5	Uygulama 4 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	97
Şekil 8.6	Uygulama 5 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	98
Şekil 8.7	Uygulama 6 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	100
Şekil 8.8	Uygulama 7 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	102
Şekil 8.9	Uygulama 7 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	102
Şekil 8.10	Uygulama 8 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	104
Şekil 8.11	Uygulama 8 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	104
Şekil 8.12	Uygulama 8 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	105

Şekil 8.13	Uygulama 8 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	105
Şekil 8.14	Uygulama 9 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	107
Şekil 8.15	Uygulama 9 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	107
Şekil 8.16	Uygulama 9 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	108
Şekil 8.17	Uygulama 9 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	108
Şekil 8.18	Uygulama 10 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	110
Şekil 8.19	Uygulama 10 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	110
Şekil 8.20	Uygulama 10 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri.....	111

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 ISO 1101 Kapsamında kesit toleransları.....	20
Çizelge 4.1 Koordinat ölçme tekniği ve iş parçası mikrojeometrisi.....	47
Çizelge 4.2 Koordinat ölçme cihazlarında farklı tip deplasman düzenleyiciler.....	50
Çizelge 6.1 Dişlilerde yuvarlanma ve atlama hatası toleransları (DIN 3963).....	68
Çizelge 6.2 Dişlilerdeki hataların tolerans değerleri (DIN 3962).....	70
Çizelge 6.3 Dişlilerdeki hataların tolerans değerleri (DIN 3962).....	70
Çizelge 6.4 Diş yönü (helis açısı) hatası tolerans değerleri (DIN 3962).....	72
Çizelge 6.5 Silindirik dişlilerde yataklar arası ölçüler için tolerans cetveli (DIN 3964).....	73
Çizelge 6.6 Dişlilerde genel semboller.....	78
Çizelge 6.7 Uygulamada ölçümü yapılan dişlinin özelliklerini.....	79
Çizelge 7.1 02.001-002 numaralı teknik resimler için tolerans sınırları ve ölçülen değerler.....	87
Çizelge 7.2 02.003 numaralı teknik resimler için tolerans sınırları ve ölçülen değerler.....	91
Çizelge 8.1 Uygulama 1 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	94
Çizelge 8.2 Uygulama 2 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	95
Çizelge 8.3 Uygulama 3 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	96
Çizelge 8.4 Uygulama 4 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	97
Çizelge 8.5 Uygulama 5 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	98
Çizelge 8.6 Uygulama 6 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	101
Çizelge 8.7 Uygulama 7 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	103
Çizelge 8.8 Uygulama 8 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	106
Çizelge 8.9 Uygulama 9 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	109
Çizelge 8.10 Uygulama 10 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler.....	112

YÜKSEK HASSASIYETTE İŞ PARÇALARININ GELİŞTİRİLMESİNDE 3D ÖLÇME TEKNOLOJİSİ VE GEOMETRİK TOLERANSLANDIRMA

Bahadır İŞLER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Anıl NOMAK

Eş Danışman: Prof. Dr. Numan DURAKBAŞA

Birlikte hareketli çalışacak makine parçalarının fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri bakımından boyut, şekil, konum ve yön toleransları için belirli düzenlemeler ve şartlar olmalıdır.

Koordinat metrolojisinin başlıca amaçları parçanın şeklini tayin etmek, tasarım şekli ile gerçek şekil arasında karşılaştırma yapmak, boyut, biçim, konum ve yön gibi toleransları belirlemektir.

Bu tolerans değerleri, üretim hatlarında kullanılan en önemli 3 boyutlu ölçüm cihazları olan *Koordinat Ölçme Makineleri (CMM)* kullanılarak belirlenir ve kontrol edilir.

Koordinat ölçme makineleri, iş parçası üzerinde noktalar belirleyerek ölçüm yapan, bu bilgileri bir araya toplayan, boyutlar ile geometrik toleransları kontrol eden bilgisayar destekli 3 boyutlu ölçüm cihazlarıdır.

3 boyutlu ölçüm çalışmaları için *Geometrik Ürün Spefikasyonu Standartları (GPS)* kullanılmaktadır. GPS sistemi; tasarımcılar, üreticiler ve ölçümcüler arasında ortak bir dil oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir ve ISO/TC 213 başlığı altında toplanmıştır.

Bu tez çalışmasında; çeşitli iş parçalarının, GPS kapsamında ölçüm işlemleri yapılarak verileri toplanacak, elde edilen bu veriler bilgisayar ortamında değerlendirilmeye alınacaktır. Yüksek hassasiyette iş parçalarının geliştirilmesinde geometrik toleranslandırmaya değinilecektir.

Anahtar Kelimeler: Koordinat metrolojisi, 3D koordinat ölçme teknikleri, yüksek hassasiyet, geometrik ürün spesifikasyonu.

ABSTRACT

3D MEASUREMENT TECHNOLOGY FOR HIGH-PRESICISION WORKPIECES DEVELOPMENT AND GEOMETRIC TOLERANCING

Bahadır İŞLER

Department of Mechanical Engineering
MSc. Thesis

Adviser: Doç. Dr. Anıl NOMAK
Co-Adviser: Prof. Dr. Numan DURAKBAŞA

The moving machine parts, which are moving together, fulfill their functions with regard to size, shape, location and specific planes for directions, circumstances and particularly tolerance values.

The main objectives of coordinate metrology are, to determine the shape of the parts, to compare between shape of the design and the real shape, to determine tolerances such as size, shape, location and directions.

These tolerance values are determined and controlled by *Coordinate Measuring Machines* (CMM) which are the most important three-dimensional measuring devices used in production lines.

Coordinate measuring machines are computer-aided 3D measuring devices that measure by identifying points on the workpieces, gather this information and analyze dimensions and geometric tolerances.

For the studies of three-dimensional measurements, Geometric Product Specification (GPS) standards are used. GPS system has been developed in order to create a common language between designers, manufacturers and surveyors and was collected under the title of ISO / TC 213.

In this study; a variety of workpieces will be measured within scope of GPS and data will be collected. The obtained data will be evaluated in the computer environment. Geometric tolerance for the development of high-precision workpieces will be discussed.

Keywords: Coordinate metrology, 3D coordinate measurement technique, high accuracy, geometrik product specification and verification.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Ölçme, bir uzunluğun, bir alanın, bir kapasitenin veya herhangi bir olgunun belirli bir birim cinsinden hesaplanmasıdır. Diğer bir tanımla, birim adı verilen ve bilinen bir değerle, aynı cinsten bilinmeyen bir değeri karşılaştırmaya ölçme denir.

İnsanoğlu, var olduğundan bu yana çevresinde gördüğü, duyduğu her olayı anlamaya çalışmıştır. Çevremizdeki birçok şey değişkendir. Her şey sabit olsaydı ölçmeye gerek kalmayacaktı. Bilim adamları bu tür olayları gözlemleyerek, olaya ya da olaylara neden olan değişkenleri araştırmışlardır. Bu gözlemlerin ve araştırmaların merkezinde, günlük yaşamımızın ayrılmaz bir parçası olan ölçme olmuştur. Bilimsel çalışmalar ölçme ile anlam kazanır. Ölçülemeyen büyüklükler tanımlanamaz, kontrol edilemez.

Ölçmenin yapılması için, ölçülmek istenen bir büyüklük, o büyüklükle ilgili tanımlanmış bir standart birim ve o standarda uygun bir ölçme cihazının bulunması gerekir. İlk olarak Mısır piramitlerinin inşa edildiği dönemde, ölçme aletlerine ve temel ölçme standartlarına ihtiyaç duyulmuştur. Tarımcılığın başlaması ve arazilerin sahiplenilmesi ile ölçme standartları önem kazanmıştır.

Ölçmedeki gelişmeler ile seri üretim gözde haline gelmiştir. Modern, ekonomik ve seri üretimin en önemli şartlarından biri **değiştirilebilirlik** özelliğine sahip olmasıdır. Bu özelliğe sahip üretim tarzında üretim parçaları ve gruplarının birbirinden bağımsız olarak üretilmeleri ve üretimlerinden sonra ilave işlemler yapılmaksızın birbirine ait olan üretim parçalarının monte edilmeleri sağlanmaktadır.

Bu üretim tarzının problemsiz olarak gerçekleşmesi ise ancak üretim ve üretim parçaları için belirli düzenlemeler ve şartların tespit edilmeleriyle mümkün olacaktır. Bu

şartların, üretilen parça veya makine fonksiyonlarını tam olarak yapmaları bakımından, yerine getirilmelerinin izlenmeleri ve kontrolü, ölçme tekniği veya üretim ölçme tekniği cihazları, metotları ve usulleri tarafından gerçekleştirilir. Böylelikle **değiştirilebilirlik** ve **ölçme tekniği** arasında karşılıklı sıkı bir ilişki ve birbirlerine bağımlılık mevcuttur. Teknik problemlerin çözümünde ölçme tekniğinden yararlanılır. Teorik hipotezler gerekli gözlem ve deneyler yapılarak ölçme tekniği vasıtasıyla desteklenirler.

Endüstrinin her alanında faaliyet gösteren mühendislik dalarının, kendilerine özgü standartlaşmış ölçüm teknikleri vardır. Aynı mühendislik dalında kullanılan ölçme tekniklerinin standartlaştırılmasındaki başlıca amaçlar, seri imalatı geliştirmek, maliyetleri düşürmek ve kaliteyi iyileştirmektir. Ölçü birliğini sağlamak tasarımcı mühendis ve teknisyenler arasındaki üretim iletişimini hızlandırdığı gibi, kurumlar arasındaki üretim etkinliği de artmaktadır.

Örneğin, üretim tasarımcılığı, üretim mühendisliği, takım ve master yapımıcılığı, kalite kontrol uzmanlığı ve benzeri üniteler standart ölçme sistemi ve ölçü aletleriyle çalışmak zorundadırlar. Üretim kaliteleri, işletmelerde, genellikle proseslerle ilgili detaylı bilgi sahibi olmakla sağlanabilmektedir ve bu durum ölçme tekniği ve kalite yönetimi sistemlerinin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 1. 1 Ölçme aleti (Komparatör)

Endüstride standartlaştırılmış ölçme sistemlerinin ve ölçü aletlerinin kullanılmasının amaçlarını başlıca şu maddeler haline getirebiliriz;

- Tasarımı yapan mühendisler ile teknikerler arasında iletişim güçlendirilir, ortak teknik bir dil oluşturulmaktadır.

- Üretimin her kademesindeki işlemleri yürüten kuruluşlar arasında üretim etkinliği ve kabul edilebilirliği arttırılmaktadır.
- İdeal ölçülere uygun yarımamüller imalata yönlendirilirken, artık malzeme kaybı önlenmektedir.
- Üretilen parçaların ölçülerinin kontrolü en basit düzeye indirgenmektedir. Hassasiyeti fazla olan dişli, rulman, yatak ve benzerleri parçaların ölçü kontrolünde kolaylık sağlanmaktadır.
- İmal edilen parçaların uluslararası platformdaki güvenilirliği artmaktadır.

Ölçü ile ilgilenen bilim dalı **metrolojidir**. Metroloji, 20 Mayıs 1875’de Paris’de Metre Konvansiyonu’nun almış olduğu karar ile bilim dalı olarak kabul görmeye başlamıştır. 20 Mayıs günü “Dünya Metroloji Günü” olarak kutlanmaktadır. Metroloji ile birlikte SI birim sistemi oluşturulmuştur. Bu sisteme yedi temel birime dayanmaktadır:

- Metre: Uzunluk temel birimi
- Kilogram: Kütle temel birimi
- Saniye: Zaman temel birimi
- Kelvin: Sıcaklık temel birimi
- Amper: Elektrik akımı temel birimi
- Kandela: Aydınlatma şiddeti temel birimi
- Mol: Madde miktarı temel birimi

Standardizasyon, herhangi bir işlemle ilgili sık sık karşılaşılan problemin bir defa çözülmesini yeterli kılar. Problem ile ilgili çözüm standart haline getirildiğinde küresel olarak rasyonel olmayı sağlayacaktır. Örneğin, standartlar haline getirilmiş priz yuvaları ölçüleri günlük hayatımızda bizlere kolaylık sağlamaktadır. Standardizasyon yardımı ile hesap ve muhakeme hataları ortadan kaldırılır ve böylece çeşitli olay ve işlerde güvence arttırılmış olur. Standartlar; uluslar arası standartlar, ulusal standartlar ve işletme içi standartlar olmak üzere üç gruba ayrılabilir:

- Uluslararası standartlar, teknik problemlerin çözümünü küresel hale getirmeyi amaçlayarak oluşturulan standartlardır. Bu şekilde farklı ülkeler arasında, ticari malların ülkeye göre uyarlama mecburiyeti ortadan kaldırılır, endüstrinin birçok dalında yardımlaşma sağlanır.

- Ulusal standartlar, kabul edilen devlet içerisinde geçerli olan ve temelleri genellikle uluslararası standartlara bağı olan standartlardır. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 26 Ocak 1955'te ISO' ya üye olmuştur ve bu şekilde ulusal standartların temelini oluşturmıştır. Avrupa Standartlar Birliğince hazırlanan standartlar, Avrupa birliği ülkeleri olarak ulusal standart olarak kabul edilirler.
- İşletme içi standartlar, ürünlerin aynı talimatlara göre üretilmeleri için işletmelerin kendi bünyelerinde kabul ettiği standartlardır. Ticari yönden olumlu sonuçlar için işletme içi standartlar, ulusal ve uluslararası standartlar ile çelişki içerisinde bulunmamalıdır.

1.2 Tezin Amacı

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı, geometrik ürün spesifikasyonunu (ISO/GPS) ve GPS temelinde toleransları örnekler ile açıklamak, koordinat ölçme cihazlarını (CMM) tanıtarak, tasarımcılara, üretim mühendislerine ve ölçümcülere sağladıkları avantajları belirtmek ve temel makine elemanları ile 3 boyutlu ölçüm uygulamaları yaparak, koordinat metrolojisinin makine mühendisliğindeki yeri ve önemini vurgulamaktır.

1.3 Hipotez

Endüstride makine elemanları olarak kullanılan çok çeşitli iş parçaları hiçbir zaman tasarımcıların bilgisayar ortamlarında hazırladıkları tasarımlardaki gibi ideal boyutlarda olamazlar. Çeşitli geometrik şekiller beraberinde çok çeşitli sapmaları getirir. İstenilen kalite değerine göre makine elemanları belirli toleranslar ile sınırlar içerisine alınmıştır. Bu tez uygulamalarında temel makine elemanları ile 3 boyutlu ölçüm çalışmaları yapılarak parçaların kalite seviyeleri belirlenmiş ve iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

BÖLÜM 2

GEOMETRİK ÜRÜN SPESİFİKASYONU

Modern üretim teknolojileri bünyesinde yapılan kapsamlı iş parçası analizleri, koordinat metrolojisinin önemini gün geçtikçe arttırmıştır. Koordinat metrolojisinin temel fonksiyonları iş parçasının gerçek şeklini ve boyutlarını tayin etmek ve sonuçları tasarım şekliyle karşılaştırarak bilgiler toplamaktır. Toplanan metrolojik bilgiler değerlendirilerek boyut, biçim ve konum gibi toleranslar belirlenir. Makro veya mikro olarak yapılan analizlerin temelini, gerçek şekil ile tasarım şeklinin arasındaki geometrik farklılıklar oluşturur [1].

Günümüz seri üretiminde gerekli olan iş parçası hassasiyeti, toleranslar ile geniş olarak belirlenir. Enerji ve malzeme tasarrufu için iş parçaları, istenilen tolerans aralıklarında bulunmalıdır. Tasarruf artırma çalışmaları, tolerans kapsamlarının da iyileşmelerine öncülük etmiştir. İstenilen boyut ve şekilde olmayan iş parçaları ek işlemlere yol açarken, bazı durumlarda ıskarta olarak adlandırılan kayıplara neden olur. Yeniden işleme, seri üretimin ürün akışını aksatabilir.

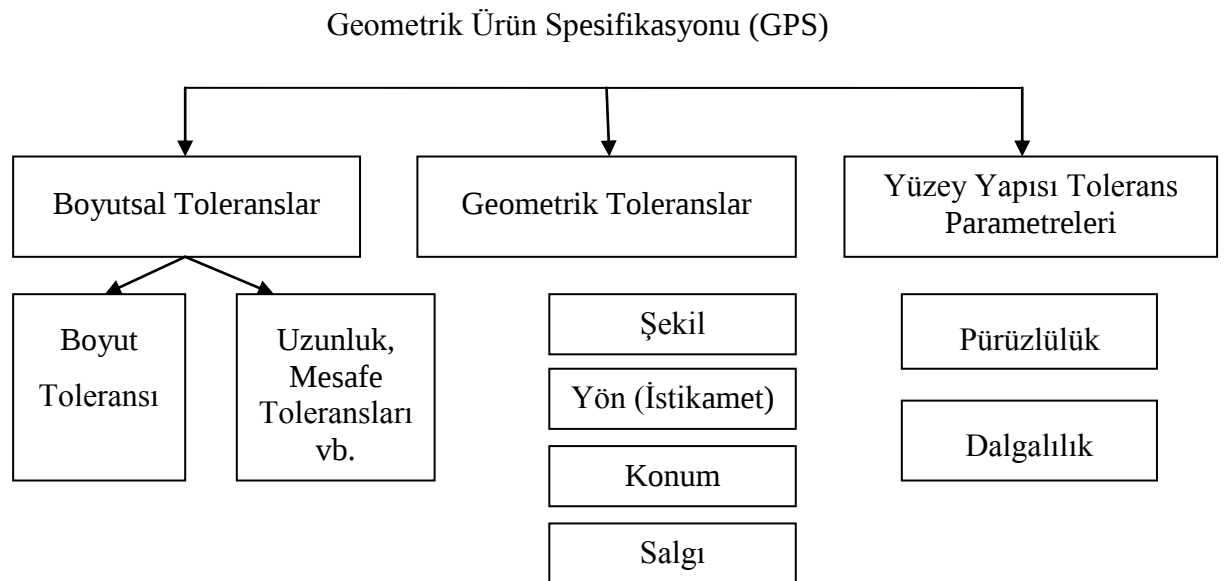
Makine parçaları bir bütün olarak çalışırken, çevresel şartlar nedeniyle konum sapmaları meydana gelir. Boyut, pürüzlülük, şekil ve konum sapmaları bir bütün olarak makine parçaların görevlerini yerine getirebilmeleri bakımından önemlidir. Eğer ki bu fonksiyonların devam etmesi isteniyorsa sapmalar tolerans sınırlarını aşmamalıdır. Üretim ve iş parçalarının yaşam sürecinin önemli devreleri olarak; tasarım ve konstrüksiyon, üretim için ön veriler, kontrol ve elde edilen ölçme değerlerinin izlenebilirliği olarak kabul edilirler.

Endüstri ürünlerinin ölçülerinin kontrolleri, üretim kalitesini belirlemek amacıyla yürütülür. Üretim sürecinde belirli zamanlarda, bazı numuneler toplanıp kontrol edilir. Geniş endüstriyel araştırmalar uzun kontrol zamanlarına ihtiyaç duyar ve maliyetleri yüksek olur. Bu konuda kolaylıklar sağlanması amacıyla 1970'li yıllardan itibaren çoklu koordinat ölçme cihazları geliştirilmeye başlanmıştır. Son yıllarda her pozisyonda ölçüm yapabilen universal ölçüm cihazları geliştirilmiştir[2].

Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu ISO, 1996 yılında ISO/TC 213 'Geometrical Product Specifications and Verification' Teknik Komitesini, 1992 yılından beri aynı isim altında çalışmalar yapan CEN/TC 290 Teknik Komitesinin ait olduğu Avrupa Standartları Birliği'nin bir inisiyatifi sonucu oluşmuştur. Bu teknik komitenin görevi, teknik ünitelerin spesifikasyonu, tanımı ve muayenesi sahalarında etraflı ve tutarlı uluslararası standartların hazırlanması şeklinde belirtilmiştir.

Karşılaştırmanın yapılabilmesi için asıl iş parçası ile birlikte gerek duyulan diğer faktörler[3]:

- Tasarımcı tarafından düşünülen iş parçası
- Üretilmiş iş parçası
- Ölçümlendirilmiş iş parçası hakkında bilgiler



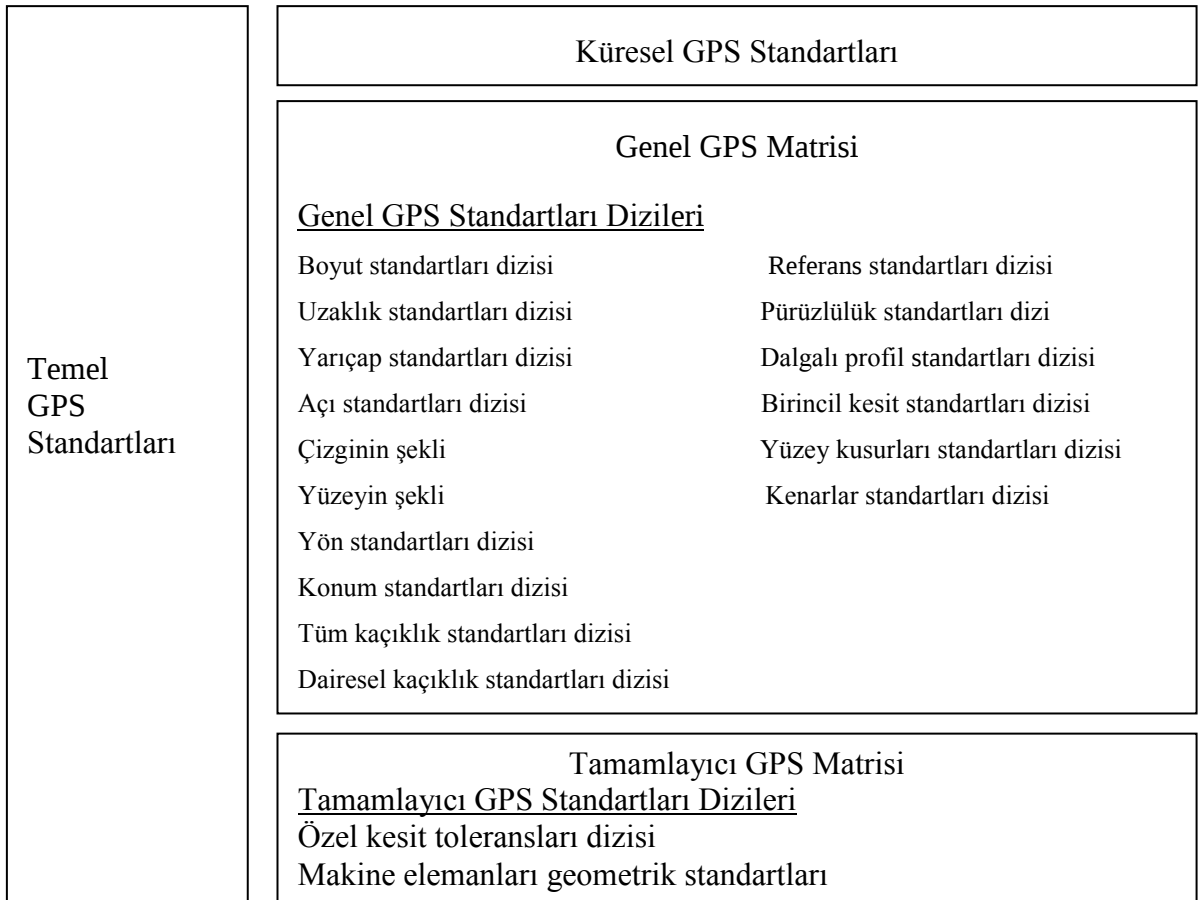
Şekil 2. 1 Geometrik ürün spesifikasyonu

Tasarım, üretim ve ölçme arasındaki ilişkiyi ve ortak önemi kurmak amacıyla geometrik ürün spesifikasyonu alanında standartlar geliştirilmiştir. İş parçalarının geometrisine ilişkin gereksinimler, GPS kapsamında boyut, geometrik toleranslar ve yüzey geometrisi özellikleri olarak bulunur (Şekil 2.1).

Geometrik ürün spesifikasyonu şunları içerir:

- Spesifikasyon temel kuralları, küresel ilkeler, tanımlar ve geometrik karakteristik ile ilgili çeşitli standartlar
- Boyut, mesafe, açı, şekil, konum, yön ve pürüzlülük gibi çeşitli geometrik karakteristikler
- Çeşitli üretim süreçlerinin sonucu olarak iş parçası karakteristikleri ve belirli makine elemanları karakteristikleri

Ürün çevriminin çeşitli basamakların, ürünün geliştirilmesinde, tasarımda, üretimde, metrolojide, kalite kontrolde GPS’ ten yararlanılır[4].



Şekil 2. 2 GPS ana planı

GPS matris modeli olarak tanımlanan ve dört farklı çeşit GPS standardından oluşan model Şekil 1.3’ de gösterilmiştir. Temel GPS standartları, ölçülendirme ve toleranslandırma ile ilgili çok temel kuralların standartlardan oluşur. Bu grupta, ISO 8015:2011 ve ISO/TR 14638 olmak üzere, GPS ana planının çerçevesini oluşturan sadece iki doküman bulunmaktadır.

Küresel GPS standartları diğer birçok GPS standardıyla bağlantılıdır. Bu gruptaki en önemli GPS standardı ISO 1 olarak bilinir. Bir diğer küresel GPS standardı ISO 14660/1, geometrik özelliklerin tanımları ve terimlerinden oluşur.

Tamamlayıcı GPS standartları, özel kategorilerin tanımlanması, bileşenlerin doğrulanması ve teknik resimleri kurallarının izah edilmesi için oluşturulmuştur. Bazı kurallar üretim sürecinin çeşidine bağlı iken diğerleri dişliler, kamalar gibi makine parçalarının geometrisi ile ilgilidir. Tamamlayıcı GPS standartları çok çeşitli ISO Teknik Komiteleri tarafından hazırlanmıştır ve şu şekilde ayrılabilir:

- Özel üretim metotları için toleranslandırma standartları
- Makine parçaları için geometrik standartlar

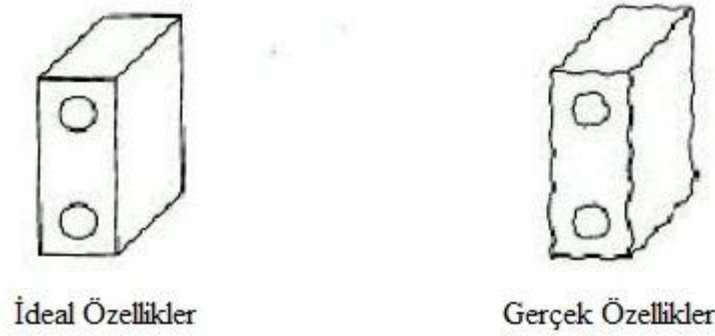
Genel GPS standartları, GPS ana planının çekirdeği niteliğindedir. Genel GPS standartları, satırların standart dizileri, sütunların çeşitli geometrik özelliklerin karakteristikleri tarafından oluşturulmuş matris içerisinde düzenlenmiştir. Bütün bu sistem GPS matris modeli olarak bilinir.

Üreticiler, ürünlerinin gerekli kriterlere uygun olmasını amaçlarlar[5]. Teknik araçlar ve metotlar, ürün karakteristiklerinin tutarlılığını sağlarlar. En önemli karakteristik veya özellik olarak geometrik ürün spesifikasyonu – GPS öne çıkmaktadır. GPS, değişken fonksiyonlara bağlı değerlerin iş parçaları haline gelmelerine araç teşkil etmektedir. Şu faktörler temel alınmaktadır:

- Matematik kuralları ve metotları
- Makro ve mikro geometri
- Ölçme ve toleranslandırma miktarları
- Belirsizlik değerlendirmesi

GPS standartları, yıllardan beri Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu – ISO bünyesinde bulunan teknik komiteler tarafından çeşitli gereksinimler oldukça oluşturulmakta ve geliştirilmektedir. Toleranslandırma (spesifikasyon) ve metroloji (doğrulama) ile ilgili standartların düzenlenmesi ve tutarlılığın sağlanması amacıyla, 1996 yılından itibaren ISO/TC 213, ‘Boyutsal ve Geometrik Ürün Spesifikasyonu’ üzerinde çalışmaktadır. ISO/TC 213, Avrupa organizasyonunda bulunan benzer komitelerden CEN/TC 290 ile yakın işbirliği içindedir. Viyana anlaşmasına göre bu iki komite tarafından yapılan bütün çalışmalar paralel olarak yürütülmektedir. ISO ve CEN tarafından hazırlanan GPS dokümanları özdeştir.

GPS kapsamında birçok tanım ve terim bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri de yüzey model olarak (Skin-Model) adlandırılan araştırmadır[6]. Yüzey model, iş parçası ve çevresi arasındaki fiziksel arayüzün geometrik modelidir. Bu model, iş parçasının ideal özelliklerine dayanarak gerçek özellikleri tanımlar.

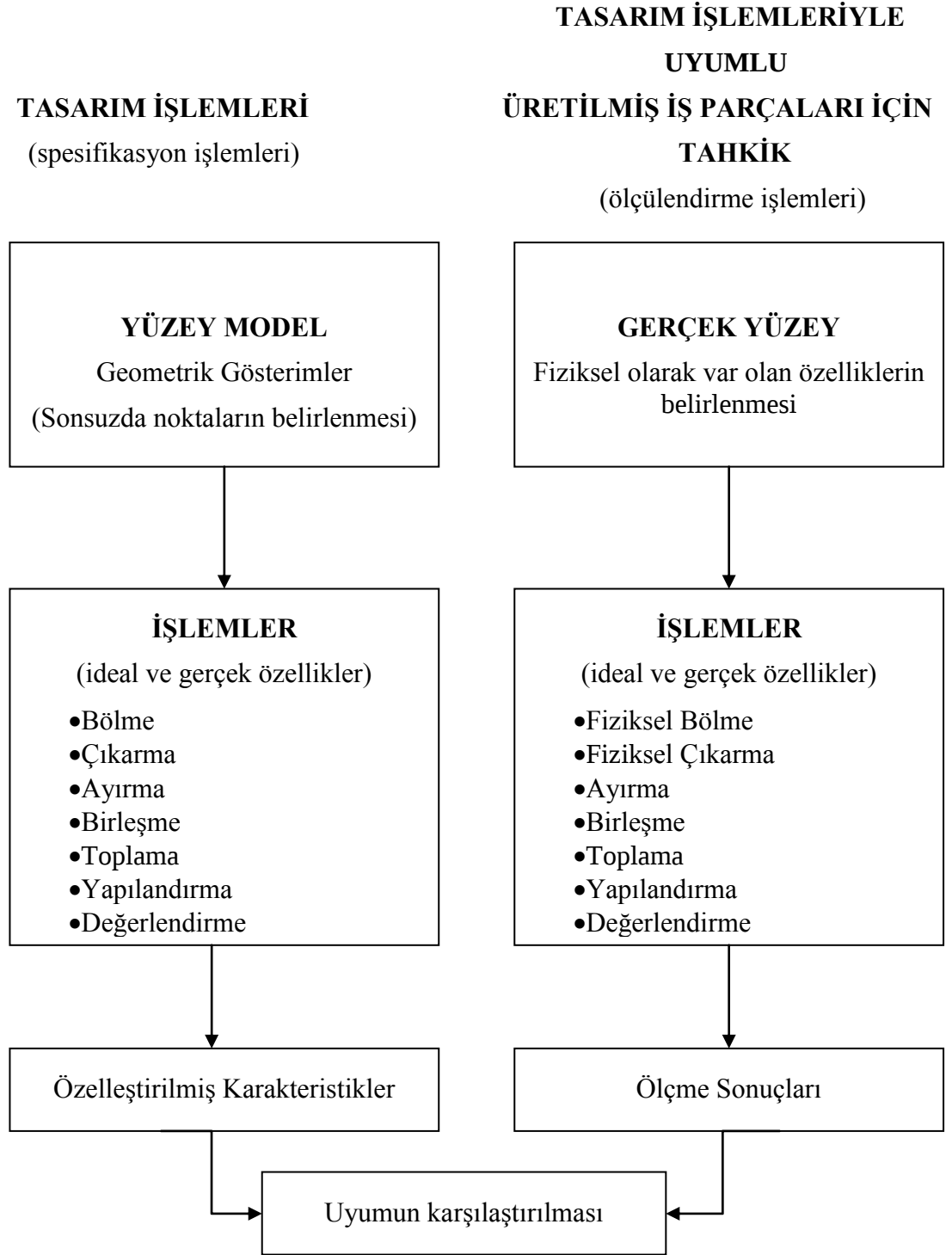


Şekil 2.3 Gerçek model ve yüzey model (Skin-Model)

Yüzey model, genel tanımlara ve işlemlere dayanır[7]. Bu işlemler matematikteki aritmetik işlemler gibidir. Yüzey modelde kullanılan işlemler şunlardır:

- Bölme
- Çıkarma
- Ayırma
- Birleşme
- Toplama
- Yapılandırma
- Değerlendirme

Şekil 2.4’ de tasarım işlemleri ve üretilmiş iş parçalarının tahkiki arasındaki paralel prosedürler gösterilmektedir.

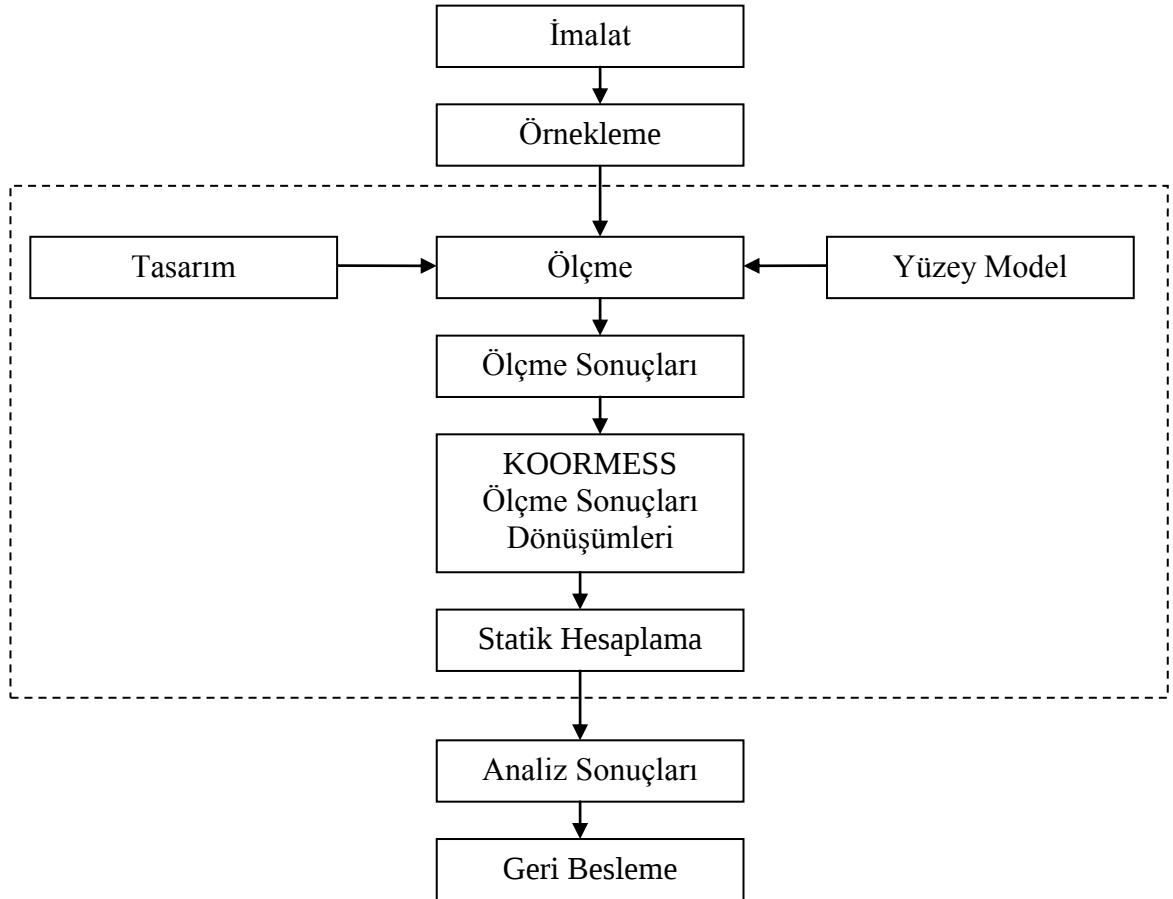


Şekil 2.4 Tasarım işlemleri ve üretilmiş iş parçası tahkikinin karşılaştırılması

Endüstri koşulları altında, üretim süreçleri ikiye ayrılabilir:

- 1.Test grubunun süreçleri: Kalite kontrol departmanının bütün asıl faaliyetlerini kapsar. Bu görevlere örnek olarak; ölçme, ölçme sonuçlarını çevirme vb. verilebilir.
- 2.Test yapmayan grup, diğer bütün faaliyetleri üstlenir.

İş parçaları örnekleri, imalat veya üretimden sonra toplanır. İlk adım olarak, yüzey model yardımı ile sembolik geometrik karakteristikler ve özellikler belirlenir[8]. Kalite kontrol yapılacak iş parçalarının her çeşidi için örnekler en az 15 adet olmalıdır. Bu iş parçaları hassas ölçme laboratuvarında koordinat ölçme cihazlarıyla ölçümlendirilir. KOORMESS uygulamasıyla, toplanan ölçüm verileri daha fazla hesaplama ve araştırma için istenilen veri formatına çevrilir.



Şekil 2.5 GPS kapsamında ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

GEOMETRİK ÜRÜN SPESİFİKASYONUNUN – GPS TEMELİNDE GEOMETRİK TOLERANSLAR

Üretim mühendisliğinde, genel olarak tam ölçülere ve geometriye sahip iş parçaları üretmek imkânsızdır. Ayrıca, çeşitli şekillerdeki iş parçalarını üretirken az ya da çok sapmalar olacağından mükemmel şekli ulaşılmaya çalışmak pratik olmayabilir. İdeal şekil ve gerçek şekil arasındaki farklılıklara geometrik sapmalar denilmektedir. Teknik resimlerde çizilen ve belirtilen ideal şekil ile iş parçasının gerçek şekli arasındaki bu sapmalar tolerans sınırları içerisinde olmalıdır[9]. Toleransların şekilleri genel bir geometrik özelliğe göre düzenlenir. Örneğin; silindirik iş parçaları için farklı çeşitlerde sapmalar bulunmaktadır: Eksenin teknik resimdeki düz doğrultusundan farklı doğrultulara sapmalar bulunabilir.

Eğer işlenmiş parçalar bütün olarak ele alınırsa, şekil ve çevre koşulları arasındaki etkileşimler sonucu konum ve yön sapmaları meydana gelebilir. Bir iş parçasının şekli istenilen özellikler nedeniyle karmaşık olur[10]. Bu nedenle, uygun ölçü ve şekillerin dışında, uygun yön ve konuma da ihtiyaç duyulur. Örneğin, iki silindirik yüzeyin ortak eksene sahip olması istenebilir. Fakat imalat çevriminde bu amaca tam olarak ulaşmak mümkün değildir. Parçaların ortak konum ve yönlerini belirli sınırlara koymak amacıyla konum, yön ve salgı toleransları belirlenmiştir. Geometrik toleranslar gerçek şekilde bulunan konum ve yön sapmalarını limitler içine alır. Konum ve yön ile ilgili üç tolerans: yön toleransları, konum toleransları ve salgı (koşma) toleranslarıdır[11].

Şekil 3.1’de şekil ve konum toleransları sembolleri gösterilmiştir.

GEOMETRİK TOLERANSLAR VE ÖNEMLİ İŞARETLER

	DÜZLEMSELLİK	
	DAİRESELLİK	
	SİLİNDİRİKLİK	
	DOĞRUSALLIK	
	DİKLİK	
	PARALELLİK	
	EĞİKLİK/AÇISALLIK	
	EŞMERKEZLİLİK	
	SİMETRİKLİK	
	YANAL SALGI	
	TOPLAM SALGI	
	KONUM	
	KONİKLİK	
	ÇİZGİ PROFİLİ	
	YÜZEY PROFİLİ	

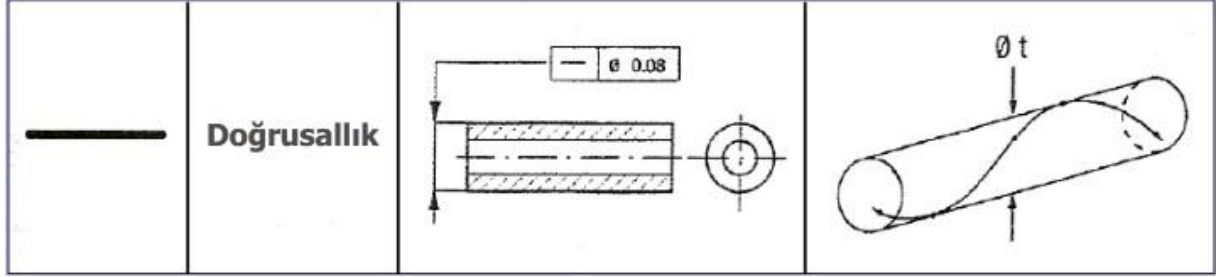
Şekil 3.1 Şekil ve konum toleransları sembolleri

3.1 Şekil ve Konum Toleransları Örnekleri

3.1.1 Doğrusallık Toleransı

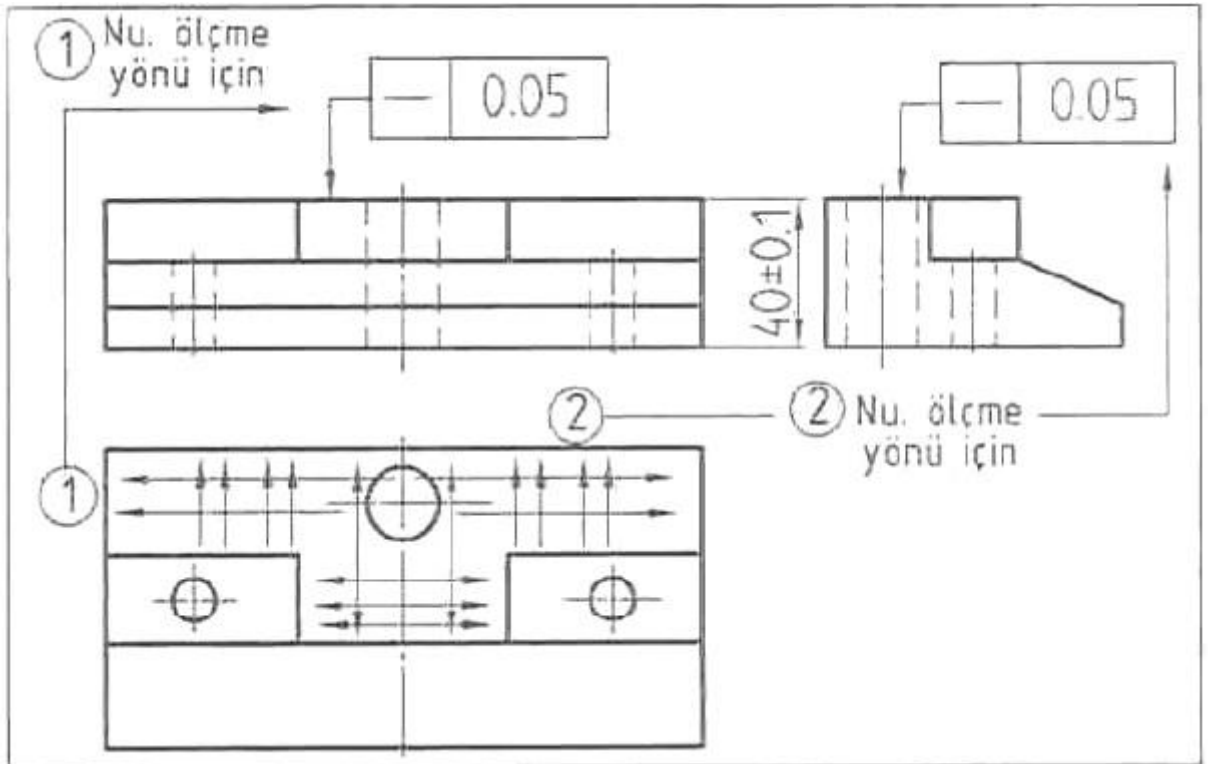
Doğrusallık, bir yüzeye veya bir eksene ait elemanların, sınırları belirlenmiş bir bant içerisinde bulunmaları koşuludur[12].

Doğrusallık toleransı, kontrol edilen yüzey veya eksene ait tüm elemanların içinde bulunması istenilen bant genişliğidir.



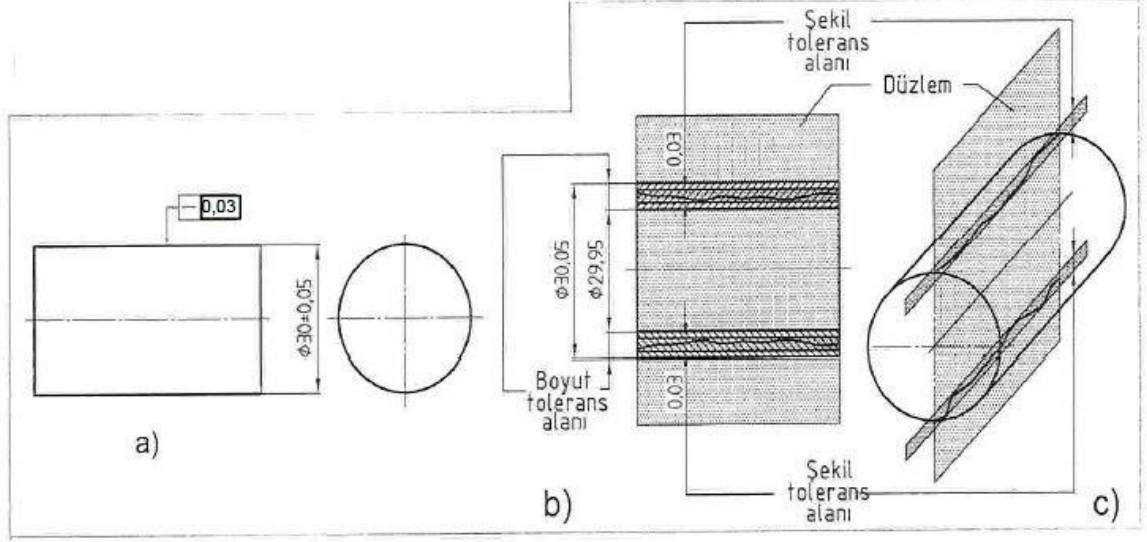
Şekil 3.2 Doğrusallık toleransı

Düzlem yüzeylerde doğrusallığın her iki yönde belirtilmesi gerekiyorsa, tolerans değerleri her iki görünüş üzerinde verilmelidir [13] (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Düzlem yüzeylerde doğrusallık

Şekil 3.4a’da silindir boyunca alınan bir doğrunun doğrusallığının 0.03 mm değeri içerisinde bulunabileceği gösterilmiştir. Silindir yüzeyi üzerinde alınan her bir doğrunun aralarında 0.03 mm bulunan iki çizgi arasında bulunma zorunluluğu vardır (Şekil 3.4b). Silindirin eksenini, tolerans bölgesini sınırlayan çizgiler ile aynı düzlem üzerinde bulunur (Şekil 3.4c).

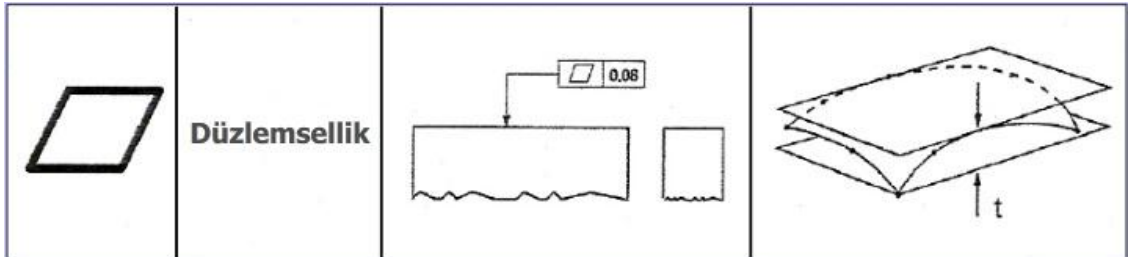


Şekil 3.4 Silindir parçalarda doğrusallık

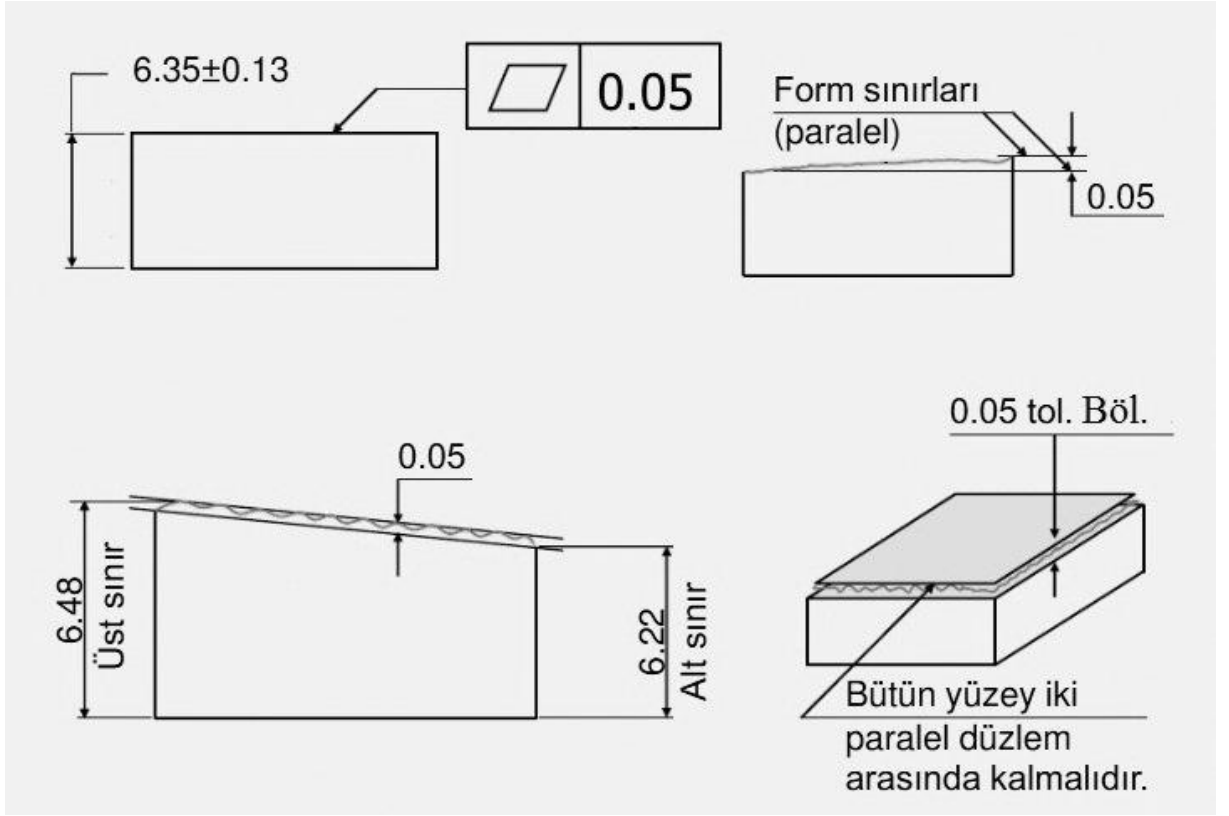
3.1.2 Düzlemsellik Toleransı

Düzlemsellik, bir yüzeye ait bütün elemanların paralel iki düzlem arasında bulunma koşuludur[14].

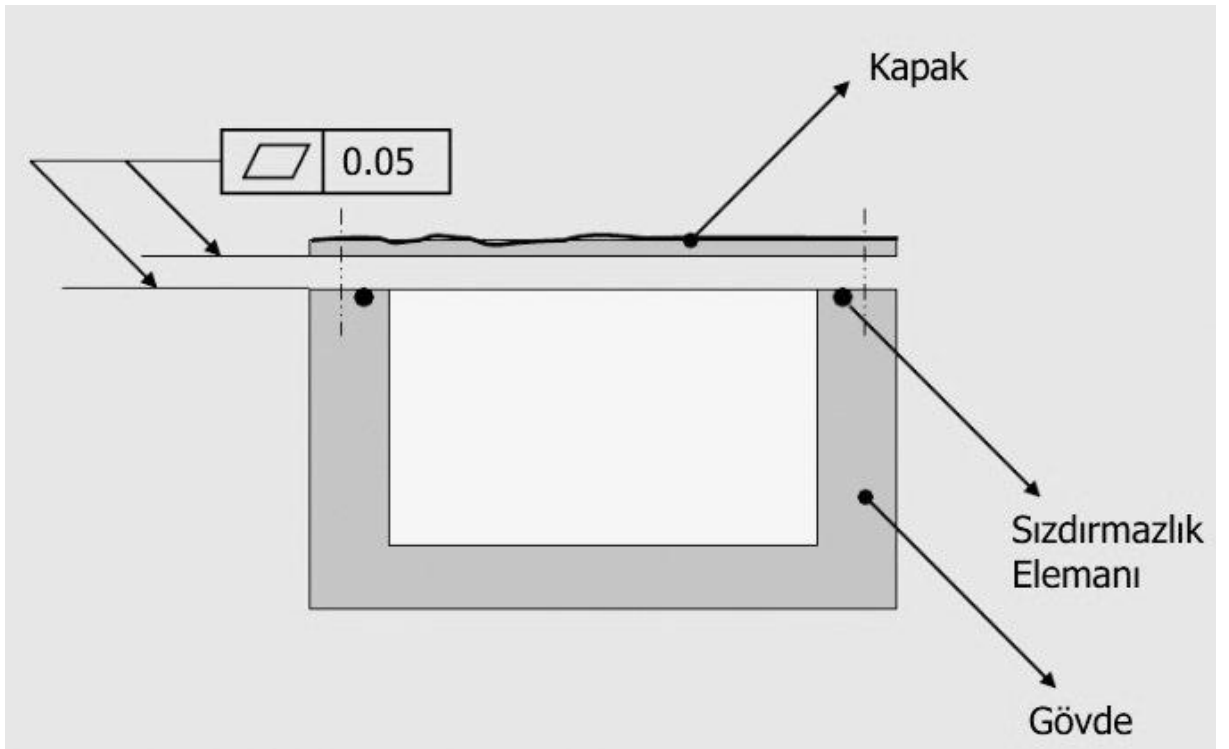
Düzlemsellik toleransı, kontrol edilen yüzeyi içine alan iki düzlem arasında bulunan genişliktir. Düzlemsellik toleransı, düz yüzeylere uygulanır[15].



Şekil 3.5 Düzlemsellik toleransı



Şekil 3.6 Düzlemsellik tolerans bölgeleri



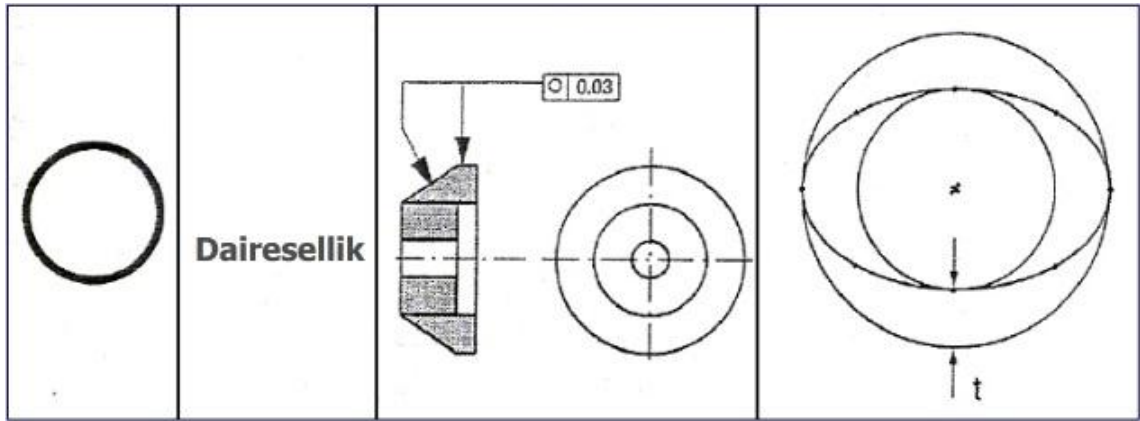
Şekil 3.7 Düzlemsellik toleransı örneği

3.1.3 Dairesellik Toleransı

Dairesellik aşağıdaki durumlar için aranan koşuldur:

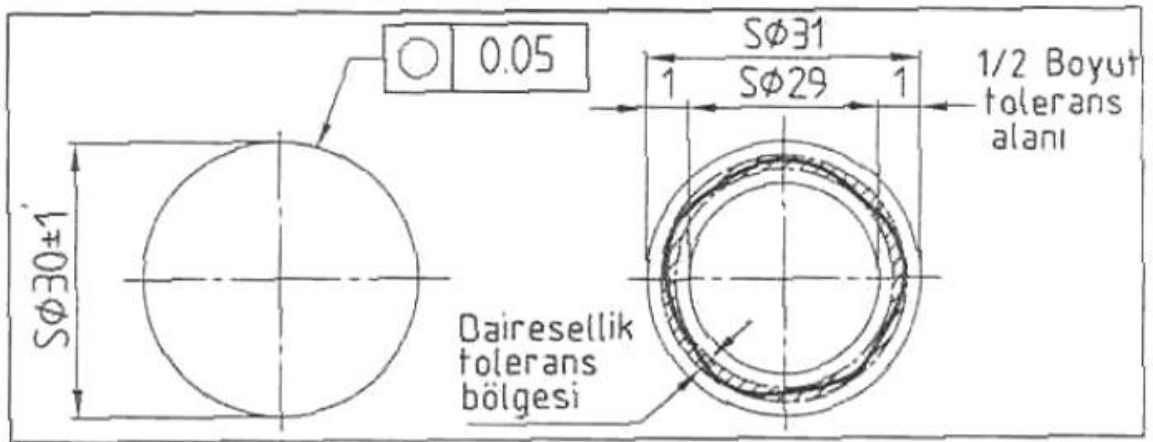
- Silindir veya konide, eksene dik herhangi bir kesitin dış zarfı üzerindeki noktaların tümü eksenden eşit mesafede olmalıdır.
- Kürede ortak merkezden geçen bir düzlemin kestiği küre dış yüzeyine ait tüm noktalar küre merkezinden eşit uzaklıkta bulunmalıdır.

Dairesellik toleransı, bir yüzeyin bütün dairesel elemanlarının içerisinde bulunması gereken, eş merkezli iki daire arasında kalan bölgedir[16]. Dairesellik toleransı, şekil bakımından kontrol edildiğinden, ayrı bir referans elemanı verilmez.



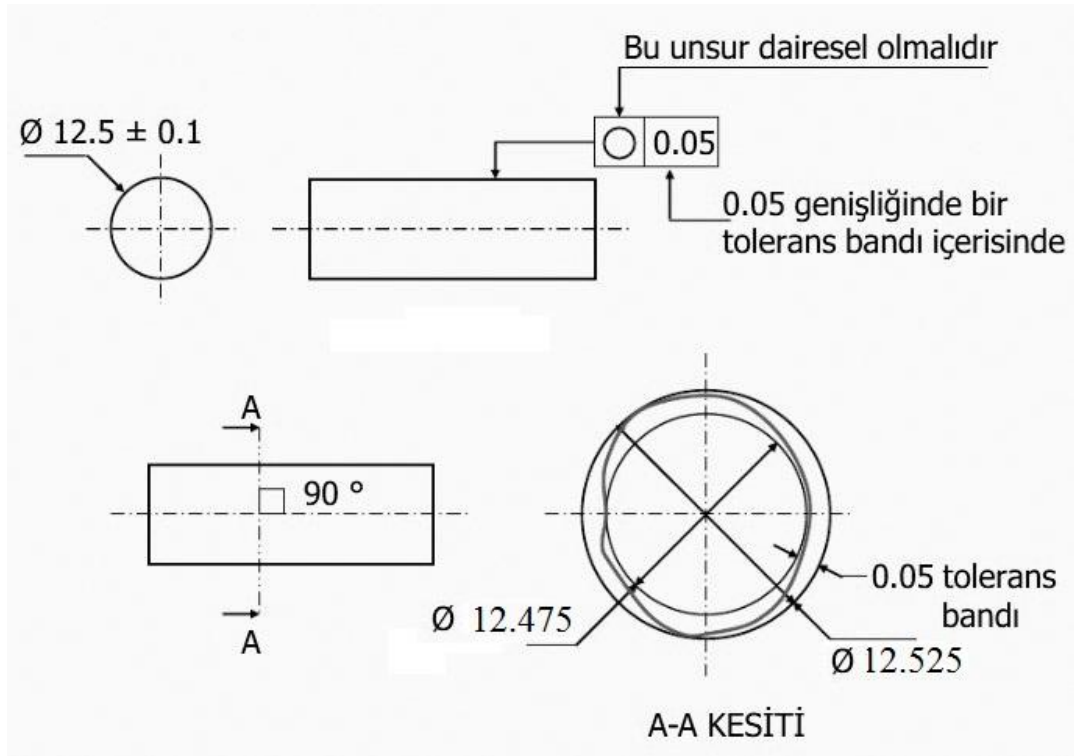
Şekil 3.8 Dairesellik toleransı

Küre parçalara dairesellik toleransı uygulanabilir (Şekil 3.9).



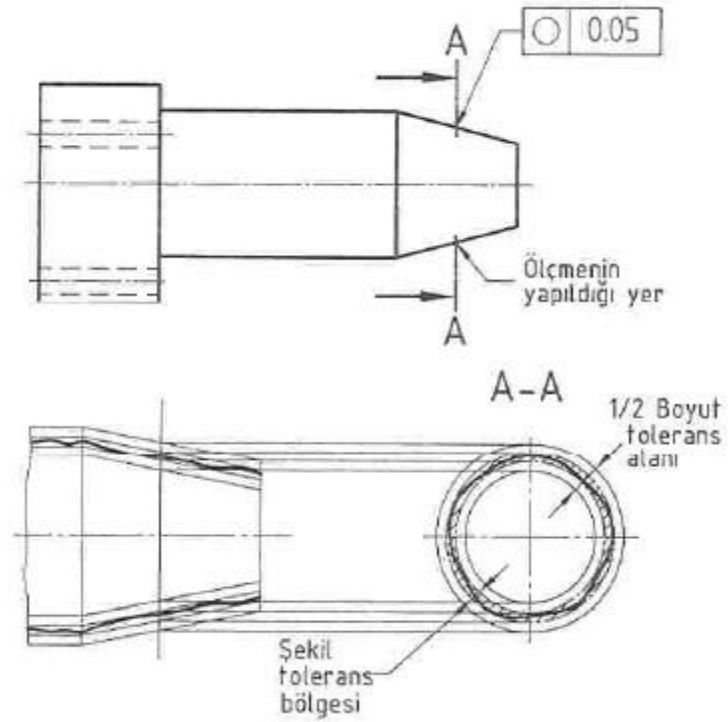
Şekil 3.9 Küre parçalarda dairesellik toleransı

Silindirik parçalarda dairesellik, silindir boyunca herhangi bir kesitte uygulanabilir[17].



Şekil 3.10 Silindirik parçalarda dairesellik toleransı

Konik parçalarda dairesellik uygulamalarına bir örnek Şekil 3.11’ de gösterilmiştir.

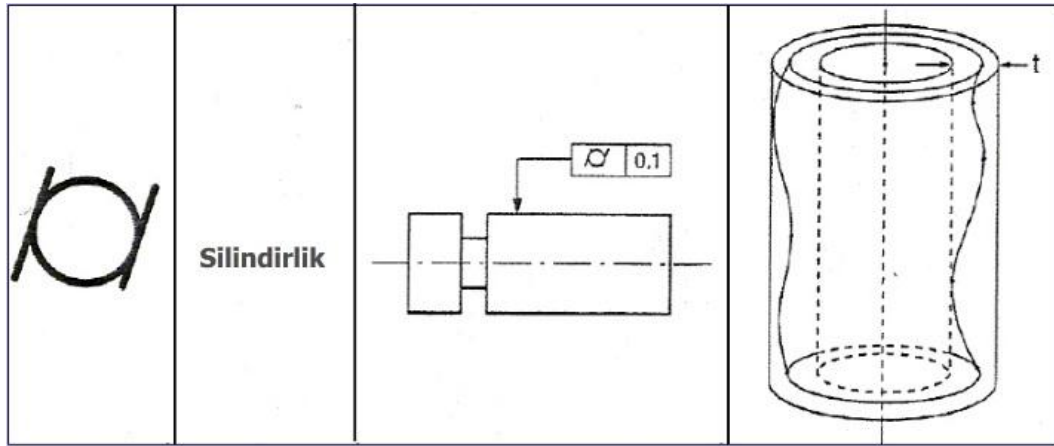


Şekil 3.11 Konik parçalarda dairesellik toleransı

3.1.4 Silindiriklik Toleransı

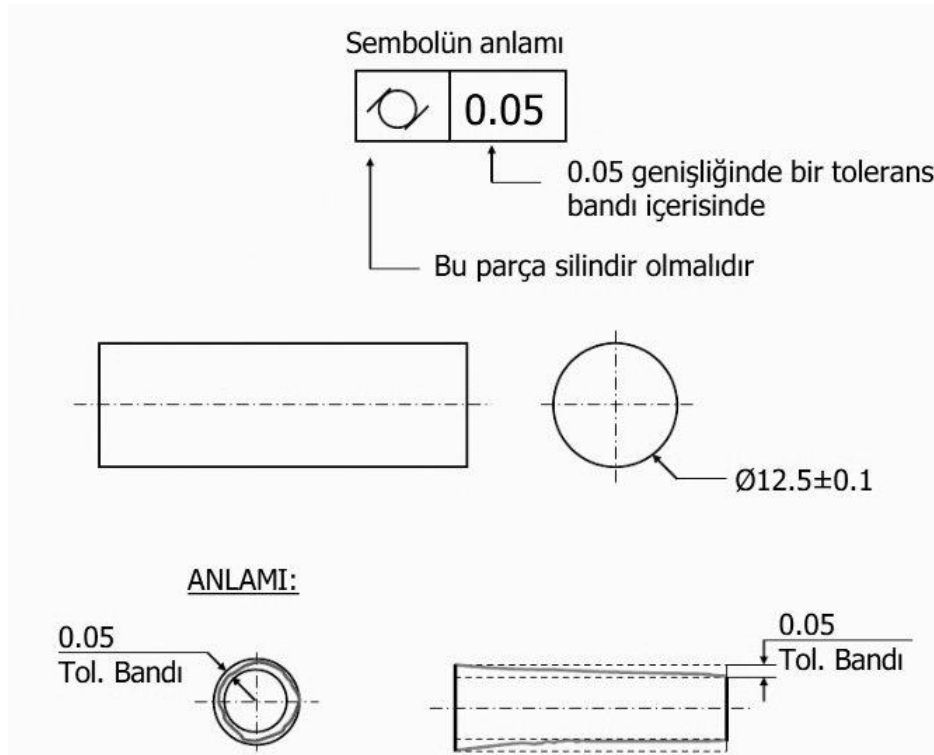
Silindiriklik, bir dönme yüzeyine ait elemanların dönme ekseninden eşit uzaklıkta bulunmaları koşuludur[18].

Silindiriklik toleransı, yüzeyin içerisinde bulunması gereken, eş eksenli iki silindir arasındaki yarıçap farkıdır.



Şekil 3.12 Silindiriklik toleransı

Silindiriklik toleransı, dairesellik toleransından farklı olarak yüzeylere uygulanır. Bu tolerans da referans gerektirmez[19].



Şekil 3.13 Silindiriklik tolerans bölgeleri

3.1.5 Çizgi ve Yüzey için Referans Sistemi ile Toleranslandırma

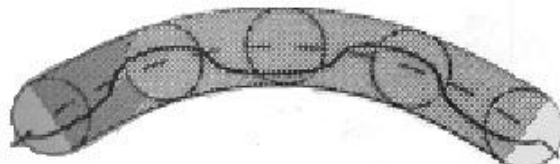
Temel olarak, çizgi ve yüzey profillerinin toleranslandırılması, iş parçasının şekil özellikleri ile ilgilidir. Yön ve konum özellikleri, belirlenmiş referans sisteminde tanımlanmış toleranslar ile sınırlandırılabilir. Çizelge 3.1 EN ISO 1101 GPS – iş parçalarının özelliklerine göre şekil, yön ve konum geometrik toleranslandırılması ile ilgilidir.

Çizgi ve yüzey profilleri toleranslarının üç kategorisi birbirlerinden bağımsızdır fakat belirli yönlerden benzerlikler gösterirler. Şekil toleransları en az kısıtlayıcı toleranslardır ve sadece teorik şekil ile ilgili sınırlamalar içerir. Yön toleransları ise şekil ile birlikte yön sınırlamalarını da kapsar. Son olarak, konum toleransları bu üç karakteristik üzerinde de sınırları belirtir ve en kısıtlayıcı toleranslardır. İş parçası üzerinde çizgi ve yüzey profilleri için tolerans seçimi dikkatli yapılmalıdır. En uygun seçim için iş parçası üretiminin maliyeti ve istenilen diğer değişken özellikler göz önüne alınmalıdır.

Çizelge 3.1 ISO 1101 kapsamında profil toleransları

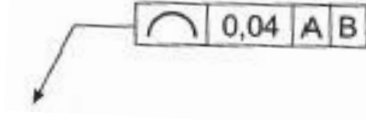
Toleranslar	Karakteristikler	Referans Gereği
Şekil	Çizgi profili	Yok
	Yüzey profili	Yok
Yön	Çizgi profili	Var
	Yüzey profili	Var
Konum	Çizgi profili	Var
	Yüzey profili	Var

Çizgi profil tolerans bölgesi, merkezi ideal çizgi üzerinde bulunan hayali çemberlere teğet olan iki çizgi arasında tanımlanır. İş parçasının tolerans uygulanan her bölümünde gerçek yüzey, tolerans bölgesinin içinde olmalıdır.



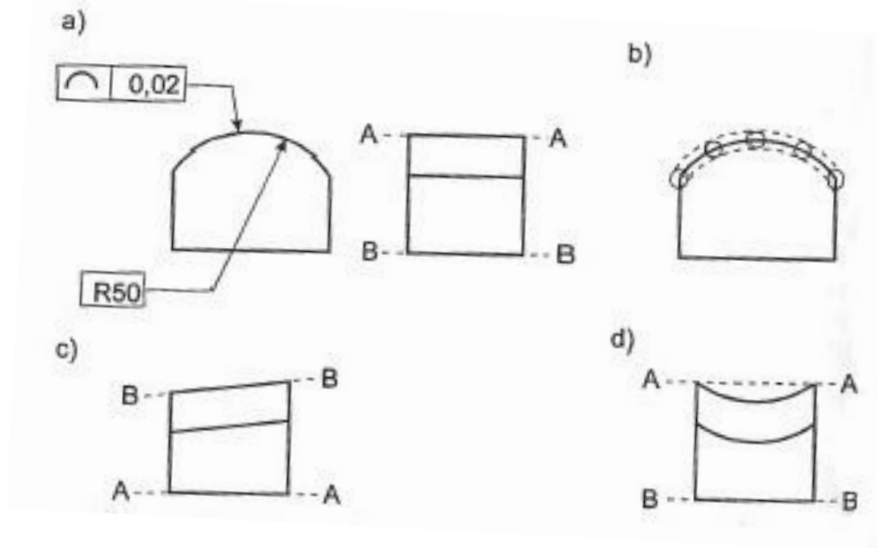
Şekil 3.14 Çizgi profil için tolerans bölgesi

Çizgi profilin yön ve konumu referans sisteme göre tanımlanır. Şekil 3.15 A ve B referanslarına göre tanımlanan tolerans çerçevesini göstermektedir.



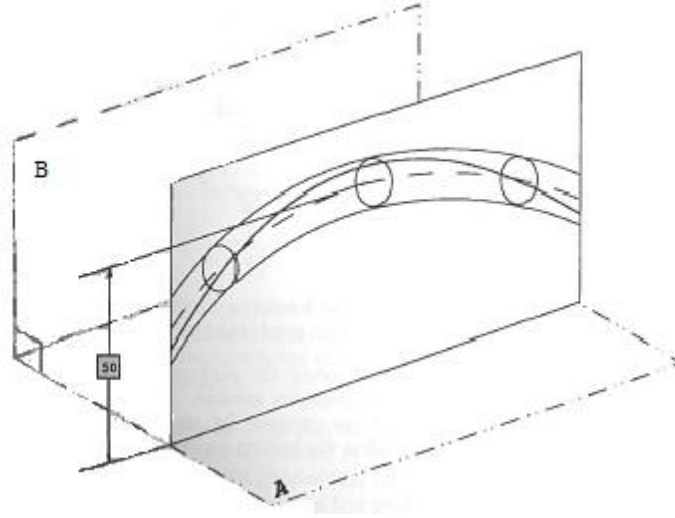
Şekil 3.15 A – B referanslarına bağlı çizgi profili için tolerans çerçevesi

İş parçası üzerinde bir çizgi profili için referans olmadan tolerans uygulamak geçerli olabilir. Fakat bu şekilde sadece geometrik şekil olarak çizgi profil toleranslandırılmış olur. Çizgi profili için konum ve yön açısından toleranslandırma referansa ihtiyaç duyar. Şekil 3.16a iş parçasının teknik resim görüşlerini göstermektedir. Buradaki tolerans çerçevesi ilişkilendirildiği gerçek yüzeyin, 0.02 mm genişlikte tolerans bölgesi ile sınırlandırıldığını göstermektedir. Şekil 3.16b tolerans bölgesini oluşturan ve merkezleri ideal yüzeyde bulunan daireleri göstermektedir. Şekil 3.16c farklı yönlere sahip, Şekil 3.16d farklı konumlara sahip iş parçasındaki A-A ve B-B profillerini göstermektedir. İş parçaları bu şekilde farklılıklar göstermektedirler.



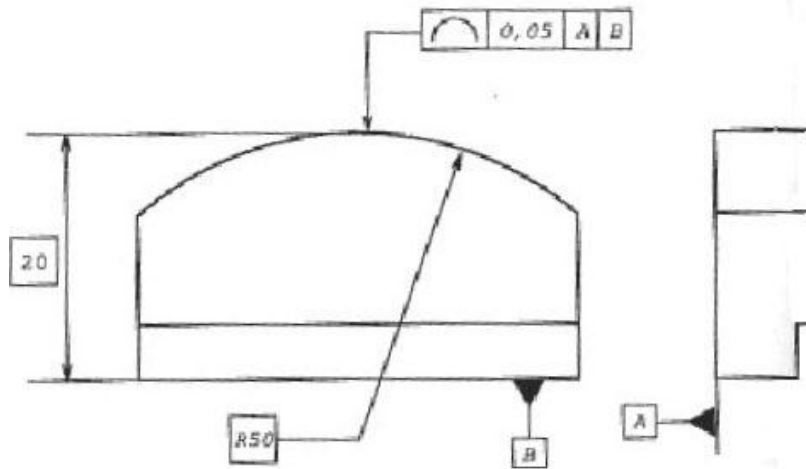
Şekil 3.16a Çizgi profil için toleransın teknik resimde gösterimi
b Çizgi profili için tolerans bölgesinin oluşturulması
c Farklı yönlerde iş parçası yüzeyleri
d Farklı konumlarda iş parçası yüzeyleri

Daha sınırlayıcı çizgi profili toleransı Şekil 3.17’ de referans sisteme bağlı olarak tanımlanmış ve gösterilmiştir. Burada ideal yüzeyin konum ve yönü B – B yüzeyini referans alarak sabitlenmiştir. B yüzeyine paralel olarak alınan her kesit için, gerçek yüzeyin A yüzeyine olan uzaklık değerleri benzerlik gösterir. Bu benzerlik derecesi tolerans bölgesi ile sınırlandırılmıştır. Bu şekilde referans sistemini bağlı olarak tanımlanan Şekil 3.16c ve Şekil 3.16d’ deki gibi geometriye sahip iş parçalarında, ideal çizgi profilinden sapmalar isteğe bağlı olarak büyüyemezler.



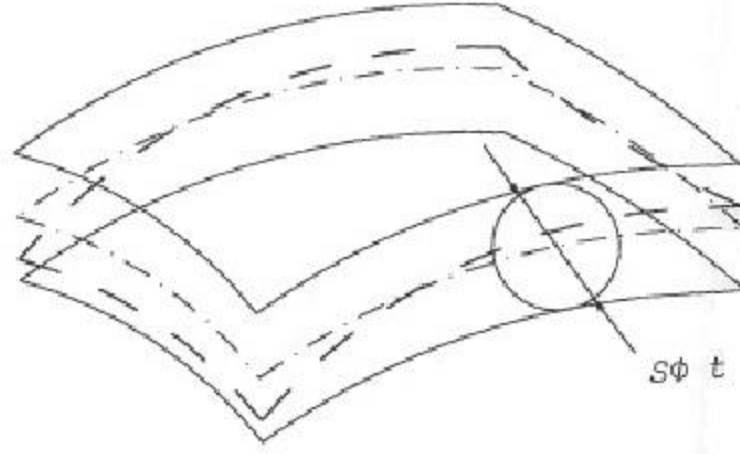
Şekil 3.17 Referansa bağlı çizgi profil için tolerans bölgesi

Şekil 3.18’ da A ve B referans sistemine bağlı olarak çizgi profilin tolerans çerçevesini göstermektedir. A yüzeyine bağlı olarak alınan her kesit için gerçek yüzey A ve B yüzeyine göre sabitlenmiş 0,05 mm tolerans bölgesi içerisinde bulunmalıdır.



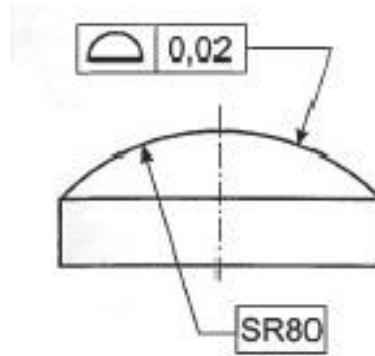
Şekil 3.18 Referans sisteme bağlı olarak tanımlanmış çizgi profil toleransı

Yüzey için tolerans bölgelerini belirleme metodu, çizgi profiller için belirlenen tolerans bölgelerinin geliştirilmiş hali olarak düşünülebilir. İdeal yüzeyin kesitinde merkezleri bulunan dairelere teğet olan ve ideal yüzeye paralel bulunan iki yüzey arasındaki bölge yüzey profiller için tolerans bölgesini oluşturmaktadır.



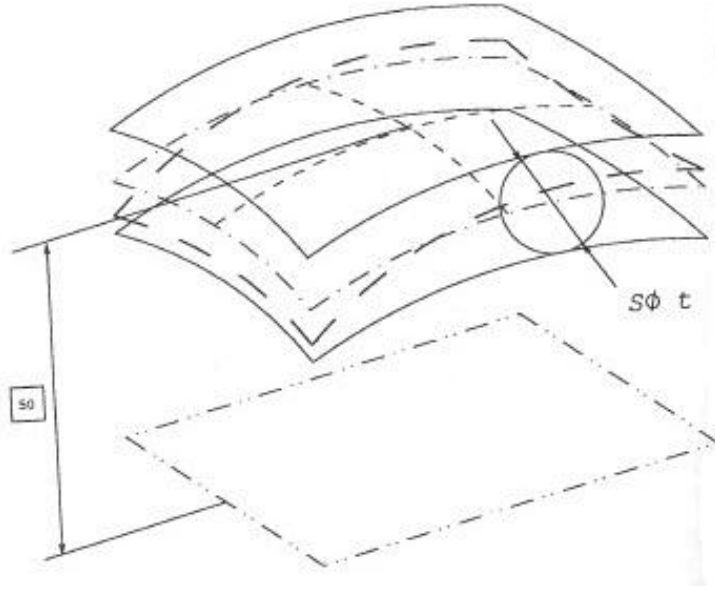
Şekil 3.19 Yüzey profil için tolerans bölgesi

Şekil 3.20' deki sembol referans sisteme bağlı olmadan tolerans bölgesini belirtmektedir. Tolerans bölgesi çapı 0,02 mm olan ve merkezi ideal yüzey üzerinde bulunan dairelere teğet olan iki yüzey arasındadır. Konum ve yön toleransları referans sistem olmadan belirlenemez.



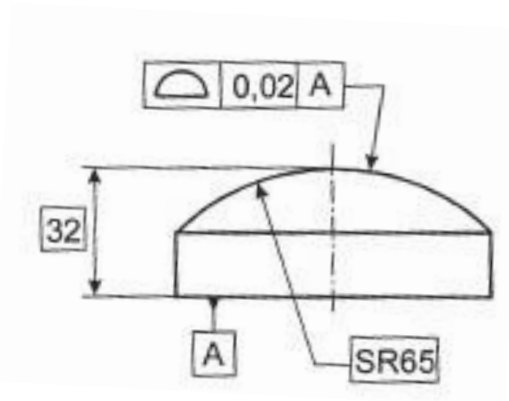
Şekil 3.20 Referans sistem olmadan yüzey profili toleransı

Şekil 3.21’de ve Şekilde 3.22’de referans sistemine bağlı olarak belirtilmiş tolerans bölgesi yukarıdakiler ile aynı özelliklere sahip olmalarına rağmen, kesin geometrik şekil kesin ölçüler ile sabitlenmiştir. Çizgi profilinde olduğu gibi, referans sistemine dayanan tolerans bölgesi daha sınırlayıcıdır.



Şekil 3.21 Referans sisteme bağlı olarak yüzey profili toleransı

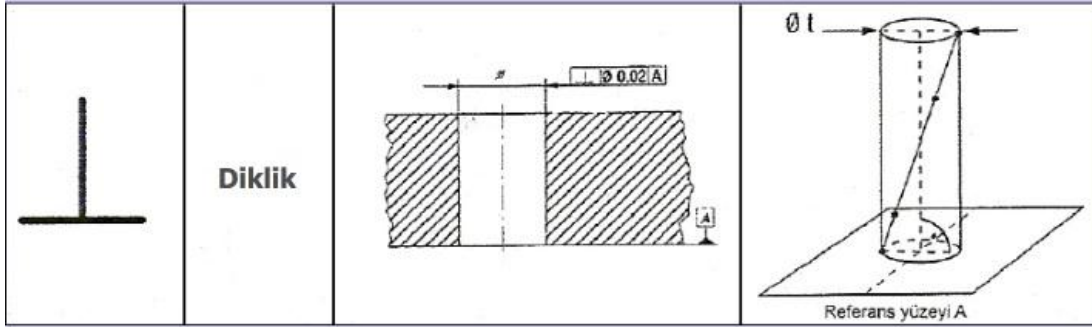
Kesin olmayan gerçek yüzey verileri biliniyorsa, referans sistemi olmadan tolerans bölgesi belirlenebilir. Aynı özelliklere sahip olan tolerans bölgesi referans sisteme tekrar ilişkilendirilirse gerçek yüzey belirlenmiş tolerans bölgesi içerisinde olmayabilir.



Şekil 3.22 Referans sisteme bağlı olarak yüzey profili toleransı ve sembolü

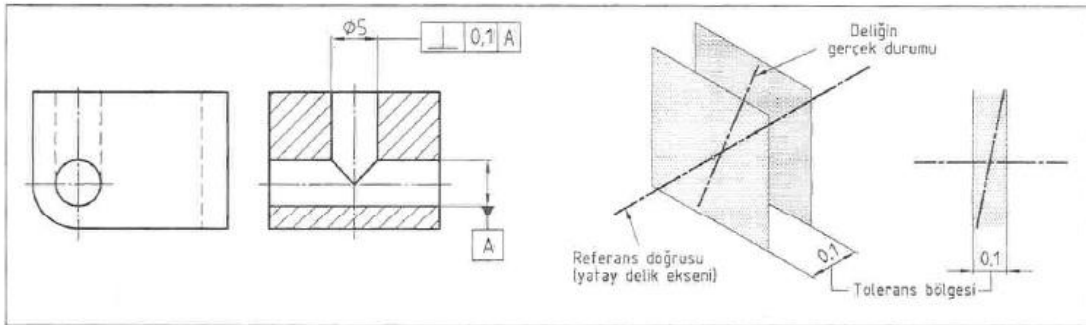
3.1.6 Diklik Toleransı

Diklik, bir yüzey, orta düzlem veya eksenin bir referans düzlem veya eksenine 90° olması koşuludur. Diklik toleransı, dik olması istenilen unsurun içerisinde bulunması gereken, paralel iki yüzey arasındaki açıklığın ölçüsüdür.

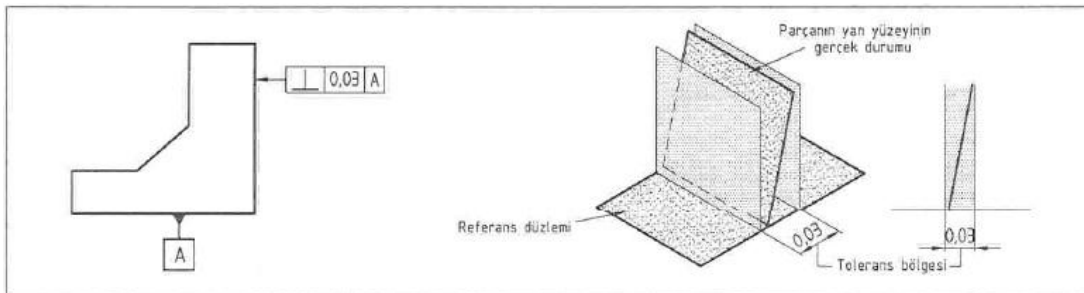


Şekil 3.23 Diklik toleransı

Diklik toleransı için referans elemanı kullanılır. Hem düz hem silindirik elemanlar için uygulanabilir. Referans elemanı genel olarak eksen ve düzlemler kullanılır. Bu iki referans elemanına bağlı olarak diğer eksen veya düzlemler diklik toleransı ile toleranslandırılırlar.



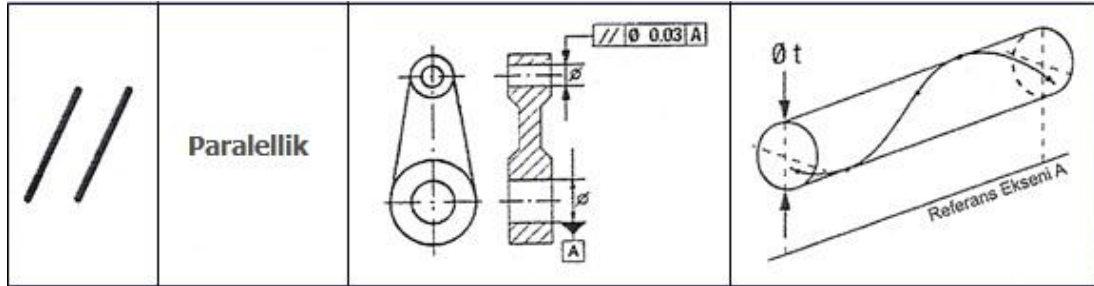
Şekil 3.24 Referans eksene göre diğer bir eksenin diklik toleransı



Şekil 3.25 Referans düzleme göre diğer bir düzlemin diklik toleransı

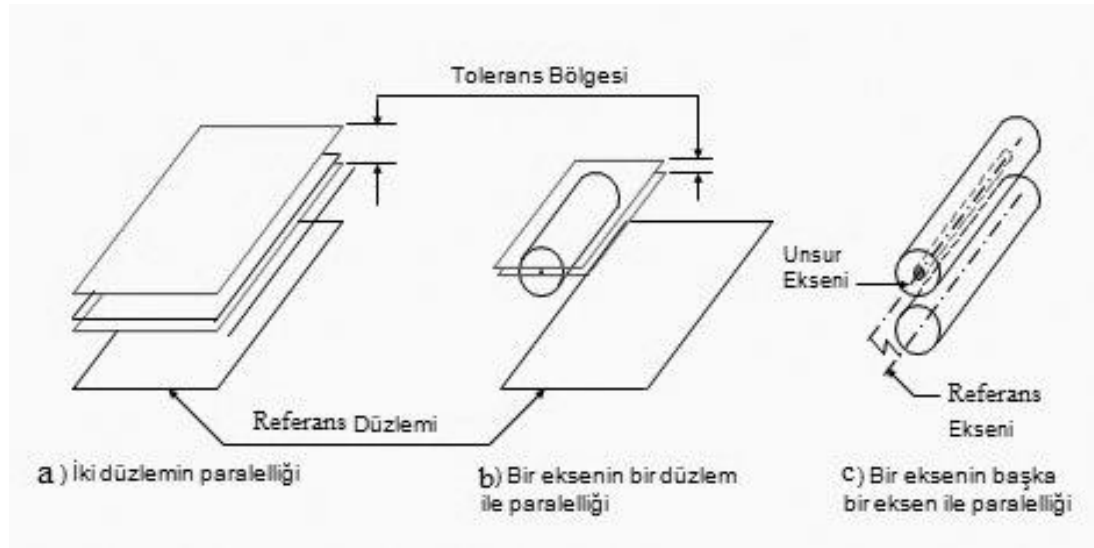
3.1.7 Paralellik Toleransı

Paralellik, bir yüzey veya eksene ait bütün elemanların bir referans elemandan eşit uzaklıkta olması durumudur.



Şekil 3.26 Paralellik toleransı

Paralellik tolerans bölgesi, referans elemanına göre değişim gösterir. Referans olarak düzlem kabul edilirse, tolerans bölgesi birbirine paralel iki düzlem arasında olurken (Şekil 3.27a-b) referans olarak eksen alınırsa, tolerans bölgesi genellikle istenilen unsuru kapsayan tolerans çapında silindir olmaktadır (Şekil 3.27c).

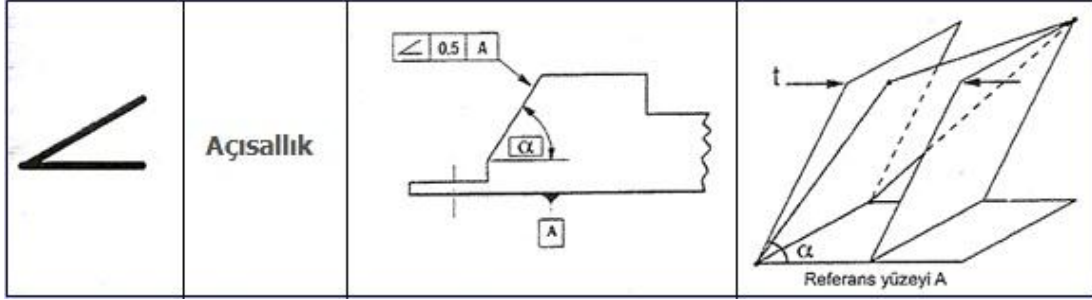


Şekil 3.27 Paralellik tolerans bölgeleri

3.1.8 Açısallık (Eğrilik) Toleransı

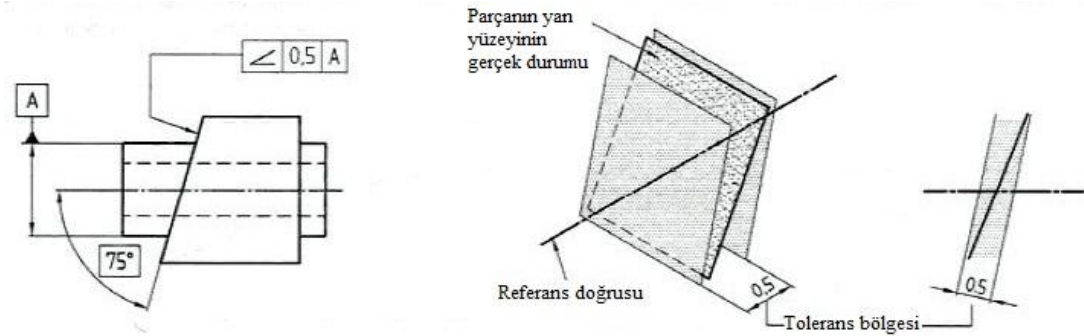
Açısallık, bir yüzey, orta düzlem veya

eksenin bir referans düzlem veya eksenine göre belirtilen bir açıda (90° dışında) olması durumudur.

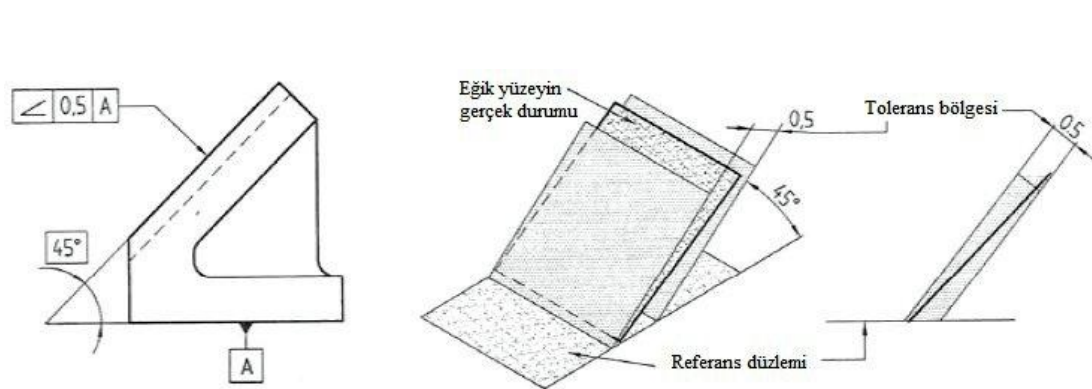


Şekil 3.28 Açısallık toleransı

Açısallık toleransı, içerisinde toleranslandırılmış yüzeyini eksenin veya orta düzlemin bulunmasının istendiği, referans düzlemine veya eksenine göre tam belirtilen açıda olan, paralel iki yüzey arasındaki bölgedir.



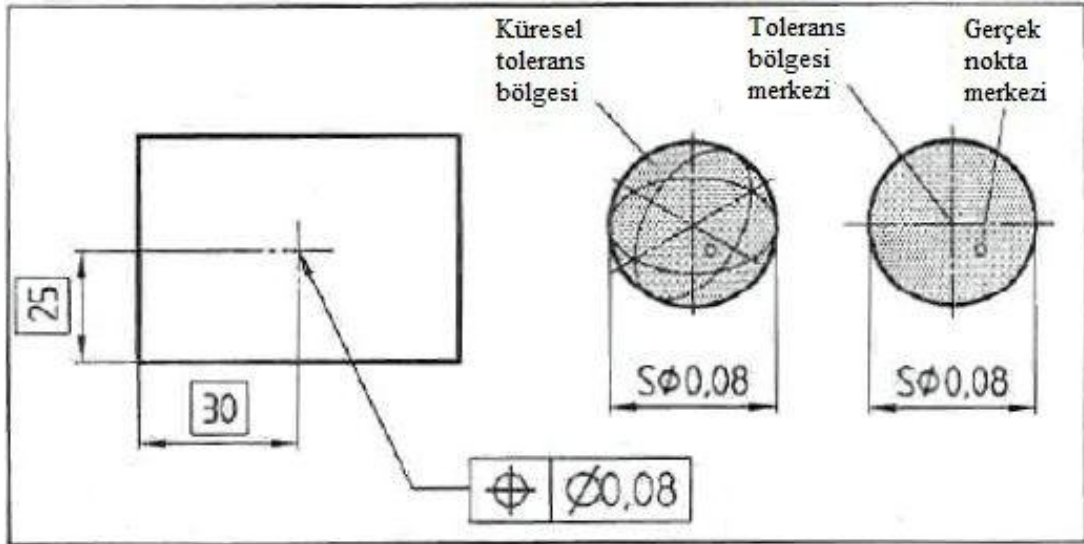
Şekil 3.29 Referans eksen ile açısallık toleransı bölgesi



Şekil 3.30 Referans düzlem ile açısallık toleransı bölgesi

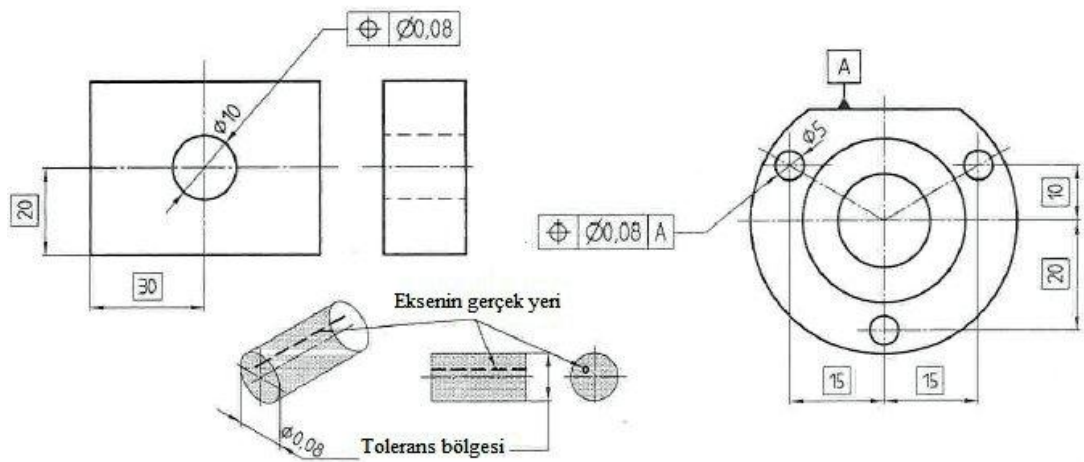
3.1.9 Konum Toleransı

Konum, bir elemanın tam yerini tanımlar. Tolerans bölgesi, söz konusu olan merkez, noktanın temel konumunda, bir küre veya bir daire ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 3.31 Konum toleransı bölgeleri

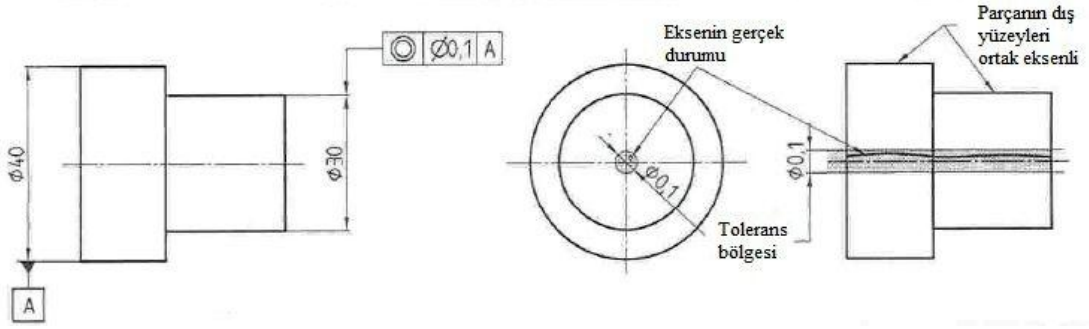
Şekil 3.32’de görüldüğü gibi Ø işaretini, tolerans değeri takip ederse, söz konusu eksen çizginin teorik konumu içinde bir silindir ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 3.32 Eksenin konum toleransı

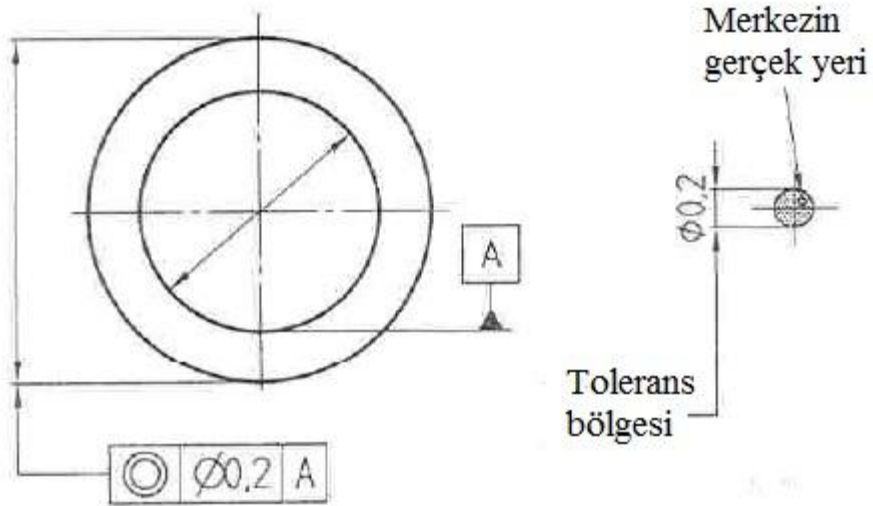
	Eş Eksenlilik		
---	----------------------	---	---

Şekil 3.35’de kademeli silindirik bir parçada eş eksenlilik toleransı örneği verilmiştir.



Şekil 3.35 Silindirik bir parçada eş eksenlilik toleransı bölgesi

Eş merkezlilik tolerans bölgesi, merkezi tolerans noktasıyla çakışan bir daireyle sınırlanır.

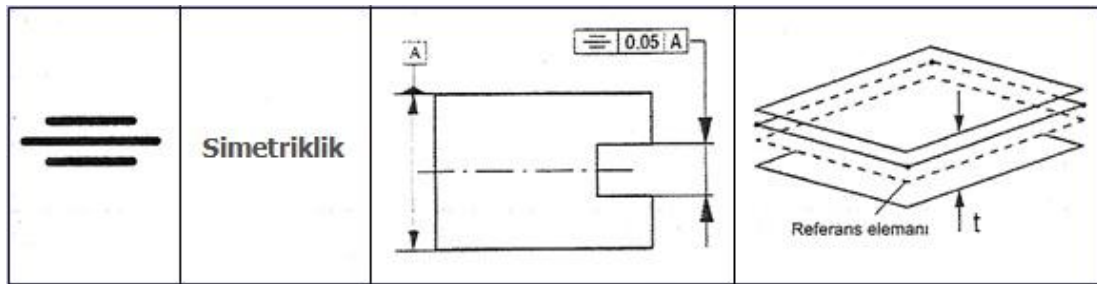


Şekil 3.36 Eş merkezlilik toleransı bölgesi

3.1.11 Simetriklik Toleransı

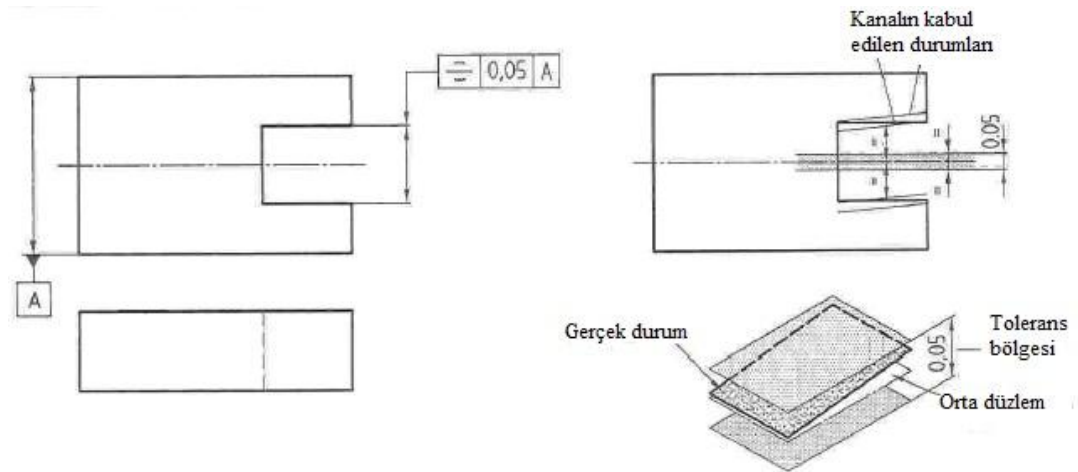
Simetriklik, bir elemanın bir referans düzlemine veya başka bir elemana göre simetrik olması koşuludur.

Simetriklik toleransı, kontrol edilecek elemanın içinde bulunması gereken tolerans bölgesinin genişliğidir. Bir çizginin veya düzlemin simetriklik toleransında, tolerans bölgesi iki doğru veya iki düzlemlle sınırlanmış veya dikdörtgen prizma şeklinde olabilir.



Şekil 3.37 Simetriklik toleransı

Simetriklik toleransı, eş eksenlilik toleransının silindirik olmayan bir parçaya uygulanmış hali gibidir.



Şekil 3.38 Simetriklik tolerans bölgesi

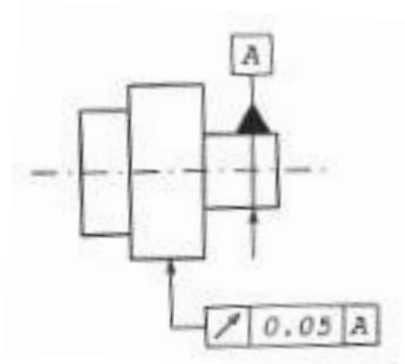
3.1.2 Salgı Toleransı

Salgı toleransı genel olarak iş parçalarındaki silindirik yüzeylerin, teorik olarak kesin belirtilmiş silindirik yüzeylere göre sapmalarını sınırlandırır. Bu nedenle, tolerans bölgeleri daire veya silindirik bir bölge olmaktadır ve belirlenmiş tolerans değerlerine göre çap değerleriyle belirtilmektedir. Dairesel salgı ve toplam salgı olarak ikiye ayrılabilirler. Bu iki tolerans arasındaki fark, tolerans bölgeleriyle ilişkileri ve yüzey üzerindeki farklı noktaların ölçümlendirilmesinden meydana gelmektedir.

Dairesel ve toplam salgı toleransları eksene bağlı olarak tanımlanır. Bu nedenle, tolerans bölgeleri daima referans eksen sistemine bağlı olarak tespit edilir. Bu durum çizgi profilin konum ve yön için toleranslandırılmasına benzemektedir. Toleranslandırılan yüzey için salgı ekseninin tanımlanması önem teşkil eder. Salgı toleransının tanımlanması, iş parçasının geometrik özelliklerine ve ölçüm yönü – dönme eksenini arasındaki ilişkiye göre farklı kategorilere ayrılmıştır.

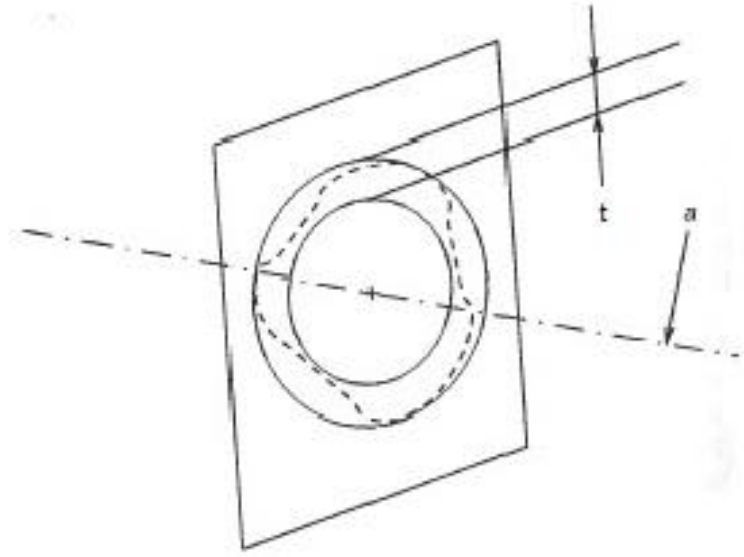
3.1.12.1 Radyal Yönde Dairesel Salgı Toleransı

Şekil 3.39’ da basit bir iş parçasının radyal yöne dik olan yüzeyindeki dairesel salgı toleransı tanımlanmıştır. Dönme eksenine paralel olan yüzey referans olarak alınmıştır ve A ile gösterilmiştir. Tolerans çerçevesi ilk bölmesinde dairesel salgı toleransı sembolü, ortadaki bölmede toleransın sayısal değeri ve son olarak referans sistem olan yüzey için atanan A sembolü belirtilmiştir. Tolerans çerçevesi tolerans uygulanan yüzeye ok yardımı ile ilişkilendirilmiştir. ISO standartlarına göre bu ilişkilendirme, özel durumlar dışında yüzeye dik olarak yapılmalıdır. Radyal doğrultuda salgı eksenine bağlı olarak tanımlanan tolerans radyal dairesel salgı toleransıdır.



Şekil 3.39 Radyal dairesel salgı toleransı

Şekil 3.40’ da radyal dairesel salgı tolerans bölgesinin şematik olarak gösterimi bulunmaktadır. Burada A referans yüzeyine bağlı olarak tanımlanmış salgı eksenini ve dönme eksenine dik olarak sabitlenmiş iki çember arasında bulunan tolerans bölgesi görülmektedir. Tolerans bölgesi kesitini göstermek amaçlı çizilen bu iki çember arasındaki radyal mesafe t olarak atanmıştır. Gerçek yüzeyin kesiti hatları bu tolerans bölgesi içerisinde bulunmalıdır. Şekil 3.40’i bu şekilde yorumlamak istersek, gerçek yüzeyin referans A eksenine dik olan yüzey kesitleri, radyal aralığı 0,05 mm olan bu iki daire dışına çıkmamalıdır.



Şekil 3.40 Radyal dairesel salgı tolerans bölgesi şematik gösterimi

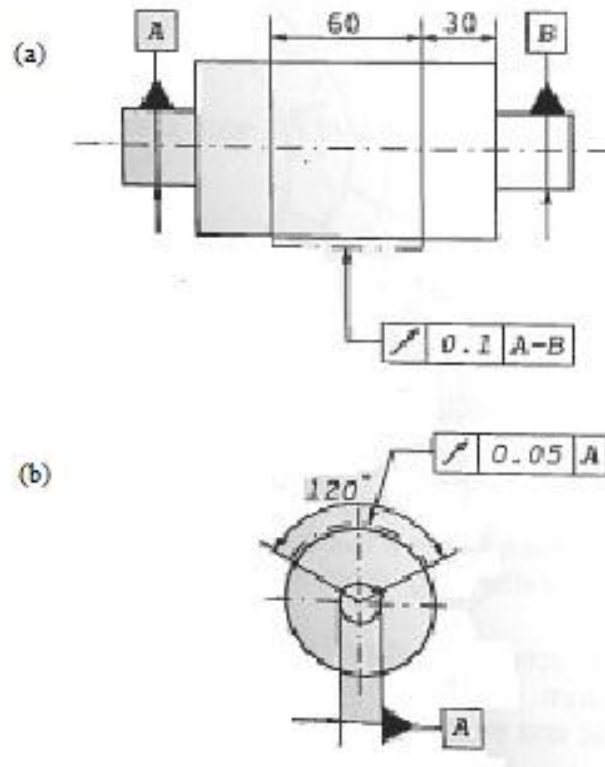
Salgı toleransı bölgesi, eksene dik olan düzlemde bulunan, merkezleri eksende olan ve radyal olarak aralarında t mesafe bulunan iki daire arasındadır. Kesik çizgilerle gösterilen gerçek yüzey tolerans bölgesi sınırları içerisinde bulunabilir.

Bu şekilde salgı toleransı uygulanan yüzey için alınan kesitlerde, tolerans bölgesini gösteren daireler sabit kalırken gerçek yüzey kesiti değişim gösterir. Yine de kesik çizgilerle gösterilen gerçek yüzey hiçbir zaman tolerans sınırlarını aşmamalıdır.

Toleransın sayısal değeri kadar geometrik olarak salgı toleransının tespiti yapılırken eksenin tanımlanması da önemlidir. Şekil 3.41’ de A referansı orta eksenin referans olarak bulunduğu eksenin özelliklerini tanımlar. Bu şekilde iş parçasının iki bölümünün orta eksenleri arasındaki ilişki belirtilir. Ayrıca, tolerans referans iş parçalarının kendi bölümlerinin orta eksenlerine bağlı olarak tanımlanabilir. Fakat bu şekilde iş parçasının iki bölümünün orta eksenleri arasında özel bir ilişki kurulmamış olur. İş parçasının farklı bölümlerinde farklı sapmalar ve farklı toleranslar olabilir. Toleranslar için seçilen referanslar iş parçasındaki özelliklere bağlı olarak seçilir.

Şekil 3.41a A-B ortak eksenli iki uç parçaya göre referans alınmış radyal salgı toleransı gösterilmektedir. Şekilde salgı toleransının iş parçasının belirli bir bölümüne uygulanabileceği de belirtilmiştir. Şekil 3.41a’da belirtilen salgı toleransı sadece noktalı kesik çizgi ile gösterilen bölüme uygulanmıştır.

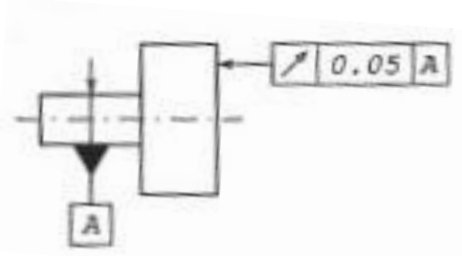
Şekil 3.41b’ de yine belirli bir bölgeye uygulanan tolerans gösterilmiştir fakat burada tolerans açısı değeriyle sınırlandırılmış olarak istenilen yüzeye uygulanmıştır.



Şekil 3.41a Birden fazla referans ile ilişkili radyal dairesel tolerans
b Açısı değeri ile sınırlandırılan radyal dairesel tolerans

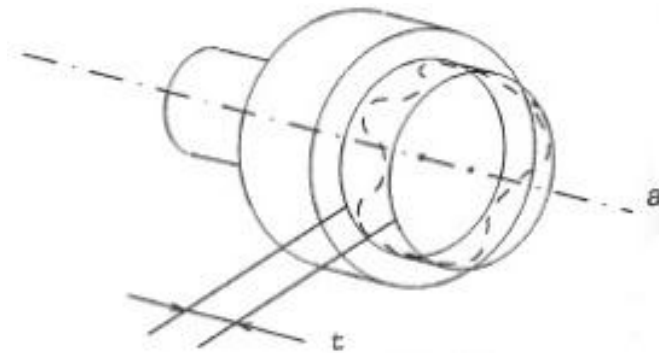
3.1.12.2 Eksen Yönünde Dairesel Salgı Toleransı

Salgı toleransının bir diğer uygulanış biçimi Şekil 3.42’ deki gibi referans alınan eksene dik olan yüzeylere uygulanmasıdır. Bu durumda, salgı eksene göre tanımlanmıştır. Tolerans çerçevesi şekli yine aynıdır fakat yüzey ile ilişkilendirmeye sağlayan ok işareti eksen yönündedir ve yüzeye diktir. Referans sistemi iş parçasının sol bölümünün orta eksenini ekseni olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.42 ksen yönünde dairesel salgı toleransı

Şekil 3.43’ de eksen yönünde tanımlanmış dairesel salgı toleransı bölgesi gösterilmektedir. Yüzeydeki her yarıçap için tolerans bölgesi, aralarında t mesafe bulunan iki daire arasında sınırlandırılmıştır. Tolerans silindirin eksenini, salgı ekseni olarak referans sistemi ile belirtilmiştir. Bu yüzden, yüzeydeki her yarıçap ayrı ayrı düşünüldüğünde, gerçek yüzey bu silindirik tolerans bölgesi içerisinde bulunabilir. Şekil 3.42’ deki gösterimi yorumlayacak olursak, A referans sistemiyle belirtilmiş olan eksene göre, tolerans uygulanan yüzeyin her yarıçapı kesiti için gerçek yüzey, aralarında 0,05 mm olan iki dairenin oluşturduğu bölge içerisinde bulunmalıdır. Şekil 3.43’ de noktalı kesik çizgi ile referans olarak alınan orta eksen, kesik çizgilerle ise tolerans bölgesi içerisinde bulunan gerçek yüzey şematize edilmiştir.

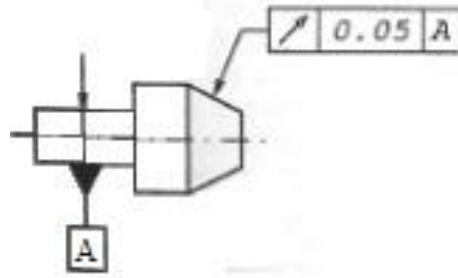


Şekil 3.43 Eksen yönünde dairesel salgı toleransı bölgesi şematik gösterimi

3.1.12.3 Herhangi Bir Yönde Dairesel Salgı Toleransı

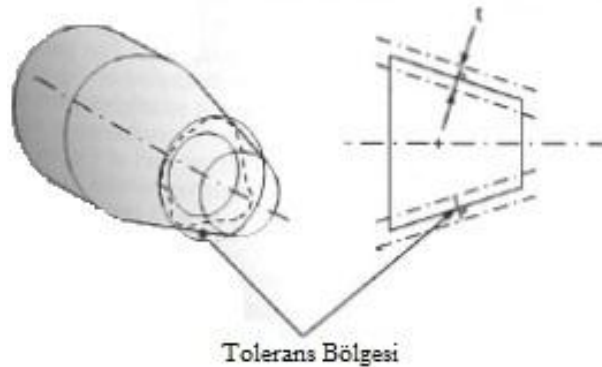
Daha önce referans sisteme göre belirlenen salgı eksenine göre radyal ve eksen yönünde olmak üzere iki farklı ölçme yönünde daireysel toleranslandırmadan bahsettik. Bu iki daireysel tolerans şekli aslında genel salgı toleranslarının limitlerini oluşturur. Radyal yönde daireysel tolerans için referans eksen ile toleranslandırılan yüzey arasındaki açı 0° iken, eksen yönündeki daireysel tolerans için bu açı 90° 'dir. İş parçalarında bu açı bu iki sınır arasında değişmektedir.

Şekil 3.44'de iş parçasının tolerans uygulanan yüzeyi silindirik olmasına rağmen, yüzey radyal veya eksen yönüne dik değildir. Tolerans çerçevesi daha önceki örnekler gibidir ve ilişkilendirmede kullanılan ok yüzeye diktir. Bu şekilde yüzey ölçüm mesafesi boyunca tolerans değerleri içerisinde olması gerektiği gösterilmiş olur. Yüzeyden alınan bir dik radyal veya eksen yönünde değilse toleranslandırılma yapılırken farklı bir yol izlenilmelidir.



Şekil 3.44 Herhangi bir yönde daireysel salgı toleransı

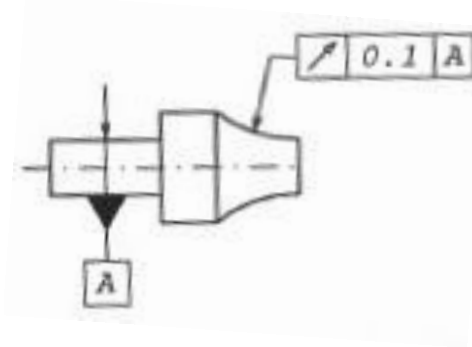
Şekil 3.45'de Şekil 3.44 yüzeyi için tolerans bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 3.45 Herhangi bir yönde daireysel salgı toleransı bölgesi şematik gösterimi

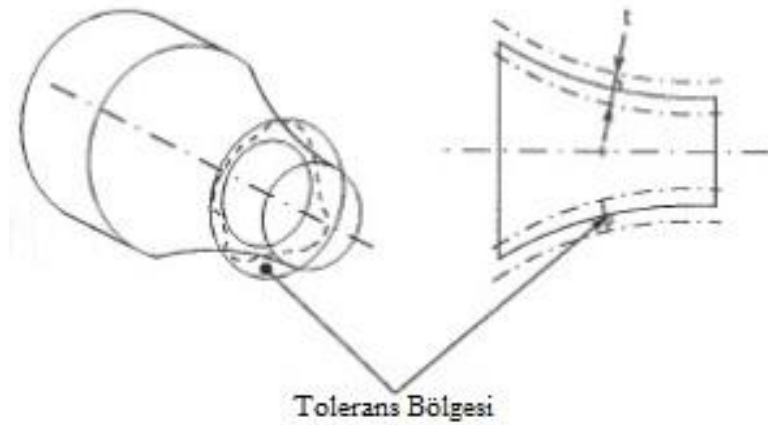
Şekil 3.45' de tolerans uygulanmış koni şeklindeki bölümün gerçek yüzeyi, ölçme yönünde aralarında t mesafe bulunan noktali kesik çizgi ile gösterilmiş tolerans bölgesinde bulunmaktadır. Gerçek yüzey kesik çizgiler ile şematize edilmiştir.

Herhangi bir yönde dairesel salgı toleransına bir başka örnek olarak, Şekil 3.46 gösterilen iş parçası verilebilir. Bu örnekte ölçme yönünde salgı eksenini değişim göstermektedir.



Şekil 3.46 Normali değişen yüzeyler için dairesel salgı toleransı

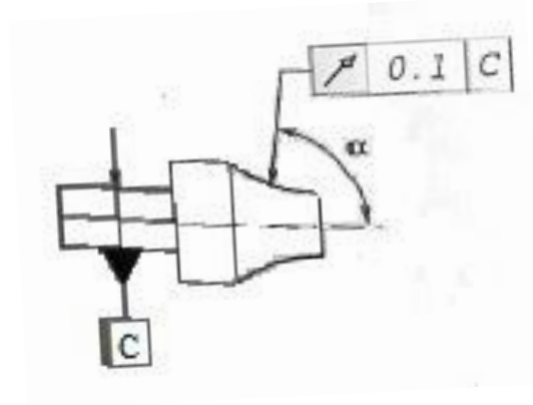
Bu örnekte, tolerans uygulanan konik bölge için farklı pozisyonlarda farklı yüzey normalleri bulunmaktadır. Bu nedenle tolerans bölgesi de eksen boyunca bu normallere bağlı olarak belirlenmektedir. Şekil 3.47'de Şekil 3.46'ya uygulanan tolerans bölgesi şematize edilmiştir.



Şekil 3.47 Normali değişen yüzeyler için dairesel salgı toleransı bölgesi

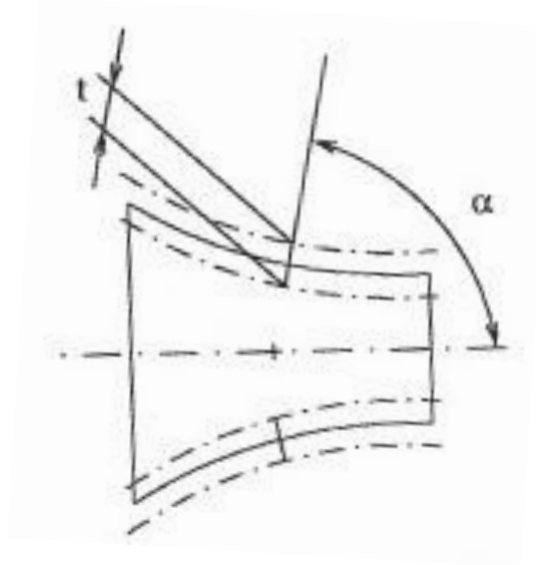
Şekil 3.47'de aralarında t mesafe bulunan noktali kesik çizgiler arasında tolerans bölgesi, kesik çizgiler ile tolerans bölgesinde bulunan gerçek yüzey şematize edilmiştir.

Buraya kadar olan tolerans bölgeleri yüzeyin normaline göre tanımlanmıştı. İki boyutlu yüzeylerde tolerans bölgesi tanımlarken ölçüm yönü boyunca t mesafesinde bölge olarak tanımlanır fakat ölçüm yönü ISO standartlarında olduğu gibi özel şekilde belirtilmiştir. Bu duruma örnek olarak verilmiş Şekil 3.48’de özel bir ölçüm yönü tanımlanmıştır. Tolerans bölgesi bu ölçüm yönünde oluşturulur. Belirlenen ölçüm yönü yüzeye dik olabileceği gibi özellikleri belirtilerek istenildiği şekilde de kabul edilebilir.



Şekil 3.48 Seçilen yönde dairesel salgı toleransı

Şekil 3.49’de seçilen yönde dairesel salgı toleransı için tolerans bölgeleri gösterilmiştir. Ölçüm yönünün açısına bağlı olarak tolerans bölgesi elde edilir.

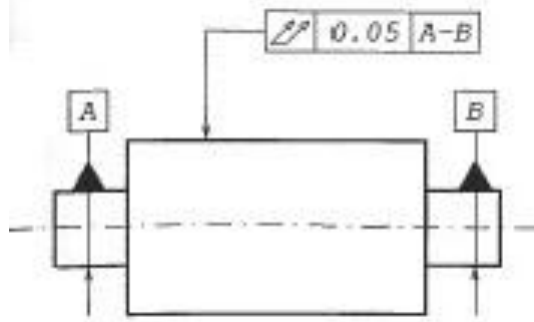


Şekil 3.49 Seçilen yönde dairesel salgı toleransı bölgesi şematik gösterimi

3.1.12.3 Toplam Salgı Toleransı

Dairesel salgı ölçümleri, toleranslandırılan yüzeyin farklı kesitleri için birbirinden bağımsızdır. Ölçüm işlemi için kullanılan ölçme aleti, farklı kesitler için farklı sıfır noktalarına sahip olabilir. Ölçme işlemi sadece ölçme yönünde yapılmalı ve mesafeler tolerans değerleriyle sınırlandırılmalıdır. Ölçme işlemi sonucunda elde edilen verilere göre gerçek yüzey iş parçasının farklı kesitlerinde farklı değerler alır, fakat tolerans bölgesi ile kapsanır. Tolerans bölgesi, gerçek yüzeye ideal yüzeye göre sapma yapabilmesi için belirli sınırlar içerisinde serbestlik tanındığı bölgedir.

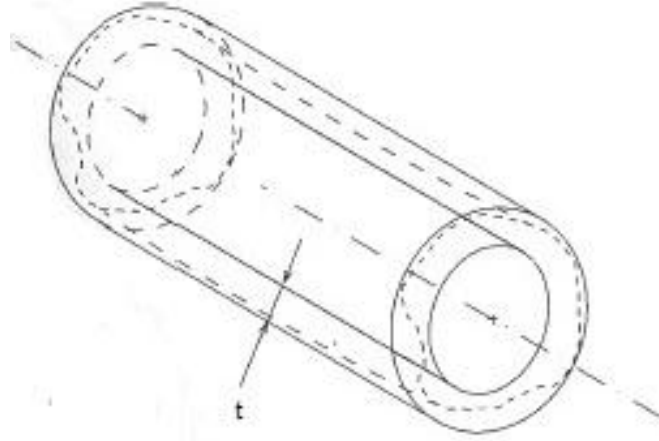
Şekil 3.50 bir iş parçası yüzeyi için uygulanan toplam salgı toleransını göstermektedir. Tolerans çerçevesinde toplam salgı toleransı sembolü kullanılmıştır. Burada ölçme yönü referans sistem olan A – B orta eksenine göre radyal olarak belirlenmiştir ve tolerans bölgesi bütün yüzey boyunca oluşturulmuştur.



Şekil 3.50 Toplam salgı toleransı

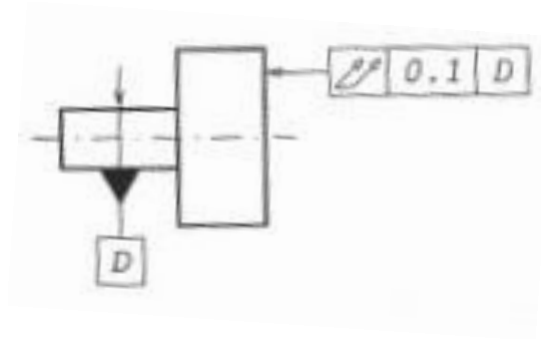
Şekil 3.50 için yorum yapacak olursak, gerçek yüzey, tolerans bölgesini oluşturan ve aralarında 0,05 mm mesafe bulunan ve orta eksenini A – B referans almış iki silindir arasında bulunmalıdır.

Şekil 3.51’de iki silindir ile oluşturulmuş tolerans bölgesi görülmektedir. Noktalı kesik çizgi ile gösterilmiş orta eksen referans olarak kabul edilmiştir. Kesik çizgi ile gösterilen gerçek yüzey tolerans sınırları içerisinde. Şekildeki iş parçasına eksen yönünde ölçme işlemi uygulanmıştır.



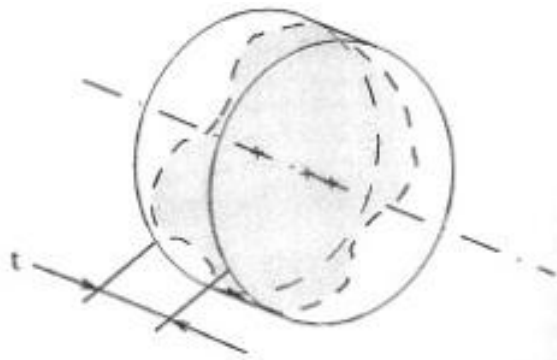
Şekil 3.51 Toplam salgı toleransı bölgesi şematik gösterimi

Şekil 3.52’de eksen yönün de uygulanan toplam salgı toleransı gösterilmektedir.



Şekil 3.52 Eksen yönünde toplam salgı toleransı

Şekil 3.52’deki tolerans bölgesinin şematik gösterimi olan Şekil 3.53’ de aralarında t mesafe bulunan iki teorik yüzey arasında iş parçasının gerçek yüzeyi sınırlandırılmıştır. t mesafesi 0,1 mm olarak verilmiştir.



Şekil 3.53 Eksen yönünde toplam salgı toleransı şematik gösterimi

BÖLÜM 4

KOORDİNAT ÖLÇME TEKNİĞİ VE KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZLARI

Tasarımda ve imalatda, iş parçası mikro geometrisi ve geometrik sapmalar odağında hazırlanan standartlar, uluslararası endüstrinin gelişmesine yol gösterici nitelik oluşturmuştur. Uluslararası ve ulusal kalite güvencesinin sağlanmasında ve kalite yönetimlerinin yürütülmesinde, toleranslandırma gibi işlemler için uluslararası standartlara paralel olan ulusal standartlar kullanılmaktadır. İstenilen iş parçası hassasiyeti için, boyut, şekil, konum ve pürüzlülük gibi toleransların belirlenmesi gerekir. İmalat maliyeti, istenilen parça hassasiyetine göre değişim göstermektedir. İş parçası tasarımcılarının gereğinden fazla hassas parçalar için tolerans değerlerini küçük tutması ile istenmeyen maliyetler doğabilir[20].

Koordinat ölçme tekniğinin gelişmesi ile şekil ve konum ile ilgili geometrik sapmalar hakkındaki bilgiler artmıştır. Dikkate alınması gereken birçok tecrübe edinilmiştir. Doğrusal boyutlar için ISO standartlarından ve genel standartlardan yararlanılır. Genel toleranslar da şekil, konum ve yön sapmalarının istenilen sınırlar içerisinde kalmasında tasarım mühendislerine yardımcı olmaktadır.

Bilgisayar destekli koordinatlar ölçme tekniğinin gelişmesi 1970'li yılların ilk zamanlarında başlamıştır. Günümüzde de bilgisayar destekli koordinat ölçme cihazları modern üretim teknolojisinin en önemli parçalarından birini oluşturmaktadır. İlk olarak sadece laboratuarda bulunan koordinat ölçme cihazları, günümüzde üretim süreçlerinde yerini almıştır. Modern üretimin denetim basamaklarında tamamlayıcı rol üstlenmişlerdir. Bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ile ölçme cihazlarının otomasyonu hız kazanmıştır. Koordinat ölçme cihazları, yüksek ölçme hassasiyetlerine, güvenilirliğe ve çok yönlülüğe sahiptir. Dokunma elemanlarının otomatik olarak değiştirilmesi günümüz seri üretiminde de zamandan ve iş gücünden kazanç sağlamaktadır. Koordinat

ölçme cihazlarının amaçlarına uygun olarak çalışabilmeleri için detaylı entegrasyonları gereklidir.

4.1 Koordinat Ölçme Tekniği

Koordinat ölçme cihazları (CMM), boyut, şekil ve konum sapmalarını çok hassas bir şekilde tek bir cihazda ölçme imkânı sağlar. Ölçüm hassasiyeti yanı sıra büyük sayılarda iş parçaları ölçümlerinde koordinat ölçme cihazları zaman kazandırmaktadır.

Koordinat ölçme cihazları, üç boyutlu Kartezyen koordinat sisteminin fiziki temsilcileridir[21]. Koordinat ölçme tekniği kavramı ve koordinat ölçme cihazlarının temel donanım elementleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Ölçme sisteminin mekanik kısmı, koordinat ölçme teknolojisinin temelini oluşturmaktadır. Şu bileşenlerden meydana gelir:

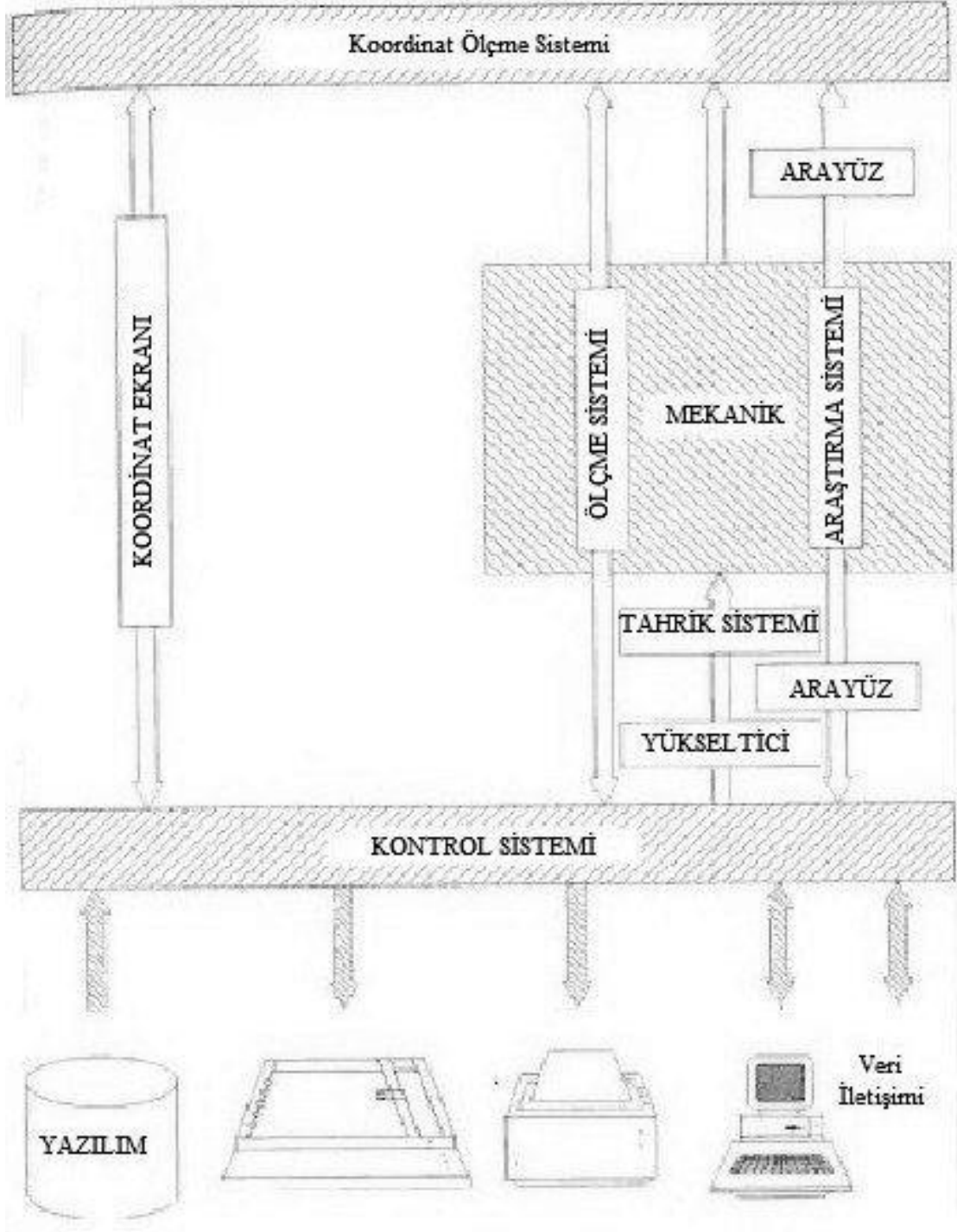
- Koordinat sistemi ağacına bağlı olan eksenler ile mekanik kurulumu
- Koordinat ölçme cihazının prob başındaki referans noktaya göre eksen yönlerine deplasman düzenleyicilerin yerleştirilmesi
- İş parçalarının her yönde ölçümlendirilmesini sağlayan prob başı

Makine sürücüler, deplasman düzenleyicileri, prob sistemleri gibi bileşenler arasında iletişimi sağlayan kontrol ünitesi koordinat ölçme cihazlarının önemli bir bölümüdür. Kontrol sistemleri, aşağıdaki koordinat ölçme cihazları gruplarına göre sınıflandırılabilirler:

- El ile çalışan koordinat ölçme cihazları
- Otomatik araştırma işlemli motorlu koordinat ölçme cihazları
- Bilgisayar kontrollü koordinat ölçme cihazları
- CAx sistemleriyle bağlantılı koordinat ölçme cihazları

Koordinat ölçme tekniğinin temel fonksiyonu, iş parçasının gerçek şeklinin ölçülmesinden, tasarım şekli ile karşılaştırılmasından ve şekil, konum, yön ve salgı gibi metrolojik bilgilerin elde edilmesinden oluşur. İş parçasının gerçek şekli, yüzeylerde ayrı ayrı noktalarda prob ile ölçme yapılmasıyla öğrenilir. Ölçülen noktaların koordinatları iş parçasının geometrisinin hesaplanmasında kullanılır. Açı, çap, mesafe gibi parametreler sadece bu elde edilen koordinatlar ile değerlendirilemezler. Bunun

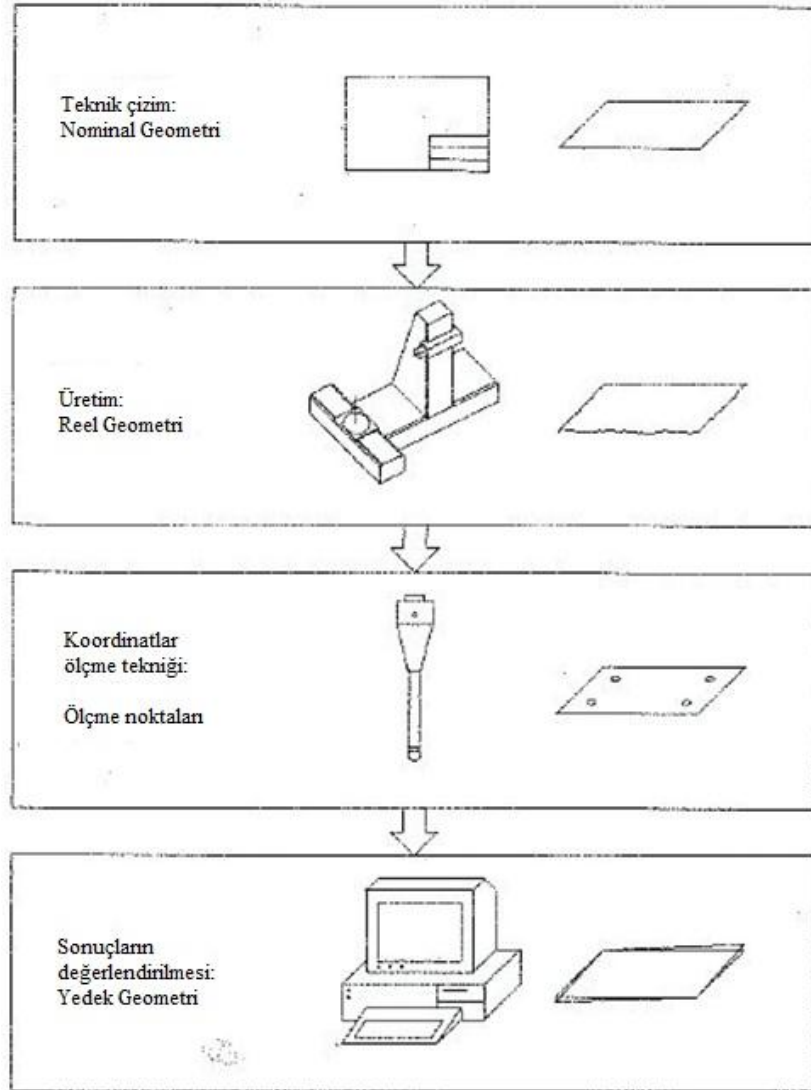
için iş parçasının analitik modeli oluşturulur. Bu model genel olarak ideal geometrik öğelerden oluşur. Bazı öğelerin geometrik şekilleri en uygun şekilde yaklaşık olarak belirlenir[22].



Şekil 4.1 Koordinat ölçme cihazı bileşenleri

Koordinat ölçme tekniğinde üretim parçalarının ölçülmesi ve ölçme değerlerinin hesaplanması ile ilgili olarak geometrik elemanlar nominal reel ve yedek geometrik olarak ayrılırlar[23]. Üretim parçalarının mikrojeometreleriyle karşılaştırıldığında benzer şekilde ayırım olduğu görülmektedir. Şekil 4.2’de üretim süresi içerisinde konstrüksiyondan başlayarak üretim ve kalite denetimine kadar izlenen yol gösterilmektedir.

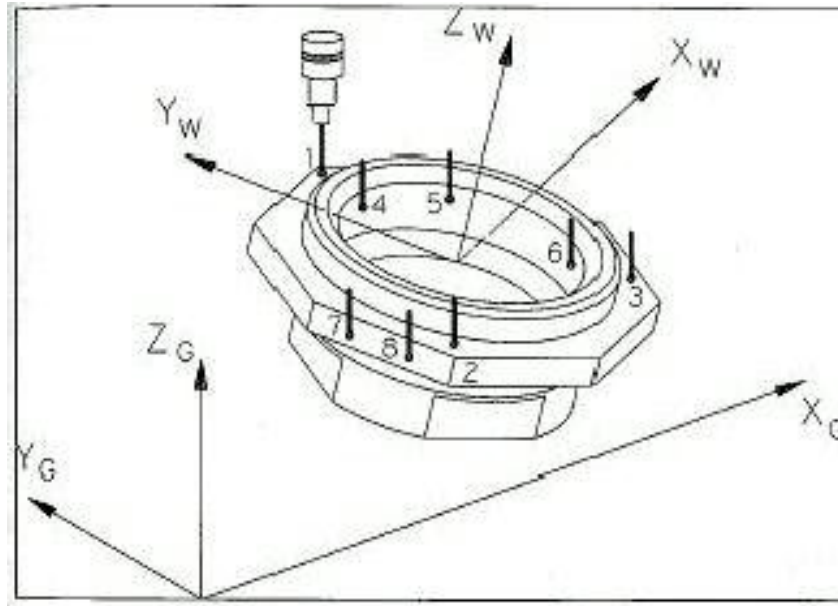
Günümüzde çok koordinatlı ölçme tekniği, çeşitli üretim metrolojisi problemlerinin çözümünde özellikle de yüksek derecede otomasyon ve hassasiyet talep edilen esnek üretimde çok önemli bir yer edinmiştir[24].



Şekil 4.2 İdeal geometri, reel geometri ve yedek geometri

Koordinat ölçme cihazları, prob sistemi ile üç Kartezyen koordinatında aynı anda ölçüm yapabilmektedirler. Koordinat rotası boyunca konum ölçekler ile belirlenir. Her ekseninde düzenlenmiş bu ölçekler yüksek hassasiyette dijital ölçümler sağlar. Ölçülecek nesne, silindirik uçlu bir başlık ile noktadan noktaya taranır. İş parçalarının ölçümlendirilmesi için ilk olarak bu uç, yüksek hassasiyete sahip referans bir küre ile kalibre edilmelidir. Çaplar ve merkez noktaların koordinatları böylece belirlenmelidir. Bu veriler metrolojik yazılım yardımıyla toplanır ve bu uç ile yapılan diğer ölçümlerde referans olarak kullanılırlar.

Ölçümlendirmeye başlamadan önce gerekli olan diğer bir işlem ise iş parçası için koordinat sisteminin tanımlanmasıdır. Genellikle referans geometri sistemi teknik resimlerden belirlenir. Çeşitli iş parçaları koordinat sistemleri ölçme kısımlarından belirlenebilir (Şekil 4.3).

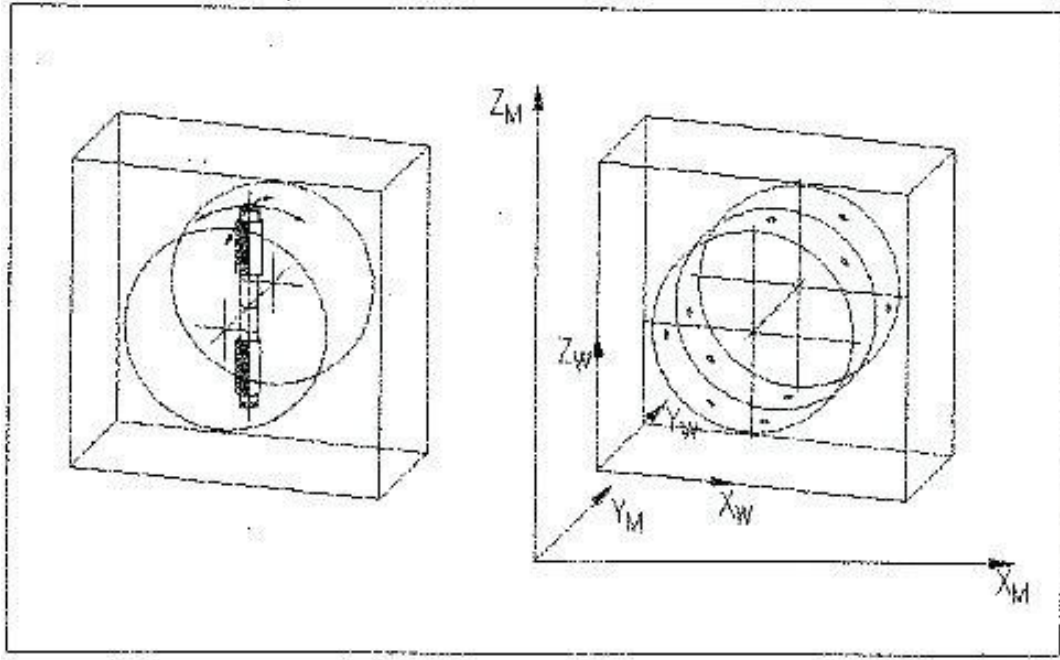


Şekil 4.3 İş parçası koordinat sisteminin belirlenmesi

Koordinat ölçme tekniğinin yapısını şöyle tanımlayabiliriz[25]:

- İş parçasının, koordinat ölçme cihazı ile çeşitli noktalarında dokunarak ölçüm yapılan geometrik özellikleri
- Ölçüm noktalarının koordinatları ve koordinat ölçme cihazları yardımı ile iş parçalarının matematik geometrilerinin hesaplanması

Yüksek hassasiyet ve yüksek esneklik istendiğinde koordinat ölçme teknikleri problemlerin çözümünde çok önemlidir. Koordinat ölçme tekniğinde önemli gereksinimlerden birisi de taranan noktalardan toplanan ilgili özelliklerin hesaplanmasıdır. Örnek olarak, iş parçasında bir deliği ölçmek istediğimizde geleneksel ölçüm yöntemleri ile koordinat ölçüm tekniği uygulamaları arasında seçim yapabiliriz. İki nokta ile ölçüm tekniği ile eksene dik en büyük değer bulunmaya çalışılır. Daha sonra eksen kesitinde minimum değer ölçülür[26]. Bu iki değer eşit olduğunda deliğin çapı bulunmuş olur (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Konvansiyonel ölçme tekniği ve koordinat ölçme tekniği

Çok koordinatlı ölçme tekniğinde deliğin çapı yüzeyinde birçok noktada cihazın dokunma ucuyla dokunmak suretiyle (geometrik eleman silindirik olarak hesaplanacağı için en az beş ölçme noktası olmalıdır) tespit edilir (Şekil 4.4). Ölçme noktalarının asgari sayıdan fazla olduğu durumlarda ölçme neticelerinin değerlendirilmeleri için regresyon metodu uygulanmaktadır. Ölçülen parçanın boyutsal değerlerine ilaveten parçanın ideal şeklinden farklı olan sapmaları ve parçanın referans olarak belirlenen koordinatlar sisteminde geometrik elemanları arasındaki konum hataları ile ilgili değerler de koordinatlar ölçme tekniği kullanımıyla elde edilmektedirler[27].

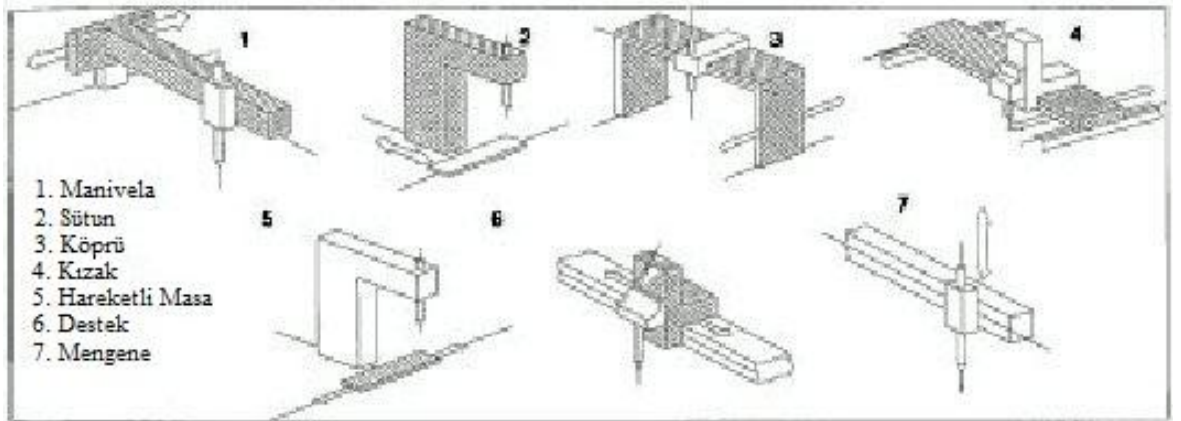
İş parçalarının tasarım aşamasından imalata ve sonrasında kalite kontrole kadar sürecinde ideal, gerçek ve temsili geometriden bahsettik.

Çizelge 4.1 Koordinat ölçme tekniği ve iş parçası mikrojeometrisi

KOORDİNAT ÖLÇME TEKNİĞİ	İŞ PARÇASININ MİKROGEOMETRİSİ
İdeal özellik	Geometrik yüzey
Gerçek özellik	Gerçek yüzey
Temsili özellik	Referans yüzey

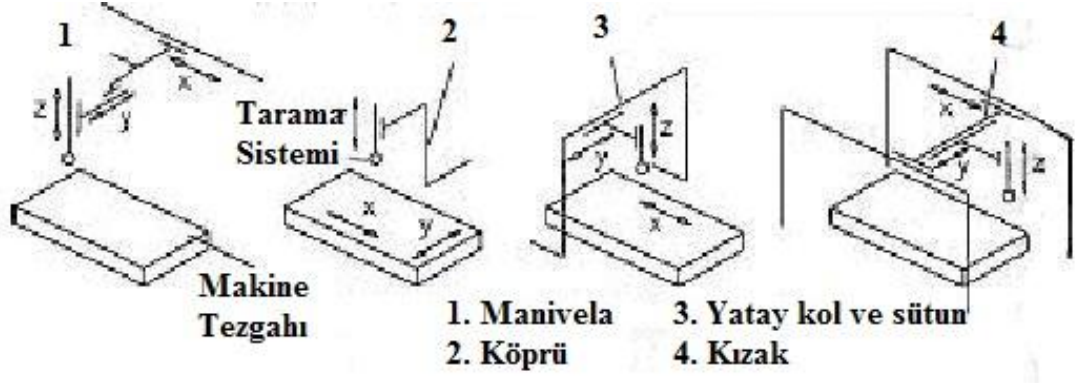
4.2 Koordinat Ölçme Cihazlarının Temel Tasarımları

Koordinat ölçme cihazları, koordinat eksenlerinin farklı yönlerindeki hareketlerine göre farklı yapılar da tasarlanmışlardır[28]. Şekil 4.5’de farklı tiplerde CMM bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Farklı tiplerde CMM bileşenleri

Koordinat ölçme cihazlarının tasarımı dört temel prensibe göre yapılır. Büyük cihazlar genellikle maniveladan ve kızaktan oluşan bir yapıda, orta büyüklükteki cihazlar hareketli ve sabit köprü yapısında, küçük cihazlar sütun ve destekler ile tasarlanırlar.



Şekil 4.6 Koordinat ölçme cihazları temel tasarımları

Temel CMM bileşenleri [29]:

- 1.Manivela tasarımı, taşıyıcı kolun içeri ve dışarı hareketlerini destekleyen bir manivela koluna sahiptir. Tarayıcı kolu, dikey yönde hareket için bir taşıyıcı ile desteklenir. Tezgâh raylar ile taşınmadığı sürece, ağır ve geniş iş parçaları tezgâh üzerinde ölçme hassasiyetini bozmadan konumlandırılabilirler.
- 2.Yatay kollu makineler, otomobil gövdesi gibi büyük parçaların ölçülmesi gibi işler için idealdir. Yüksek hassasiyetli ölçümler için sütun tasarımlı koordinat ölçme cihazları kullanılmalıdır.
- 3.Hareketli köprü tasarımı en geniş ölçülere sahiptir. Bu tasarım ile yapılan koordinat ölçme cihazları, iş parçasını tutmak için sabit bir tezgâha ve hareketli köprüye sahiptirler. Bu tasarımın manivela tasarımından üstün yönü, iki yatay sütun ile eğilme etkinin azaltılması ve böylece daha sağlıklı ölçümler yapılmasıdır.
- 4.10 metre kare ve 20 metre ölçme uzunluğundaki parçalar için kızak tasarımı uygun olmaktadır. Ölçülen parça büyüklüğüne göre kızak tasarımının geniş sınırları operatöre yardımcı olmaktadır.

Ölçme işlemi ihtiyaçlarının tam anlamıyla karşılanmasında koordinat cihazlarının tasarımı önemli bir role sahiptir. Koordinat ölçüm cihazlarının modern imalattaki en uygun uygulamaları için hassasiyet, yaygınlık, parçalara erişilebilirlik ve maliyet gibi

faktörlere göre belirlenir. En yaygın olarak kullanılan tasarımlar köprü ve yatay kol tasarımlarıdır. Sütun tasarımı laboratuvarlarda kullanılırken, köprü tasarımı gibi kol tasarımı da üretim alanlarında karşımıza çıkmaktadır. En geleneksel koordinat ölçme cihazı tasarımı, üç ortogonal eksen olan X,Y ve Z eksenlerinden oluşan tasarımdır. Genellikle mengene eksenini olarak adlandırılan eksen diğer iki eksene bağlıdır ve tarayıcı prob sistemini taşır. Ölçüler her eksen yönünde yerleştirilmişlerdir. Bu şekilde üç boyutlu ve dijital, yüksek hassasiyete sahip ölçümlerin yapılması sağlanmış olur[30].

Makine tabanı, ölçülecek parçayı destekleyen tezgâh, makine sütunları, raylar, yatay sistemleri, istenilen ağırlıkları taşıyacak kadar sağlam olması gerektiği gibi, hızlanma ve frenlemenin en kısa yoldan yapılmasına olanak sağlamalıdır. Bu öğeler iş parçasını desteklerken veya taşıırken, konum geri besleme sistemi için ölçme probunun ve doğrusal ölçek okuyucu başlarının özellikleri koordinat ölçme cihazının performansına ve ölçme hassasiyetine etki eder. Bu konuda imalatçılar farklı yolları seçerler.

Seçilen malzemeler, geleneksel sistemler ile deformasyonların oluşmamasını garanti eder. Karbon-fiber gibi çok tercih edilen bu malzemeler, yüksek sertlik ve en yüksek hassasiyeti sağlamayı mümkün kılar. Bir yandan destek ve kirişler ile oluşan yapılar maliyetlendirilirken ve üretilirken, diğer yandan granit, seramik ve diğer hafif metaller gibi malzemeler koordinat ölçme cihazlarının tezgâh gibi yapısal parçaları için uygun olarak kabul görmüşlerdir. Bu yönden, çevre koşullarında çeşitli bileşenlerin tutarlı tepkileri ve güvenilirlikleri için bu malzemeler denenmişlerdir.

Granit tezgâh sabit çevre koşulları altında yüksek ölçme hassasiyetleri için koordinat ölçme cihazları yapımında tercih edilir. Fakat granit, sıvılara karşı hassastır ve şekil değişimleri gösterebilir. Yapısal malzeme olarak granit kullanıldığında sıvılara karşı önlem alınması gerekir. Tamamen granitten oluşan tezgâh cihazı termal etkilere karşı yalıttır. Ayrıca kirlere ve darbelere karşı, tamamen kaplama yapılması cihaz bileşenlerine koruma sağlar. En önemli dezavantajı ise çok yüksek ağırlık değerlerine sahip olmasıdır. Eğer ölçme cihazı, değişen üretim şartlarına göre yerleştirilecekse, ekonomik gider artış gösterebilir[31].

Yatak sistemleri, koordinat ölçme cihazlarının önemli kısımlarıdır. Ölçme performansına ve ölçme hassasiyetine etki ederler. Ayrıca tahrik sistemlerine de direk

etkileri bulunmaktadır. Genel olarak, koordinat ölçme cihazlarında iki tip yatak tercih edilir:

- Temaslı yataklar (makara veya toplu rulman)
- Temassız yataklar (havalı yataklar)

Yatak sistemleri; raylar, makaralar ve rulmanlar gibi basit öğelerden oluşan sistemlerdir[32]. Günümüzde birçok koşulda havalı yataklarda kullanılmaktadır. Havalı yatakların en önemli avantajı aşınma yüzeyinin olmamasıdır. Buna rağmen temaslı yataklar havalı yataklara göre daha ağır yükler taşımaya olanak sağlar. Havalı yatakların, yatak yüzeylerinin kalitesi ve hava miktarı kontrolü hareketli parçaların tahrikinde dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Eğer yatak ve ray aralarında hava boşluğu gereğinden fazla ise daha çok hava kullanılmış olur. Bu şekilde fazla hava kullanımı üretimin çevrimine etki ederek maliyeti artırır. Ayrıca cihazın dinamik dayanımı belirli ölçülerde düşer. Hava basıncı ve kayma mesafesi arasındaki eylem en uygun şekilde iken havalı yataklarda kararlı tahrik sağlanmış olur. Havalı yataklar ile beraber çalışan raylar belirli zaman devirlerinde temizlenmelidir. Ray ve yatak sistemlerinde arızaya neden olabilecek hava basıncının ani değişimlerine karşı önlem alınmalıdır. Böylece ölçme cihazlarının hataları da önlenmiş olur. Tahrik sistemlerinin amacı, tarama görevi yapan probu el ile ya da motor yardımı ile hareket ettirmektir. Kremayer dişlisi-pinyon, kayışlı tahrik, sürtünmeli tahrik gibi birçok çeşitte tahrik sistemi bulunmaktadır. El ile yönlendirilen koordinat ölçme cihazları genel olarak küçük boyutlardadır ve motor ile çalışan cihazların hassasiyetine ulaşamamaktadırlar.

4.3 Ölçme Sistemleri

Tarayıcı probun tam olarak konumu, koordinat ölçme cihazının eksen yönleri boyunca ayrı olarak yerleştirilmiş ölçme sistemleriyle belirlenir[33]. Ölçme sistemleri koordinat ölçme cihazlarında, lazer girişimölçer, doğrusal yer değiştirme tespitinde kullanılan inductosyn gibi optik ve manyetik sistemlere göre çeşitlilik gösterir.

Çizelge 4.2 Koordinat ölçme cihazlarında farklı tip deplasman düzenleyiciler

Uzunluk ölçme cihazı	Okuma sistemi	Netlik (μm)
Krameyer	Elektromanyetik	10
Encoder	Döner encoder	0,1
Ölçek	Optik artışlı	0,1
Inductosyn	Elektrik	1
Kısa dalga boyu (LASER)	Optic-elektronik	0,01

Ana doğrusal ölçekler, ölçek ögesinden ve okuma biriminden meydana gelir. Bu bileşenlerden birisi, koordinat ölçe cihazının hareketli kısmına yerleştirilmiştir[34]. Bu iki bileşen arasındaki bağıl hareket konum sinyallerini oluşturur. Genel olarak, farklı ölçe şekillerine göre koordinat ölçe cihazları için farklı ölçe sistemleri bulunur (Çizelge 4.2). Optik ölçe, koordinat ölçe cihazlarında deplasman düzenleyici olarak en çok kullanılan ölçeklerden birisidir.

4.4 Prob Sistemleri

Genel olarak koordinat ölçe cihazlarında iki tip tarayıcı prob sistemi kullanılır[35]. Bunlar:

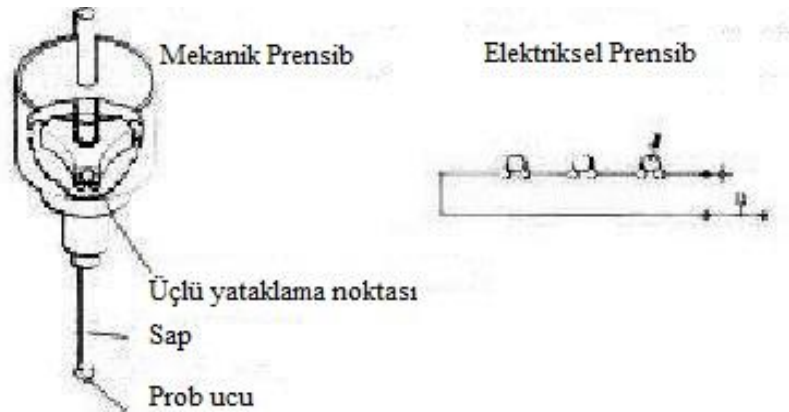
- Temas ile ölçüm yapan prob
- Optik tarama

4.4.1 Temas ile Ölçüm

Temas ile ölçme işleminde temas probu, iş parçası yüzeyi ve koordinat ölçe cihazının ölçe sistemi arasındaki bağlantıyı sağlar[36]. Yüzey ile temasta küre problemler kullanılır. Bunun nedeni merkez noktanın küre yüzeyinin her noktasına eşit uzaklıkta olmasıdır. Temas ile tarama sistemleri ikiye ayrılabilir:

- Dokunma tetiklemeli problemler
- Ölçe sistemi

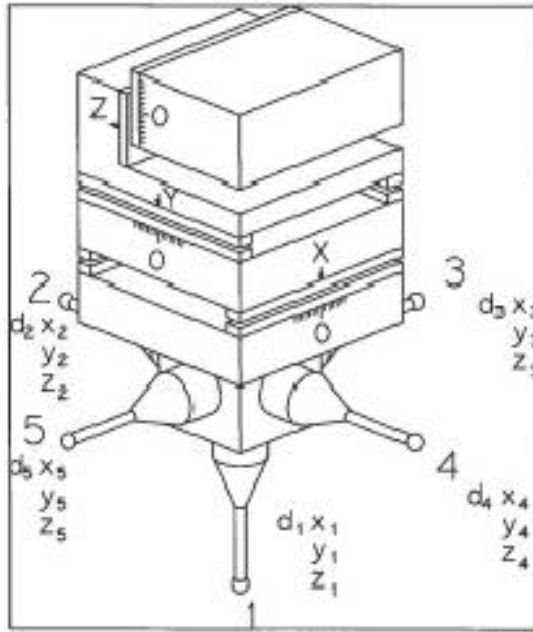
Koordinat ölçe cihazlarındaki dokunma tetikli problemlerin işlevi elektrik düğmelerinin işlevlerine benzer.



Şekil 4.7 Dokunma tetikli prob

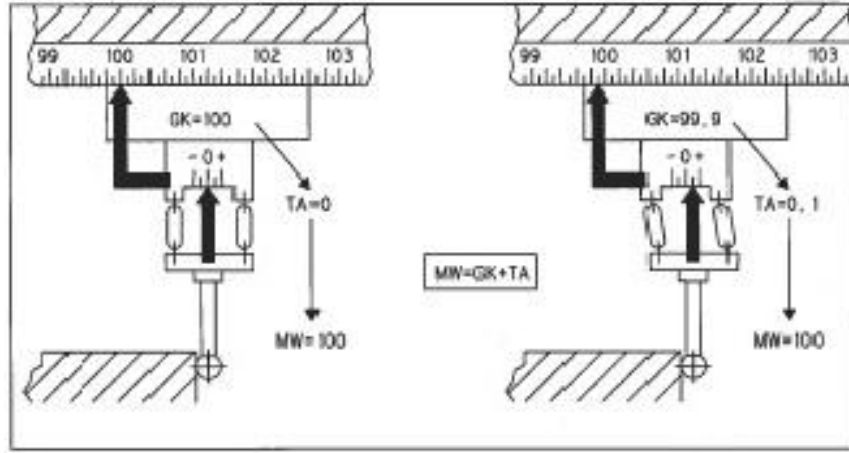
Prob iş parçası yüzeyine değdiğinde veya ayrıldığında sinyaller üretilir[37]. Üç ölçüm yönü için elde edilen bu sinyaller kontrol sistemlerine gönderilerek veri haline dönüştürülür. Prob sistemi iş parçası ve makine arasındaki ilişkiyi koordinat sistemine bağlı olarak oluşturur.

Prob ile ölçme sistemi üç Kartezyen uzunluk ölçme sisteminden oluşur (Şekil 4.8). Ölçmeye uygun olarak prob sistemleri, kendi içlerinde küçük bir koordinat ölçme cihazıdır. Bobin içerisindeki ferro manyetik çekirdeğin hareketi ile sinyaller oluşur. Prob başlıkları birbirlerini etkilemeden üç eksen boyunca ölçme işlemi yapabilirler. Prob üzerindeki kuvvet ve yön vektörleri ölçülmüş toplam deplasman yardımıyla belirlenir.



Şekil 4.8 Prob ölçme sistemi

Elektronik kontrol sistemi ile bağlanmış prob ölçme sistemi başlığı bilgisayara veri transferine bağlı olarak devamlı şekilde iş parçası yüzeyinde taranmış ölçümleri oluşturur[38]. Tarama işleme, iş parçası üzerinde belirlenmiş güzergâh boyunca gezinme hareketinden meydana gelir. Bu sırada, tahrik sistemi devamlı olarak ölçme mesafesine uygun olarak prob başını prob ekseninde pozisyonlandırır. Saniye başına ölçüm yapılan nokta sayısı 250’den fazladır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Prob ölçme sistemiyle tarama işlemi

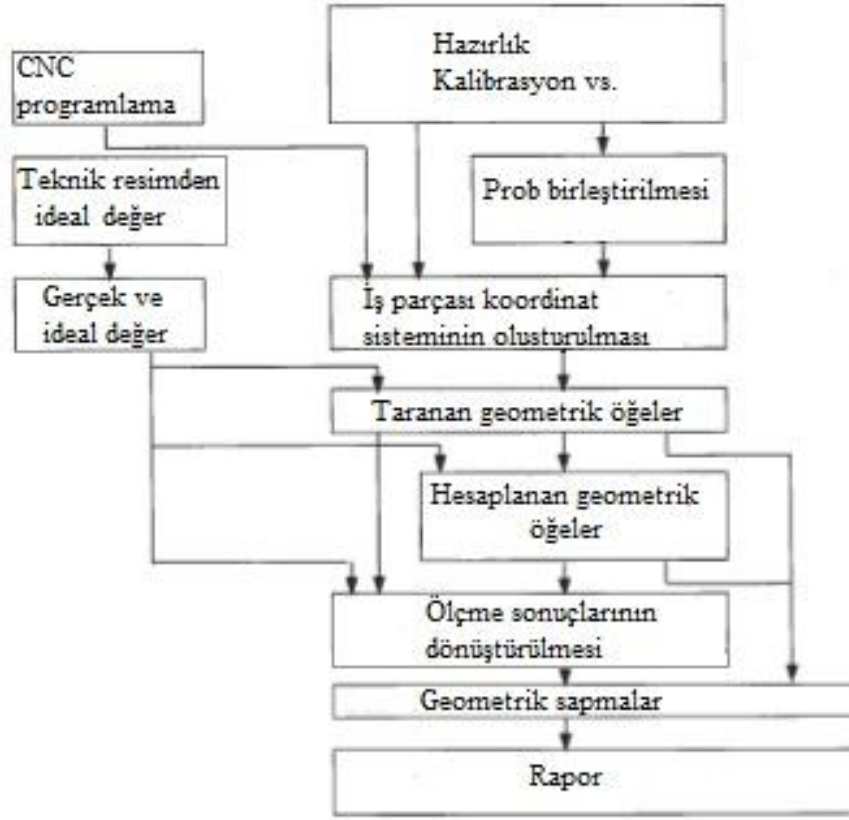
4.4.2 Optik Prob Sistemleri

Baskı yapılmış, boyanmış veya plastik malzemelerden yapılmış yüzeyler gibi temas prob sistemi ile ölçüm yapılamayabilecek yüzeylerde ölçme işlemini optik prob sistemleri mümkün kılar. Optik sistemlerin temelleri, nirengi, odaklanma, yansıma, görüntü işleme ve bunların bileşiminden oluşur. Işık bariyerleri ve yansıma sensörleri 30 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. Bu ucuz cihazlar güçlü, hızlı ve verimlidirler. Geliştirilmiş ölçme cihazları diğerlerine öncülük etmiştir. Fakat cihazların karmaşık yapılarıyla beraber fiyatları da orantılı olarak artmıştır. Günümüzde az da olsa daha gelişmiş üç boyutlu ölçme metotları oluşturulmaktadır. Bunlara örnek olarak otomatik odaklanma teknolojisini verebiliriz. Yüzeyde mesafe ölçümü yapılırken nirengi metoduna göre aralık sensörleri gibi özel optik sensörler görev yapmaktadırlar[39]. Bunlar koordinat ölçme cihazının yatay kolu üzerinde çeşitli çizgi veya kenarlarda aynı anda tarama yapabilirler. İki boyutlu görüntü analiz sistemleri temel olarak kenar sensörleri gibi çalışırlar. Bunlar, plastik bileşenlerin veya baskılı parçaların üzerindeki deliklerin, köprülerin ve olukların ölçümlerinden kullanılırlar.

4.5 Koordinat Ölçme Cihazlarında Ölçme İşlemleri

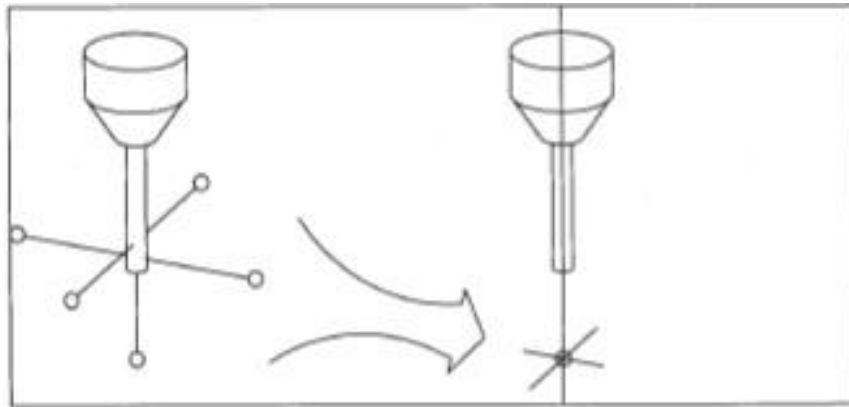
Ölçme işlemi için gerekli olan basamakların akışı, bağımsız programlamanın benzeridir. Ölçme ucu kombinasyonu seçimi, ölçme işleminin önemli basamaklarından[40]. Temas edilen öğelerin ölçümlendirilmesi için gerekli olan bu donanım gereğinden fazla

karışık yapılarda ve boyca uzun olursa eğilmeleri sonucunda ölçme hataları meydana gelir. Şekil 4.10'da ölçme işlemi için gerekli olan basamaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.10 CMM için ölçme işlemi akış şeması

Boyutsuz sanal taramacı küre, bilgisayar ve yüksek hassasiyete sahip kalibre küresi ile hesaplanabilir (Şekil 4.11). Ölçümün bütün sonuçları tarama küresi ile ilgilidir[41].



Şekil 4.11 Boyutsuz sanal tarama küre

Ölçümü yapılan nesnenin temas noktasının gerçek koordinatları ve ölçülen koordinat arasında prob topunun yarıçapı R_{TK} kadar mesafe bulunmaktadır. Bu koordinatlar boyutsuz tarama noktası ile ilgilidir. Temas noktasının koordinatlarını elde etmek için, prob ucunun yarıçapı ve iş parçasının yüzeyine dik uzaklığı bilinmelidir. Buna uç yarıçap doğrulaması da denir.

Tek bir yüzeyin noktalarından yapılan hesaplamalarla uç doğrulaması yapılamaz. Fakat başka bir yardımcı yüzeyin ölçüm noktaları yardımıyla, ucun çevresindeki farklı noktalar ile teması sonucu R_{TK} elde edilebilir. Serbest şekilli yüzeylerin ölçümünde, ucun farklı noktalarının teması sonucu her ölçüm sonunda uç topu doğrulaması yapılabilir[42].

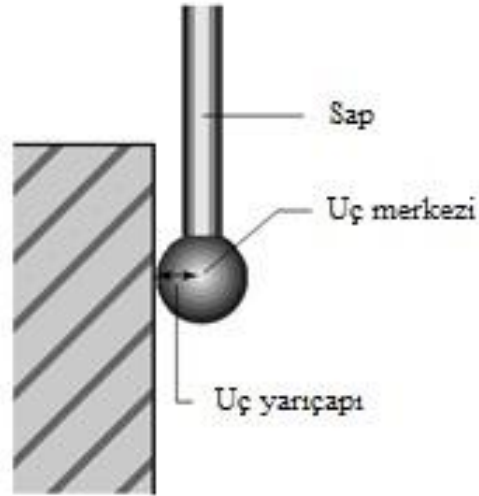
Bir sonraki basamak, iş parçasının koordinat sistemini belirlemektir. Bu işlem, referans öğelerinin taranması ile meydana gelir. Operatör bu konuda teknik resimdeki bilgilerden yararlanır. İş parçasının koordinat sistemi, koordinat ölçme cihazının koordinat sisteminden ölçme referansına çevrilmesi için kullanılır. Daha sonra ölçümü yapılan nesnenin tek tek öğeleri taranır. Ölçüm işleminden önce genel olarak şekil öğeleri çeşitleri belirtilmelidir. Ölçüm noktalarının değerlendirilebilmesi için bu işlem büyük önem taşır. Bir dalgalı yüzeyin ölçüm noktaları, silindir şekil öğesi veya koni olarak belirlenebilirler. Serbest şekillerin yüzeyleri ve dişliler gibi özel geometrik parçaların ölçüm işleminde uygun yazılıma ihtiyaç duyulur.

Koordinat ölçme cihazlarının en önemli işlevlerinden birisi de tolerans değerleri ile ölçülen nesnenin özelliklerinin uygunluğu hakkında sonuçlarını gösterebilme yeteneğidir[43].

BÖLÜM 5

KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZLARI VE UYGULAMALARI

Koordinat ölçme cihazlarının genellikle iş parçası yüzeyine prob ile temasları sonucunda veri topladıklarını daha önceki bölümlerde belirtmiştik. Ölçme işlemini gerçekleştiren probun merkezi ve yarıçapı bilinmelidir. İş parçasının ölçümünden sonra elde edilen veriler bu yarıçap değerine göre tekrar değerlendirilerek asıl koordinatlar elde edilmiş olur[44]. Ölçme hassasiyetini sağlamak amacıyla probun küre ucu çok hassas olarak üretilir.

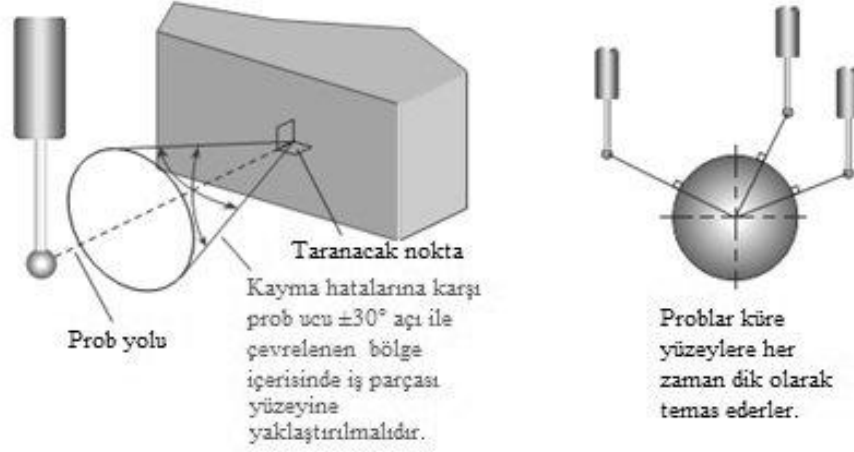


Şekil 5.1 Prob ucu

5.1 Etkili Tarama Teknikleri

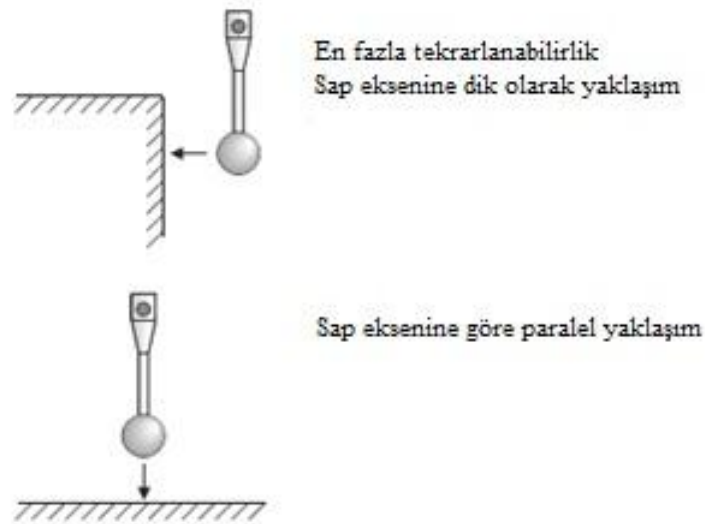
İş parçası üzerinde araştırmalar yapılırken, kullanılan tarama teknikleriyle birçok yaygın ölçme hatalarının oluşmaları önlenir[45]. Örneğin, prob ucunun mümkün olduğunca iş parçası yüzeyine dik olarak temas etmesi daha hassas bir ölçüm sağlar. Prob ucu iş parçasının yüzeyine dik olarak temas halindeyken en uygun sonuçları almak için

dokunma tetikli problar geliştirilmiştir. İş parçası yüzeyinin dikine $\pm 30^\circ$ açı ile prob ucunun temas etmesi kayma hatalarına karşı alınabilecek bir önlemdir. Kayma sonucunda tutarsız sonuçlar meydana gelir[46].



Şekil 5.2 Probu iş parçası yüzeyine teması

Sap eksenine göre prob ucu iş parçasına paralel konunda yaklaşması durumunda elde edilen sonuçlar, sap eksenine dik yönde yaklaşma ile alınan sonuçlar kadar tekrarlanabilirlik göstermezler (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Sap eksenine göre dik ve paralel yaklaşım

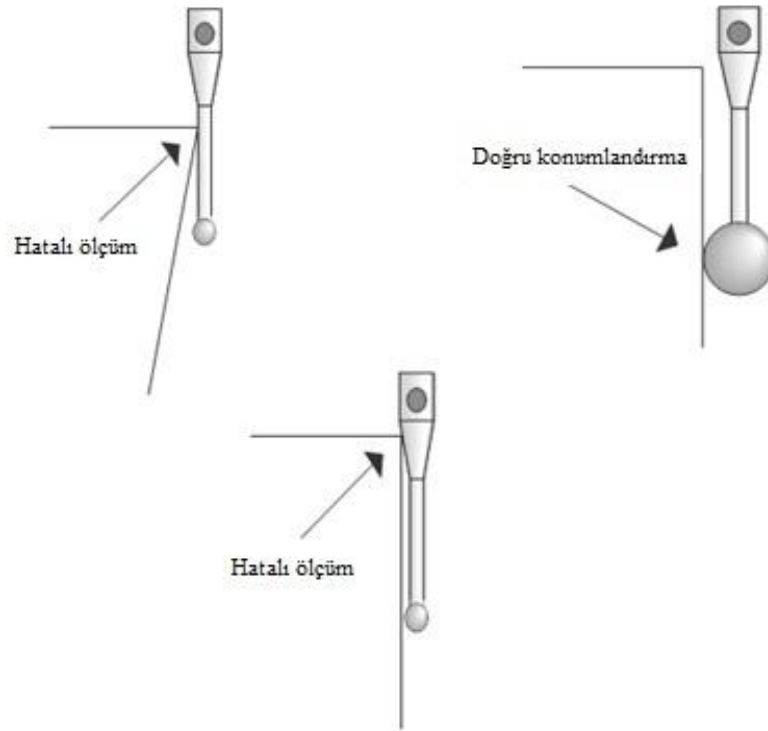
Prob ucunun iş parçası yüzeyine, sap eksenine göre dik veya paralel olarak temas yaklaşımı gösterilmediği ölçümlerde, sonuçların tekrarlanılabilirliği paralel durumdan bile daha azdır. Paralel ve açılı olarak temas yaklaşımı büyük hatalara neden olacaksa, prob ucu sap eksenine göre dik yörüngede konumlandırılarak ölçüm yapılmalıdır[47].



Şekil 5.4 Sap eksenine göre açılı yaklaşım

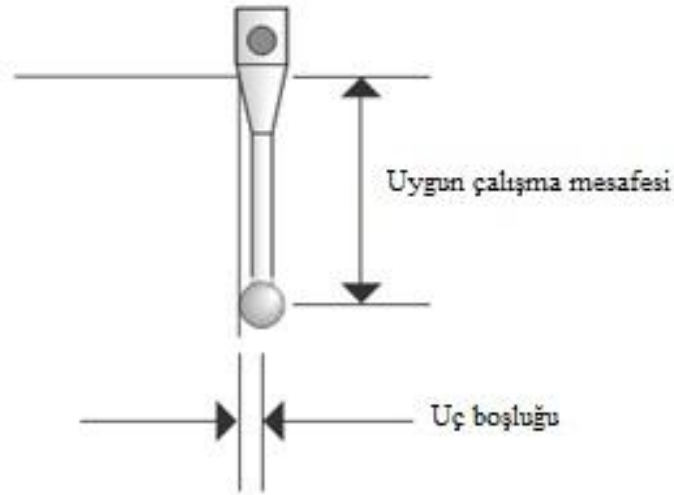
Şekil 5.4'te görüldüğü gibi prob ekleme ile sap eksenine dik olarak yaklaşım gösterilse de prob gövdesi ile olan açı hatalara neden olabilmektedir.

Koordinat ölçme cihazlarında karşılaşılan diğer bir hata türü prob sapının iş parçasına teması sonucunda ucun ölçme işlemini yerine getirememesidir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Prob ucunun konumlandırılması

Daha büyük yarıçaplara sahip prob uçları ile sapların iş parçasına teması önlenemez. Bu şekilde uç ile iş parçası yüzeyi arasındaki boşluk arttırılmış olur (Şekil 5.6). Fakat uç yarıçapının artmasıyla ölçme hassasiyeti azalır. Bunun nedeni temas noktasındaki ucun iş parçasına dokunduğu alanın büyümesidir[48]. Ayrıca büyük yarıçaplara sahip uçlar ufak deliklerin ölçümüne elverişli olmayacaktır.

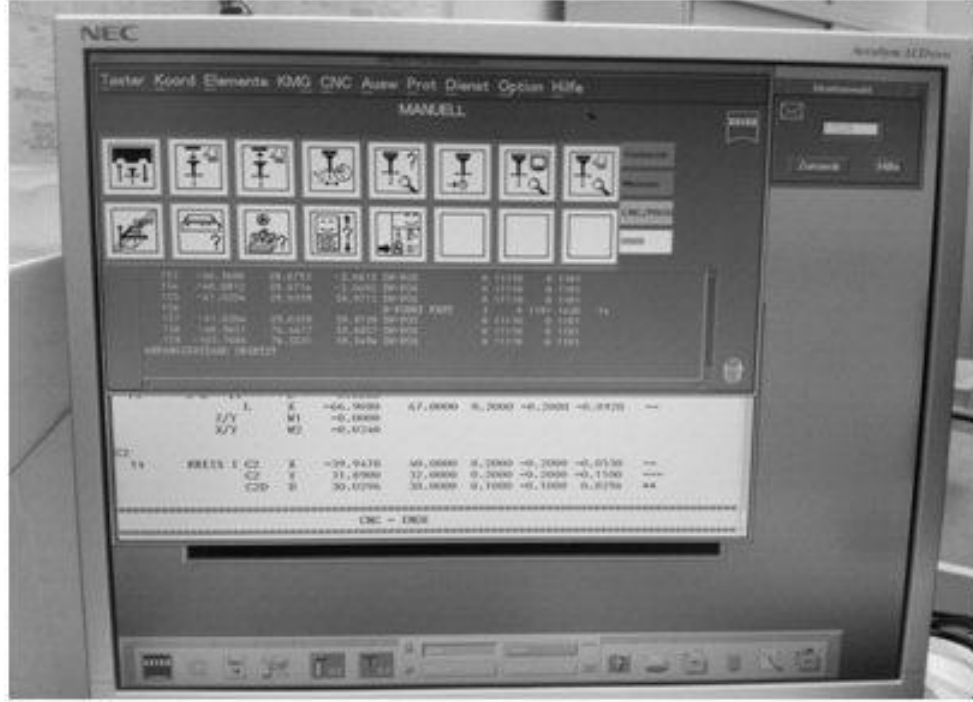


Şekil 5.6 Prob ucu boşluğu

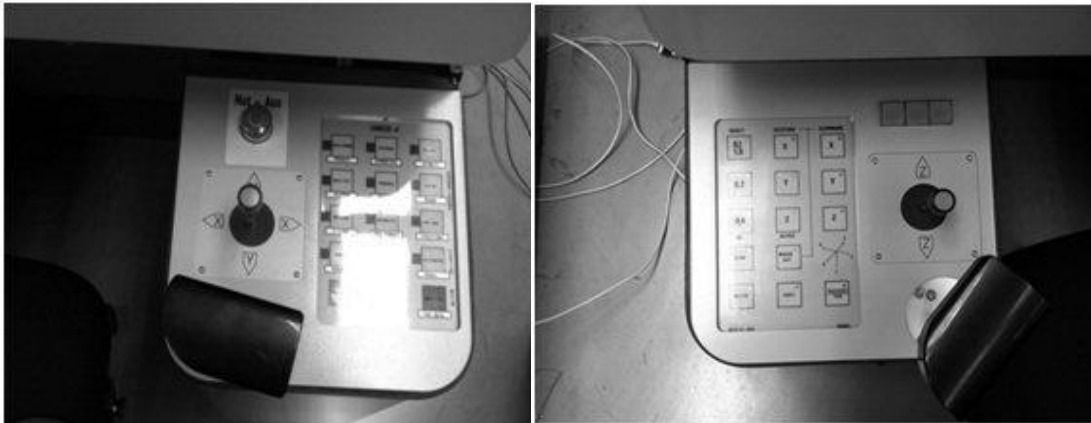
Dokunma tetikli prob sistemi ile temas edilen ölçme noktalarında elektriksel devreyi tamamlayacak etki oluştuğunda koordinat verileri elde edilmiş olur. Prob sapı ne kadar uzun olursa, ölçme hataları o kadar fazla artış gösterir. Bunun uzun saplı problemlerin kısa saplılara göre daha az stabil olmasıdır. Eğilme ve sapma ne kadar fazla olursa ölçme hassasiyeti o kadar düşer[49]. En uygun ve tekrarlanabilir sonuçlar için gereğinden uzun saplı problemlerin kullanımından kaçınılmalıdır.

5.2 Kontrol Ünitesi ve Bilgisayar Donanımları

Koordinat ölçme cihazlarında kontrol ünitesi, el ile ölçümler yapabilmeye olanak sağlar. Kontrol ünitesi mikroişlemci ile yönetilir[50]. Genel olarak yönetme kolu yardımı ile ölçüm yapacak prob ucu hareket ettirilir.



Şekil 5.7 Koordinat ölçme cihazı kontrol ünitesi ekran görüntüsü

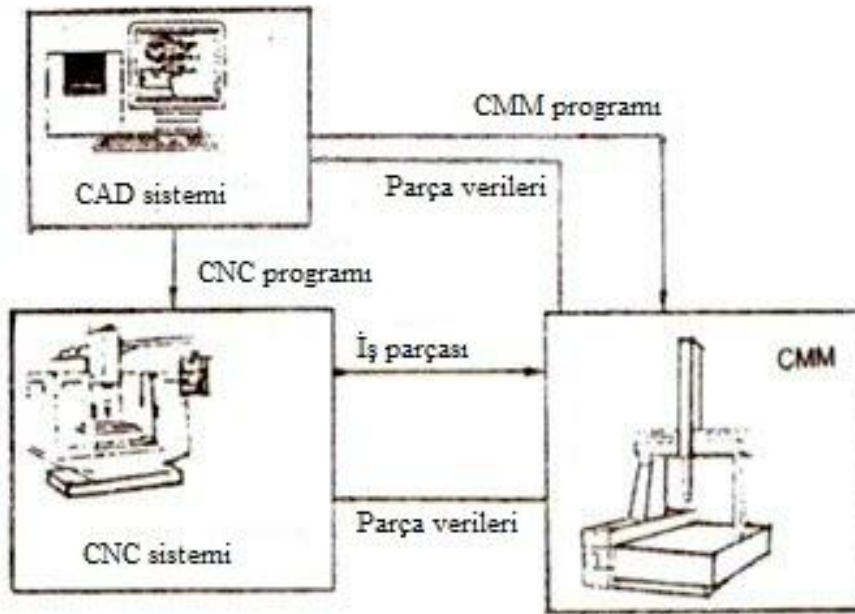


Şekil 5.8 Kontrol ünitesi yönetme kolları (Joystick)

5.3 Bilgisayar Destekli İmalatta (CAM) Koordinat Ölçme Cihazları

Bilgisayar destekli imalat için kullanılan CAM kısaltması, “Computer Aided Manufacturing” teriminin baş harflerinden oluşur. Koordinat ölçme cihazlar CAM için kullanışlı ve önemli bir araçtır. CAM bünyesinde tasarım şekline elde edilen verilerin dönüştürülmesi gibi işlemler için kullanılan eski iletişim standartları, sadece tek yönlü iletişim için uygun olarak belirlenmişlerdi. Bu standartlar ile tasarımın kıstaslara uygunluğu tespit edilemiyordu. Bu nedenle CAM iletişimi için Boyutsal Ölçüm Arayüz Sistemi (DMIS) yeni standartlar olarak kabul edilmiştir[51]. Bu sistem, imalat sistemi ve kontrol ekipmanları arasında çift yönlü iletişim sağlanarak, yapılması gereken ile yapılan arasında karşılaştırma imkânı sunar.

Koordinat ölçme cihazlarında veri toplama birimi probtur. Bu nedenle prob seçimi ve konumlandırılması büyük önem taşımaktadır. CMM sistemine, probun hareketi ile ilgili hız, yön ve açı gibi bilgiler girilmelidir. CNC tezgâhlarında üretilen iş parçası daha sonra CMM ile tarama ve kontrol sürecine girer. Daha sonra elde edilen veriler tekrar bilgisayar ortamına döner ve CNC için kullanılan değerlerle karşılaştırılır. Bu karşılaştırmadan sonra iş parçasında oluşan sapmalar belirlenmiş olur. Böylece imalat problemlerine çözümler üretilmesine yardımcı olunmuş olur[52].



Şekil 5.9 CAD, CNC ve CMM çevrimi

5.4 Koordinat Ölçme Cihazlarının Avantajları

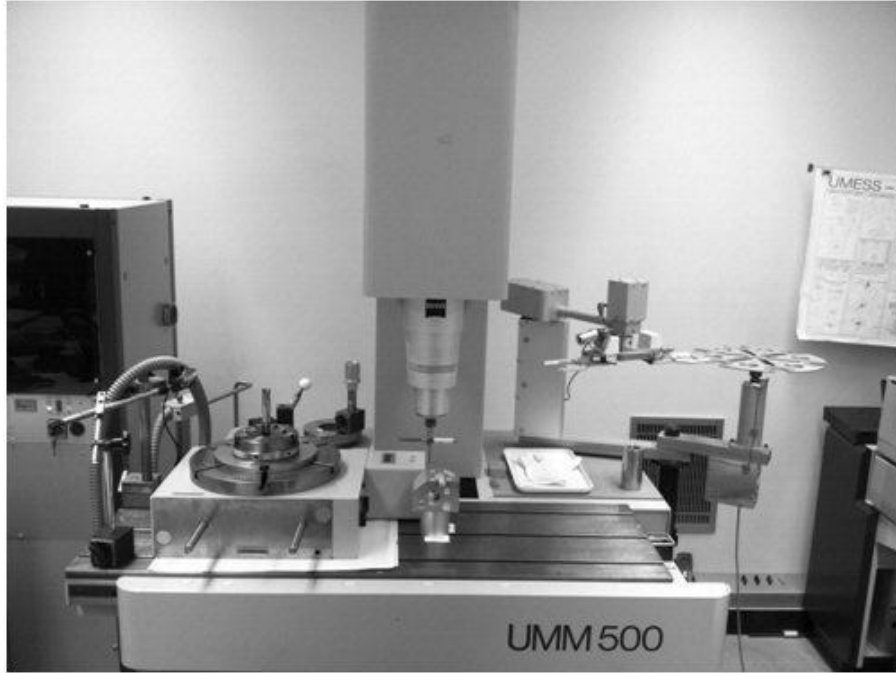
Koordinat ölçme cihazlarının birçok avantajları vardır. Doğrulukları ve hassasiyetleri çok yüksektir. Doğal olarak ölçme tekniklerinin birçok özelliği koordinat ölçme cihazlarında mevcuttur[53]. CMM başlıca avantajlarını sıralayacak olursak:

- Esneklik:** Koordinat ölçme cihazları üniversal makinelerdir ve yalnızca herhangi bir göreve adanmış olmaları gerekmez. CMM, dişli yüzeyleri, eğri yüzeyler gibi birçok iş parçası yüzeyinde ölçüm yapabilir. Başka araç ve gerece ihtiyaç yoktur. Prob ucunun hafif olması nedeniyle birçok parça tezgâha sabitlenmeden ölçme işlemi gerçekleştirilebilir.
- Azaltılmış kurulum süresi:** Parça hizalama ve uygun referans sistemlerinin kurulması geleneksel yüzey kontrol tekniklerinde çok zaman alıcıdır. Yazılım sistemi, CMM üzerindeki parçaların yönlerinin belirlenmesinde ve parçaların referans sistemleri ile makine koordinatları arasındaki bütün gerekli verilerin doğrulanmasında operatöre yardımcı olur.
- Bir kerede kurulum:** Birçok iş parçası CMM üzerine bir kez yerleştirilerek kontrol işlemi gerçekleştirilebilir. Bu şekilde parçanın her yüzeyi yeniden konumlandırma işlemine gerek kalmadan ölçümlendirilmiş olur.
- Yüksek doğruluk:** CMM ölçümleri için ortak geometrik sabit ölçme sistemi kullanılmaktadır. Bu şekilde transfer tekniklerinden ve el ile ayarlamadan doğabilecek hata birikimleri ve tanıma işlemi ortadan kaldırılmış olur.
- Azaltılmış operatör etkisi:** Dijital göstergelerin kullanımı, gösterge çizelgesi veya verniyer tipi ölçme cihazlarının okunmasındaki kişisel değerlendirmeyi ortadan kaldırır. Modern dokunma tetikli prob sistemleri ile deliklerin ve merkez mesafelerinin ölçülmesinde operatörün ölçüm yaparken teması hissederek çalışmasını ortadan kaldırmıştır. Bilgisayar destekli sistemlerde, operatör seçimlerini yöneten bir program kontrolü altındadır. Ek olarak, birçok cihazda bulunan otomatik veri kaydetme ile verilerin denetim raporuna uyarlanması oluşabilecek hatalar engellenir. Bu şekilde, operatörler için gerekli olan eğitim süreçleri azaltılarak, istenilen yetenek düzeyi daha aşağıya çekilmiş olur.
- Gelişmiş verimlilik:** Yukarıda belirtilen özellikler koordinat ölçme cihazlarını, geleneksel cihazlara göre daha verimli yapmaktadır. Ayrıca, bilgisayarlar ve

hesaplayıcılar ile desteklenen bu analitik veri toplama yeteneklerindeki verimlilik artışı dikkat çekmektedir.

5.5 Koordinat Ölçme Cihazı ile Ölçme Süreci

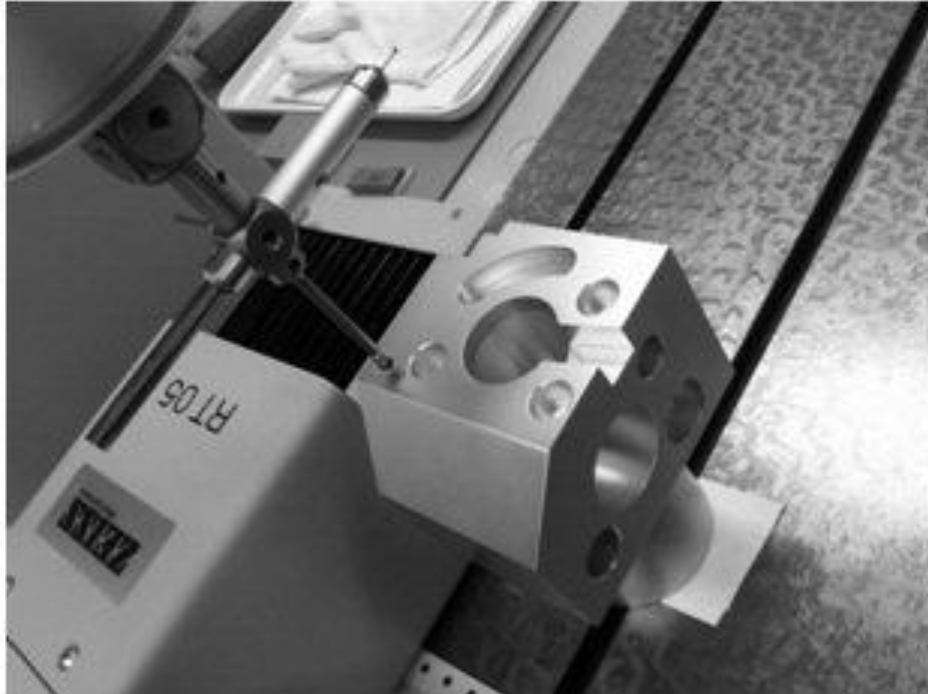
- İş parçasının ölçümü için, kullanılacak uçlar yüksek hassasiyete sahip küre yardımı ile kalibre edilirler[54].
- İş parçasının koordinat sistemini ve sıfır noktasını belirlemek amacıyla, prob ucu X-Y-Z yönlerinde normal vektörlerine sahip olan üç farklı yüzeye temas ettirilir. Sıfır noktası ve uç eşleştirilir. Böylece iş parçasının koordinat sistemi ve sıfır noktası belirlenmiş olur. Ölçümler sıfır noktası ve koordinat sistemine bağlı olarak değerlendirilir.
- İş parçasının geometrik öğeleri, yüzeylerinin taranması ile koordinat ölçme tekniği metotlarına göre ölçümlendirilir. Matematiksel olarak geometrik özelliklere göre gerekli olan tarama noktalarının sayıları farklılık gösterir. Düzlemin ölçümü için üç yüzeye ihtiyaç varken, daha hassas ölçümler için dört noktadan tarama yapılması öneriler. Silindirik bölümler için beş noktada ölçüm yapılmalıdır. İki yüzey arasındaki açı belirlenirken, yüzey normaleri kullanılır ve bu şekilde istenilen açı değeri tespit edilir.



Şekil 5.10 Zeiss UMM 500 koordinat ölçme cihazı



Şekil 5.11 Koordinat ölçme cihazı ile ölçme işlemi



Şekil 5.12 Koordinat ölçme cihazında ölçülendirilen iş parçası örneği

DİŞLİLERDE 3 BOYUTLU ÖLÇÜMLER VE ANALİZLERİ

6.1 Dişli Hataları

Özellikle iş makineleri olmak üzere birçok sistemde kullanılan dişliler, genellikle hareket ve güç aktarma da görev alırlar. Başlıca dişli çeşitleri olarak, düz dişliler, helisel dişliler, konik dişliler, sonsuz vida vb. örnek verilebilir.

Dişliler, imalat sırasında ve montaj edildikleri mekanizmalarda meydana gelen hatalara sahip olabilirler.

Dişlilerin imalatı ile ilgili hatalar:

- Diş biçim hataları
- Diş bölüm hataları
- Diş yüzey hataları
- Dairesellik hataları ve redüktörlerdeki eksen aralığı hataları

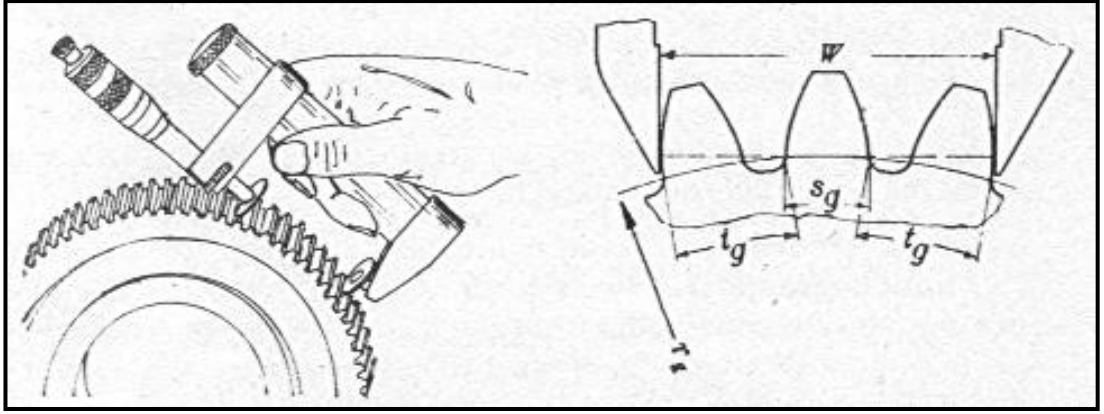
6.2 Dişlilerin Kontrolü

Bir önceki bölümde bahsedilen dişli hataları, günümüz endüstrisinde birçok kalite standartları ile kısıtlanmıştır. Bu nedenle pazardaki payını arttırmak ve ürettiği ürünlerin kalitesini kanıtlamak isteyen üreticiler, ürünlerini bir takım kontrollerden geçirirler. Dişlilerin kontrolleri iki aşamada yapılmaktadır;

- 1.İmalat sırasındaki kontrol
- 2.İmalat sonrasındaki kontrol

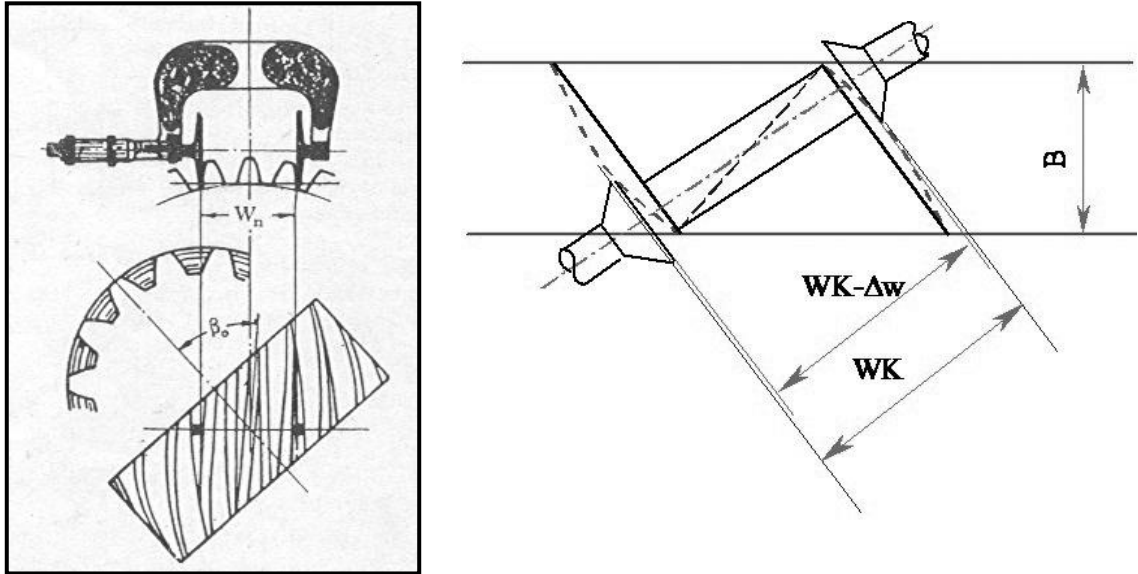
6.2.1 Dişlilerin İmalat Sırasındaki Kontrolü

Dişlilerin imalatı sırasında en çok uygulanan kontrol yöntemi, modül mikrometresi ile diş kalınlıklarının kontrolüdür. Bu kontrolün amacı, diş kalınlıklarının istenilen kalınlığa ulaşmış olup olmadığını tespit etmektir. Bu ölçme işlemi sonucu olarak diş açan tezgâha ne kadar paso verileceği belirlenir. Mikrometre ile gerçekleştirilen bu ölçüm 0,01 mm hassasiyete sahiptir. Genel olarak yüksek kalite olmayan dişli imalatında uygulanması yeterli görülen kontrol yöntemidir.



Şekil 6.1 Dişli ölçme mikrometresi ile diş kalınlığı kontrolü

Helisel dişlilerin, dişli ölçme mikrometresi ile ölçülmesi ancak yeteri kadar geniş olmaları şartıyla mümkün olmaktadır. Helisel dişlilerde, helisteki bombenin tepe noktalarından ölçülememesi nedeni ile mikrometre ile 3 boyutlu dişli ölçme cihazları (Klingelnberg vb.) arasında az da olsa farklı bir sonuç elde edilir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Modül mikrometresi ile helisel dişli kontrolü

6.2.2 Dişlilerin İmalat Sonrasındaki Kontrolü

İmalattan çıkan dişliler kontrol bölümüne aktarılır. Kontrol sonucu hata bulunursa düzeltme çalışmaları yapılır. Bu hatalar DIN 3960-3964 Alman standartları ile sınırlandırılmıştır. İmalat sonrasında dişlilerin kontrol sistemi genel olarak üç gruba ayrılabilir:

- Görev kontrolü
- Hataların toplu olarak kontrolü
- Hataların teker teker kontrolü

6.2.2.1 Görev Kontrolü

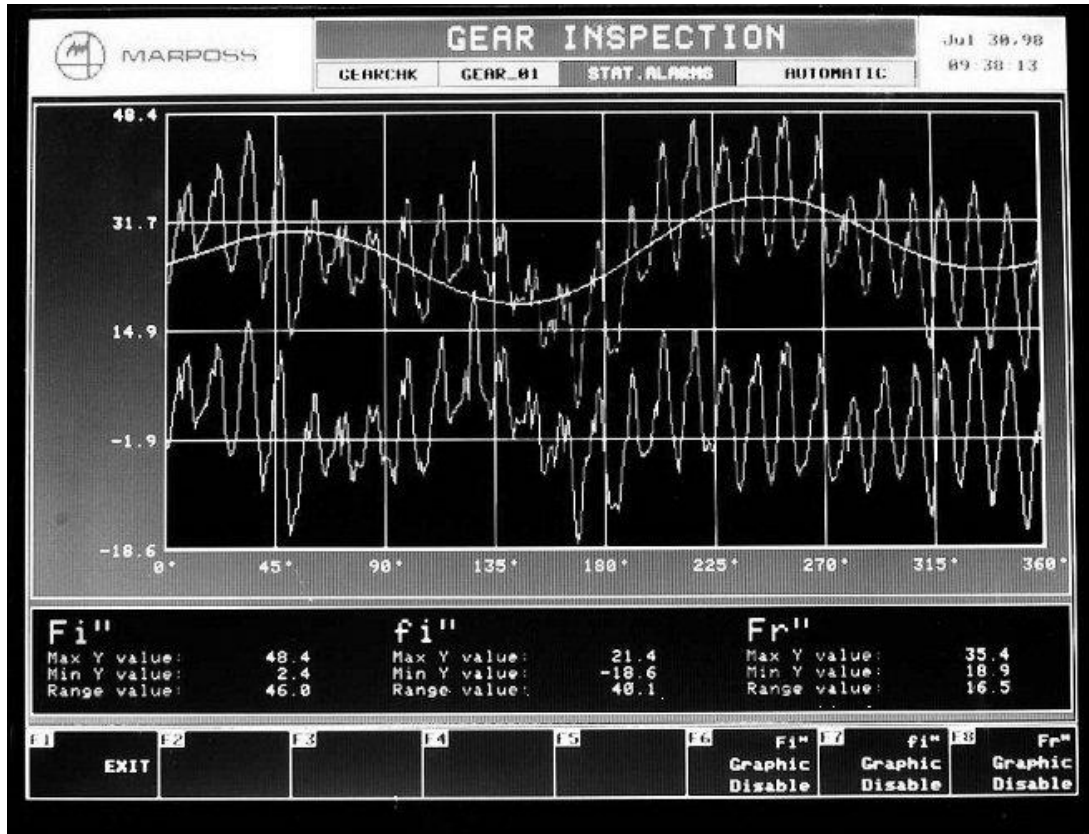
Bu metot ile dişlilerin görevlerini kabaca yapıp yapmadıkları kontrol edilir. Düşük kaliteli ve çok yavaş dönen dişliler için uygulanır. Bazı hallerde dişli çiftini dinlemek yeterlidir. Bu maksatla dişli bir ses kontrol kutusuna monte edilerek az yük altında çalıştırılır ve tecrübeli bir operatör tarafından fazla ses çıkarıp çıkarmadığı dinlenir.

6.2.2.2 Diş Hatalarının Toplu Olarak Kontrolü

Kaliteleri yüksek olan dişlilerde, genel olarak hatalar toplu olarak ölçülür. 0,001 mm hassaslığında ölçümler yapılabilen bu cihazlar ile dişli kontrol işlemleri hem çok kolay hem de az masraflıdır. Ölçümü yapılacak dişli, master dişli karşısına konularak döndürülmeye başlanır. Ölçüm saati yardımıyla ölçümü yapılan dişlideki hatalar saptanır.



Şekil 6.3 Dişli hatalarının master dişli yardımı ile tespiti

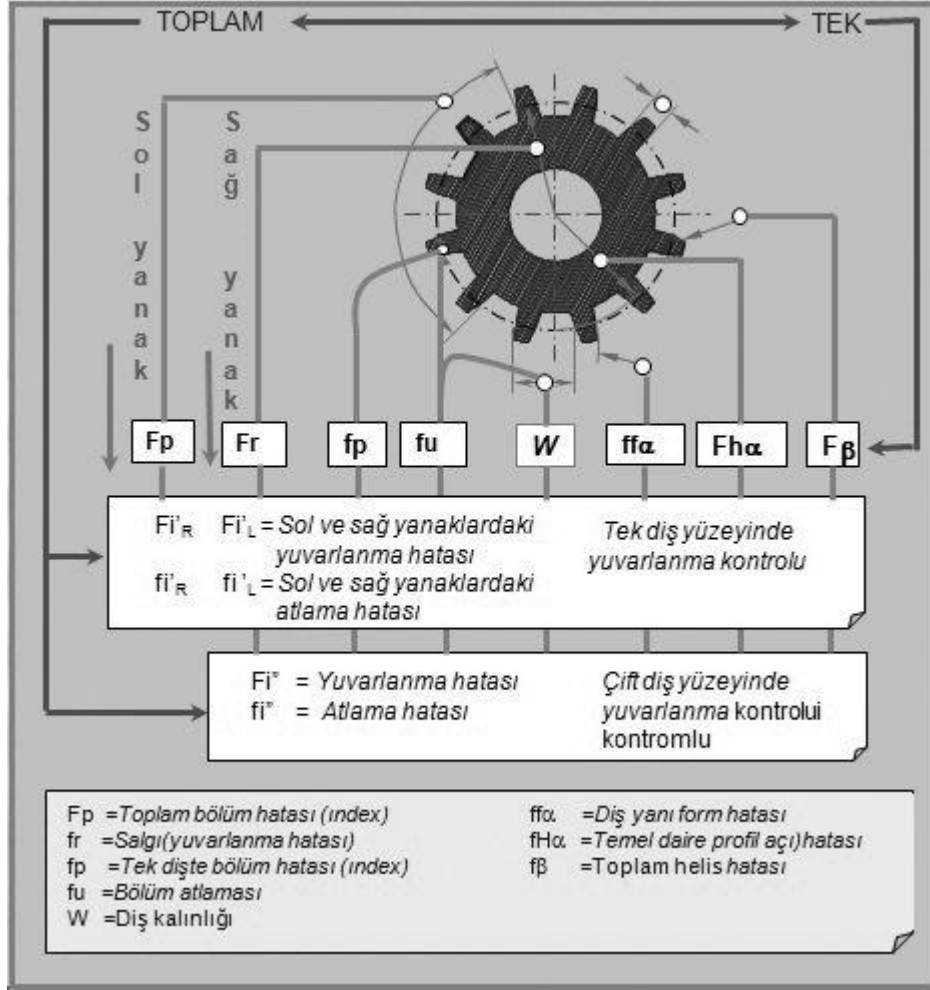


Şekil 6.4 Dişli hatalarının master dişli yardımı ile tespiti (Cihaz ekranı)

Şekil 6.4'de master dişli yardımı ile elde edilen, ölçümü yapılan dişlinin F_i'' (yuvarlanma hatası) ve f_i'' (atlama hatası) değerleri, DIN 3963 standartları ile belirli sınırlar içerisine alınmıştır.

Çizelge 6.1 Dişlilerde yuvarlanma ve atlama hatası toleransları (DIN 3963)

Verzahnungsqualität		Abweichung											
		F_i'						f_i'					
		7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12
Teilkreisdurchmesser d in mm	über 10 bis 50	36	50	71	110	180	280	18	25	32	50	90	140
	über 50 bis 125	40	56	80	125	200	320	18	25	36	56	90	140
	über 125 bis 280	45	63	90	140	250	360	18	25	36	56	90	140
	über 280 bis 560	50	71	100	160	250	400	18	25	36	56	90	160
	über 560 bis 1000	56	80	110	180	280	450	20	28	40	63	100	160
	über 1000 bis 1600	63	90	125	200	320	500	20	28	40	63	100	160
	über 1600 bis 2500	71	90	125	220	320	560	22	32	40	71	110	180
	über 2500 bis 4000	71	100	140	220	360	560	22	32	45	71	110	180
	über 4000 bis 6300	80	110	160	250	400	630	25	36	50	80	125	200
	über 6300 bis 10000	90	125	180	280	450	710	28	36	56	90	140	220



Şekil 6.5 Dişlilerdeki hatalar ve sembolleri

6.2.2.3 Dişli Hatalarının Teker Teker Kontrolü

Dişli dişleri bir takım tespit edici boyutlarla belirtilirler. Dişlerin kullanılış yerine göre bu boyutlar belirli tolerans değerleri içerisinde kalmalıdır. Şekil 6.5’de belirtildiği gibi dişli hataları:

- Temel daire hatası (F_g) – Profil açısı hatası ($FH\alpha$)
- Diş yanı form hatası ($ff\beta$ – ffa)
- Toplam profil hatası ($F\alpha$)
- Bölüm (adım) hataları (f_p , F_p)
- Bölüm (adım) atlama (F_u)
- Diş kalınlığı hatası (R_s)
- Dairesellik hatası (salgı) (F_r)
- Diş yönü (helis açısı) hatası ($fH\beta$)
- Eksen aralığı kontrolü

Yukarıdaki hataları teker teker ölçmek dişli üreticileri için büyük önem taşımaktadır. Yapılan hataların cinsleri belirlenirse bunların önlenmesi imkanı araştırılabilir ve profil düzeltilebilir. DIN 3962 içerisinde dişli hataları ile ilgili tolerans değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 6.2 Dişlilerdeki hataların tolerans değerleri (DIN 3962)

Normalmodul über 2 bis 3,55 mm

Toleranzen in μm

Abweichung	Verzahnungsqualität					
	7	8	9	10	11	12
f_t	11	16	22	36	56	90
$f_{H\alpha}$	9	12	18	28	45	71
F_t	14	20	28	45	71	110

Diş yanı form hat.

Profil açısı hatası

Top. Profil Hat.

Teilkreisdurchmesser d in mm	Verzahnungs- Qualität	Adım Hatası f_p, f_{pe}	Abweichung f_u	Toplam adım hatası F_p															
		7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12
über 10 bis 50		10	14	20	32	50	80	12	18	25	40	63	100	28	40	56	90	140	250
über 50 bis 125		10	14	20	32	50	80	12	18	25	40	63	100	36	50	71	125	180	320
über 125 bis 280		11	16	22	36	56	90	14	20	28	45	71	110	45	63	90	140	220	360
über 280 bis 560		12	16	22	36	56	90	16	20	28	45	71	110	50	71	100	160	250	400
über 560 bis 1000		12	18	25	40	63	100	16	22	32	50	80	125	56	80	110	180	280	450
über 1000 bis 1600		14	22	28	45	71	125	18	25	36	56	90	160	63	90	125	200	320	500
über 1600 bis 2500		16	25	32	50	80	140	20	28	40	63	100	180	71	100	140	220	360	560
über 2500 bis 4000		18	25	36	56	90	140	22	32	45	71	110	180	80	110	160	250	400	630
über 4000 bis 6300		20	25	40	63	100	160	25	36	50	80	125	200	80	125	160	250	400	630
über 6300 bis 10000		28	32	45	71	110	180	28	40	63	100	160	250	90	125	180	280	450	710

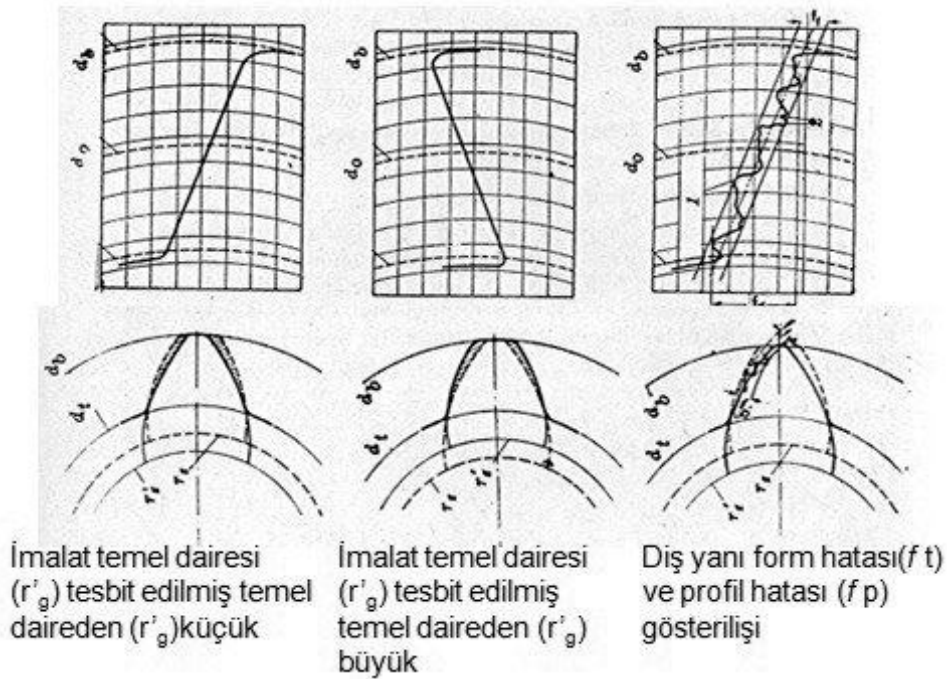
Çizelge 6.3 Dişlilerdeki hataların tolerans değerleri (DIN 3962)

Verzahnungs- qualität	$F_{p\ z/8}$						Salgı Abweichung F_r						R_s					
	7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12
über 10 bis 50	20	25	36	56	90	140	22	32	45	63	90	125	14	20	28	36	56	71
über 50 bis 125	25	32	45	71	125	180	28	40	56	80	110	160	16	22	32	45	63	90
über 125 bis 280	28	40	56	90	140	220	32	45	63	90	125	180	20	28	36	50	71	100
über 280 bis 560	32	45	63	100	160	250	36	50	71	100	140	180	22	32	40	56	80	110
über 560 bis 1000	36	50	71	110	180	280	40	56	80	110	160	220	25	36	45	63	90	125
über 1000 bis 1600	40	56	80	125	200	320	45	63	90	125	180	250	28	36	50	71	100	140
über 1600 bis 2500	45	63	90	140	220	360	50	71	100	140	200	280	28	40	56	80	110	160
über 2500 bis 4000	50	71	90	160	250	400	50	71	100	140	200	280	32	45	63	90	125	180
über 4000 bis 6300	56	71	110	180	280	450	56	80	110	160	220	320	32	45	63	90	140	180
über 6300 bis 10000	56	80	110	180	280	450	63	90	125	180	250	360	36	50	71	100	140	200

Temel daire hatası (Fg) – Profil açı hatası (FH α): Bir dişlinin imalat temel dairesi (r'_g) tespit edilmiş değerinden küçük ise ($r'_g > r_g$) dişler fazla yatık olarak imal edilir. İmalat temel dairesi (r'_g) tespit edilmiş değerinden büyük ise ($r'_g < r_g$) dişler fazla dik olur.

Diş yanı form hatası (ff β – ff α): Bir yanağının kompleks profilinden kaçıklıkları, diş yüzeyindeki düzgünsüzlükler ve dalgalardır. Bu hatalar, diş yanı form hataları olarak adlandırılmaktadır. Temel dairenin tam, büyük, küçük olmasının bu hatalar üzerinde etkisi yoktur.

Toplam profil hatası (Fa): Temel daire hatası ve diş yanı form hatasının toplamına eşittir.



Şekil 6.6 Temel daire hataları ve diş yanı form hatası

Bölüm (adım) hataları (fp, Fp): Diş bölüm hataları tek dil bölüm hatası (fp) ve toplam bölüm hatası (Fp) olarak ayırt edilebilir.

Bölüm (adım) atlaması (Fu): Arka arkaya okunan iki bölüm hatasının farkıdır.

Diş kalınlığı hatası (Rs): Diş kalınlıkları eksen aralıkları ile birlikte diş yanı boşluğunu tespit ederler. Üç şekilde ölçüm yapılır:

1. Dişli mikrometreleri ile ölçüm
2. Makara veya bilyalar üzerinde ölçüm
3. Diş kalınlığı ölçen cihazlar ile ölçüm

Dairesellik hatası (salgı) (Fr): Dişli delik ekseninden veya mil ekseninden merkezlenir. Sabit bir noktadan sırasıyla dış boşluklarına uygun çapta bilye veya makaralar oturtularak ölçüm yapılır. Ölçülen maksimum ve minimum değerlerin farkları dairesellik (yuvarlanma) hatasını verir.

Diş yönü (helis açısı) hatası (fH β): Dişlilere gelen yüklerin dişlere düzgün olarak dağılabilmesi için diş yönü (diş eğimi) hatası belirli sınırları aşmamalıdır. f β için sınır değerleri DIN 3962’de verilmiştir.

Çizelge 6.4 Diş yönü (helis açısı) hatası tolerans değerleri (DIN 3962)

Toleranzen in μm													
Abweichung $\frac{F_{\beta}}{H_{\beta}}$ f_{β}													
Verzahnungsqualität	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Zahnbreite b in mm	bis 20	2,5	3,5	4,5	5,5	7	9	13	18	28	45	71	110
		2	2,5	3	4	6	8	11	16	25	36	56	90
		1,5	2,5	3	3,5	4,5	5,5	7	9	14	25	40	63
	über 20 bis 40	3	4	5	6	8	10	15	20	32	50	80	125
		2	2,5	3,5	4,5	6,5	9	13	18	28	40	63	100
		2	3	4	5	6	7	9	12	18	28	45	71
	über 40 bis 100	4	5	6	8	10	12	18	25	40	63	100	160
		2,5	3	4	5	7	10	14	20	28	45	71	110
		3	4	5	6	7	9	12	18	28	45	63	110
	über 100 bis 160	5	6	8	10	12	16	22	32	50	80	125	200
		3	3,5	4,5	6	8	11	16	22	32	50	80	125
		4	5	7	8	9	12	16	25	40	63	100	160
	über 160 ¹⁾	5	6	8	10	12	16	22	32	50	80	125	200
		3	3,5	4,5	6	8	11	16	22	32	50	80	125
4		5	7	8	9	12	16	25	40	63	100	160	

¹⁾ Statt der angegebenen Tabellenwerte können für Räder mit $b > 160$ mm auch andere Flankenlinientoleranzen vereinbart werden. Siehe auch DIN 3961, Ausgabe August 1978, Abschnitt 6.2

Erläuterungen siehe DIN 3962 Teil 1

Eksen aralığı kontrolü: Çalışma sırasındaki diş boşluğu, eksen aralığından önemli şekilde etkilendiğinden redüktör gövdelerindeki yatak aralıklarının kontrol edilmesi gerekir. Silindirik dişlilerin yataklar arası ölçüleri DIN 3964 ile toleranslandırılmıştır.

Çizelge 6.5 Silindirik dişlilerde yataklar arası ölçüler için tolerans cetveli (DIN 3964)

SİLİNDİRİK DİŞLİLERDE YATAKLAR ARASI ÖLÇÜLER İÇİN TOLERANS CETVELİ

DIN

3964

DİŞLİ
KALİTELERİ

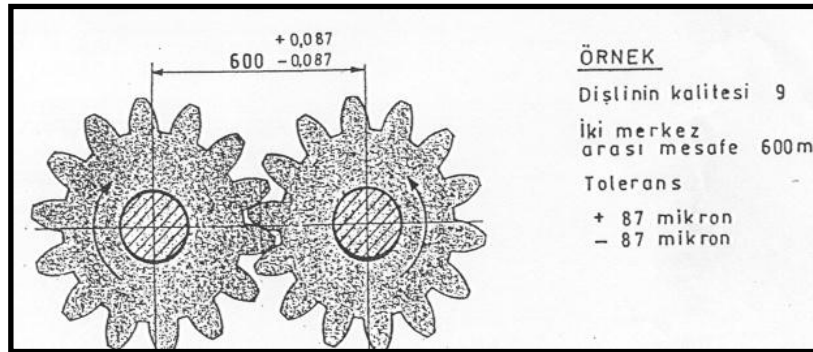
Kalite 1--3

Kalite 4--6

Kalite 7--9

Kalite 10--11

a	ISO TOLERANS js (değerler mikrondur.)							
	5	6	7	8	9	10	11	
10	+ 4	+ 5,5	+ 9	+ 13,5	+ 21,5	+ 35	+ 55	
18	- 4	- 5,5	- 9	- 13,5	- 21,5	- 35	- 55	
18	+ 4,5	+ 6,5	+ 10,5	+ 16,5	+ 26	+ 42	+ 65	
30	- 4,5	- 6,5	- 10,5	- 16,5	- 26	- 42	- 65	
30	+ 5,5	+ 8	+ 12,5	+ 19,5	+ 31	+ 50	+ 80	
50	- 5,5	- 8	- 12,5	- 19,5	- 31	- 50	- 80	
50	+ 6,5	+ 9,5	+ 15	+ 23	+ 37	+ 60	+ 95	
80	- 6,5	- 9,5	- 15	- 23	- 37	- 60	- 95	
80	+ 7,5	+ 11	+ 17,5	+ 27	+ 43,5	+ 70	+ 110	
120	- 7,5	- 11	- 17,5	- 27	- 43,5	- 70	- 110	
120	+ 9	+ 12,5	+ 20	+ 31,5	+ 50	+ 80	+ 125	
180	- 9	- 12,5	- 20	- 31,5	- 50	- 80	- 125	
180	+ 10	+ 14,5	+ 23	+ 36	+ 57,5	+ 92,5	+ 145	
250	- 10	- 14,5	- 23	- 36	- 57,5	- 92,5	- 145	
250	+ 11,5	+ 16	+ 26	+ 40,5	+ 65	+ 105	+ 160	
315	- 11,5	- 16	- 26	- 40,5	- 65	- 105	- 160	
315	+ 12,5	+ 18	+ 28,5	+ 44,5	+ 70	+ 115	+ 180	
400	- 12,5	- 18	- 28,5	- 44,5	- 70	- 115	- 180	
400	+ 13,5	+ 20	+ 31,5	+ 48,5	+ 77,5	+ 125	+ 200	
500	- 13,5	- 20	- 31,5	- 48,5	- 77,5	- 125	- 200	
500	+ 14	+ 22	+ 35	+ 55	+ 87	+ 140	+ 220	
630	- 14	- 22	- 35	- 55	- 87	- 140	- 220	
630	+ 16	+ 25	+ 40	+ 62	+ 100	+ 160	+ 250	
800	- 16	- 25	- 40	- 62	- 100	- 160	- 250	
800	+ 18	+ 28	+ 45	+ 70	+ 115	+ 180	+ 280	
1000	- 18	- 28	- 45	- 70	- 115	- 180	- 280	
1000	+ 21	+ 33	+ 52	+ 82	+ 130	+ 210	+ 330	
1250	- 21	- 33	- 52	- 82	- 130	- 210	- 330	
1250	+ 25	+ 39	+ 62	+ 97	+ 155	+ 250	+ 390	
1600	- 25	- 39	- 62	- 97	- 155	- 250	- 390	
1600	+ 30	+ 46	+ 75	+ 115	+ 185	+ 300	+ 460	
2000	- 30	- 46	- 75	- 115	- 185	- 300	- 460	
2000	+ 35	+ 55	+ 87	+ 140	+ 220	+ 350	+ 550	
2500	- 35	- 55	- 87	- 140	- 220	- 350	- 550	
2500	+ 43	+ 67	+ 105	+ 165	+ 270	+ 430	+ 675	
3150	- 43	- 67	- 105	- 165	- 270	- 430	- 675	



Şekil 6.7 Dişlilerde eksen aralığı tolerans değerleri örneği

6.3 Klingelberg Üç Boyutlu Ölçme Cihazı ile Dişlilerin Ölçümü ve Analizleri

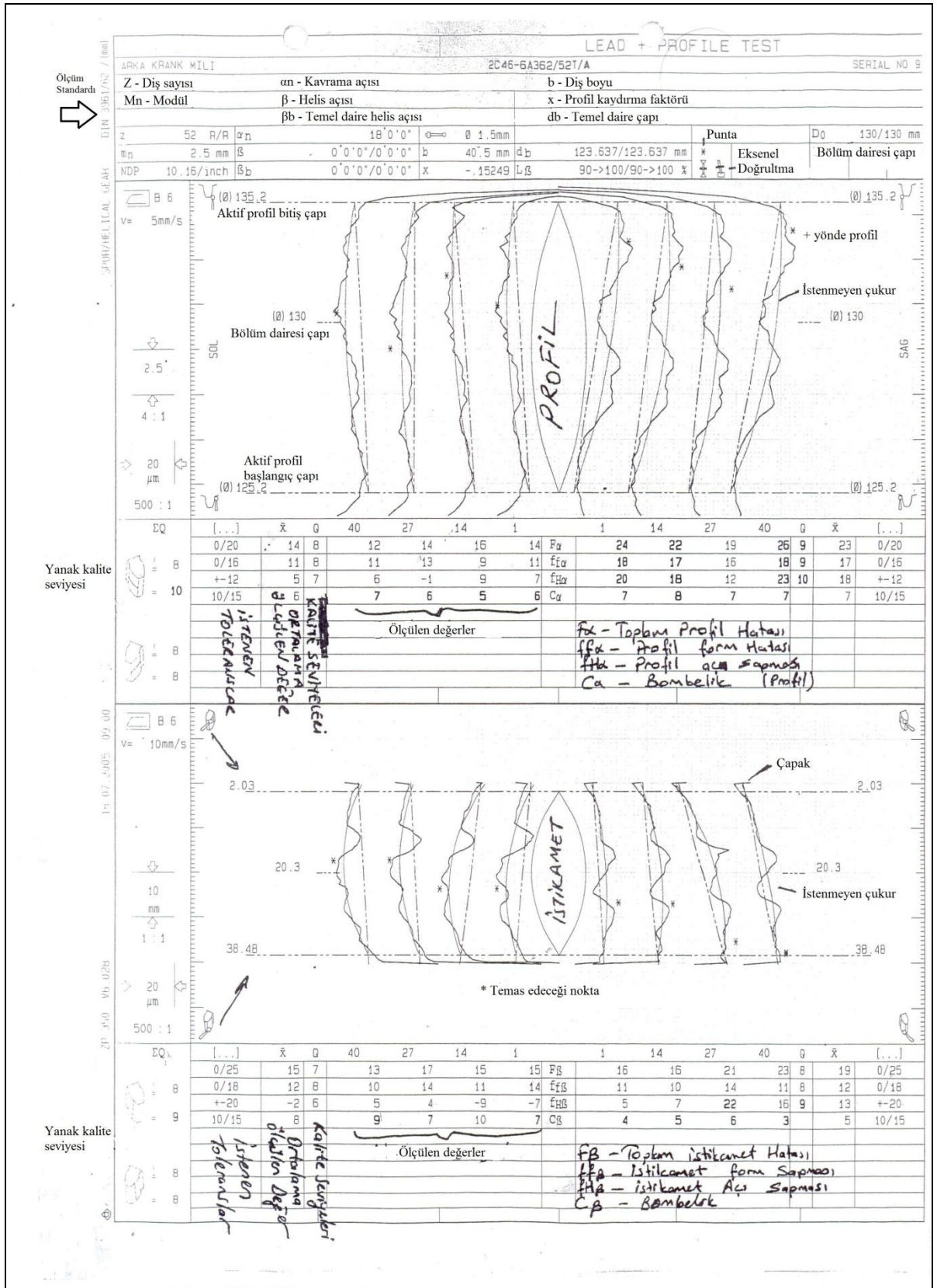
Çok çeşitli dişlilerin üç boyutlu ölçümü için geliştirilmiş olan Klingelberg ZP350 dişli ölçme cihazı yüksek hassasiyette dişlilerin kontrolünde kullanılmaktadır. Bu cihaz ile dişlilerin sağ ve sol yanakları için profil, istikamet, adım hataları, toplam adım hataları, salgı gibi verileri toplanır. Bu veriler bilgisayar ortamına aktarılarak istenilen tolerans sınırlarında olup olmadıkları belirlenir. Bulundukları tolerans değerlerine göre dişliler çeşitli kalite sınıflarına ayrılırlar.



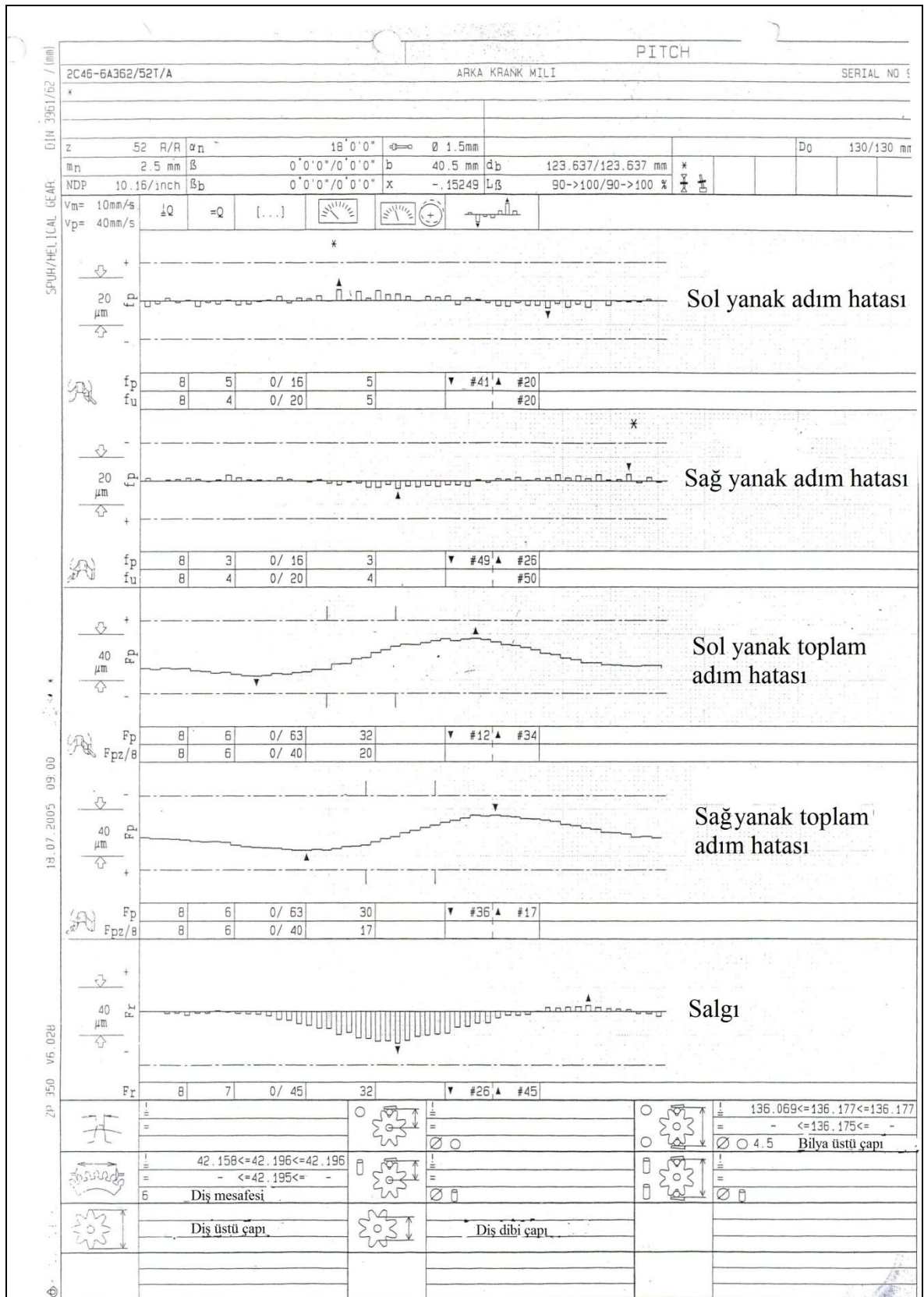
Şekli 6.8 Klingelberg ZP350 üç boyutlu dişli ölçme cihazı

Klingelberg ZP350 üç boyutlu dişli ölçme cihazı ile ayrıca diş dibi çapı, diş üstü çapı, diş mesafesi ve bilya üstü çap değerleri ölçülebilmektedir.

Profil ve istikamet ölçümleri ile dişli yanaklarının beraber çalıştıkları diğer dişli yanaklarına hangi noktada temas edecekleri de belirlenir. Profil ve istikamet ölçümlerinin asıl amacı toplam profil hatası ($F\alpha$), profil form hatası ($ff\alpha$), profil açısı sapması ($fH\alpha$) ve bombelik ($C\alpha$) tespitidir. Ölçülen bu hata değerlerine göre dişliler kalite seviyeleri ile numaralandırılırlar.



Şekil 6.9 Klingelnberg üç boyutlu dişli ölçüm cihazı ile profil ve istikamet ölçümü diyagramı

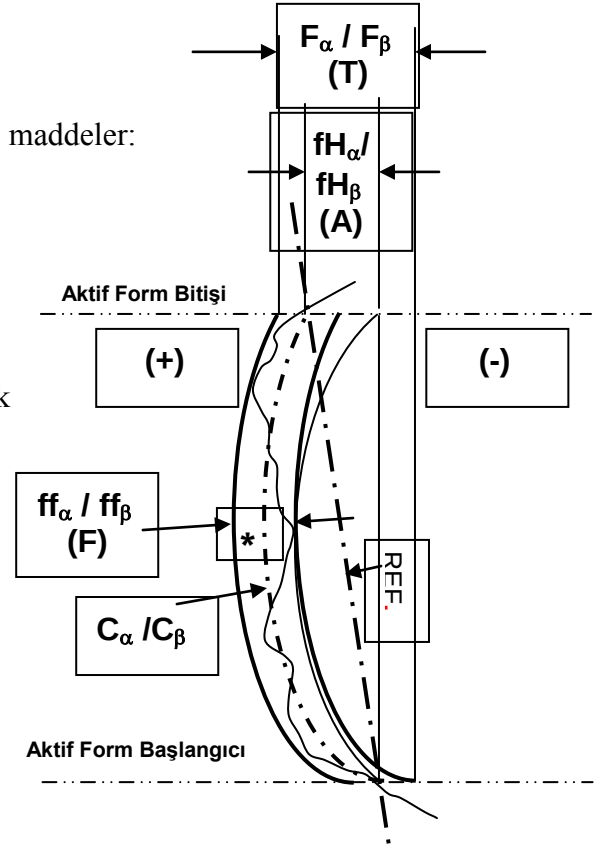


Şekil 6.10 Klingelberg üç boyutlu dişli ölçüm cihazı ile adım hataları ve salgı diyagramı

6.4 Klingelnberg Üç Boyutlu Dişli Ölçme Cihazı Gösterimleri ve Açıklamaları

Profilde ve istikamette dikkat edilecek önemli maddeler:

- Eksi bombelik ve çöküntü olmayacak
- Profil bitişleri artı yönde olmayacak
- İstikamet yüzeyinde titreşim olmayacak
- Yüzeylerde dalma veya yolma olmayacak
- Çapak ve kirlilik olmayacak
- Diş dibinde aşırı kademe olmayacak



ÖZEL İŞARETLER VE AÇIKLAMALARI

α = Profiller için alt ifade
 F_{α} = Toplam Profil Sapması
 ff_{α} = Profil Form Sapması
 fH_{α} = Profil Açı Sapması
 $f_{\sigma\alpha}$ = Profilin Form Standart Sapması
 C_{α} = Profil Bombeliği

β = İstikametler için alt ifade
 F_{β} = Toplam İstikamet Sapması
 ff_{β} = İstikamet Form Sapması
 fH_{β} = İstikamet Açı Sapması
 $f_{\sigma\beta}$ = İstikamet Form Standart Sapması
 C_{β} = İstikamet Bombeliği

*= Kavrama noktası (Nominal Eğriye Dik Teğet Değme Noktası)

Q= Kalite Seviyesi

[...]= İstenen Değerler

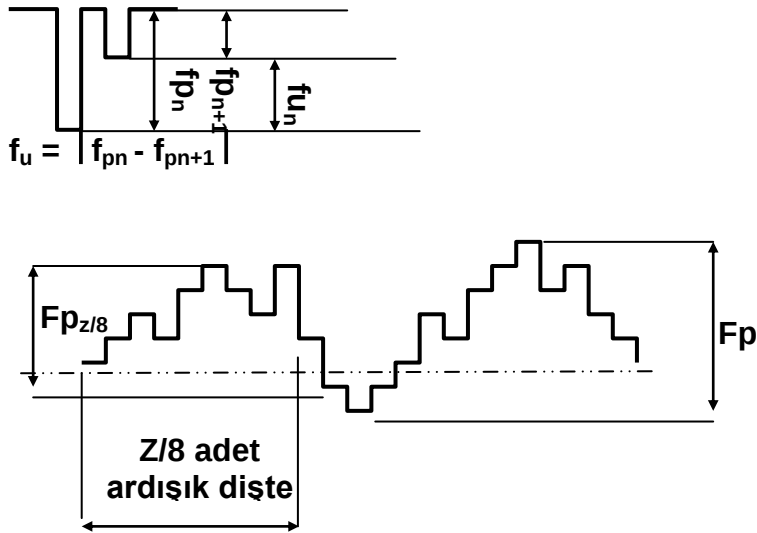
X= Ölçülen Değerlerin Ortalaması

Şekil 6.11 Klingelnberg cihazının diyagramındaki değerler ve sembolleri

Çizelge 6.6 Dişlilerde genel semboller

GENEL DİŞLİ GÖSTERİMLERİ

Z = Diş Sayısı
 m_n = Normal metrik Modül (mm)
 NDP = Normal İngiliz Modülü
 α_n = Kavrama Açısı ($^\circ$)
 β = Helis Açısı ($^\circ$)
 β_b = Temel Daire Helis Açısı ($^\circ$)
 b = Diş Boyu (mm)
 X = Kaydırma Faktörü
 d_b = Temel Daire (mm)
 L_α = Değerlendirme (%)
 d_0 = Bölüm Dairesi

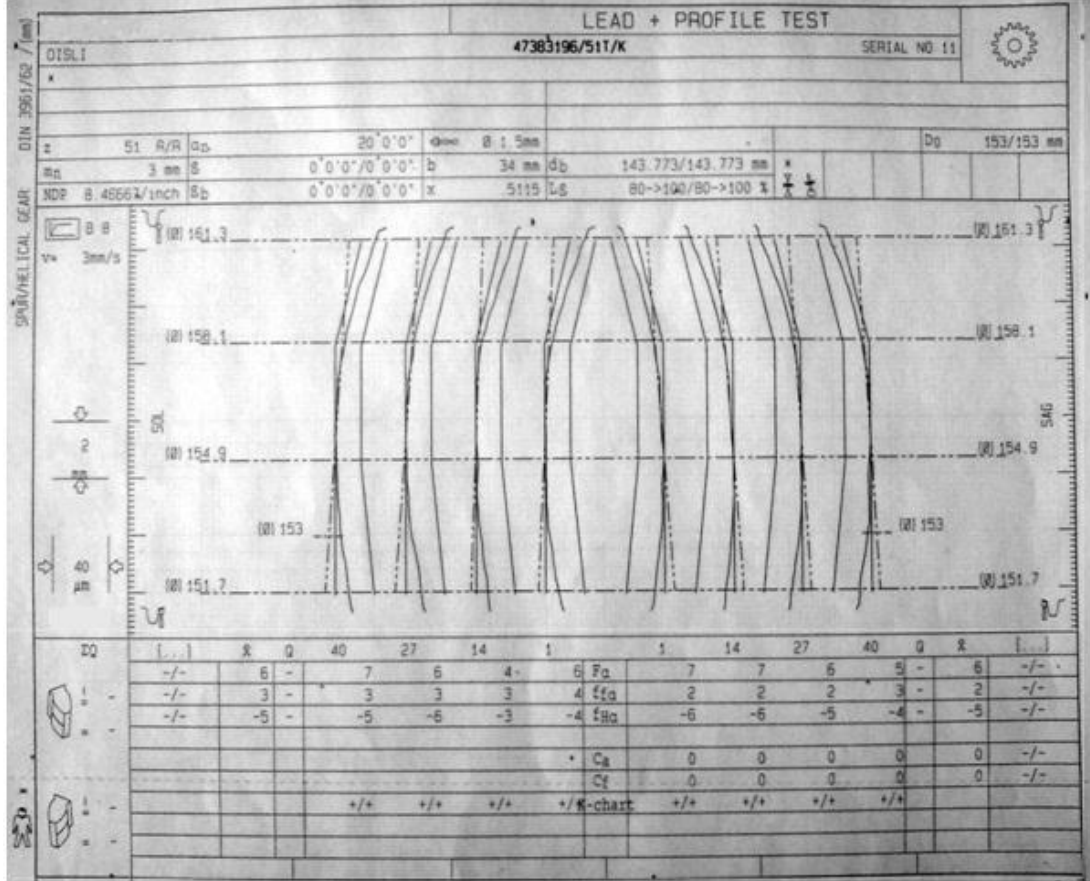


f_{pn} = n. dişteki adım sapması
 f_{pn+1} = n+1. dişteki adım sapması
 f_u = Bitişik iki adım arasındaki fark
 $F_{p_{z/8}}$ = Ardışık 8 dişte toplam adım sapması
 F_p = Toplam adım sapması
 Fr = Salgı (Run-Out)

Şekil 6.12 Dişli adım sapmaları ve sembolleri

6.5 Klingelnberg Üç Boyutlu Dişli Ölçme Cihazı ile Dişli Ölçümleri ve Uygulamaları

Bu bölümde Klingelnberg üç boyutlu dişli ölçme cihazı ile ölçümü yapılan dişlinin sonuç diyagramları analiz edilecektir. İlk olarak, dişlerin sol ve sağ yanakları için profil ölçümleri sonuçlarının analizlerini diyagram yardımı ile yapalım.



Şekil 6.13 Klingelnberg üç boyutlu ölçme cihazı ile diş profillerinin diyagramı

Ölçüm standardı olarak kabul edilen DIN 3961/62 diyagramının sol üst bölümünde belirtilmiştir. Uygulamada ölçümü yapılan dişlinin özelliklerini sıralayacak olursak:

Çizelge 6.7 Uygulamada ölçümü yapılan dişlinin özelliklerini

•Diş sayısı $z=51$	•Profil kaydırma faktörü $x=5115$
•Kavrama açısı $\alpha_n=20^\circ$	•Temel daire çapı $d_b=143,773 \text{ mm}$
•Diş boyu $b=34 \text{ mm}$	•Bölüm dairesi çapı $D_0=153 \text{ mm}$
•Modül $m_n=3 \text{ mm}$	•Helis açısı $\beta=0^\circ$ (düz dişli)

Şekil 6.13’de ölçümler yapılırken ölçme probu $v=3$ mm/sn hız ile tarama işlemini gerçekleştirmiştir. Diyagramda dikey olarak ölçek 5:1 iken, yatay ölçek 250:1 olarak alınmıştır. Yatay ölçek göz önüne alındığında yanaklar için profil yüzeyleri tolerans bölgesinin genişliği yaklaşık olarak üst bölümlerde 16 μ m, alt bölümlerde 28 μ m olduğu görülür. Dişlerin sol ve sağ yanak profillerinin gerçek yüzeyleri bu tolerans bölgeleri içerisinde bulunmalıdır. 3 boyutlu cihaz ile toplanan gerçek yüzey verileri diyagrama yansıtılmış ve her iki yanak için de istenilen profil tolerans sınırlarının dışına çıkmadığı görülmüştür.

Toplam profil hatası ($F\alpha$) için ölçülen değerler sol yanakta sırası ile 7,6,4,6 olarak belirtilmiştir. Ölçülen bu değerlerin ortalaması X ile gösterilmiştir ve $F\alpha$ için 6 olarak hesaplanmıştır. Sol yanak profil form hatası ($ff\alpha$) ölçülen değerleri sırası ile 3,3,3,4 olarak belirtilmiştir. $ff\alpha$ için ölçülen bu değerlerin ortalaması 3 olarak hesaplanmıştır. Profil açısı sapması ($f_{H\alpha}$) ölçülen değerleri sırası ile -5,-6,-3,-4 olup bu değerlerin ortalaması -5 olarak hesaplanmıştır.

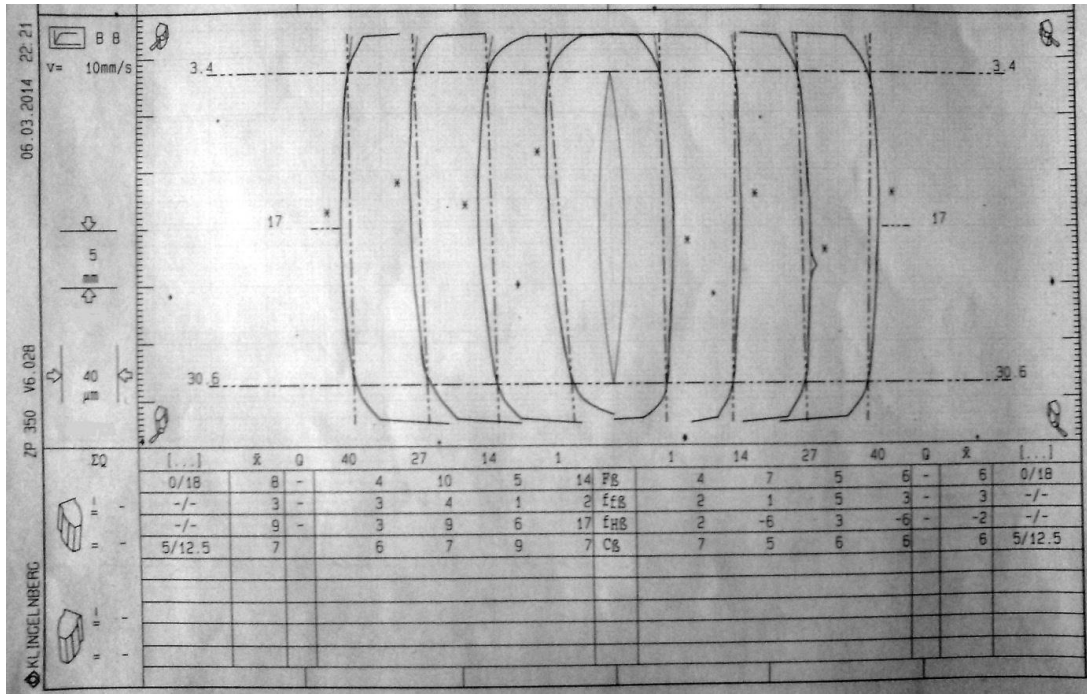
Sağ yanakta, toplam profil hatası ($F\alpha$) için ölçülen değerler sırası ile 7,7,6,5 olarak belirtilmiştir ve ölçülen bu değerlerin ortalaması 6 olarak hesaplanmıştır. Sağ yanak profil form hatası ($ff\alpha$) ölçülen değerleri sırası ile 2,2,2,3 olarak belirtilmiştir. $ff\alpha$ için ölçülen bu değerlerin ortalaması 2 olarak hesaplanmıştır. Profil açısı sapması ($f_{H\alpha}$) ölçülen değerleri sırası ile -6,-6,-5,-4 olup bu değerlerin ortalaması -5 olarak hesaplanmıştır.

DIN 3962 (Çizelge 6.2) toplam profil hatası ($F\alpha$, F_t) değerlerine göre dişli yanaklarının kalite seviyelerini belirleyecek olursak; sol yanak kalite seviyesi 7, sağ yanak kalite seviyesi 7 olarak bulunur.

Profil form hatası ($ff\alpha$, f_t) değerlerine göre sol yanak kalite seviyesi 7, sağ yanak kalite seviyesi 7 olarak bulunur.

Son olarak profil açısı hatası ($f_{H\alpha}$) değerlerine göre sol yanağın kalite seviyesi 7 ve sağ yanağın kalite seviyesi 7 olmaktadır.

Bu kalite seviyelerine bakılarak yanakların profil kalite seviyeleri bulunur. Bu şekilde uygulamada ölçümünü yaptığımız bu dişlinin her iki yanağının da 7 kalite seviyesinde olduğu sonucuna ulaşılmış oluruz.



Şekil 6.14 Klingelnberg üç boyutlu ölçme cihazı ile diş istikametlerinin diyagramı

Şekil 6.14' de uygulamamızda ölçümü yapılan dişli parçasının dişlerinin istikamet hataları diyagram üzerine yansıtılmıştır. $v= 10\text{mm/sn}$ prob hızı ile gerçekleştirilen bu ölçüm ile toplam istikamet hatası (F_β), istikamet form hatası (ff_β), istikamet açı sapması (fH_β) ve bombelik (C_β) değerleri elde edilmiştir.

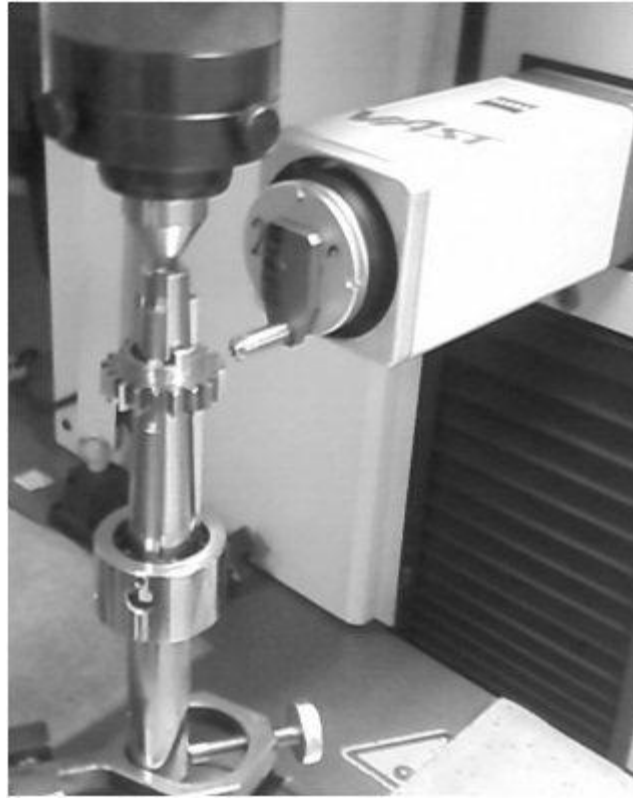
Sol yanak için toplam istikamet hatası (F_β) tolerans değeri $0-18\ \mu\text{m}$ aralığıdır ve ölçülen değerler sırası ile 4,10,5,14 değerleridir ve bu değerlerin ortalaması 8 olarak alınmıştır. Sol yanaktaki istikamet form hatası (ff_β) için ölçülen değerler sırası ile 3,4,1,2'dir ve ortalama değer 3 bulunur. İstikamet açı sapması (fH_β) değerleri sol yanak için sırası ile 3,9,6,7 olarak bulunmuştur ve ortalama değer 9'dur. $5-12,5\ \mu\text{m}$ olarak verilen bombelik toleransı (C_β) için 6,7,9,7 değerleri ölçülmüştür. Ortalama bombelik değeri 7 olur.

Toplam istikamet hatası (F_β) tolerans değeri sağ yanak için de $0-18\ \mu\text{m}$ aralığıdır. Ölçülen değerler sırası ile 4,7,5,6 değerleridir ve bu değerlerin ortalaması 6 olarak alınmıştır. Sağ yanaktaki istikamet form hatası (ff_β) için ölçülen değerler sırası ile 2,1,5,3'tür ve ortalama değer 3 bulunur. İstikamet açı sapması (fH_β) değerleri sağ yanak için sırası ile 2,-6,3,-6 olarak bulunmuştur ve ortalama değer -2'dir. $5-12,5\ \mu\text{m}$ olarak verilen bombelik toleransı (C_β) için 7,5,6,6 değerleri ölçülmüştür. Ortalama bombelik değeri 6 olur.

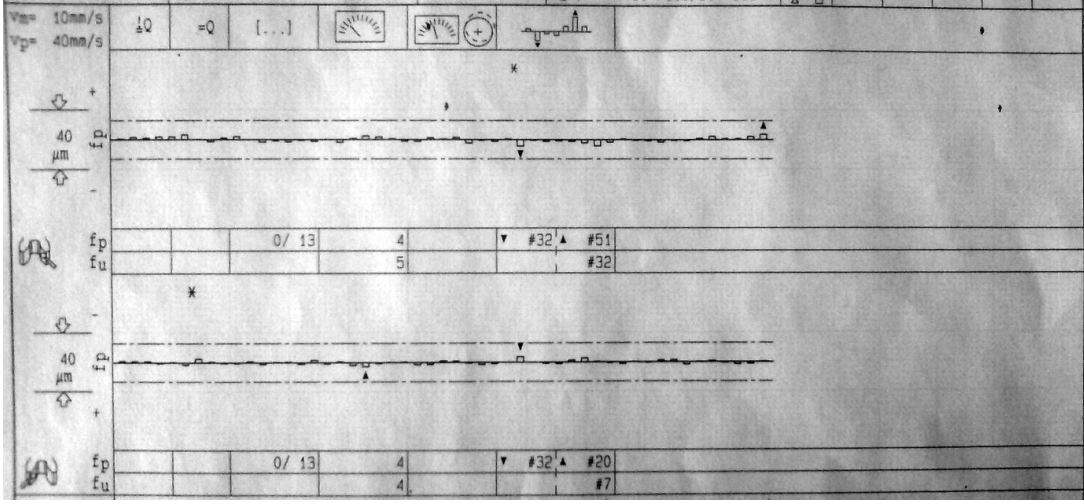
DIN 3962 (Çizelge 6.4) kullanarak diş yanaklarının hata verilerine göre kalite seviyelerini belirleyebiliriz. Uygulamadaki dişlimizin diş boyu $b=34$ mm'dir.

Sol yanak için toplam istikamet hatası (F_β) en büyük değeri $14\ \mu\text{m}$ 'dir ve kalite seviyesi 7 olarak bulunur. İstikamet açısı sapması (fH_β) değerlerinin en büyüğü $17\ \mu\text{m}$ 'dir ve sol yanak kalite seviyesi 8 olur. İstikamet form hatası (ff_β) için ölçülen değerler ile 3 kalite seviyesine ulaşılmıştır(en büyük değer $4\ \mu\text{m}$).

Sağ yanak için toplam istikamet hatası (F_β) en büyük değeri $7\ \mu\text{m}$ 'dir ve kalite seviyesi 5 olarak bulunur. İstikamet açısı sapması (fH_β) değerlerinin en büyüğü $6\ (-6)\ \mu\text{m}$ 'dir ve sol yanak kalite seviyesi 5 olur. İstikamet form hatası (ff_β) için ölçülen değerler ile 4 kalite seviyesine ulaşılmıştır (en büyük değer $5\ \mu\text{m}$).



Şekil 6.15 Dişlilerin istikamet ve salgı hatalarının 3 boyutlu ölçme cihazı ile ölçümü



Şekil 6.16 Dişli yanaklarının adım hataları diyagramı

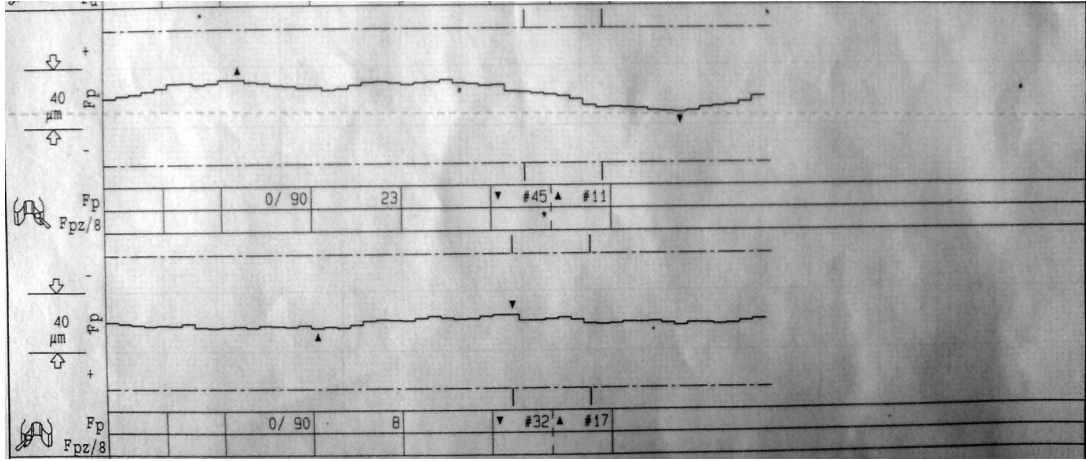
Şekil 6.16' da uygulamamızda Klingelnberg 3 boyutlu ölçüm cihazıyla ölçümü yapılan dişlimizin sol ve sağ yanağı için adım hataları gösterilmiştir. Tolerans değeri olarak 0/13 μm sınırları verilmiştir. Her dişin adım hatasının mutlak değeri 0-13 μm değerleri arasında bulunmalıdır. Noktalı kesik çizgi ile tolerans bölgesi belirtilmiştir.

Sol yanak için adım hatası diyagramını incelersek; 32. dişli ve 51. dişli 4 μm adım hatası olduğunu görebiliriz.

Sağ yanak için ise adım hatası diyagramından, 20. dişli ve 32. dişlilerin 4 μm adım hatasına sahip oldukları görülmektedir.

DIN 3962 (Çizelge 6.2) ile adım hatalarına göre dişlilerin kalite seviyelerini bulabiliriz. Dişlimizin çapı 125-280 mm aralığında bulunduğu için bu satırdaki değerler göz önüne alınır. Bu satıra göre 11 μm 'den düşük adım hataları 7 kalite seviyesi ile sınıflandırılırlar. Böylece dişlimiz için adım hatalarına göre 7. kalite seviyesinde olur.

Ayrıca bu diyagramda bölüm atlama (f_u) değerleri tespit edilmiştir. Sol yanak için en büyük bölüm atlama değeri 5 μm ile 31. ve 32. dişliler arasında oluşmuştur. Sağ yanak için en büyük bölüm atlama değeri 4 μm ile 6. ve 7. dişliler arasındadır.



Şekil 6.17 Dişli yanaklarının toplam adım sapmaları diyagramı

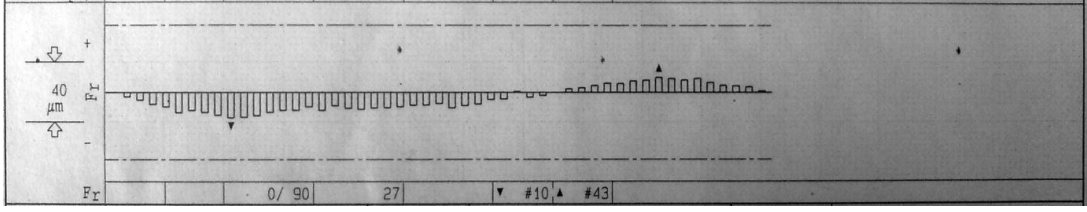
Şekil 6.17’ de uygulamamızda ölçümünü yaptığımız dişlinin diş yanakları toplam adım sapmaları gösterilmektedir. Toplam adım hatası (F_p) için 0-90 μm aralığında tolerans bölgesi tanımlanmıştır. Noktalı kesik çizgi ile tolerans bölgesi belirtilmiştir.

Sol yanak için pozitif yönde en büyük toplam adım hatası 11. dişlide, negatif yönde en büyük toplam adım hatası 45. dişlide görülmektedir. Bu iki dişli arasındaki en büyük toplam adım sapması değeri 23 μm olarak belirlenmiştir.

Sağ yanak için pozitif yönde en büyük toplam adım hatası 17. dişlide, negatif yönde en büyük toplam adım hatası 32. dişlide görülmektedir. Bu iki dişli arasındaki en büyük toplam adım sapması değeri 8 μm olarak belirlenmiştir.

DIN 3962 (Çizelge 6.2) ile toplam adım hatalarına göre dişlilerin kalite seviyelerini bulabiliriz. Dişlimizin çapı 125-280 mm aralığında bulunduğu için bu satırdaki değerler göz önüne alınır. Bu satıra göre 45 μm ’den düşük toplam adım hataları 7 kalite seviyesi ile sınıflandırılırlar. Böylece dişlimiz için adım hatalarına göre 7. kalite seviyesinde olur.

Bu diyagram ile birlikte ardışık 8 dişli için toplam adım hatası ($F_{pz/8}$) hesaplanabilmektedir.



Şekil 6.18 Dişlerin salgı hataları diyagramı

Şekil 6.8 uygulamamızda ölçümü yapılan dişlinin salgı hatalarını göstermektedir. Salgı hatası (F_r) için 0-90 μm aralığında tolerans bölgesi tanımlanmıştır. Noktalı kesik çizgi ile tolerans bölgesi belirtilmiştir.

Pozitif yönde en büyük salgı hatası 43. dişlide, negatif yönde en büyük salgı hatası 10 dişlide görülmektedir. Bu iki değer arası 27 μm olarak ölçülmüş ve belirtilmiştir.

DIN 3962 (Çizelge 6.3) ile salgı hatalarına göre dişlilerin kalite seviyelerini bulabiliriz. Dişlimizin çapı 125-280 mm aralığında bulunduğu için bu satırdaki değerler göz önüne alınır. Bu satıra göre 32 μm 'den düşük salgı hataları 7 kalite seviyesi ile sınıflandırılırlar. Böylece dişlimiz için salgı hatalarına göre 7. kalite seviyesinde olur.

6.6 Sonuçlar, Dişlinin Değerlendirilmesi ve İyileştirilmesi

Diyagramlar ile profil, istikamet, adım hataları, toplam adım hataları ve salgı hataları belirlenen dişlimiz bu hatalara göre şu şekilde kalite seviyelerine uygundur:

- Profil hataları: 7. kalitede dişli
- İstikamet hataları: 8. kalitede dişli (En düşük kalite olan sol yanak için istikamet açısı sapması alınmıştır.)
- Adım hataları: 7. kalitede dişli
- Toplam adım hataları: 7. kalitede dişli
- Salgı hataları: 7. kalitede dişli

Bu kalite değerlerinden en düşük olanı 8. kalite seviyesini sağlayan istikamet hatalarıdır. Uygulamamızda ölçümü yapılan dişlinin sol yanağı için ölçülen istikamet açısı hatası (fH_p) 17 μm 'dir. Bu hata DIN 3962 standartlarına göre 13 μm değerinin altına düşürüldüğünde dişlimiz 8. kalite dişli seviyesinden 7. kalite dişli seviyesine yükselecektir.

BÖLÜM 7

EGZoz BORULARINDA 3 BOYUTLU ÖLÇÜMLER VE ANALİZLERİ

Otomobil, kamyon, otobüs gibi taşıtların yanı sıra iş makinelerinin de motorlarında yaktıkları yakıt sonucu oluşan gazların motordan dışarıya filtrelendirilerek atılması için egzoz sistemleri geliştirilmiştir.

Boruların 3 boyutlu ölçümünde genellikle çok eksenli ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bu tezimiz için yaptığımız egzoz parçaları ölçümleri, Faro Quantum model çok eksenli 3 boyutlu ölçüm cihazını kullanarak veriler toplanmıştır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 Faro Quantum çok eksenli 3 boyutlu ölçme kolu

7.1 Uygulama 1

Ekte bulunan 02-001 numaralı “Egzoz Parçası” isimli teknik resimde A, B ve C olarak üç tolerans gösterilmiştir. Bu üç tolerans da boyut toleransı olmakla beraber Çizelge 7.1’ de tolerans sınırları belirtilmiştir.

A ile gösterilen tolerans değeri yalıtım için kullanılan korumanın kalınlığını sınırlandırmaktadır. Bu kalınlık 10 ± 4 mm olarak toleranslandırılmıştır. İki ölçüm sonucunda elde ettiğimiz ilk değer 8,90 mm, ikinci değer 9,80 mm’dir. Bu iki değer de tolerans sınırları içinde bulunmaktadır. Yalıtım malzemesi kalınlığı için parçamız “OK” almıştır.

B tolerans değeri teknik resimde 64mm uzunluğu ile ilişkilendirilmiştir. Bu uzunluk için tolerans değeri ± 5 mm olarak belirlenmiştir. Egzoz parçamızda yapılan iki ölçümde 67 mm ve 68 mm değerlerine ulaşılmıştır. Bu iki değerde tolerans sınırları içinde olduğundan parçamız “OK” almıştır.

C toleransı ile egzoz parçamızın dirsek bölümündeki 254 mm uzunluğuna ± 5 mm tolerans sınırları tanımlanmıştır. Yaptığımız ilk ölçüm sonrası elde ettiğimiz 270 mm değeri bu tolerans sınırları içerisinde bulunmamaktadır. Bu nedenle parçamız bu tolerans için “NOT OK” olarak değerlendirilmiştir. Bu uzunluğun istenilen değerlere sahip olması için ek işlemler gerekmektedir.

Çizelge 7.1 02.001-002 numaralı teknik resimler için tolerans sınırları ve ölçülen değerler

	Boyutlar ve Toleranslar	Tolerans Sınırları	Ölçüm Sonuçları (Veriler)	OK	NOT OK
A	10mm	± 4	8,90 9,80	x	
B	64	± 5	67 - 68	x	
C	254	± 5	270*		x
D	$\phi 6$ A B C	$\phi 6$ A B C	3,204	x	
E	$\phi 2$ D	$\phi 2$ D	0,166	x	
F	$\phi 2$ D	$\phi 2$ D	2,556*		x
G	$\phi 2$ D E	$\phi 2$ D E	3,831*		x
H	$\phi 1$ D	$\phi 1$ D	0,498	x	
I	44°	$\pm 1^\circ$	43,391*	x	
J	150	± 5	150,835	x	
K	239,5	± 5	241,582	x	
L	$\phi 8$ A B C	$\phi 8$ A B C	7,176	x	
M	$\phi 6$ A B C	$\phi 6$ A B C	8,541*		x
N	682	± 5	677,498	x	
O	686	± 5	686,557	x	
P	115,6	± 5	113,858	x	
R	612	± 5	606,949*		x

Ekte bulunan 02-002 numaralı “Egzoz Parçası” adlı teknik resimde D-R harfleri arasında ilişkilendirilmiş toleranslar gösterilmiştir.

D olarak belirtilen tolerans A,B ve C referanslarına göre tanımlanmış olan konum toleransıdır. Tolerans kutucuğu, ilişkilendirilen deliğin merkez noktasının, çapı 6 mm olan bir daire içerisinde bulunabileceğini belirtir. Bu dairesel bölge tolerans bölgesini oluşturmakta ve sınırları belirlemektedir. Uygulamamızda yaptığımız ölçümde, deliğin merkez noktası ideal merkezden 3,204 mm kaçık olarak tespit edilmiştir. Tolerans sınırları içerisinde bulunan bu sapma ile parçamız bu toleranstan “OK” almıştır.

E toleransı diklik toleransıdır. D referansı ile belirtilen egzoz borusunun eksenidir. Bu eksene göre diklik toleransının tanımlandığı deliğin eksenini 2 mm çapında silindir şeklinde tolerans bölgesi içerisinde bulunmalıdır. Bu tolerans bölgesini oluşturan silindirin eksenini D referansı olan borunun eksenine diktir. Deliğin eksenini 2 mm çapındaki bu silindir tolerans bölgesi dışına çıkamaz. Uygulamamızda yapılan ölçümde 0.166 mm sapma tespit edilmiştir. E olarak belirtilen diklik toleransından parçamız “OK” almıştır.

F olarak ilişkilendirilen simetriklik toleransı için referans elemanı olarak D seçilmiştir. Borunun eksenini olan bu referansa göre deliğimizin simetriği tolerans bölgeleri ile sınırlanmıştır. Simetrik olan delik için tolerans bölgesi 2 mm olarak istenmektedir. Fakat Faro Quantum 3 boyutlu ölçüm cihazı ile yapılan ölçüm sonucu 2,556 mm değerine ulaşılmıştır. Bu nedenle parçamız bu tolerans değeri için “NOT OK” olarak istenilen kalite seviyesini sağlayamamıştır. Simetrik olarak tanımlanan deliğin bulunduğu boru yüzeyinde düzeltme işlemleri yapılarak istenilen tolerans değerleri sağlanabilir. Diğer bir yöntem ile tolerans kutucuğunun ilişkilendirildiği deliğin bulunduğu yüzeyde işlemler yapılarak borunun eksenine göre istenilen tolerans değerlerinde simetriklik elde edilebilir.

G toleransı ile D ve E referanslarına göre konum toleransı tanımlanmıştır. Silindirik pim parçasının eksenini 2 mm çapında dairesel tolerans bölgesi içerisinde konumlanmalıdır. Ölçüm uygulamamızda pim ekseninin ideal konumdan sapması 3,831 mm olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre parçamız “NOT OK” almıştır. Bu tolerans değerine uyulması için boru yüzeyinde pimin konumu ek işlemler ile ayarlanmalıdır. Boru yüzeyinde yapılabilecek yama ile pim tekrardan tolerans sınırları içerisine alınabilir. Bir

diğer yöntem ise borunun bu kısmının tamamen değiştirilmesidir. Konum toleransları genellikle parçalarda yüksek kaliteye ulaşılmasında önem arz etmektedir. Egzoz üretiminde konum toleranslar giderek ön plana çıkmaktadırlar.

Yine aynı pime D referansına bağlı olarak diklik toleransı tanımlanmıştır (H). Bu tolerans kutucuğuna göre pimin eksenine, D ile ilişkilendirilen borunun eksenine göre dik eksene sahip ve 1 mm çapında olan bir silindir tolerans bölgesi içerisinde bulunmalıdır. Ölçüm sonucunda pimin ekseninin ideal dik eksene göre 0,498 mm sapması tespit edilmiştir. Bu sapma istenilen tolerans değeri içerisinde olduğu için parçamız “OK” almıştır.

Egzoz parçamızın dirsek bölümünde 44° açı ile boruların birleştirilmesi istenmiştir (I). Bu açı boruların eksenleri arasındaki açı olup $\pm 1^\circ$ ile toleranslandırılmıştır. Bu tolerans açısalılık toleransıdır. 3 boyutlu ölçüm cihazı ile yaptığımız ölçüm sonucunda ulaştığımız gerçek açı değeri 43,391° olup tolerans sınırları dâhilinde bulunmaktadır. Parçamız bu açısalılık toleransından “OK” almıştır.

Egzoz boru parçasının alt bölümü ile dirsekteki alt bölüm arasındaki mesafe teknik resimde 150 mm olarak gösterilmiştir. Bu uzunluk için ± 5 mm olan ve J ile tanımlanan tolerans tanımlanmıştır. Yaptığımız ölçüm sonucunda bu mesafe 150,835 mm olarak tespit edilmiş ve parçamız “OK” almıştır.

K toleransı ile borunun tabanı ve borudaki deliklerin eksenleri arasındaki uzunluk sınırlanmıştır. Teknik resimde 239,5 mm olan bu uzunluğa ± 5 mm tolerans değeri atanmıştır. Ölçüm sonucu 241,582 mm değeri elde edilmiştir. Bu değer tolerans sınırları içerisinde. Bu tolerans değerine parçamız uygun olduğu için “OK” almıştır.

L toleransı ile egzoz borumuzun ilişkili yüzeyi için konum toleransı tanımlanmıştır. Bu yüzeye tanımlanan konum toleransı için A,B ve C referans olarak gösterilmiştir. Tolerans kutucuğunun anlamı toleranslandırılan yüzeyin aralarında 8 mm bulunan iki paralel düzlem arasında bulunabileceğidir. Ölçüm için borunun bu yüzeyinde yapılan işlemler sonucu 7,176 mm sapma tespit edilmiştir. Bu sapma değeri tolerans bölgesinde olduğu için parçamız “OK” almıştır.

M toleransı yine L toleransının bulunduğu borunun eksenine tanımlanmıştır. Referans elemanı olarak A, B ve C seçilmiştir. Borunun dairesel bölgesinin merkez noktası çapı 6

mm olan tolerans bölgesi içerisinde bulunmalıdır. Diğer bir şekilde borunun bu kısmının eksenine çapı 6 mm olan bir silindir içerisinde bulunabilir. Yaptığımız ölçümde 8,541 mm gibi bir sapma ile karşılaştığımız için parçamız “NOT OK” almıştır ve eksenin konumunun düzeltilmesi gerekmektedir. Konum toleransı değerlerine uyulması için borunun tekrar bükümü yapılabileceği gibi çeşitli çözümler sağlanabilir.

Pim yuvası ve L-M toleranslarının tanımladığı boru eksenindeki mesafe teknik resimde 682 mm olarak gösterilmiş ve ± 5 mm olarak toleranslandırılmıştır (N). Bu uzunluğun 3 boyutlu cihaz ile ölçümü sonucu 677,498 mm değeri elde edilmiş ve parçamız “OK” almıştır.

O ile gösterilen tolerans da egzoz borusu üzerindeki parçanın dış bölümü ile boru eksenindeki mesafe için tanımlanmıştır. Bu uzunluğun değeri ve toleransı 686 ± 5 mm olarak verilmiştir. Ölçüm sonucunda elde edilen değer 688,557 mm’ dir. Bu sapma tolerans bölgesi içerisinde kaldığı için parçamız “OK” almıştır.

P toleransı ile delik eksenine ve boru üzerindeki parçanın dış kısmı arasındaki mesafe olan 115,6 mm, ± 5 mm olarak toleranslandırılmıştır. 113,858 mm olarak ölçülen bu gerçek değer tolerans sınırları içerisinde dir. Parçamız “OK” almıştır.

Son olarak iki boru eksenindeki 612 mm uzunluğu için tanımlanmış olan ± 5 mm R toleransı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçülen değer 606,949 mm olduğundan tolerans değerleri dışına çıkmıştır. Bu değeri sağlayabilmek için boru parçalarımızın büküm işlemleri tekrar gerçekleştirilerek iyileştirme sağlanabilir. Parçamız 3 boyutlu cihaz ile ölçüm sonucunda “NOT OK” almıştır.

7.2 Uygulama 2

Ekte bulunan 02-003 numaralı resimde bir diğer egzoz parçası üzerinde istenilen toleranslar gösterilmiştir. Bu teknik resimde A – K harfleri arasında toleranslar tanımlanmıştır. Çizelge 7.2 bu tolerans değerlerini ve ölçülen değerleri bizlere göstermektedir.

Çizelge 7.2 02.003 numaralı teknik resimler için tolerans sınırları ve ölçülen değerler

	Boyutlar ve Toleranslar	Tolerans Sınırları	Ölçüm Sonuçları (Veriler)	OK	NOT OK
A	Ø145	±1	145,071-145,127-145,011-145,267-145,352	X	
B	127.5	±6	127,895-128-676-128,212-128,425-127,666	x	
C	337	±6	334,620-336,526-336,606-336,411-337,844	X	
D	$\square \square 2 \square C-D \square$	$\square \square 2 \square C-D \square$	1,136-0,850-0,950-1,474-0,907	x	
E	338,5	±6	337,920-337,639-337,781-338,371-337,367	x	
F	$\oplus \phi 2 \square A-B \square C-D \square D \square$	$\oplus \phi 2 \square A-B \square C-D \square D \square$	4,343*-4,157*-5,011*-4,666*-3,558*		X
G	335,5	±2	333,877-334,106-334,157-334,227-334,391	X	
H	179	±2	178,188-177,866-177,738-177,715-178,039	X	
I	Ø177.8	+0/-1	176,205-176,390-176,359-176,219-176,137	X	
J	$\square \square \phi 3 \square A-B \square$	$\square \square \phi 3 \square A-B \square$	0,628-0,576-0,810-1,585-0,956	X	
K	$\oplus \phi 10 \square A-B \square C-D \square D \square$	$\oplus \phi 10 \square A-B \square C-D \square D \square$	7,114-3,720-4,803-6,133-10,355*		X

Egzoz boruları üzerinde yapılan ikinci uygulamamızda A toleransı ile borumuzun ilişkili kısmındaki çap değeri toleranslandırılmıştır. Teknik resimde de belirtildiği gibi 145 mm olan ideal çapa ± 1 mm tolerans sınırları konulmuştur. 3 boyutlu ölçüm cihazı ile yaptığımız 5 ölçüm de bu tolerans sınırları içerisinde bulunduğundan parçamız “OK” almıştır.

B toleransı egzoz borumuzun eksenine ile sabitleyici somunun alt sınır bölgesi arasındaki mesafeyi sınırlandırmıştır. $127,5 \pm 6$ mm olarak istenilen bu değer 5 ölçümümüzde de istenilen değerler içerisinde bulunmuştur ve parçamız “OK” almıştır.

C toleransı da boyut toleransı olmakla birlikte egzoz borusunun eksenine ile diğer kısmın yüzeyi arasındaki uzunluğu tanımlamaktadır. Bu uzunluğun istenilen değerleri 337 ± 6 mm olarak tasarlanmıştır. Ölçülen 5 değer de bu sınırlar içerisinde olduğu için parçamız bu tolerans değerinden de “OK” almıştır. Diklik toleransı olarak D harfi ile ilişkilendirilen ve referans elemanları olarak C ve D seçilen bu tolerans, gerçek yüzeyimizin referanslarımıza göre dik olacak şekil aralarında 2 mm bulunun iki yüzey arasında bulunabileceğini göstermektedir. Bu iki yüzey arasında tolerans bölgesi tanımlıdır. Diklik toleransı için ölçülen 5 değer parçamızın “OK” alması için yeterli olmuştur.

Egzoz parçamızın alt ve üst yüzeyleri arasındaki uzunluk E toleransı ile tanımlanmıştır. $338,5 \pm 6$ mm olarak verilen bu tolerans değerine 5 ölçüm sonucun da uygunluk göstermektedir. Parçamız “OK” almıştır.

Konum toleransı egzoz üreticilerini ürün kalitesi bakımında zorlayıcı bir toleranstır. Günümüzde talep yaratan firmalar konum toleransına verdikleri önemi arttırmışlardır. Bu uygulamada da F toleransı ile referans elemanlarına bağlı olarak egzoz parçamızda bulunan delik merkezi için konum toleransı uygulanmıştır. Deliğin merkezi 2 mm çapında bir dairesel alan içerisinde bulunmalıdır. Fakat yapılan ölçümler sonucunda bu sapma değerlerin tolerans sınırlarını aştığı görülmüştür. Parçamız bu tolerans için “NOT OK” almakla beraber deliğin konumu ile ilgili ek çalışmalar yapılmalıdır.

G toleransı boru eksenini ile sabitleyici somun deliğinin eksenini arasındaki $335,5$ mm uzunluğa tanımlanmıştır. ± 2 mm olarak verilen tolerans sınırları ölçüm yaptığımız 5 değeri de kapsamaktadır ve parçamız “OK” almıştır.

Somun deliği eksenini ile egzoz borumuzun yüzeyi arasındaki mesafe 179 ± 2 mm olarak toleranslandırılmıştır (H). Yapılan 5 ölçüm de parçamızın “OK” almasını sağlamıştır.

I toleransı egzoz borumuzun dış yüzeyine ait çapı sınırlar altına almıştır. İdeal olarak istenilen bu dış çap değeri $177,8$ mm’dir. Tolerans sınırlar $+0/-1$ olarak belirlenmiştir. Bu çapı için ölçümümüzün tamamı “OK” almıştır.

Uygulamamızdaki parçamıza ait ikinci diklik toleransı olan ve J ile gösterilen bu tolerans için, referans elemanı olarak A ve B seçilmiştir. Bu toleransa göre borunun eksenini, referans elemanlara göre dik ideal eksenli ve çapı 3 mm olan silindir içerisinde bulunabilir. Ölçüm sonuçlarında diklik tolerans bölgesinden çıkılmadığı için parçamız “OK” almıştır.

İkinci uygulamamızda son olarak borumuzun merkez noktası için konum toleransı tespit edilmiştir. Merkez nokta 10 mm çapında dairesel alan içinde bulunmalıdır. Ölçümlerin ilk dördü bu sınırlar içerisinde olmasına rağmen 5. ölçüm tolerans değerlerini aşmıştır. Bu nedenle parçamız bu tolerans için “NOT OK” almıştır.

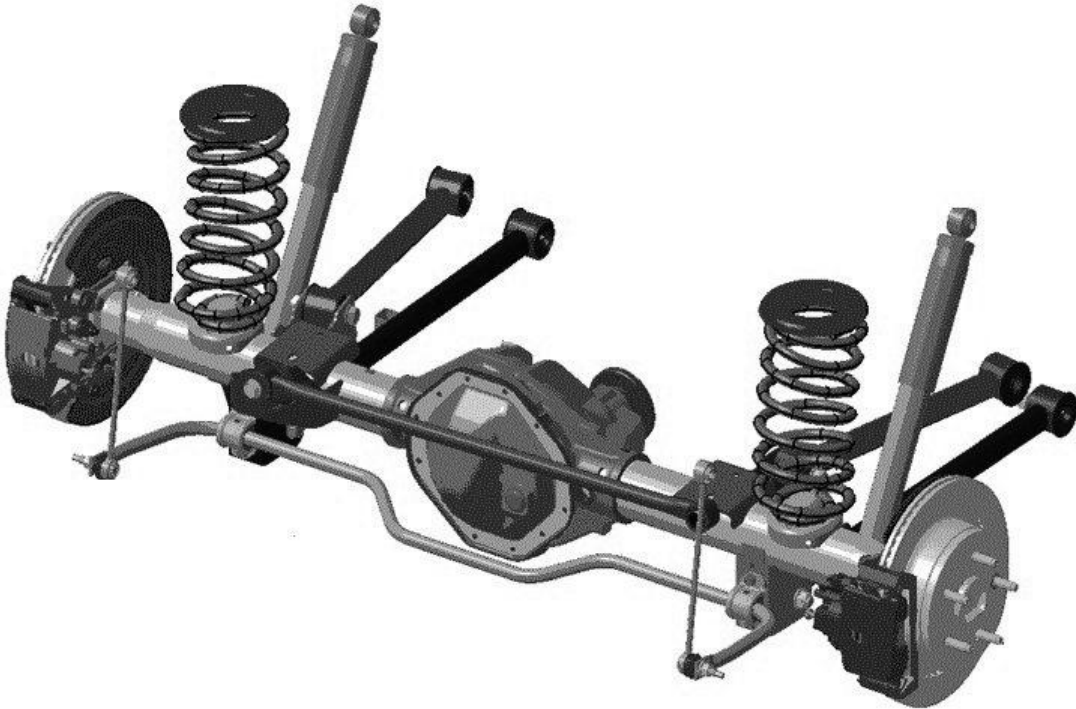
Sonuç olarak, egzoz boruları 3 boyutlu ölçüm uygulamalarında da görüldüğü gibi açısallık, diklik ve boyut toleransları için parçalarımız istenilen kalitededir. Fakat konum toleransı ölçümlerinde genel olarak uygunsuzluklar görülmektedir. Bunun nedeni, konum toleransının bu sektörde son zamanlarda önem kazanmasıdır.

BÖLÜM 8

SÜSPANSİYON PARÇALARINDA 3 BOYUTLU ÖLÇÜMLER VE ANALİZLERİ

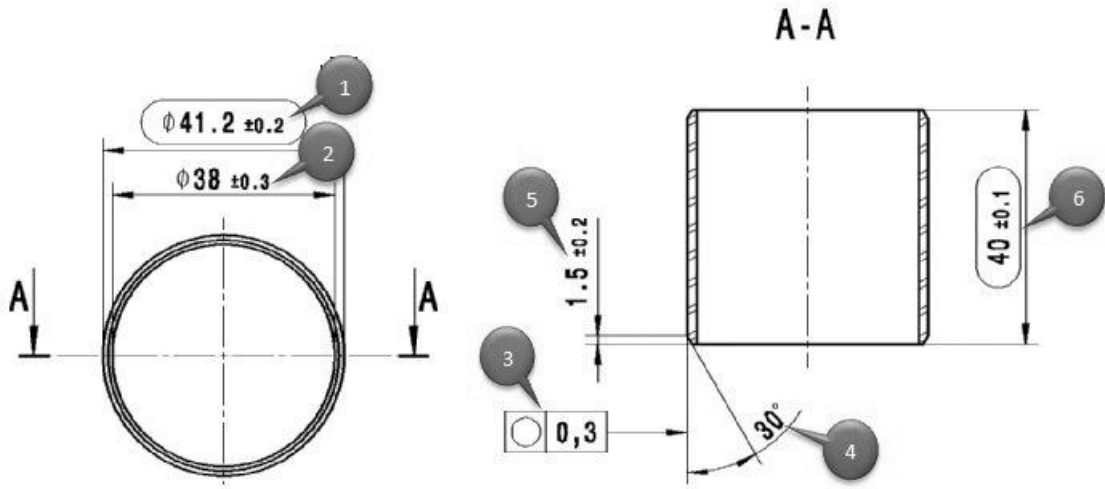
Sarsıntıyı azaltmak için bünye ile zemin arasına, yastıklama görevi yapan, elastik elemanların meydana getirdiği mekanik bir sistem çeşidi olan süspansiyon en çok otomotiv sahasında kullanılır. Süspansiyon düzeninde yay, amortisör ve lastik takozlardan faydalanılır. Otomobillerin lastikleri dahi süspansiyon düzeninin bir bölümünü teşkil ederler.

Tezimiz için çeşitli süspansiyon parçalarında yaptığımız 3 boyutlu ölçümler, elde edilen sonuçlar ve iyileştirme çalışmaları aşağıda sırasıyla anlatılmaktadır.



Şekil 8.1 Süspansiyon sistemi

8.1 Uygulama 1



Şekil 8.2 Uygulama 1 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

Süspansiyon sistemlerinde kullanılan ve basit bir parça olan burç parçamız için 6 adet tolerans değeri tanımlanmış sonrasında 3 boyutlu ölçüm cihazı ile kontrolleri yapılmıştır.

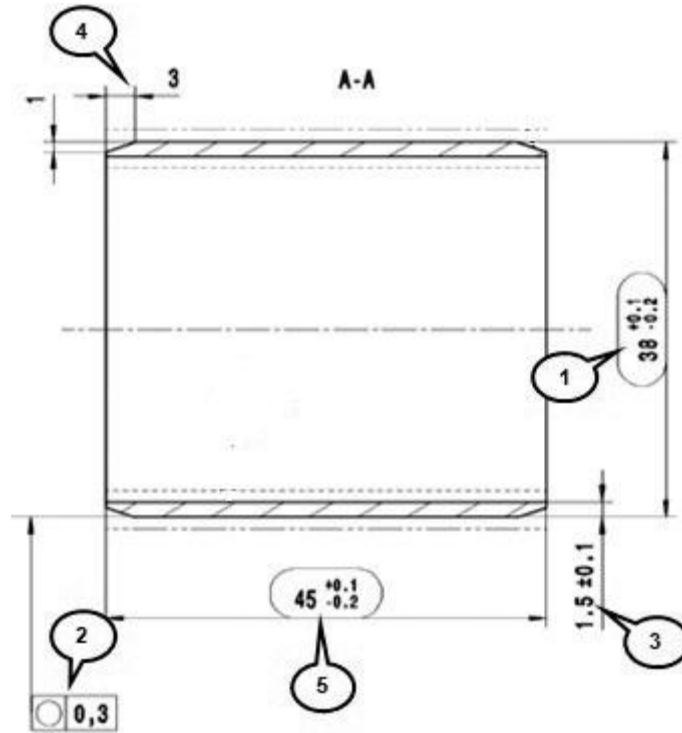
Çizelge 8.1 Uygulama 1 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Toleranslar	Min	Max	1	2	3	4	5	6	SONUÇ
1	Ø41,2±0,2	41	41,4	41,257	41,191	41,186	41,222	41,224	41,239	OK
2	Ø38±0,3	37,7	38,3	38,048	38,012	38,008	38,034	38,043	38,040	OK
3	Ø0,3	0	0,3	0,015	0,010	0,011	0,005	0,015	0,009	OK
4	30° (PAH)	29	31	29,440	30,160	30,310	29,530	30,410	29,330	OK
5	1,5±0,2	1,3	1,8	1,443	1,669	1,606	1,491	1,634	1,424	OK
6	40±0,1	39,9	40,1	40,017	40,039	39,988	39,996	40,011	40,008	OK

Çizelge 8.1’de Uygulama 1 için kontrollerini yaptığımız burcun toleransları ve ölçülen gerçek değerler gösterilmektedir. Bütün tolerans sınırları için parçanın kontrolü, 6 adet noktadan 3 boyutlu ölçüm cihazı ile veriler toplayarak yapılmıştır. 1 ve 2 ile gösterilen toleranslar iç ve dış çapa ait toleranslardır. 3. toleransımız dairesellik toleransıdır. Kırılan 30°’lik pah için açısallık toleransı istenmektedir. 5 ve 6 toleransları boyut toleranslarıdır.

Yaptığımız bütün ölçümler tolerans sınırları dâhilinde olduğu için burç parçamız “OK” olarak kalite kontrolünden geçmiştir ve süspansiyon sistemlerinde kullanıma hazırdır.

8.2 Uygulama 2



Şekil 8.3 Uygulama 2 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

Uygulama 2’de bir diğer burç kontrolü yapılmıştır. Tanımlanan 5 adet tolerans için 3 boyutlu ölçüm cihazı ile noktaların gerçek koordinatları tespit edilmiştir.

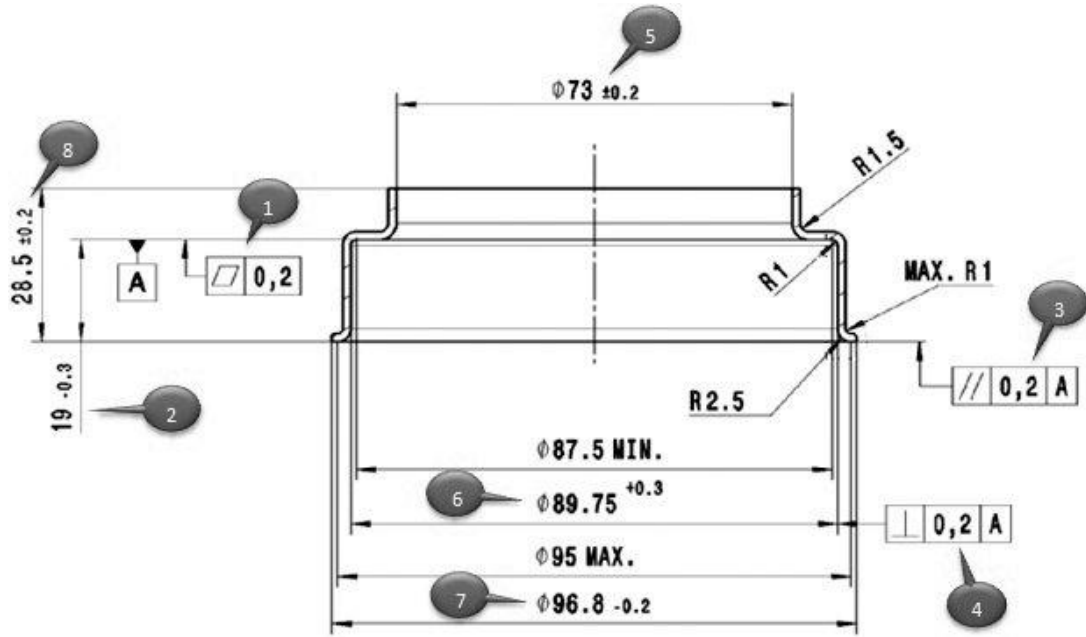
Çizelge 8.2 Uygulama 2 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Toleranslar	1	2	3	4	5	6	7	8	SONUÇ
1	38 +0,1 / -0,2	37,828	37,915	37,907	37,837	37,833	37,831	37,871	37,855	OK
2	⌀0,3	0,086	0,050	0,113	0,085	0,055	0,091	0,073	0,111	OK
3	1,5 ±0,1	1,450	1,535	1,547	1,479	1,517	1,516	1,487	1,467	OK
4	3	2,846	2,896	2,716	2,859	3,497	3,216	3,195	3,052	OK
5	45 +0,1/-0,2	44,899	44,988	44,850	44,941	44,885	44,833	44,876	45,039	OK

Çizelge 8.2’de uygulama 2 için istenilen toleranslar ve her tolerans için ölçümü yapılan 8 adet noktanın gerçek değerleri verilmiştir. 1,3,4 ve 5 toleransları boyut toleranslarıdır. 2. tolerans ise dairesellik toleransı olarak tanımlanmıştır.

Ölçümler sonucunda, uygulama 2 için kontrolünü yaptığımız burç parçamız istenilen her tolerans sınırına uygun ölçülerdedir.

8.3 Uygulama 3



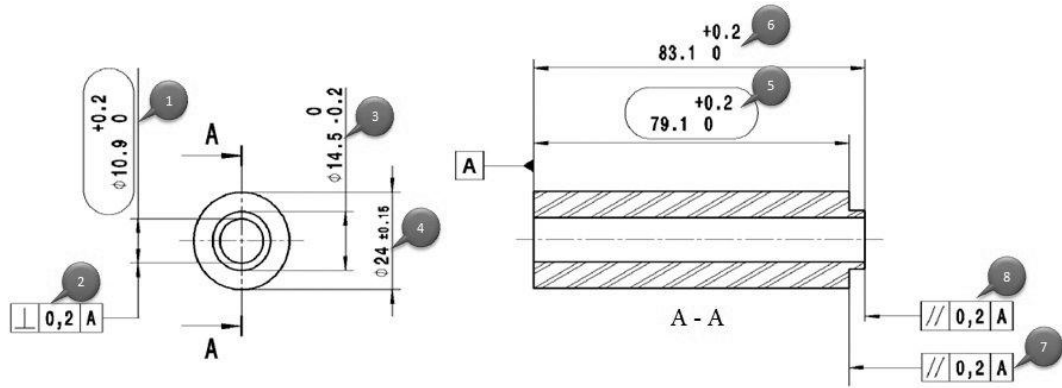
Şekil 8.4 Uygulama 3 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

Çizelge 8.3 Uygulama 3 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Tolerans	1	2	3	4	5	6	SONUÇ
1	$\square 0,2$	0,014	0,031	0,023	0,040	0,024	0,030	OK
2	19 -0,3	18,990	18,990	18,994	18,994	18,964	18,978	OK
3	$// 0,2 A$	0,083	0,013	0,016	0,022	0,008	0,014	OK
4	$\perp 0,2 A$	0,004	0,005	0,005	0,000	0,034	0,001	OK
5	$\varnothing 73 \pm 0,2$	73,181	73,180	73,181	73,175	73,175	73,179	OK
6	$\varnothing 89,75 + 0,3$	89,789	89,793	89,788	89,787	89,791	89,780	OK
7	$\varnothing 96,8 - 0,2$	96,731	96,738	96,736	96,733	96,735	96,732	OK
8	28,5 ±0,2	28,52	28,39	28,37	28,46	28,44	28,3	OK

Uygulama 3’de ölçümü yapılan saç parçamıza 8 adet tolerans tanımlanmıştır. 3 boyutlu cihaz ile yapılan ölçümlerin sonuçları Çizelge 8.3’de verilmiştir. 1. tolerans ile düzensellik kontrolü yapılmıştır. 2, 5, 6, 7 ve 8 numaralı toleranslar uzunluk ve çaplar için tanımlanmış boyut toleranslarıdır. 3. tolerans ile paralellik ölçümü yapılmıştır. 4. tolerans ise diklik toleransıdır. Her tolerans için ölçülen 6 adet noktanın hepsi tolerans sınırları içerisinde tespit edilmiştir.

8.4 Uygulama 4



Şekil 8.5 Uygulama 4 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

Bu uygulamada süspansiyon parçası olarak kullanılan elemana 8 adet tolerans tanımlanmıştır. Bu toleranslar için 6 adet noktadan ölçüm yapılarak kontrol sağlanmıştır.

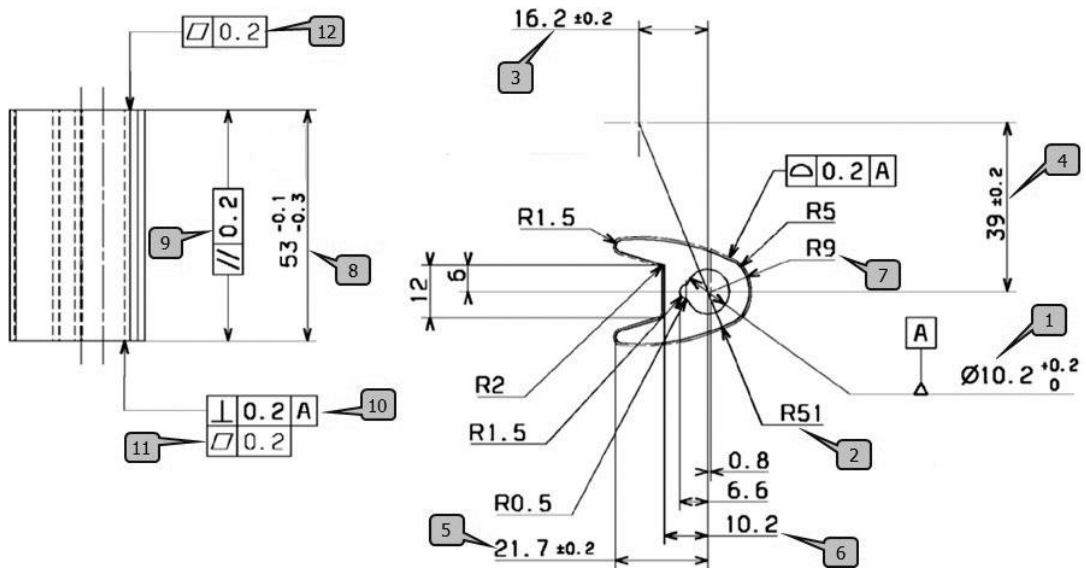
Çizelge 8.4 Uygulama 4 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Tolerans	Min	Max	1	2	3	4	5	6	SONUÇ
1	Ø10,9+0,2	10,9	11,1	10,932	10,938	10,949	10,951	10,938	10,931	OK
2	$\perp$ 0,2 A		0,2	0,120	0,058	0,038	0,059	0,118	0,056	OK
3	Ø14,5-0,2	14,3	14,5	14,450	14,454	14,494	14,463	14,468	14,467	OK
4	Ø24±0,15	23,85	24,15	23,874	23,877	23,918	23,909	23,921	23,919	OK
5	79,1+0,2	79,1	79,3	79,163	79,171	79,174	79,170	79,172	79,179	OK
6	83,1+0,2	83,1	83,3	83,168	83,175	83,176	83,172	83,176	83,172	OK
7	$\parallel$ 0,2 A		0,2	0,117	0,057	0,077	0,031	0,028	0,153	OK
8	$\parallel$ 0,2 A		0,2	0,147	0,051	0,085	0,044	0,028	0,050	OK

Çizelge 8.4’de görüldüğü gibi 1, 3, 4, 5 ve 6 numaralı toleranslar uzunluk ve çaplara tanımlanmış boyut toleranslarıdır. 2 numaralı tolerans ile diklik sınırlandırması yapılmıştır. 7 ve 8 numaralı toleranslar A referansına bağlı olarak tanımlanmış paralellik toleranslarıdır.

Koordinatları 3 boyutlu ölçüm cihazıyla tespit edilen bütün noktalar 8 tolerans içinde uygunluk göstermektedir. Parçamız bütün kontrollerden “OK” almıştır ve süspansiyon sistemlerinde kullanıma müsaittir.

8.5 Uygulama 5



Şekil 8.6 Uygulama 5 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

Çizelge 8.5 Uygulama 5 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Toleranslar	1	2	3	4	5	OK	NOK
1	Ø 10,2 +0.2/0	10,358	10,359	10,359	10,358	10,36	OK	
2	R51	51,122	50,969	50,631	50,885	50,61	OK	
3	16,2 ±0,2	15,983	15,903	15,77	15,939	15,967	OK	
4	39 ±0,2	38,927	38,769	38,436	38,688	38,571		NOK
5	21,7 ±0,2	21,567	21,561	21,585	21,585	21,546	OK	
6	10,2	10,078	10,075	10,107	10,097	10,068	OK	
7	R9	9,071	9,085	9,092	9,074	9,079	OK	
8	53 -0,1/-0,3	52,761	52,813	52,71	52,779	52,756	OK	
9	// 0.2	0,084	0,044	0,059	0,087	0,072	OK	
10	⊥ 0.2 A	0,232	0,203	0,332	0,329	0,277		NOK
11	▱ 0.2	0,031	0,041	0,038	0,036	0,016	OK	
12	▱ 0.2	0,028	0,022	0,02	0,027	0,027	OK	

Çizelge 8.5’de uygulama 5 parçası için istenilen 12 adet tolerans ve ölçülen gerçek değerler gösterilmiştir. 1 ve 8 arası toleranslar boyut toleranslarıdır. 9. tolerans paralellik, 10. tolerans diklik, 11. ve 12. toleranslar düzlemsellik olarak belirlenmiştir.

Uygulama 5 için yapılan ölçüm sonuçlarını değerlendirecek olursak, 4. ve 10. toleranslar için parçamız istenilen sınırların dışına çıkmıştır.

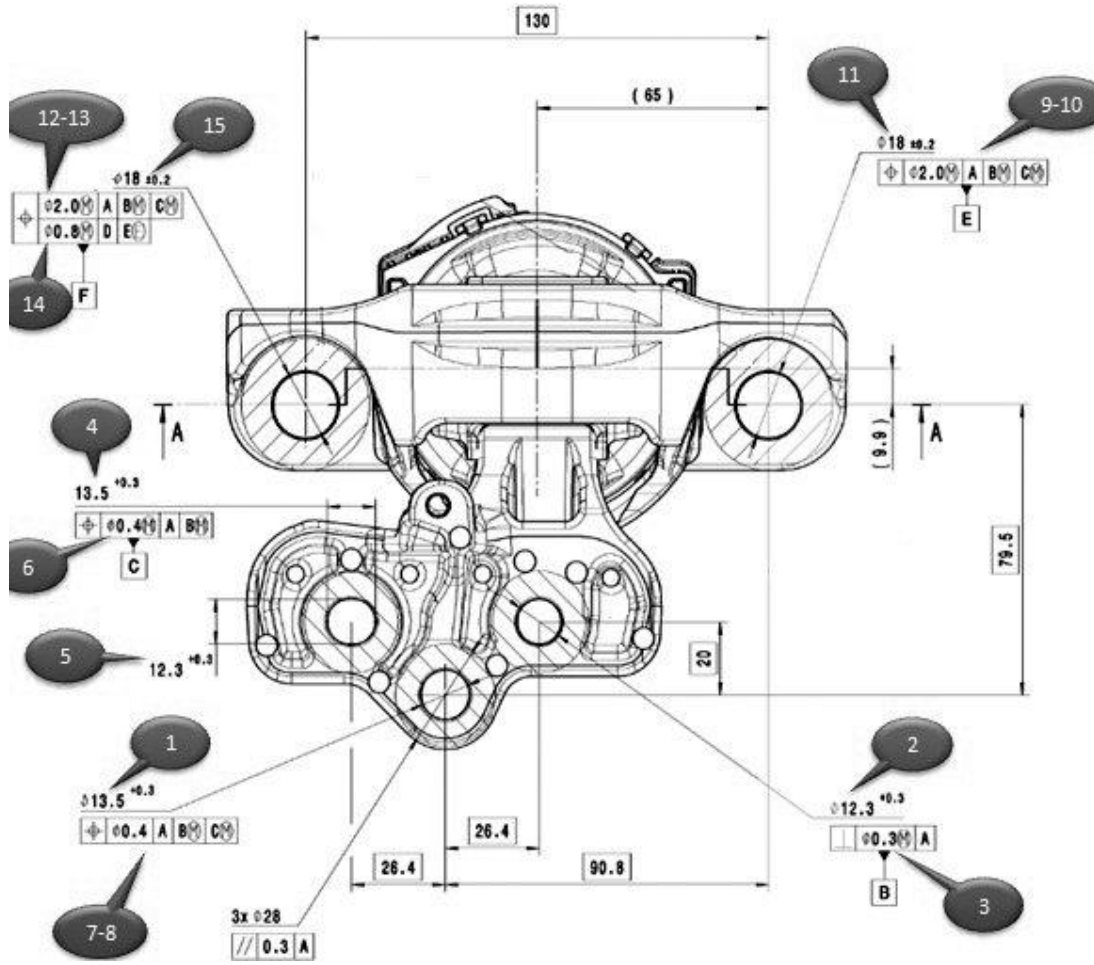
4. toleransın uygulandığı 39 mm için tolerans sınırlar $+0,2 / -0,2$ mm olarak belirlenmiştir. Ölçümler için alınan ilk nokta tolerans sınırları içerisinde bulunmasına rağmen, diğer ölçüm noktaları tolerans sınırlarını aşmıştır. Bu hat üzerinde tekrar ek işlemler yapılarak tolerans sınırları dâhiline alınmalıdır.

10. tolerans ise diklik toleransı olup, ilişkili yüzey delik eksenine olan referansa dik ve aralarında istenilen değer kadar mesafe olan iki yüzey arasında bulunabilir. Ölçülen 5 noktadan elde edilen verilerin hiçbirisi tolerans bölgesinde bulunmamaktadır. Bu yüzeyde tekrar işlemler yapılarak diklik koşulu istenilen tolerans değerlerine göre sağlanmalıdır.

Bu iki tolerans ile istenilen kalite koşullarını sağlamak için tekrar freze işlemi tavsiye edilmiştir. Bu işlemler sonucunda parça istenilen kalite koşullarına uygun hale getirilebilir.

İstenilen diğer 10 tolerans için parçamız uygun bulunmuştur ve “OK” almıştır.

8.6 Uygulama 6



Şekil 8.7 Uygulama 6 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

Uygulama 6 için kontrolünü yaptığımız süspansiyon parçası Şekil 8.7’de gösterilmektedir. Bu parçada 15 adet tolerans kontrolü yapılmıştır. Konum toleransı kontrolünün çoğunlukta olduğu bu parça için diklik ve boyut toleranslarının da kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kontrolü gerçekleştirilen konum ve diklik toleransları için referans elamanlardan yararlanılmıştır.

3 boyutlu koordinat ölçme cihazları örnekteki gibi karışık yapıya sahip parçaların ölçümleri için en önemli cihazlardır. Diğer birçok ölçüm cihazları ve aletleri ile bu parça kontrolünde zorluklar yaşanırken, 3 boyutlu koordinat ölçme cihazları pratik ve hassas ölçümler yapmaktadır.

Çizelge 8.6 Uygulama 6 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Toleranslar	Min	Max	1	2	3	4	5	6	SONUÇ
1	Ø13,5±0,5	13,5	14	13,645	13,632	13,733	13,627	13,724	13,551	OK
2	12,3±0,5	12,3	12,8	12,465	12,475	12,588	12,483	12,594	12,478	OK
3			0,559	0,126	0,116	0,164	0,131	0,151	0,119	OK
4	13,5±0,5	13,5	14	13,683	13,679	13,749	13,704	13,762	13,704	OK
5	12,3±0,5	12,3	12,8	12,557	12,537	12,569	12,519	12,509	12,521	OK
6			0,873	0,741	0,504	0,504	0,575	0,376	0,419	OK
7			0,873	0,342	0,344	0,165	0,132	0,224	0,176	OK
8			0,578	0,486	0,168	0,434	0,492	0,164	0,244	OK
9			2,178	1,628	0,570	0,433	1,708	1,238	1,370	OK
10			2,473	1,335	0,677	1,215	1,938	1,049	0,583	OK
11	Ø18±0,2	17,8	18,2	18,085	18,090	18,090	18,078	18,104	18,102	OK
12			2,473	1,148	0,695	0,942	1,745	1,145	0,868	OK
13			2,178	1,663	0,457	0,563	1,833	1,162	1,264	OK
14			1,072	0,279	0,214	0,276	0,269	0,272	0,286	OK
15	Ø18±0,2	17,8	18,2	18,066	18,085	18,087	18,056	18,101	18,088	OK

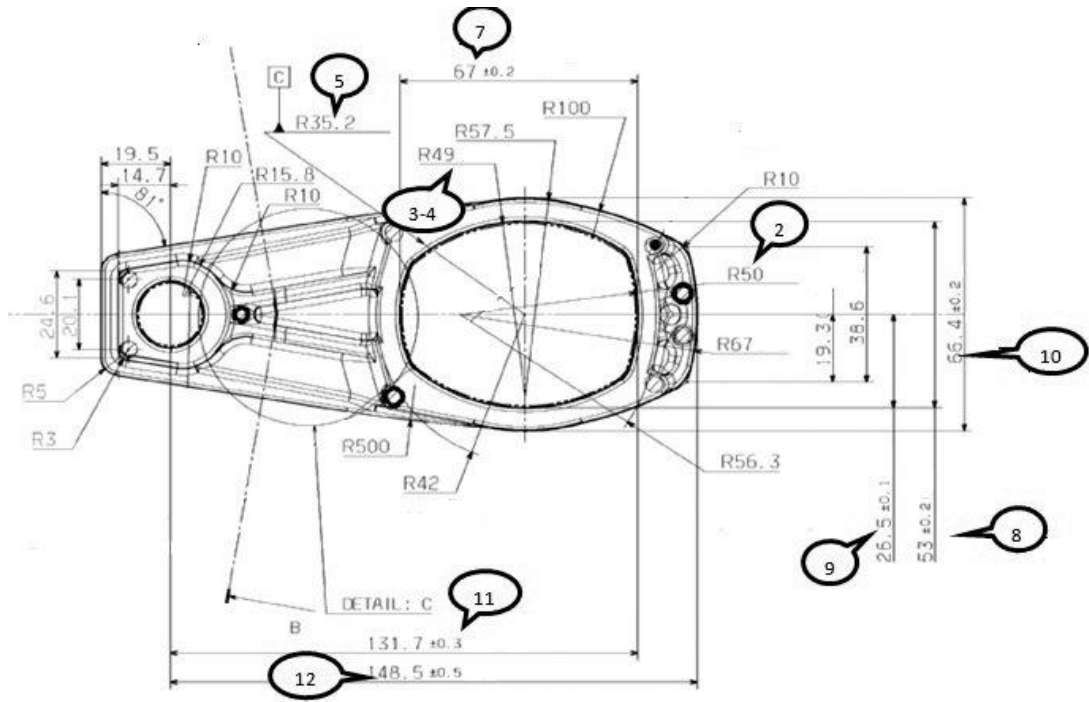
Uygulama 6 için tanımlanan 1, 2, 4, 5, 11, 15 numaralı toleranslar uzunluk ve çaplara ait boyut toleranslarıdır. 3 numaralı tolerans diklik toleransı olarak belirtilmiştir. 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14 numaralı toleranslar referans elemana bağlı olarak tanımlanmış konum toleranslarıdır.

Her tolerans değeri kontrolü için parçamız üzerindeki ilgili bölümde 6 adet noktadan koordinat verileri toplanmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan bu koordinatların tolerans sınırları içerisinde olup olmadıkları tespit edilmiştir.

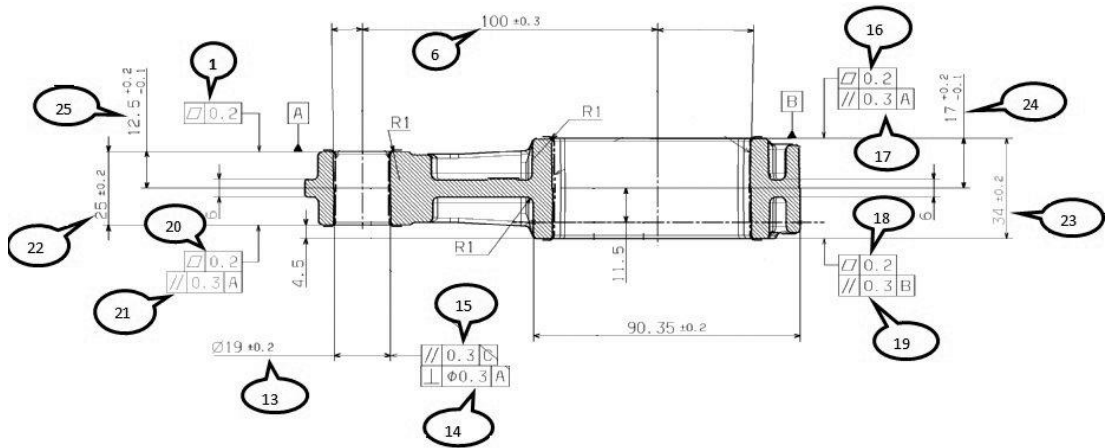
Çizelge 8.6'da görüldüğü gibi bütün tolerans değerlerinin kontrolü "OK" almıştır. Parçamız istenilen kalite düzeyine sahiptir ve süspansiyon sistemlerinde kullanılmaya hazırdır.

Konum toleranslarıyla beraber belirtilen daire içerisindeki M sembolü maksimum malzeme koşulunu belirtmektedir. Bu koşula göre, makine parçasında öngörülen toleransların sağlanması için yapılacak tezgâh işlemlerinde parçada en fazla malzeme kalacak şekilde işlenmesi gerektiği belirtilir.

8.7 Uygulama 7



Şekil 8.8 Uygulama 7 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

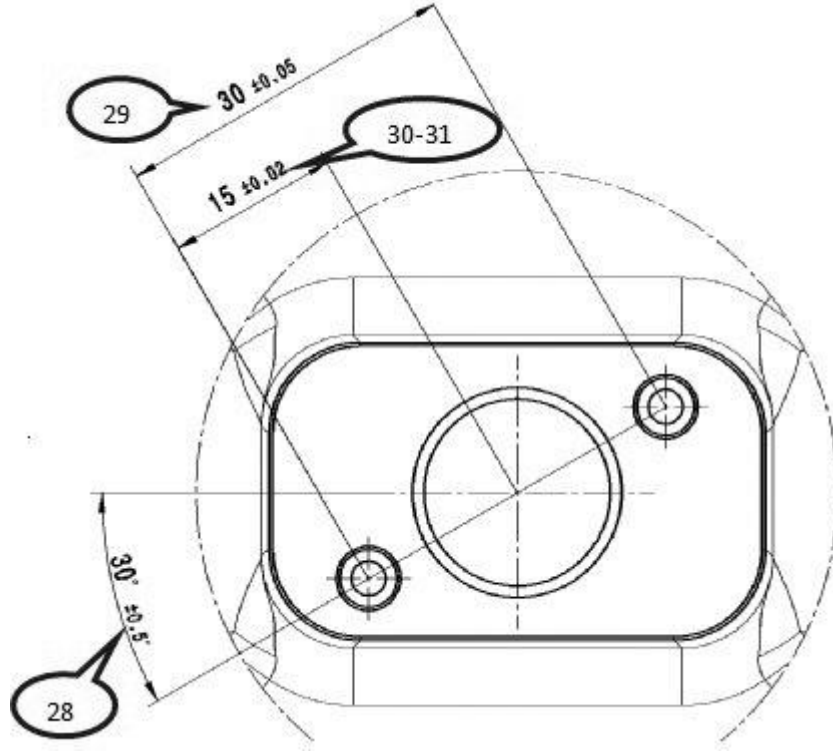


Şekil 8.9 Uygulama 7 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

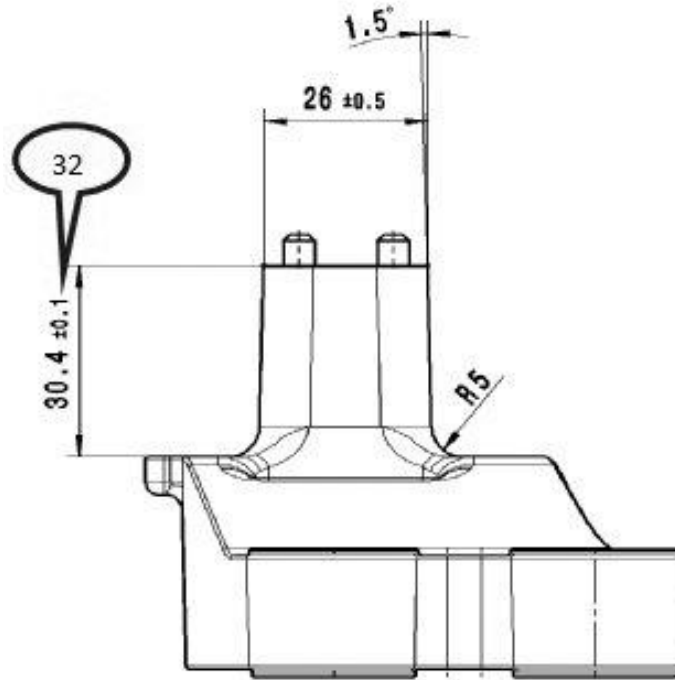
Çizelge 8.7 Uygulama 7 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Toleranslar	Min	Max	1	2	3	4	SONUÇ
1	$\square 0.2$		0,2	0,028	0,028	0,023	0,016	OK
2	R50	49,5	50,5	49,566	49,553	49,857	49,787	OK
3	R49	48,5	49,5	49,111	49,155	49,078	49,192	OK
4	R49	48,5	49,5	49,163	49,121	49,194	49,175	OK
5	R35,2	34,7	35,7	34,994	35,361	35,332	34,737	OK
6	100 $\pm 0,3$	99,7	100,3	100,229	100,205	100,234	100,248	OK
7	67 $\pm 0,2$	66,8	67,2	67,070	67,005	67,112	67,133	OK
8	53 $\pm 0,2$	52,8	53,2	52,891	52,906	52,955	53,003	OK
9	26,5 $\pm 0,1$	26,4	26,6	26,427	26,468	26,459	26,508	OK
10	66,4 $\pm 0,2$	66,2	66,6	66,361	66,292	66,266	66,246	OK
11	131,7 $\pm 0,3$	131,4	132	131,762	131,701	131,798	131,822	OK
12	148,5 $\pm 0,5$	148	149	148,482	148,530	148,376	148,403	OK
13	$\varnothing 19 \pm 0,2$	18,8	19,2	18,993	18,969	18,949	19,019	OK
14	$\perp \varnothing 0.3 A$	0	0,3	0,162	0,123	0,116	0,009	OK
15	$\parallel 0.3 \varnothing$	0	0,3	0,044	0,067	0,108	0,174	OK
16	$\square 0.2$	0	0,2	0,046	0,071	0,058	0,030	OK
17	$\parallel 0.3 A$	0	0,3	0,053	0,055	0,031	0,065	OK
18	$\square 0.2$	0	0,2	0,008	0,006	0,007	0,002	OK
19	$\parallel 0.3 B$	0	0,3	0,039	0,044	0,068	0,043	OK
20	$\square 0.2$	0	0,2	0,020	0,015	0,025	0,032	OK
21	$\parallel 0.3 A$	0	0,3	0,067	0,083	0,101	0,074	OK
22	25 $\pm 0,2$	24,8	25,2	25,020	25,054	25,150	25,058	OK
23	34 $\pm 0,2$	33,8	34,2	33,998	34,031	34,027	33,983	OK
24	17 $+0,2/-0,1$	16,9	17,2	16,999	17,015	17,013	16,991	OK
25	12,5 $+0,2/-0,1$	12,4	12,7	12,510	12,527	12,575	12,529	OK

Çizelge 8.7’de uygulama 7 için kontrol edilen toleransların sonuçları raporlanmıştır. 25 adet tolerans için 4’er adet nokta koordinatları toplanarak kontrol gerçekleştirilmiştir. Parçamızın gerçek ölçüleri bütün tolerans sınırları içerisinde kaldığı için istenilen kalite düzeyine sahip olarak değerlendirilmiştir. Bu parça için istenilen başlıca toleranslar; düzlemsellik, boyut, diklik ve paralellik toleranslarıdır.



Şekil 8.12 Uygulama 8 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

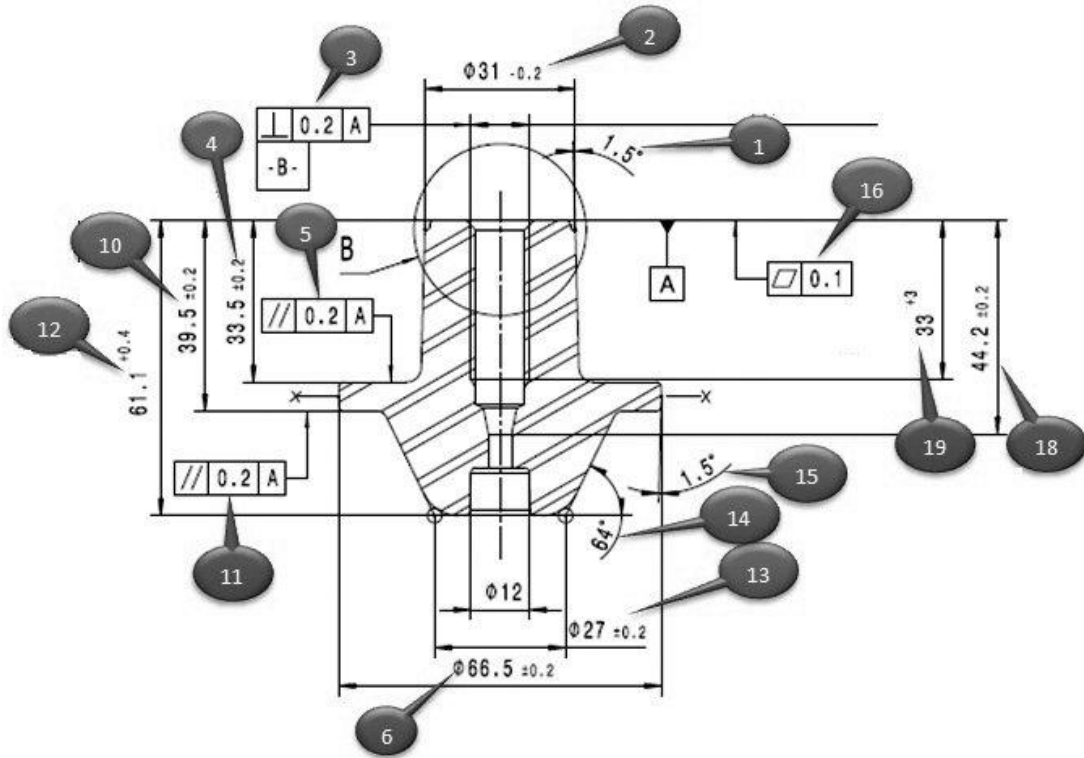


Şekil 8.13 Uygulama 8 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

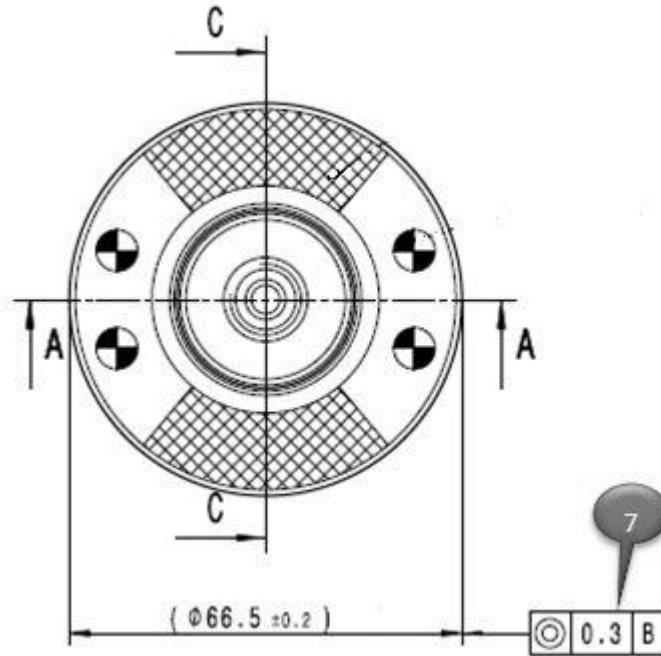
Çizelge 8.8 Uygulama 8 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Toleranslar	1	2	3	4	5	6	OK
1	$\square 0,2 \text{ CZ}$	0,043	0,062	0,031	0,033	0,025	0,035	OK
2	$\varnothing 11,4 +0,4$	11,461	11,475	11,482	11,471	11,459	11,484	OK
3	$\varnothing 11,4 +0,4$	11,455	11,452	11,458	11,462	11,448	11,453	OK
4	$\varnothing 10,5 +0,4$	10,576	10,595	10,567	10,577	10,567	10,561	OK
5	$\varnothing 10,5 +0,4$	10,753	10,768	10,776	10,786	10,765	10,809	OK
6	$\varnothing 11,4 +0,4$	11,513	11,497	11,503	11,620	11,512	11,614	OK
7	$\phi \varnothing 0,6 \text{ A}$	0,017	0,019	0,019	0,016	0,017	0,026	OK
8	$\phi \varnothing 0,6 \text{ A B}$	0,024	0,065	0,075	0,052	0,134	0,091	OK
9	$\perp \varnothing 0,6 \text{ A B C}$	0,029	0,041	0,094	0,063	0,151	0,093	OK
10	$\perp \varnothing 0,6 \text{ A B C}$	0,028	0,038	0,028	0,041	0,046	0,038	OK
11	$\phi \varnothing 0,6 \text{ A B C}$	0,038	0,065	0,096	0,075	0,145	0,114	OK
12	$\phi \varnothing 0,6 \text{ A B C}$	0,041	0,049	0,047	0,037	0,022	0,035	OK
13	$\phi \varnothing 0,6 \text{ A B C}$	0,041	0,049	0,047	0,037	0,022	0,035	OK
14	$\phi \varnothing 0,6 \text{ A B C}$	0,038	0,065	0,096	0,075	0,145	0,114	OK
15	$\varnothing 34,8$	34,785	34,799	34,774	34,838	34,784	34,775	OK
16	$\varnothing 16,3 \pm 0,15$	16,269	16,264	16,265	16,264	16,258	16,260	OK
17	$\phi \varnothing 0,5 \text{ A B C}$	0,082	0,102	0,114	0,170	0,202	0,199	OK
18	$\phi \varnothing 0,5 \text{ A B C}$	0,078	0,162	0,102	0,133	0,093	0,147	OK
19	$20,3 \pm 0,2$	20,309	20,411	20,390	20,424	20,343	20,484	OK
20	$\parallel 0,2 \text{ A}$	0,017	0,062	0,032	0,043	0,036	0,035	OK
21	$65,4 \pm 0,2$	65,405	65,490	65,536	65,590	65,465	65,581	OK
22	$\parallel 0,2 \text{ A}$	0,050	0,061	0,046	0,079	0,064	0,080	OK
23	$\parallel 0,2 \text{ E}$	0,053	0,116	0,014	0,024	0,014	0,040	OK
24	$41,4 \pm 0,2$	41,341	41,356	41,437	41,496	41,305	41,406	OK
25	45,1	45,096	45,081	45,148	45,170	45,126	45,102	OK
26	58,4	58,200	58,270	58,478	58,425	58,194	58,438	OK
27	56,4	56,136	56,212	56,406	56,367	56,148	56,434	OK
28	$30^\circ \pm 0,5^\circ$	30:05:38	30:03:56	30:21:01	30:03:58	30:15:56	29:49:25	OK
29	$30 \pm 0,05$	29,975	29,983	30,026	29,954	29,958	29,951	OK
30	$15 \pm 0,02$	14,991	15,006	14,996	15,013	15,003	15,000	OK
31	$15 \pm 0,02$	14,985	14,987	15,020	14,991	14,985	14,988	OK
32	$30,4 \pm 0,1$	30,374	30,429	30,410	30,369	30,438	30,472	OK

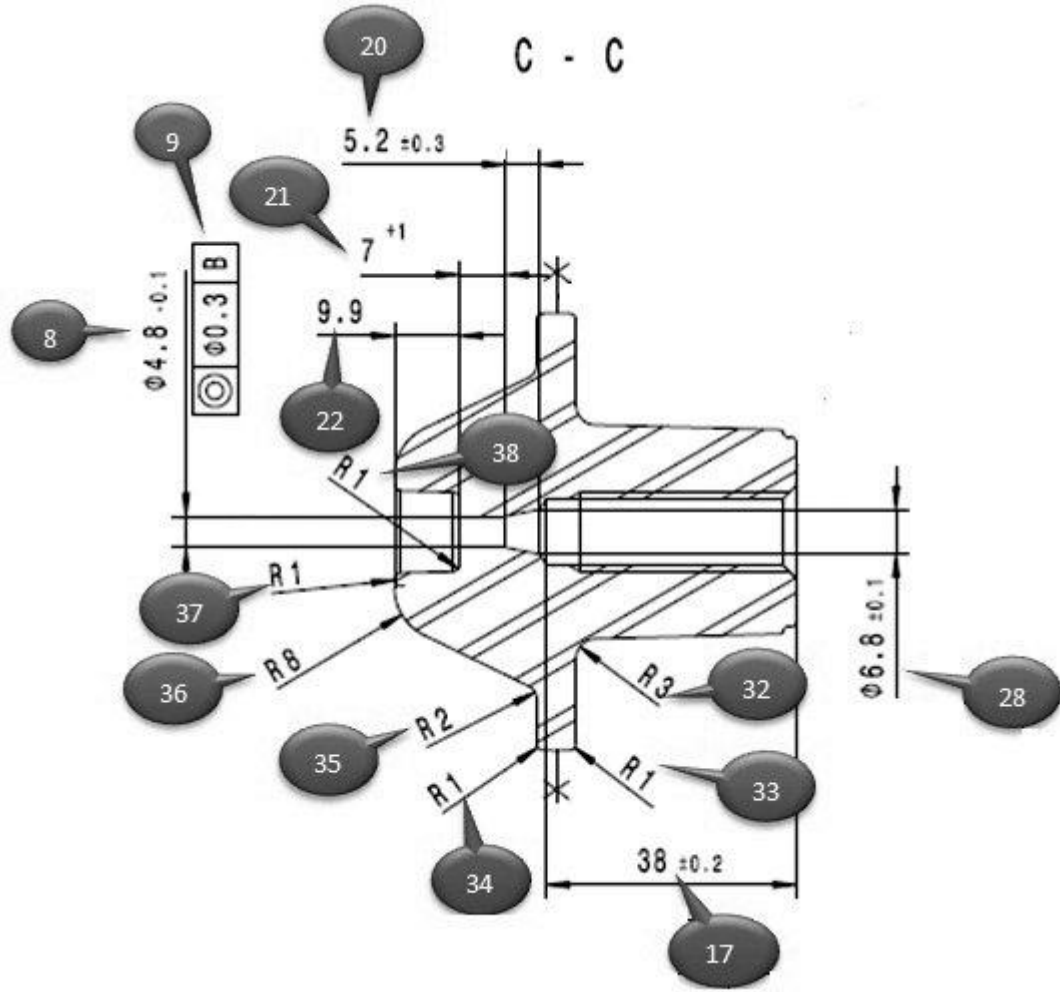
8.9 Uygulama 9



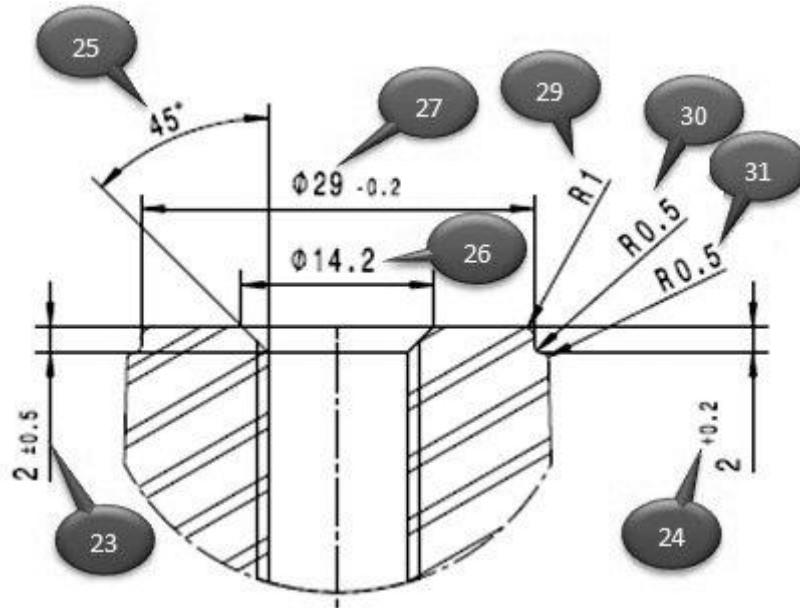
Şekil 8.14 Uygulama 9 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri



Şekil 8.15 Uygulama 9 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

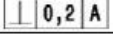
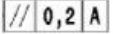
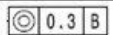
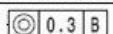
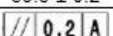
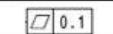


Şekil 8.16 Uygulama 9 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

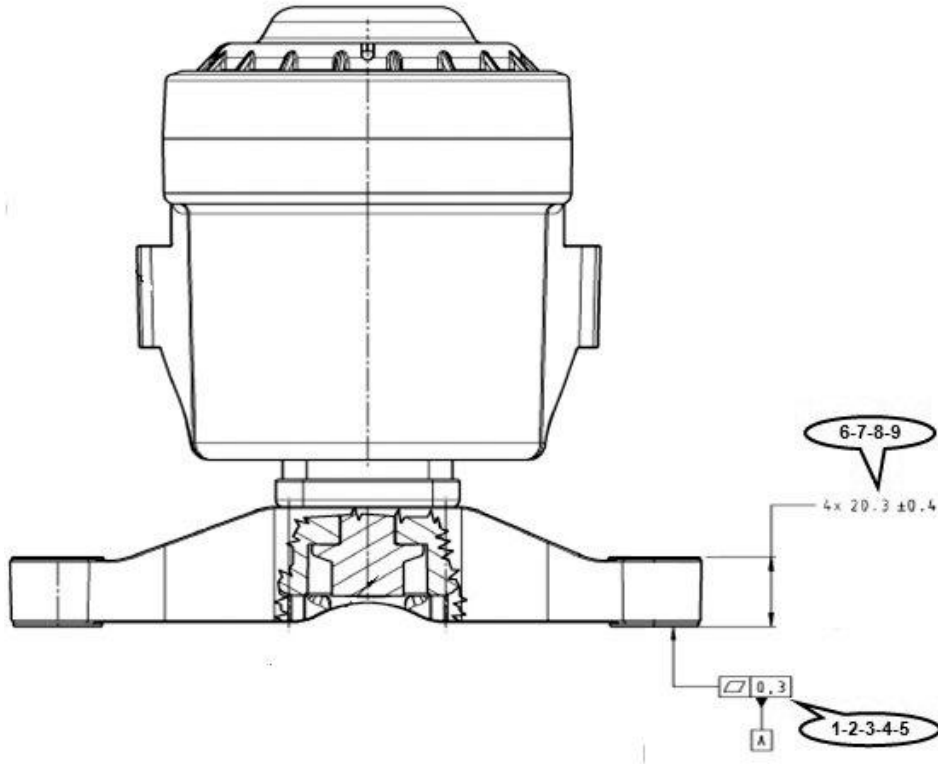


Şekil 8.17 Uygulama 9 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

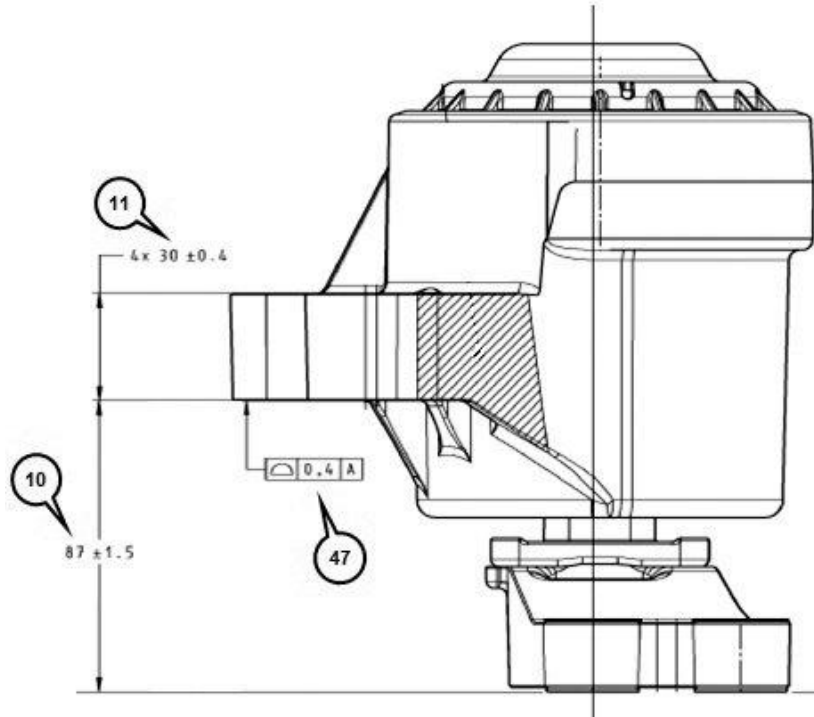
Çizelge 8.9 Uygulama 9 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Toleranslar	1	2	3	4	5	6	7	8	Sonuç
1	1.5° ± 0.5°	1:22:08	1:23:20	1:23:43	1:23:17	1:23:23	1:22:34	1:20:48	1:23:55	OK
2	Ø 31 -0.2/0	30,858	30,836	30,838	30,829	30,853	30,842	30,863	30,830	OK
3	 0,2 A	0,185	0,175	0,193	0,162	0,192	0,195	0,162	0,187	OK
4	33.5 ± 0.2	33,432	33,434	33,426	33,411	33,431	33,493	33,448	33,419	OK
5	 0,2 A	0,060	0,028	0,050	0,027	0,039	0,035	0,042	0,018	OK
6	Ø 66.5 ± 0.2	66,650	66,538	66,461	66,468	66,418	66,454	66,479	66,429	OK
7	 0.3 B	0,202	0,105	0,175	0,164	0,046	0,153	0,199	0,259	OK
8	Ø 4.8 -0.1/0	4,715	4,711	4,712	4,716	4,753	4,712	4,722	4,744	OK
9	 0.3 B	0,228	0,168	0,245	0,171	0,087	0,183	0,237	0,268	OK
10	39.5 ± 0.2	39,379	39,415	39,428	39,357	39,318	39,444	39,435	39,400	OK
11	 0,2 A	0,056	0,019	0,064	0,042	0,051	0,101	0,021	0,016	OK
12	61.1 +0.4/0	61,179	61,211	61,233	61,179	61,121	61,237	61,242	61,213	OK
13	Ø 27 ± 0.2	26,921	26,899	26,906	26,904	26,954	26,855	26,880	26,913	OK
14	64° ± 0.5	64:01:56	64:07:20	64:02:50	64:11:30	64:06:14	64:12:10	63:56:57	64:03:50	OK
15	1.5° ± 0.5°	1:04:45	1:00:31	1:04:35	1:12:57	1:12:58	1:18:44	1:13:57	1:28:43	OK
16	 0.1	0,027	0,042	0,028	0,035	0,031	0,038	0,018	0,030	OK
17	38±0,2	38,19	38,19	38,11	38,11	37,82	38,10	38,18	37,80	OK
18	44,2±0,2	44,06	44,02	44,02	44,06	44,01	44,10	44,01	44,03	OK
19	33 +3	33,94	34,19	35,09	34,12	34,42	33,26	33,46	34,44	OK
20	5,2±0,3	4,92	4,94	4,91	4,91	4,92	4,92	4,91	4,93	OK
21	7 +1	7,21	7,56	7,19	7,22	7,64	7,14	7,19	7,28	OK
22	9,9	9,81	9,87	10,06	9,86	9,96	9,91	9,85	9,93	OK
23	2±0,5	1,64	1,56	1,51	1,54	1,90	1,56	1,51	1,82	OK
24	2±0,2	2,10	2,13	1,97	2,13	2,10	2,19	2,18	2,09	OK
25	45°	44,21	44,29	44,19	44,27	44,19	44,23	44,12	44,23	OK
26	Ø14,2	14,16	14,08	14,16	14,19	14,19	14,17	14,03	14,18	OK
27	Ø29 -0,2	28,91	28,98	28,97	28,95	28,86	28,98	28,96	28,99	OK
28	Ø6,8±0,1	6,884	6,869	6,879	6,869	6,867	6,879	6,881	6,871	OK
29	R1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
30	R5	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
31	R5	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
32	R3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
33	R1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
34	R1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
35	R2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
36	R8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
37	R1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
38	R1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

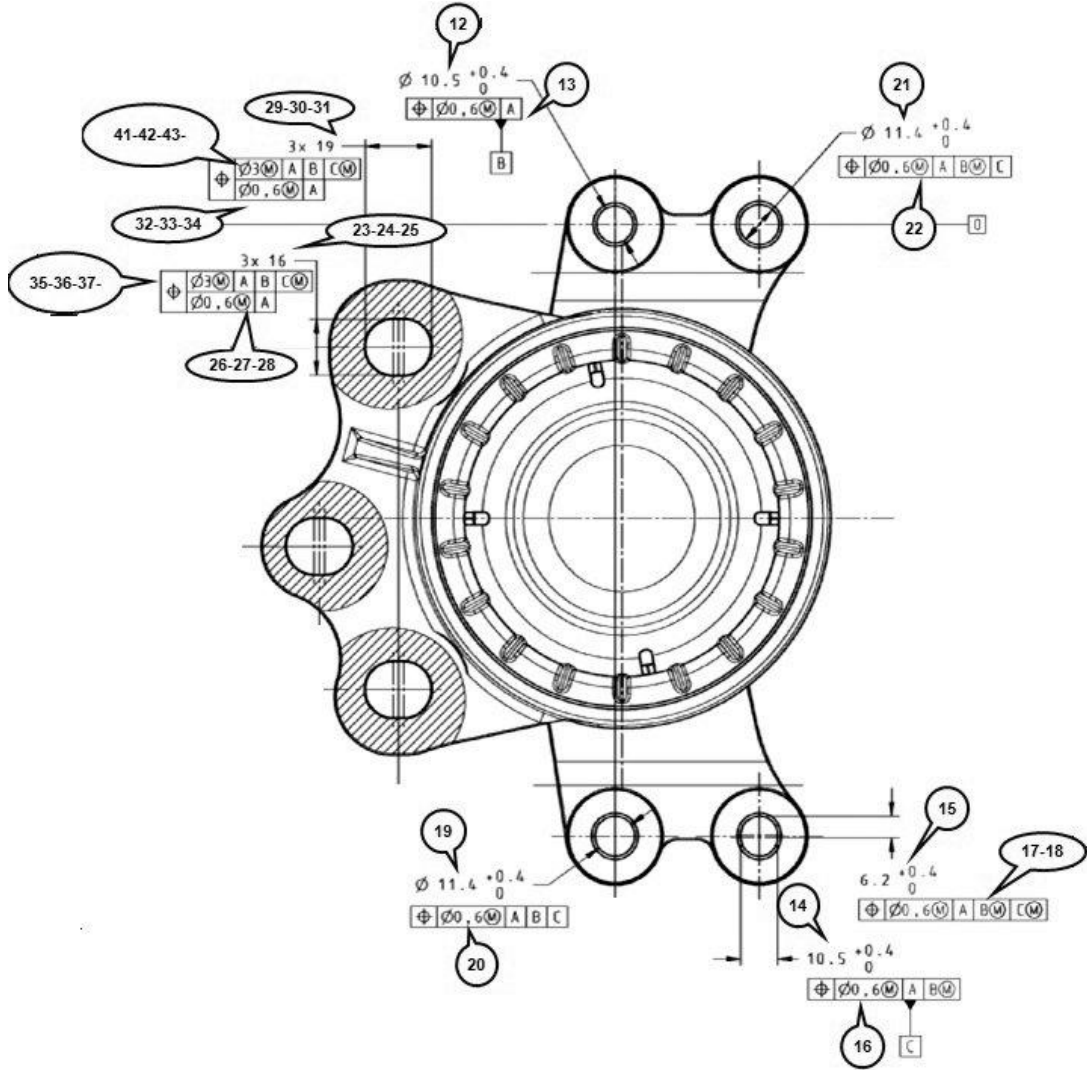
8.10 Uygulama 10



Şekil 8.18 Uygulama 10 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri



Şekil 8.19 Uygulama 10 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri



Şekil 8.20 Uygulama 10 için ölçümü yapılan süspansiyon parçası ve tolerans değerleri

Çizelge 8.10 Uygulama 10 için toleranslar ve ölçülen gerçek değerler

	Toleranslar	1	2	3	4	5	6	Sonuç
1	$\square 0,3$	0,004	0,008	0,004				OK
2	$\square 0,3$	0,004	0,003	0,004				OK
3	$\square 0,3$	0,014	0,005	0,006				OK
4	$\square 0,3$	0,006	0,002	0,002				OK
5	$\square 0,3$	0,035	0,036	0,038				OK
6	$20,3 \pm 0,4$	20,33	20,344	20,353				OK
7	$20,3 \pm 0,4$	20,313	20,32	20,342				OK
8	$20,3 \pm 0,4$	20,286	20,296	20,334				OK
9	$20,3 \pm 0,4$	20,28	20,288	20,302				OK
10	$87 \pm 1,5$	86,323	86,412	86,212				OK
11	$30 \pm 0,4$	29,965	30,05	29,969				OK
12	$\varnothing 10,5 +0,4$	10,577	10,573	10,589				OK
13	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A}$	0,05	0,033	0,097				OK
14	$\varnothing 10,5 +0,4$	10,668	10,657	10,669				OK
15	$6,2 +0,4$	6,258	6,251	6,242				OK
16	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A B (M)}$	0,428	0,377	0,447				OK
17	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A B (M) C (M)}$	0,257	0,245	0,297				OK
18	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A B (M) C (M)}$	0,192	0,188	0,25				OK
19	$\varnothing 11,4 +0,4$	11,451	11,464	11,456				OK
20	$\varnothing 11,4 +0,4$	11,503	11,535	11,463				OK
21	$\varnothing 11,4 +0,4$	11,503	11,535	11,463				OK
22	$\varnothing 11,4 +0,4$	11,503	11,535	11,463				OK
23	16	16,555	16,595	16,709				OK
24	16	16,644	16,614	16,822				OK
25	16	16,674	16,674	16,830				OK
26	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A}$	0,011	0,013	0,011				OK
27	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A}$	0,011	0,013	0,012				OK
28	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A}$	1,011	1,013	1,011				OK
29	$19 +0,5$	19,397	19,368	19,425				OK
30	$19 +0,5$	19,406	19,382	19,467				OK
31	$19 +0,5$	19,414	19,444	19,482				OK
32	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A}$	0,010	0,013	0,011				OK
33	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A}$	0,011	0,013	0,012				OK
34	$\varnothing 10,6 \text{ (M) A}$	0,011	0,012	0,011				OK
35	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,534	1,436	0,8				OK
36	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,606	1,697	0,899				OK
37	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,821	1,336	0,534				OK
38	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,15	1,791	1,225				OK
39	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,211	1,97	1,263				OK
40	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,401	1,467	0,822				OK
41	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,534	1,436	0,8				OK
42	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,606	1,697	0,899				OK
43	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,821	1,336	0,534				OK
44	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,15	1,791	1,225				OK
45	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,211	1,97	1,263				OK
46	$\varnothing 3 \text{ (M) A B C (M)}$	0,401	1,467	0,822				OK
47	$\square 0,4 \text{ A}$	0,182	0,167	0,249				OK

BÖLÜM 9

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında da görüldüğü üzere, koordinat ölçme sistemleri hızlı, esnek, güvenilir, hassas olmaları ile birçok avantaj sağlamaktadırlar. Ölçme görevlerine kolay adaptasyonları ve kullanıcı dostu olmaları, çoğu alanda koordinat sistemlerini diğer ölçme sistemlerinden bir adım öne çıkarmaktadır.

Koordinat ölçme cihazları ile yapılan ölçümler ile elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamında matematiksel ve nümerik modellerle kıyaslanabilmektedir. Boyut, şekil ve konum toleranslarının ve sapmalarının bir referans sisteminde gösterilebilmesi sonuçların değerlendirilmesinde görsel olarak da faydalar sağlamaktadır.

Tasarımcı, üretim mühendis ve ölçümcü arasındaki ortak dil oluşturmak için geometrik ürün spesifikasyonu (GPS) alanında standartlar geliştirilmiştir. GPS tarihsel gelişimi ve içeriği hakkında bilgiler tez içeriğine dâhil edilmiştir. GPS temelinde toleranslar, çeşitli örneklerle desteklenerek açıklanmıştır.

Ayrıca, bu tez çalışmasının uygulamaları makine mühendisliğinin temel makine elemanları ile yapılarak koordinat metrolojisinin makine mühendisliğindeki yeri ve önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Bu amaç ile çeşitli dişlilerin, egzoz parçalarının ve süspansiyon parçalarının 3 boyutlu ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları çizelgelerde gösterilerek istenilen tolerans değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar ile parçaların istenilen kalite değerlerinde olup olmadığı araştırılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Demirciioglu, P., Bogrekci, I., Durakbasa, M.N. (2013), “Micro Scale Surface Texture Characterization of Technical Structures by Computer Vision”, *Measurement*, 46(6): 2022-2028.
- [2] Aydin, O. (2013), *Characterizing Analysis and Evaluation of Honed Surface Topographic Structures in the Frame of GPS*, Techn. Univ., Mag.-Arb., XVII, 151, Vienna.
- [3] Demircioglu, P., Durakbasa, M.N., (2011), “Investigations on Machined Metal Surfaces Through the Stylus Type and Optical 3D Instruments and Their Mathematical Modeling with the Help of Statistical Techniques”, *Measurement*, 44(4):611-619.
- [4] Durakbasa, M.N., Osanna, P.H., Demircioglu, P. (2011), “The Factors Affecting Surface Roughness Measurements of the Machined Flat and Spherical Surface Structures – The Geometry and the Precision of the Surface”, *Measurement*, 44(10): 1986-1999.
- [5] Kräuter, L., Durakbasa, N.M., Osanna, P.H. (2009), “Interrelation of Metrology and Nanotechnology with Intellectual Property Rights”, 9. International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, Sankt-Peterburg.
- [6] Durakbasa, N. M., Osanna, P. H., Kräuter, L. (2009) “Research and Education in Engineering and Business with Special Consideration on Geometrical Product Specifications and Verification - GPS”, 5. Balkan Region Conference on Engineering and Business Education, Sibiu
- [7] Durakbasa, N. M., Osanna, P. H., Aksoy, P., Kräuter, L. (2009), “Contact and Non-contact Measurement and Analysis of the Surface of High Precision Workpieces”, 12. International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, Rzeszów.
- [8] Durakbasa, N. M., Osanna, P. H., Crisan, L., Kräuter, L. (2009), “Competitive Global and Accurate Economic Industrial Production on Basis of Intelligent Tolerancing and Coordinate Metrology” 23. MicroCAD, Miskolc.

- [9] ISO 286., (2010), “Geometrical Product Specifications (GPS) - ISO Code System for Tolerances on Linear Sizes - Part 1: Basis of Tolerances, Deviations and Fits”.
- [10] ISO 286., (2010), “Geometrical Product Specifications (GPS) - ISO Code System for Tolerances on Linear Sizes - Part 2: Tables of Standard Tolerance Classes and Limit Deviations for Holes and Shafts”.
- [11] ISO 8015., (2011), “Geometrical Product Specifications (GPS) - Fundamentals - Concepts, Principles and Rules”.
- [12] ISO 12780., (2011), “Geometrical product specifications (GPS) - Straightness - Part 1: Vocabulary and parameters of straightness”.
- [13] ISO 12780., (2011), “Geometrical product specifications (GPS) - Straightness - Part 2: Specification Operators”.
- [14] ISO 12781., (2011), “Geometrical product specifications (GPS) - Flatness - Part 1: Vocabulary and parameters of flatness”.
- [15] ISO 12781., (2011), “Geometrical product specifications (GPS) - Flatness - Part 2: Specification Operators”.
- [16] ISO 12181., (2011), “Geometrical product specifications (GPS) - Roundness - Part 1: Vocabulary and parameters of roundness”.
- [17] ISO 12181., (2011), “Geometrical product specifications (GPS) - Roundness - Part 2: Specification Operators”.
- [18] ISO 12180., (2011), “Geometrical product specifications (GPS) - Cylindricity - Part 1: Vocabulary and parameters of cylindrical form”.
- [19] ISO 12180., (2011), “Geometrical product specifications (GPS) - Cylindricity - Part 2: Specification Operators”.
- [20] Durakbasa, N. M., Osanna, P. H. (2009), Quality in Industry, . Univ., Abt. Austauschbau u. Messtechnik, Vienna.
- [21] Osanna, P. H., Durakbasa, N. M., Yaghmaei, K., Kräuter, L. (2009), “Quality Control and Nanometrology for Micro/Nano Surface Modification of Orthopaedic/Dental Implants”, 7. International Conference on Measurement, Smolenice.
- [22] Akdogan, A.N., Durakbasa, M.N. (2008), “Thermal Cycling Experiments for Glass Moulds Surface Texture Lifetime Prediction - Evaluation with the Help of Statistical Techniques”, Measurement, 41(6):697-703.
- [23] Durakbasa, N. M., Osanna, P.H., Yurci, M.E., Akdogan, A.N. (2008), “High Precision Measurement and Evaluation of the Fine Mould Surface Structures”, Key Engineering Materials, Vol.381-382:221-224
- [24] Aksoy, P. (2008), “Evaluation of High Precision Surface Structures by Contact Stylus and Non-Contact Optical Methods”, Techn. Univ., Diss., XXVIII, 335, Vienna.
- [25] Gao, W. (2008), Measurement Technology and Intelligent Instruments VIII, Trans Tech Publ., Stafa-Zürich.

- [26] Durakbasa, N. M., Osanna, P. H. (2007), "Improvement of Process and Product Quality in Modern Industry, for Every-Day-Life and Bio-Medicine on Basis of Nanometrology and Nanotechnology", 4. International Congress of Precision Machining, Kielce.
- [27] Lackner, F., Riegler, R., Osanna, P. H., Durakbasa, N. M. (2007), "High Precision Strain Gauge Based Sensor for Monitoring Suspension Forces at CERN", 6. International Conference on Measurement, Smolenice.
- [28] Osanna, P. H., Durakbasa, N. M., Kräuter, L., Güclü, E. (2007), "A Modern Scheme for Education, Training and Certification of Metrology and Measurement Technique Personnel", 6. International Conference on Measurement, Smolenice.
- [29] Durakbasa, N. M., Osanna, P.H., Akdogan, A.N., Bauer, J. M., Kräuter, L. (2007), "Intelligent Metrology and Total Quality Management for the Realisation of Advanced Flexible Disassembly and Recycling of Used Goods for Everyday Life", 13th International Conference on Engineering of environment protection, Senec.
- [30] Durakbasa, N.M., Afjehi-Sadat, A., Osanna, P.H. (2006), "Metrology of the Structure of High Precision Machined Workpiece Surfaces", International Scientific Conference, Miskolc.
- [31] Akdogan, A.N., Yurci, M.E., Osanna, P.H., Durakbasa, N. M. (2006), "High Precision Determination and Statistical Evaluation of Surface Roughness Alterations of Selected Materials", Brazilian Congress of Metrology, Rio de Janeiro.
- [32] Lonardo, P.M., Lucca, D.A., De Chiffre, L. (2002), "Emerging Trends in Surface Metrology", CIRP Annals - Manufacturing Technology, 51(2):701-723.
- [33] Durakbasa, N.M., Osanna, P.H., Afjehi-Sadat, A., Samarawickrama, D.Y.D., Zou, L., Stout, K. J. (2003), "Surface assessment related to biomedicine - possibilities, opportunities and future developments", 9. International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, Halmstad.
- [34] Osanna, P.H., Rezaie, K., Durakbasa, N.M., Heiss, C.P. (1995), "Form Measurements — A Bridge Between Production Metrology and Biomechanics", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 35(2): 165-168.
- [35] Li X., Huang M., Kuang B., Wang Q., Bao J. (2009), "Specification Design of Planar Feature Based on the New Generation Geometrical Product Specification and Verification", 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, Aug..2:666,2:672.
- [36] Wen, X.L., Zhu, X.C., Zhao, Y.B., Wang, D.X., Wang, F.L. (2012), "Flatness Error Evaluation and Verification Based on New Generation Geometrical Product Specification (GPS)", Precision Engineering-journal of the International Societies for Precision, 36(1):70-76.

- [37] Xu, Y.P., Xu, Z.J., Jiang, X.Q., Scott, P. (2011), "Developing a Knowledge-Based System for Complex Geometrical Product Specification (GPS) Data Manipulation", *Knowledge-based Systems*, 24(1): 10-22.
- [38] Ricci, F., Scott, P.J., Jiang, X.Q. (2013), "A Categorical Model for Uncertainty and Cost Management within The Geometrical Product Specification (GPS) Framework", *Precision Engineering-journal of The International Societies for Precision*, 37(2):265-274.
- [39] Özcan, E. (2013), *Surface Characterization and Roughness Measurement in Frame of Geometrical Product Specification and Verification (GPS) Using Stylus and Optical Metrology*, Vienna Technical University.
- [40] Qi, Q., Jiang, X., Scott, P. J. (2012), "Knowledge Modeling for Specifications and Verification in Areal Surface Texture", *Precision Engineering*, 36(2): 322-333.
- [41] Srinivasan, V. (2008), "Standardizing the Specification, Verification, and Exchange of Product Geometry: Research, Status and Trends", *Computer-Aided Design*, 40(7): 738-749.
- [42] Dantan, Jean-Y., Ballu, A., Mathieu, L. (2008), "Geometrical Product Specifications — Model for Product Life Cycle", *Computer-Aided Design*, 40(4):493-501.
- [43] Heping, P., Xiangqian, J. (2009), "Evaluation and Management Procedure of Measurement Uncertainty in New Generation Geometrical Product Specification (GPS)", *Measurement*, 42(5):653-660.
- [44] Germani, M., Mandorli, F., Mengoni, M., Raffaelli, R. (2010), "CAD-Based Environment to Bridge the Gap Between Product Design and Tolerance Control", *Precision Engineering*, 34(1):7-15.
- [45] Dantan, J.Y., Bruyere, J., Baudouin, C., Mathieu, L. (2007), "Geometrical Specification Model for Gear - Expression, Metrology and Analysis", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 56(1):517-520.
- [46] Ma, L., Jiang, X., Wang, J., Xu, Z., Li, Z. (2007), "Study on the Expression Specifications of Geometrical Products for Function, Design, Manufacture and Verification Based on the Improved GPS Language", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(9):990-998.
- [47] Ihsan F. (2003), "Geometric Verification of Design", *Engineering, Construction and Architectural Management*, 10(1):56-70.
- [48] Kruth, J.-P., Vanherck, P., Van den Bergh, C. (2001), "Compensation of Static and Transient Thermal Errors on CMMs", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 50(1):377-380.
- [49] Wang Q., Huang, M., Zhong Y., Kuang B., Li X., Bao J. (2009), "Research on Straightness Evaluation of the Machine Guideway Based on the New Generation Geometrical Product Specifications", *9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, 2:673-679.

- [50] Ballu, A., Falgarone, H., Chevassus, N., Mathieu, L. (2006), “A New Design Method Based on Functions and Tolerance Specifications for Product Modelling”, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 55(1):139-142.
- [51] Zhu L. (2010), “Estimation of Uncertainty in Flatness Minimum Zone Verification According to New GPS Standard System”, *Computer Application and System Modeling*, Oct. 2010, 1:508-511.
- [52] Liu, K.W., Zhong, Y.R., Mo, Y.H., Dai, Y.F. (2010), “A Framework of Predicate-Based GPS Operations”, *E-Product E-Service and E-Entertainment*.
- [53] Liang-rong Z., (2010), “Estimation of Uncertainty in Spatial Straightness Measurement According to Next Generation of GPS Standard System”, *Advanced Computational Intelligence*, 666-669.
- [54] Mo, Y.H., Zhong, Y.R., Dai, Y.F., Liu, K.W. (2010), “The Application of Geometric Precision Design Based on the New Generation GPS”, *E-Product E-Service and E-Entertainment*, 1-4.

EK-A

EK-B

EK-C

EK-D

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bahadır İŞLER
Doğum Tarihi ve Yeri : 01/06/1989 – BİGA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : islerbahadir@mail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Yüksek Lisans	2011-2014	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı İmal Usulleri Programı
Lisans	2007-2011	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Lise	2005-2007	Edirne Fen Lisesi
	2003-2005	Bolu Fen Lisesi