

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE SERBEST YÜZEYLERİN
TASARIMI VE KALİTE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mak. Müh. Hikmet ŞAHİN

F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Numan DURAKBAŞA

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	ii
KISALTMA LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZLARI.....	1
3. CMM (Coordinate Measuring Machines) YAPISI.....	2
3.1 Tabla.....	2
3.2 Anti Titreşim Destekleri.....	3
3.3 Hareketli Parça.....	3
3.4 Ana Taşıyıcı.....	4
3.5 Merkez Taşıyıcı.....	4
3.6 Z Kolonu.....	5
4. CMM TİPLERİ.....	5
4.1 Dikey (Gantry) Tip CMM.....	5
4.2 Yatay Tip CMM.....	7
4.3 Diğer CMM Tipleri.....	7
5. ÖLÇME KOLLARI.....	8
5.1 Ölçme Kolunun Faydaları.....	9
6. CMM OPERASYON TARZLARI.....	10
6.1 Dokunmayla Ölçme.....	10
6.2 Temassız (Dokunmasız) Ölçme.....	11
7. PROB TİPLERİ.....	13
7.1 Sert Problar.....	13
7.2 Yumuşak Problar.....	13
7.3 Dokunmasız Problar.....	14

8.	KOORDİNAT ÖLÇME TEKNİĞİ.....	14
8.1	CMM Sistemi Kullanarak Obje Geometrisi Belirlenmesi.....	17
8.1.1	Makine Koordinat Sistemi.....	18
8.1.2	Parça Koordinat Sistemi.....	19
8.1.3	Hizalama.....	19
8.1.4	Referans.....	20
8.1.5	Nakil.....	20
8.1.6	Rotasyon.....	21
8.1.7	Ölçülen ve Düzenlenen Unsurlar.....	21
8.1.8	İnşa Edilmiş Unsurlar.....	22
8.1.9	Hacimsel Telafi.....	22
8.1.10	Prob Telafisi.....	23
8.1.11	İzdüşümler.....	23
9.	KOORDİNAT METROLOJİSİNDE YAZILIMIN GEREKLİLİĞİ.....	24
10.	PERFORMANS DEĞERLENDİRME.....	25
10.1	Form Sapmaları.....	28
10.2	Kısmi Ulaşılabilir Yüzeyle.....	28
10.3	Sıkıştırma ve İş Parçasının Elastik Deformasyonu.....	28
10.4	Çevrenin Etkileri.....	29
11.	METROLOJİ VE MUAYENE.....	29
12.	OTOMOBİLLERDE SERBEST YÜZEYLER.....	31
12.1	Kaporta (Car Body).....	31
12.2	Farlar.....	35
12.3	Dikiz Aynaları.....	35
12.4	Egzost.....	36
12.5	Silindir İçi Yanma Odası (Combustion Chamber).....	37
12.5.1	Direkt Püskürtmeli Yanma Odaları.....	38
12.5.2	Bölünmüş Yanma Odaları.....	39
12.5.2.1	Ön Yanma Odaları.....	40
12.5.2.2	Yardımcı Hava Odaları.....	40
12.5.2.3	Türbülanslı Yanma Odaları.....	41
12.6	Camlar.....	43
12.7	Koltuklar.....	43
12.8	Diğer Serbest Yüzeyle Komponentler.....	44

13.	YÜZEY ANALİZİ VE TEKNİK OLMAYAN YAPILARI DEĞERLENDİRME.....	45
14.	SERBEST YÜZEYLER.....	45
14.1	Coons Yüzeyleri.....	47
14.2	Bezier Yüzeyleri.....	47
14.3	B-Spline Yüzeyler.....	48
15.	SERBEST YÜZEYLERİN ÜRETİMİ.....	49
15.1	Üretim Ortamı.....	50
16.	KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZLARININ ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI.....	51
17.	SERBEST YÜZEYLERİN ÖLÇÜMÜ.....	53
18.	PROB NOKTALARININ ÜRETİLMESİ.....	53
19.	ÖLÇÜM VERİSİNİN HESAPLANMASI.....	53
20.	SERBEST YÜZEYLERİN SAYISALLAŞTIRILMASI.....	54
21.	TERSİNE MÜHENDİSLİK.....	56
21.1	Bileşik Mühendislik ve Ürün Tasarımı Teknolojileri.....	57
21.2	Sayısallaştırma ve Tersine Mühendislik.....	60
21.3	Tersine Mühendislik İçin Kullanılan Yazılımlar.....	62
21.4	Hızlı Prototipleme Teknolojisine Son Durum.....	63
22.	SERBEST YÜZEYLERİN TERSİNE MÜHENDİSLİĞİ.....	64
22.1	Serbest Yüzeylerin Tersine Mühendisliğinin Metodolojisi.....	66
22.1.1	Koordinat Ölçümleri.....	66
22.1.2	Yüzey Tahmini.....	67
22.1.3	NC Parça Programlaması ve Hata Düzeltmesi.....	68
23.	OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TERSİNE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI.....	70
23.1	Otomotiv Endüstrisinde Tersine Mühendisliğin Yeri.....	71
23.2	Sürekli Kalite İyileştirilmesi.....	73
23.3	Dijital Ortamda Birleşme.....	74
24.	KALİTE.....	76

25.	CMM VE CAQ ENTEGRASYONU.....	76
25.1	Otomatik Ölçme.....	77
26.	KAPORTA ÖLÇÜM SİSTEMLERİ.....	79
26.1	Ölçme Sistemleri Uygulamaları.....	79
26.2	Parça Konumlama Sistemi.....	80
27.	SONUÇ.....	84
	KAYNAKLAR.....	85
	ÖZGEÇMİŞ.....	87

SİMGE LİSTESİ

ε	Hacimsel sıkıştırma oranı
m	Metre
s	Saniye
P_{ij}	Kontrol noktaları
$N_{i,p}(u)$	B-spline esas fonksiyonu
$N_{j,q}(v)$	B-spline diğer esas fonksiyonu
X_{ij}	X ekseninde ölçüm noktası
Y_{ij}	Y ekseninde ölçüm noktası
Z_{ij}	Z ekseninde ölçüm noktası
S_{ij}^x	Ölçüm noktasının X yüzeyi üzerindeki karşılığı
S_{ij}^y	Ölçüm noktasının Y yüzeyi üzerindeki karşılığı
S_{ij}^z	Ölçüm noktasının Z yüzeyi üzerindeki karşılığı
i,j	Ölçümün iki yönündeki ölçüm noktalarının sayıları
d	Tahmin hatası

KISALTIMA LİSTESİ

CMM	Coordinate Measuring Machine
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAQ	Computer Aided Quality Assurance
CAI	Computer Aided Inspection
CNC	Computer Numerical Control
NC	Numerical Control
NURBS	Non-Uniform Rational B-Spline
VDA-FS	Verband der Automobilindustrie – Flächenschnittstelle
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
RE	Reverse Engineering
CIPM	International Commite for Weights and Measures
NIST	National Institute of Standardisation and Technology
ISO	International Standart Organisation
LAN	Local Area Network

ŞEKİL LİSTESİ	Sayfa
Şekil 3.1 CMM tablası.....	2
Şekil 3.2 CMM hareketli parça.....	3
Şekil 3.3 CMM merkezi taşıyıcı.....	4
Şekil 3.4 Z kolonu.....	5
Şekil 4.1 Dikey tip CMM.....	5
Şekil 4.2 Dikey (Gantry) tip CMM.....	6
Şekil 4.3 Yatay tip CMM.....	7
Şekil 4.4 Hareketli köprülü CMM.....	7
Şekil 4.5 Ayaklı köprülü CMM.....	7
Şekil 4.6 Sabit köprülü CMM.....	8
Şekil 4.7 Sabit tablalı CMM.....	8
Şekil 4.8 Hareketli tablalı yatay kollu CMM.....	8
Şekil 4.9 Kolon CMM.....	8
Şekil 5.1 Ölçme kolu.....	9
Şekil 6.1 Temas tetik probu.....	10
Şekil 6.2 Dokunma probu basit boyut ölçümü.....	11
Şekil 7.1 Sert prob.....	13
Şekil 7.2 Yumuşak prob.....	13
Şekil 7.3 Lazer tip problar.....	14
Şekil 8.1 Konvansiyonel yöntem ile ve CMM ile bir deliğin ölçülmesi.....	16
Şekil 8.2 CMM ve eksenleri.....	18
Şekil 8.3 Parça koordinat sistemi.....	19
Şekil 8.4 Hizalama.....	19
Şekil 8.5 Referanslar.....	20
Şekil 8.6 Nakil.....	20
Şekil 8.7 Rotasyon.....	21
Şekil 8.8 Ölçülen ve düzenlenmiş unsurlar.....	22
Şekil 8.9 İnşa edilmiş unsurlar.....	22
Şekil 8.10 Prob telafisi.....	23
Şekil 8.11 İzdüşümler.....	24
Şekil10.1 Ölçme belirsizliği ve ölçme hatası arasındaki farkın gösterimi.....	26
Şekil 10.2 CMM çalışma bölgesindeki birkaç noktanın koordinat sistemi içindeki üç boyutlu belirsizliğinin şematik gösterimi.....	27
Şekil 12.1 Otomobil kaportası (car body).....	31
Şekil 12.2 Otomobilin CAD ortamında tasarlanması.....	32
Şekil 12.3 Örnek otomobil serbest tasarımı.....	33

Şekil 12.4 Prototipleme işlemi.....	33
Şekil 12.5 Prototipin taranması (scanning).....	34
Şekil 12.6 Taranan prototipin tasarım ara yüzünün ve CAD verisinin belirlenmesi.....	34
Şekil 12.7 Far tasarımları.....	35
Şekil 12.8 Otomobil dikiz aynası tasarımları.....	36
Şekil 12.9 Egzost manifoldu.....	37
Şekil 12.11 Pistonu oyuk direkt püskürtmeli yanma odaları.....	39
Şekil 12.12 Ön yanma odaları.....	39
Şekil 12.13 Yardımcı yanma odalı motorlar.....	41
Şekil 12.14 Türbülanslı yanma odası.....	41
Şekil 12.15 Hercules tipi türbülanslı yanma odası.....	42
Şekil 12.16 Perkins tipi türbülanslı yanma odası.....	42
Şekil 12.17 Ferrari Modena marka otomobilin yan ve ön cam tasarımları.....	43
Şekil 12.18 Çeşitli koltuk tasarımları.....	43
Şekil 14.1 Bezier yüzeyi.....	48
Şekil 14.2 B – spline eğrisi.....	49
Şekil 15.1 Serbest yüzeylerin üretimi esnasındaki proses zinciri.....	51
Şekil 20.1 Yama dağılımı ile ayakkabı modeli.....	55
Şekil 20.2 Ölçüm verisinin yüzey modeli olarak değerlendirilmesi.....	55
Şekil 21.1 Tersine mühendisliği akışı ve prototipleme.....	63
Şekil 22.1 Serbest formlu yüzeylerin tersine mühendisliğinin bilgi akışı.....	65
Şekil 22.2 Serbest formlu yüzeylerinin tersine mühendisliğinde gerekli ekipman düzenlemesi a) CMM (koordinat ölçme aleti) ile b) CMM'siz.....	65
Şekil 22.3 Yüzey oluşturulması a) eğri serileri ve b) tahmin edilmiş yüzey.....	67
Şekil 22.4 Yeniden yapılandırılmış yüzey.....	69
Şekil 22.5. Yüzey tahmini a) eğri serileri ve b) tahmin edilmiş yüzey.....	69
Şekil 22.6 İşlenmiş yüzey üzerindeki hata dağılımı, a) düzeltmeden önce b) düzeltmeden sonra.....	70
Şekil 23.1 Japon otomotiv firmaları tarafından kullanılan tersine mühendislik iş akışı.....	72
Şekil 23.2 Fiziksel parçanın taranması ile elde edilen otomobil emiş türbini ve orijinal CAD referans modeli.....	73
Şekil 23.3 Sac metal parçanın taranması ile elde edilen model ile CAD referans modelin kıyaslanması sonucundaki farkları gösteren renkli harita.....	75
Şekil 23.4 Sac metal bir parçanın ve bir emiş türbininin bilgisayar destekli denetleme sonuçlarını (CAI) gösteren HTML ve PDF formatındaki raporlar.....	75
Şekil 25.1 CMM veri alış-verişi şeması.....	77
Şekil 25.2 Katı model.....	78
Şekil 26.1 Otomobil kaportası koordinat sistemi.....	80

Şekil 26.2 Konumlama düzeni.....	81
Şekil 26.3 C firmasının ve E firmasının kullandığı konumlayıcı kenet sayısı.....	81
Şekil 26.4 Kaporta ölçüm sistemleri.....	82
Şekil 26.5 Laser probla kapı sacının ölçümü.....	82
Şekil 26.6 Kapı kaportasının ölçümü.....	83
Şekil 26.7 Otomobil kaportasının ölçümü.....	83

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 16.1 Test ve sayısallaştırma prosedürü.....	52
---	----

ÖNSÖZ

Tezimi hazırladığım süreç boyunca benden yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Viyana Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Numan DURAKBAŞA 'ya ve Yıldız Teknik Üniversitesi Araştırma Görevlisi Dr. Anıl Nomak AKDOĞAN 'a ve İngilizce tercümelerimde bana yardımcı olan değerli dostum Mak. Yüks. Müh. Berker YURTSEVEN 'e teşekkür ederim.

ÖZET

Otomotiv sektöründe gelişen sistemlerin ve değişen teknolojilerin sonucu olarak tasarımlarda da büyük değişimler söz konusu olmuştur. Özellikle otomobillerdeki serbest yüzey tasarımlarının yapılmasında bu yüzeyin bulunduğu kısmın işlevi söz konusudur. Otomotiv sektöründe serbest yüzeylerin tasarımı kadar bu yüzeylerin kalite değerlendirmesi de ayrı bir önem taşımaktadır. Bu yüzeylerin kalite değerlendirilmesinde CMM 'lerin (Coordinate Measuring Machines) büyük katkısı bulunmaktadır. Gerek tasarım sürecinde gerekse kalite değerlendirilmesinde otomotiv sektöründe CMM 'lerden oldukça fazla istifade edilmektedir.

Bu tezde öncelikle otomotiv sektöründe serbest yüzeylerin tasarımında ve kalite değerlendirilmesinde kullanılan ve çok önemli yer sahibi olan CMM 'lerin yapısından bahsedilmiş ve CMM tiplerinden bahsedilerek bu cihazlar tanıtılmıştır. Daha sonra koordinat ölçme tekniği başlığı altında makine ve parça koordinat sistemleri açıklanmış ve bu iki koordinat sisteminin birbirine göre nasıl konumlandıkları anlatılmıştır. Ayrıca yine bu bölümde koordinat ölçme tekniğindeki bazı terimlerin ve ifadelerin tanımları yapılmış ve gerekli açıklamalar şekillerle yapılmıştır. Daha sonra otomobillerdeki serbest yüzeyler ve bunların tasarım nedenleri belirtilmiş ve örneklenmiştir. Bu kısımlardan sonra serbest yüzeylerin çeşitleri, tasarımı ve serbest yüzeylerin oluşturulması açıklanmıştır. Bu kısımdan sonra ise, "tersine mühendislik" uygulaması açıklanmış ve serbest yüzeylerin tersine mühendisliği detaylı bir şekilde anlatılmış ve otomotiv sanayisindeki tersine mühendislik uygulamaları açıklanmıştır. Daha sonraki kısımda ise kalitenin tanımlanması yapılmış, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey parametreleri açıklanmıştır. Bunların ardından CMM ve CAQ (Computer Aided Quality) entegrasyonu anlatılmıştır. En son olarak ise kaporta ölçüm sistemleri anlatılarak tez sonuca bağlanmıştır.

Tüm parametrelerin ve terimlerin açıklanmasında ISO ve TSE standartları esas alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: otomotiv sektöründe serbest yüzey, serbest yüzey tasarımı, tersine mühendislik

ABSTRACT

As a result of developing systems and technologies in the automotive industry, great changes occurred at the level of design processes. Especially, at the free form surface design of automobiles, the function of the surface placement is crucial. In the automotive industry, the quality evaluation is as important as design processes. CMM's (Coordinate Measuring Machines) are playing a great role at the surface quality evaluation level. Both through the design process and quality evaluation, automotive industry takes great advantage of CMM's.

In this thesis, firstly CMM's which are widely used in design processes and quality evaluation in the automotive industry are introduced and CMM structures and types are explained. Under the subject "Coordinate Measuring Technique", machine and part coordinate systems and positioning of these systems are explained. Also under the same subject, the definitions of terms used in coordinate measuring techniques are discussed including related diagrams. Following, the free form surfaces on automobiles and their design reasons are explained and exemplified. Then, types, designs and forming of free form surfaces are explained. Afterwards, reverse engineering process, reverse engineering process of free form surfaces and reverse engineering applications in the automotive industry are explained with details. In the following part, quality is defined, surface roughness and parameters are explained. After that part, CMM and CAQ (Computer Aided Quality) integration are described. Finally, automobile body measuring systems are explained and thesis' conclusion is presented.

ISO and TSE standards are utilized in the descriptions of the parameters and terms.

Keywords: Free form surfaces at the automotive industry, free form surface design, reverse engineering.

1. GİRİŞ :

Günümüz üretim teknolojisindeki gelişmelerle, gerek tasarım gerekse üretim süreçlerinde farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ışığında yapılan çalışmalarla üretim süreçlerinde kısımla, ürün kalitesinde artma bariz bir şekilde sağlanmıştır.

Üretim ve tasarım sürecindeki yöntemlerin geliştirilmesini mümkün kılmak için yapılan çalışmalarda yüksek ölçüm hassasiyeti göz önünde bulundurularak yüzey tasarımlarında düşük hata oranlarına ulaşılmıştır.

Özellikle tasarım süreci açısından büyük zorluklar taşıyan serbest yüzeylerin tasarımında, yapılan son çalışmalar ve teknolojik ilerlemelerle büyük aşamalar kaydedilmiştir. CMM'in (Coordinate Measuring Machine) keşfinden sonra yapılan ölçümlerin hassasiyeti artmış ve tasarım ile ürün arasındaki hata payı belirlenerek bu hata payının en aza indirgenmesi sağlanabilmiştir. Bu hata payının belirlenmesi sırasında yapılan ölçme işlemi büyük bir dikkatle yapılmalı ve ölçüm için gerekli ortam sağlanmalıdır.

2. KOORDİNAT ÖLÇME CİHAZLARI (CMM) :

CMM'in en önemli özelliklerinden biri geometrik ilişkileri hesaplayabilmesidir. CMM, hassas ölçüm yapabilme, programlanabilme, ve diğer üstün özellikleri ile manuel kontrol metotlarının yerini almıştır. Bu özellikleriyle koordinat ölçme cihazları hassas ölçümde ve ölçüm biliminde değerli bir rol oynamaktadır. CMM, koordinat belirleme işlemini bilgisayar yardımıyla yapıp karmaşık parçaları daha hassas ve daha hızlı ölçebilmektedir. Bir koordinat ölçme cihazı sistemi birçok prob seçeneği ve dokunma küresi desteği ile makine ve yazılım paketi bazında oluşmuştur.

Koordinat ölçme cihazları makine tipi ve operasyon tarzına göre sınıflandırılmaktadır. Yatay ve dikey CMM tezgahı olmak üzere iki tane ana makine tipi şekli vardır.

En güçlü metrolojik cihazlardan birisi olarak koordinat ölçme cihazları büyük ve küçük bir çok üretim hattında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. CMM ile boyutları ölçülemeyecek hemen hemen hiçbir iş parçası yoktur. Esneklikteki gelişim ve doğruluk zamanla artmakta ve ölçümlerin maliyeti endüstriyel metroloji için halen kabul edilebilir bir değerde kalmaktadır.

Bir koordinat ölçme cihazı şu kısımlardan oluşur :

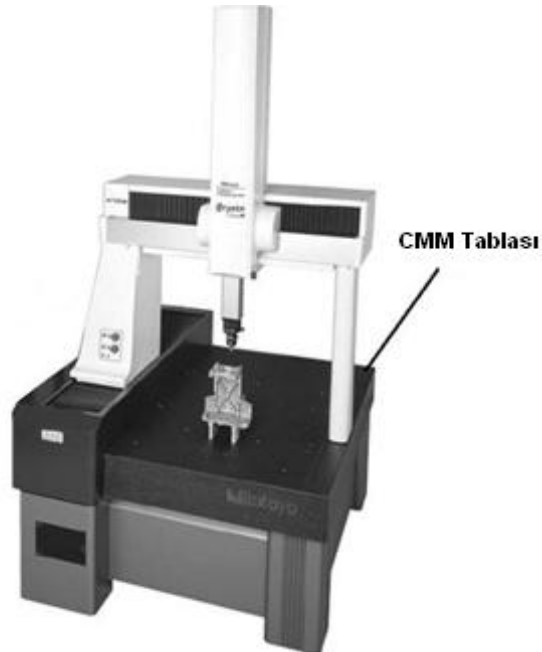
- Mekanik sistem
- Hareket sistemi
- Kontrol sistemi
- Ölçme sistemi
- Dokunma sistemi
- Bilgisayar sistemi

3. CMM (Coordinate Measuring Machines) YAPISI :

3.1 Tabla

Tabla mekanik yapının hareketli parçalarına, iş parçalarına ve fikstür ekipmanlarına destek sağlamaktadır. Boyutları makinenin modeline göre değişmektedir. Tabla kaynak yapılmış çelik yapıdan meydana gelmektedir. Son derece rijit ve hacmi boyunca üniform bir sıcaklık genişmesi sabitine sahiptir. Çalışma yüzeyi çelik bir tabandan yapılmıştır ve yüzeyinde iş parçası kenetlerinin tutturulması için M8 boyutunda vida delikleri açılmıştır. Tabla, esnek manuel takım sistemi bütünleşmesi için tasarlanmıştır.

Tablanın diğer tarafında; dikey çelik tabla sürücüyü, pnömatik kontrol ünitesini, pnömatik ve elektriksel elemanları ve ana taşıyıcının kızaklarını ihtiva etmektedir. Sol tarafta ana taşıyıcının kızaklarını taşıyan yatay bir tabla vardır.



Şekil 3.1 CMM tablası [7]

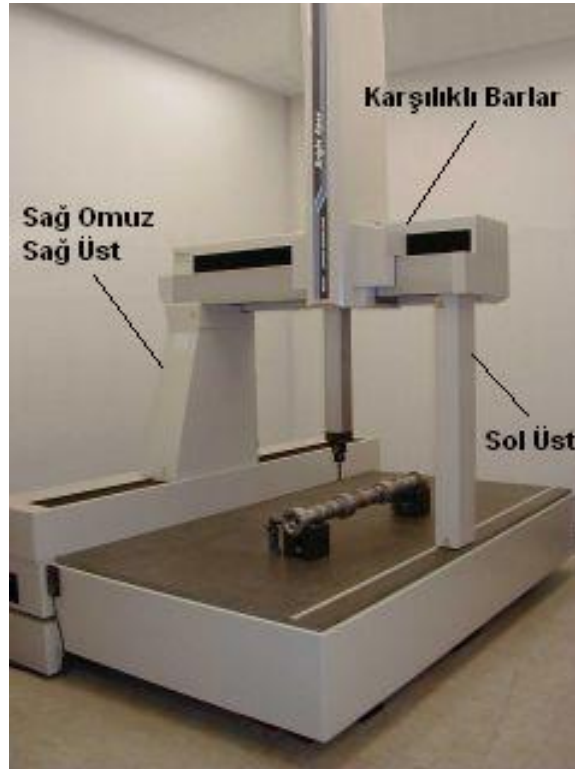
3.2 Anti Titreşim Destekleri

Anti titreşim destekleri tablayı taban üzerinde izostatik olarak tutmaya yarayan, yerden gelen titreşimlerden yapının hareketli parçalarını korumaya ve ölçme cihazının metrolojik performansında bozulmaya yol açan faktörleri önlemeye çalışan CMM yapısının bir elemanıdır. Pasif anti titreşim destekleri tablaya bütünleşmiş metal plaka ile taşlanmış metal plaka desteği arasındaki bir tabaka kauçuktan meydana gelmektedir. Daha çok aktif anti titreşim destekleri tavsiye edilmektedir. Bu anti titreşim destekleri pnömatik sistemler ile çalışırlar.

3.3 Hareketli Parça

CMM yapısının alüminyum alaşımdan yapılmış hareketli parçası; ana taşıyıcı, merkezi taşıyıcı, ve Z kolonundan meydana gelmektedir. İki taşıyıcının dik ve bağımsız hareketleri ve Z kolonu, ortagonal kartezyen referans sistemini meydana getirmektedir.

Hareketli parça, köprü mimarisi sonucu olarak, yüksek mekanik rijitlik ve alüminyumun hafifliğinden dolayı düşük atalet özelliğine sahiptir. Yüksek ısı iletiminden dolayı kullanılan alüminyum, sıcaklık değişimlerinde yapısal stres ve deformasyona sebep olmadan, hızlı ve üniform tepkiler göstermekte, bu sebepten dolayı sıcaklık genleşmesi yazılım tarafından verimli ve hassas bir şekilde telafi edilebilmektedir.



Şekil 3.2 CMM hareketli parça [14]

3.4 Ana Taşıyıcı

CMM'in ana taşıyıcısı birbirine civatalanmış sağ omuz ve sağ üst, karşılıklı barlar ve sol üst olmak üzere 4 parçadan meydana gelmektedir. Sağ omuz ve üst sağ alüminyum alaşımli dökümden ve karşılıklı barlar (crossbar) ile sol sağ üst ekstrüzyon parçalarından yapılmıştır. Her iki durumda da, makine tasarımcıları, maksimum hafifliği ve rijitliği optimize etmeyi hedeflemişlerdir.

3.5 Merkez Taşıyıcı

Merkez taşıyıcı, ana taşıyıcıyla uyumlu olarak enine hareket etmekte, Z kolonuna ve onun sürücü ve kayan elemanlarına destek olmaktadır. Hafif alüminyum alaşımli dökümdür ve boyutları tüm CMM modelleri için aynıdır.



Şekil 3.3 CMM merkezi taşıyıcı [7]

3.6 Z Kolonu

Z kolonu merkezi taşıyıcıya uyumlu olarak dik hareket etmektedir. Kare kesitli alüminyum ekstrüzyonu ile imal edilmiştir. Yüksekliği cihazın Z ekseninin yükseklik değerine göre değişmektedir.



Şekil 3.4 Z kolonu [7]

4. CMM TIPLERİ :

CMM'ler *dikey* ve *yatay* olmak üzere temel olarak 2 tip fiziki yapıya sahiptir. Bu iki yapı ve diğer CMM tipleri aşağıdaki anlatılmıştır.

4.1 Dikey (Gantry)Tip CMM

Dikey tip CMM'in köprü tarafından taşınan dikey bir probu vardır. Köprü, ölçme alanını kuşatmaktadır.



Şekil 4.1 Dikey tip CMM [7]

Köprü tipi CMM özellikle rijit cihazdır. Bu onu en popüler CMM ekipmanı tarzı yapar. Köprü tipi CMM granit yüzey tablasına hava yataklı kanallar ve köprü tipi konstrüksiyona sahiptir.

Dikey tip bir CMM, Gantry koordinat ölçme cihazıdır. Dikey (Gantry) tip CMM, iş parçasına herhangi bir destek vermemektedir. Cihaz iş parçası üzerinde durur. İş parçası bağımsız bir kurulum üzerinde oturmaktadır. Bu tipteki cihaz çok geniş iş parçaları için çok uygundur. Bu cihazın diğerlerinin üzerindeki avantajı operatörün prob ile yürüyebilmesidir. Bu cihazlar manuel olarak veya nümerik kontrolle otomatik olarak kullanılabilirler.



Şekil 4.2 Dikey (Gantry) tip CMM [14]

4.2 Yatay Tip CMM

Yatay tip CMM dikey düzlem yerine yatay düzlemde kurulmuş hareket eden bir kola ve proba sahiptir.

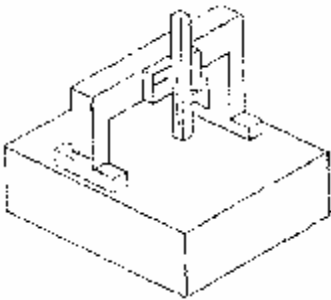


Şekil 4.3 Yatay tip CMM [14]

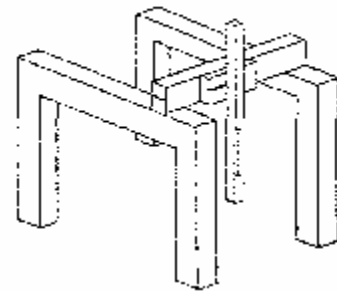
Yatay CMM'in avantajı kapalı olmayan geniş bir çalışma alanı sunabilmesidir. Genellikle büyük hacimli iş parçalarının ölçülerinde tercih edilmektedirler. Örneğin; döküm ve sac kalıpları gibi parçaların ölçülerinde yatay tip CMM kullanılmaktadır. Bu tip CMM'lerin konstrüksiyon geometrilerinden dolayı tezgaha iş parçası yüklemesinde dikey tip CMM'lere karşı daha avantajlıdır. Ayrıca yine dikey tip CMM'lere nazaran ölçüm hassasiyeti daha fazladır.

4.3 Diğer CMM Tipleri

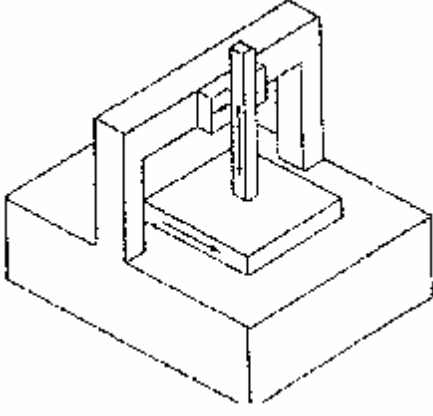
Bu tiplerin her birinin kendine has avantajları ve dezavantajları vardır. Kullanım amacına göre uygun olan CMM'ler seçilmelidir.



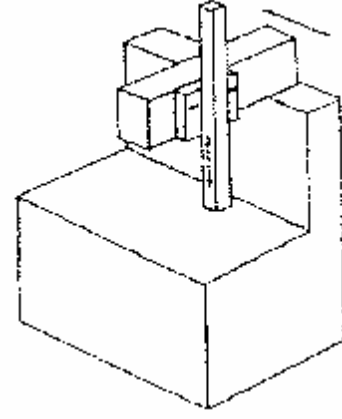
Şekil 4.4 Hareketli köprülü CMM [14]



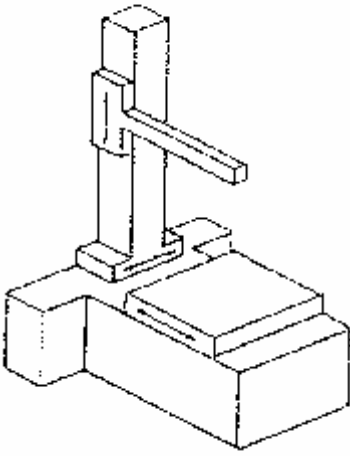
Şekil 4.5 Ayaklı köprülü CMM [14]



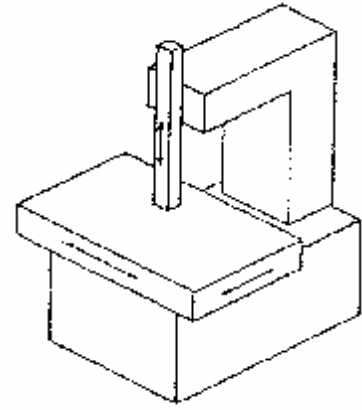
Şekil 4.6 Sabit köprülü CMM [14]



Şekil 4.7 Sabit tablalı CMM [14]



Şekil 4.8 Hareketli tablalı yatay kollu CMM [14]



Şekil 4.9 Kolon CMM [14]

5. ÖLÇME KOLLARI :

Ölçme kolları mühendislik ve herhangi bir imalatın boyutsal kalite kontrolü için tasarlanmış yüksek hassasiyette seyyar olarak istenilen yere kurulabilen ve ölçüm yapılabilen ölçme araçlarıdır. Ölçme kolu, ölçülecek parçaya veya montaja, kullanıcının yaklaşımıyla sınırlanmadan, prob ucunun kesin pozisyonunu tamlıkla ölçmek için hassas enkoderlerle bütünleşmiştir.

Ölçme kolu, çevre şartlarına bakmaksızın ihtiyaç olan yere kolayca kurulmaktadır. İçindeki sıcaklık telafisi düzelticisi sayesinde geleneksel ölçme aletlerindeki performansı etkileyen faktörler bertaraf edilmektedir.

Ölçme kolları tersine mühendislikte, prototipleme uygulamalarında, parça tetkikinde, istatistiksel analizde ve proses kontrolünde kullanılmaktadırlar.

Bazen büyük ölçekli kalıphanelerde her bir kalıp yarısı 22500 kg kadar gelebilmektedir ve bu da geleneksel CMM'ler için çok ağırdır. CMM'ler genellikle 7500 kg'a kadar yük taşıyabilmektedirler. Böyle bir durum hasil olduğunda, yani CMM'in taşıma kapasitesinin üzerindeki bir ağırlığa sahip olan bir kalıp ölçülmek istendiğinde ölçme kolları kullanılmaktadırlar. Ölçme kolları kalıbın bulunduğu yerde konumlandırılarak ölçme yaptığı için ve ağır yüklerin üzerine konulmasını gerektiren bir tabla içermediği için imalatçılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Geniş kalıpların iç kısmını ölçmek için gereken ulaşılabilirlik ve esnekliğin sağlanması için, 2 eksen tabanında, 2 eksen dirsekte, 2 eksen bilekte ve 2 tane de diğer eksenler için toplam 8 adet ölçme kolu kullanılmaktadır.

Kol hassas yataklar kullanmakta ve hava taşıtlarında kullanılan özellikte alüminyum kullanılmaktadır. Bu çalışma sıcaklığında üniform genişleme göstermektedir. Bu kol sıcaklığı otomatik olarak telafi etmekte ve ± 0.076 mm tamlık göstermektedir.

5.1 Ölçme Kolunun Faydaları

- Taşınabilirliği sayesinde her yerde ölçüm yapılabilmesi,
- Kolay kullanım şekli,
- Esnek kullanım imkanı,
- Basit kullanıcı klavuzu,
- Düşük ağırlığı,
- Geniş çeşitlilikte kurma avantajı: Masa üstüne, sürgülü raylar, çabuk ayırma, magnetik tabanda, üçlü ayak,
- Yüksek ağırlıklara sahip parçaların ölçüm kolaylığı sağlaması.



Şekil 5.1 Ölçme kolu

6. CMM OPERASYON TARZLARI :

Koordinat ölçme cihazları için

- El ile,
- Bilgisayar desteği ile motorize,
- Direkt bilgisayar kontrollü,

olmak üzere temel üç tip operasyon vardır.

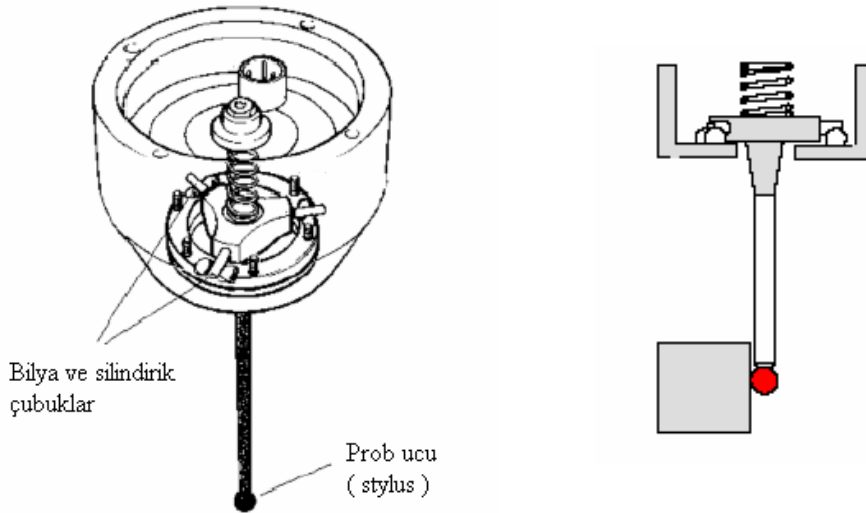
El ile ölçüm yapılan CMM atölyede bulunan en popüler tiptir. Manuel CMM olarak da adlandırılan bu CMM tipleri, hava yastığı üzerinde üç eksen boyunca hareket eden serbest seyyar proba sahiptir.

Bilgisayar destekli motorize tip CMM'lerde motor yardımlı hareket için bilgisayar ve sürüş mekanizmaları kullanılmaktadırlar.

Direkt bilgisayar kontrollü CMM'ler tamamen otomatiktir ve müdahale olmadan, parçalar bilgisayar programı yardımıyla otomatik olarak ölçülebilmektedirler.

6.1 Dokunmayla Ölçme

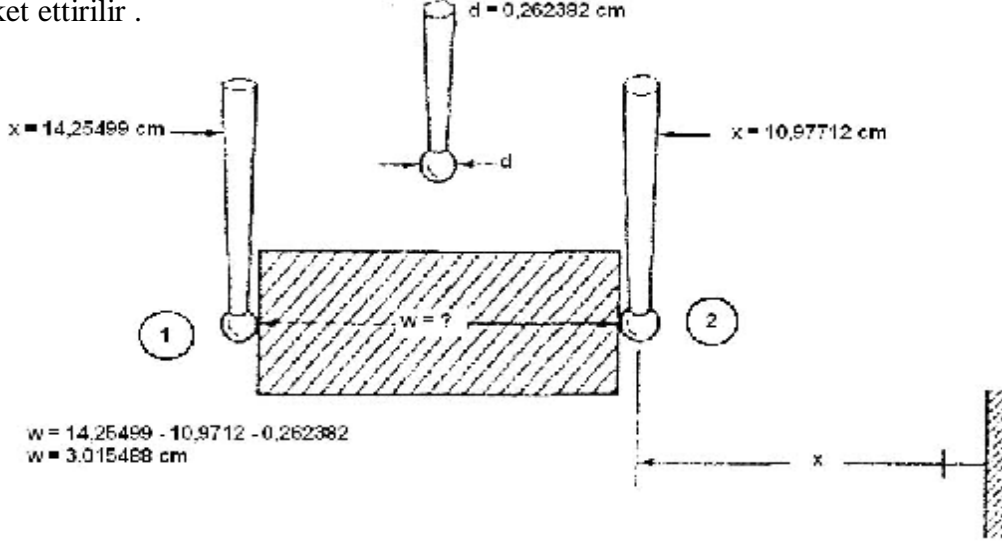
İş parçasına dokunma ucunun (prob) temas ettirilmesiyle yapılan ölçme işlemidir. Proplarla ilgili bilgi problemler kısmında detaylı verilecektir.



Şekil 6.1 Temas tetik probu [14]

CMM' lerde çeşitli problemler kullanılabiliyor olsa da 1970'lerde icat edilen temas tetik probu üzerinde durmakta fayda bulunmaktadır

Probun ucu parçaya dokunduğunda probun pozisyonu tezgah eksenindeki kızak konum transduserlerinden okunur. Şekil 6.1'deki W değerini belirleyebilmek için, kızak 1 konumundan, x , y , z okumalarının donacağı temas anına kadar negatif x yönünde tahrik edilir. Daha sonra kızak 2 pozisyonuna getirilerek temas sinyali alınana kadar pozitif x yönünde hareket ettirilir .



Şekil 6.2 Dokunma probu basit boyut ölçümü (Usluoğlu, 2003)

Probun ucunun çapını bildiğimize göre iki x koordinat değeri arasındaki farktan W 'yu hesaplayabiliriz. CMM' de prob, çalışma sahası içerisinde manuel olarak istenen noktaya getirilebilir. Hava yatağı ve z eksenindeki karşı ağırlıklar, prob gövdesinin bir elle kolayca çekilebilmesini ve üç kızığın da istenen noktaya getirilebilmesi sağlamaktadır. Bu manuel hareket, önceden belirlenmiş hızlarda çalışan elektrik motorlarını kumanda eden joysticklerle sağlanır. Bunun dışında, diğer istenen hareketler bilgisayara bağlı elektrik motor servo tahrikleri vasıtasıyla yazılan programın kontrolü altında otomatik olarak yaptırılabilir. Bu bilgisayar sistemi, nümerik kontrol özelliği ile geometrik hesaplamaları otomatik olarak yaparak, bünyesinde bulundurduğu bir yazılım programıyla güçlendirildiğinde güçlü bir ölçüm cihazı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca CMM'ler imalat halindeki bir parçayı üretim esnasında nümerik kontrollü bir tezgahın kontrol edebilmektedir.

6.2 Temasız (Dokunmasız) Ölçme

Temas etmeden ölçüm yapan cihazlar temel olarak 2 çeşittir :

- Lazerli sistemler
- Kameralı (Topometrik Görüş) sistemler

Lazerli sistemlerde, ölçüm bir lazer hüzmesi ile gerçekleştirilir. Ölçülecek olan parça üzerine lazer ışını gönderilir, gönderilen bu lazer ışınının yüzeye varması ve geri dönmesi için geçen süre lazer ışınının hızıyla çarpılarak ölçüm mesafesi hesaplanır. Koordinatlar yine kolun üzerindeki bir adım koordinat belirleyici sayesinde alınır. Lazer doğrusal hareket ettiği için düz yüzey olarak da tabir edilen yumuşak yüzeyler (Arabaların kaportaları vb.) için oldukça idealdir. Buna karşın, karmaşık parçalar için, uygun bir sistem değildir. Bunun nedeni lazer ışınının geri dönmesinin her zaman sağlanamayışıdır, özellikle içsel unsurları bulunan parçalarda bu nedenden dolayı lazerle ölçüm yapılamamaktadır. Bu sistemde veri toplama işlemi, ilerleyen bir lazer ışınının, kusursuz üçgen tekniği olarak adlandırılan bir yöntem ile geri dönmesi sayesinde sağlanmaktadır.

Kameralı (Topometrik) ölçüm sistemlerinde, üç adet ayağın üzerinde konumlandırılmış olan ölçüm kafası, iş parçasına yaklaşık 70-100 cm kadar bir mesafeye konumlandırılır. Ölçüm sırasında parçanın yüzeyine kenarların izdüşümlerinin yansımaları sağlanarak ve bu izdüşümler, ölçüm kafası içerisinde bulunan bir kamera tarafından kaydedilir. Dijital görüntü işlemcisinin yardımıyla üç boyutlu koordinatlar hesaplanır. Nesnenin tamamının taranması işlemi, ayrı ölçümlerin bir araya getirilmesi ile oluşur ve bazen birden fazla görüş açısı veya bir başka deyişle kamera kullanılması gerekebilir. Günümüzde, computer-vision yazılım ve donanım teknolojisinin gelişimi free form yüzeye ve zor unsurlara sahip nesnelerin modellerinin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.

İş parçasına temas etmeden çalışan algılayıcılarla ölçüm işlemi uzaktan çok kısa bir sürede yapılabilmektedir. Ancak mekanik problemler gibi iş parçasına temas eden algılayıcılar kullanıldığında ölçüm işlemi durdurulup pozisyonlama yapılması gerektiğinden, çok büyük bir zaman kaybı oluşmaktadır. Ayrıca fiyat bakımından da incelendiğinde, iş parçasına temas etmeyen algılayıcıların diğerlerine göre oldukça ucuz olduğu görülecektir.

Buna karşın iş parçasına temas etmeyen algılayıcıların bazı dezavantajları da vardır ;

- Aydınlik olan bölgelerde yansımaya olduğundan ölçüm hassasiyeti düşüktür,
- Karanlık bölgelerde ışık absorbe edilebildiğinden ölçüm doğru yapılamayabilir,
- Komplike (içsel unsurları bulunan,...v.b) parçalar tam olarak taranamayabilir.

7. PROB TIPLERİ :

Bütün CMM'ler parça unsurlarını ölçmek için birtakım problemlerle donatılmışlardır. Sert, yumuşak ve dokunmasız prob olmak üzere üç tip genel prob vardır.

7.1 Sert Problemler

Sert problemler özellikle derin deliklerin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Sert problemler atölyede en çok bulunan iki problem tipinden birisidir. Diğerisi ise yumuşak problemlerdir.



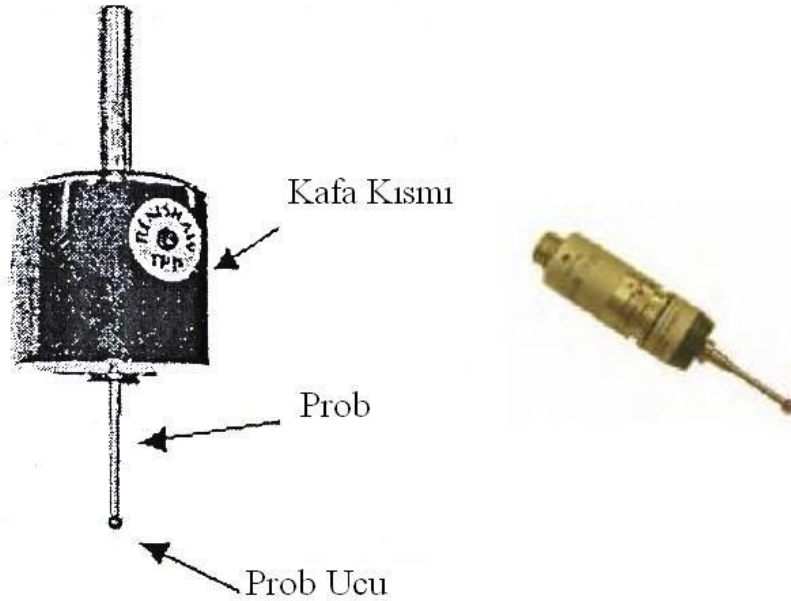
Şekil 7.1 Sert prob [14]

Sert prob kullanıldığı zaman iş parçasına temas manuel olarak yapılmalıdır. Bu sert problemin yumuşak veya elektronik problemlerle karşılaştırıldığında, bir dezavantajı olarak görülmektedir. Bu yüzden ölçüm işlemlerinde pek sık kullanılmazlar.

Sert problemlerin diğer bir dezavantajı ise dokunmanın doğasından olan sapmalardır.

7.2 Yumuşak Problemler

Yumuşak problemler anahtar tip tasarımı kullanır. Bu nedenle elektronik prob olarak da bilinirler. Parçaya temas olduğunda, temas tetik sistemi ile çalışan prob bilgisayara okumayı durdurması için mesaj gönderir.



Şekil 7.2 Yumuşak prob [14]

Yumuşak prob üç parçadan meydana gelmektedir;

1. Kafa
2. Prob
3. Dokunma küresi

7.3 Dokunmasız Problar

Dokunmasız prob tipi bugünün lazer teknolojisinde kullanılmaktadır. Dokunmasız problemler asıl olarak yumuşak yüzeylerde ve narin parçaların ölçümünde kullanılmaktadırlar.



Şekil 7.3 Lazer tip problemler [7]

Lazer tip dokunmasız probun büyük ölçüm hızı ve tamlığı, ölçmenin yapılmasının zorunlu olduğu yeniden mühendislikte büyük önem taşımaktadır.

8. KOORDİNAT ÖLÇME TEKNİĞİ :

NC daha sonra CNC tezgahlarının 1950'li yıllarda başlayan süratli gelişmelerinden günümüze kadar, otomatik üretimde önemli ölçüde ilerlemeler katedilmiştir. Bu gelişmelerle herşeyden önce, karmaşık iş parçalarının yüksek bir doğruluk derecesi ile ekonomik olarak üretilmeleri imkanı sağlanmıştır. (Durakbaşı, 2005)

Bilgisayar destekli koordinat ölçme tekniğinin gelişmesi ise, 1970'li yılların ilk zamanlarında başlamıştır. Günümüzde de bilgisayar destekli koordinat ölçme cihazları modern üretim teknolojisinin en önemli parçalarından birini oluşturmaktadır. Yakın zamana kadar yalnızca

ölçme laboratuvarlarında sınırlı olarak kullanılan koordinat ölçme cihazları, modern üretimin gereksinimleri doğrultusunda doğrudan üretime entegre edilmek suretiyle, modern üretim sistemlerinin denetim devrelerinde tamamlayıcı bir rol oynamaktadır. Bilgisayar sistemlerinin süratle gelişmeleri ile bir yandan ölçme cihazlarının otomasyonunda, diğer yandan da modern üretime entegrasyonunda büyük ölçüde ilerlemeler kaydedilmektedir. Koordinat ölçme cihazlarının, yüksek ölçme hassasiyeti, güvenilirliği ve çok yönlü kullanılma özelliklerinin yanı sıra, dokunma elemanlarının ve iş parçalarının otomatik olarak değiştirilmeleri ve üretimle bütünleşik hale getirilmeleriyle, denetleme bilgileri ile üretim arasındaki reaksiyon zamanları büyük ölçüde azaltılarak ekonomik olarak çalışmalarını sağlanmaktadır. Bu amaca uygun olarak üretilen koordinat ölçme cihazlarının, modern üretim sistemleri ile bütünleşik, gereken hassasiyette ve verimlilikte kullanımları için detaylı entegrasyon gerekmektedir.(Durakbaşı, 2005)

Parçaların şekil hataları , yüzeylerinin makro ya da mikrogeometri analizlerinin yapılmasına göre standartlarda ve bilimsel literatürde, farklı derecelerde şekil sapmaları olarak aralarında ayrılmaktadırlar. Hemen hemen bütün pratik uygulamalarda kısa dalga boylu geometrik sapmaların 3 ve daha yüksek dereceli olanları bir arada yüzey pürüzlülüğü olarak kabul edilir ve uluslararası standartlarda tespit edilen parametreler bazında değerlendirilirler. Yüzey pürüzlülüğü dışında parçaların şekil ve konum sapmalarının ölçümlerinde de yaygın olarak çok koordinatlı ölçme tekniği kullanımı hatalar arasındaki bağıntılarla ilgili bilgilerin derinleşmesini sağlamıştır. (Durakbaşı, 2005)

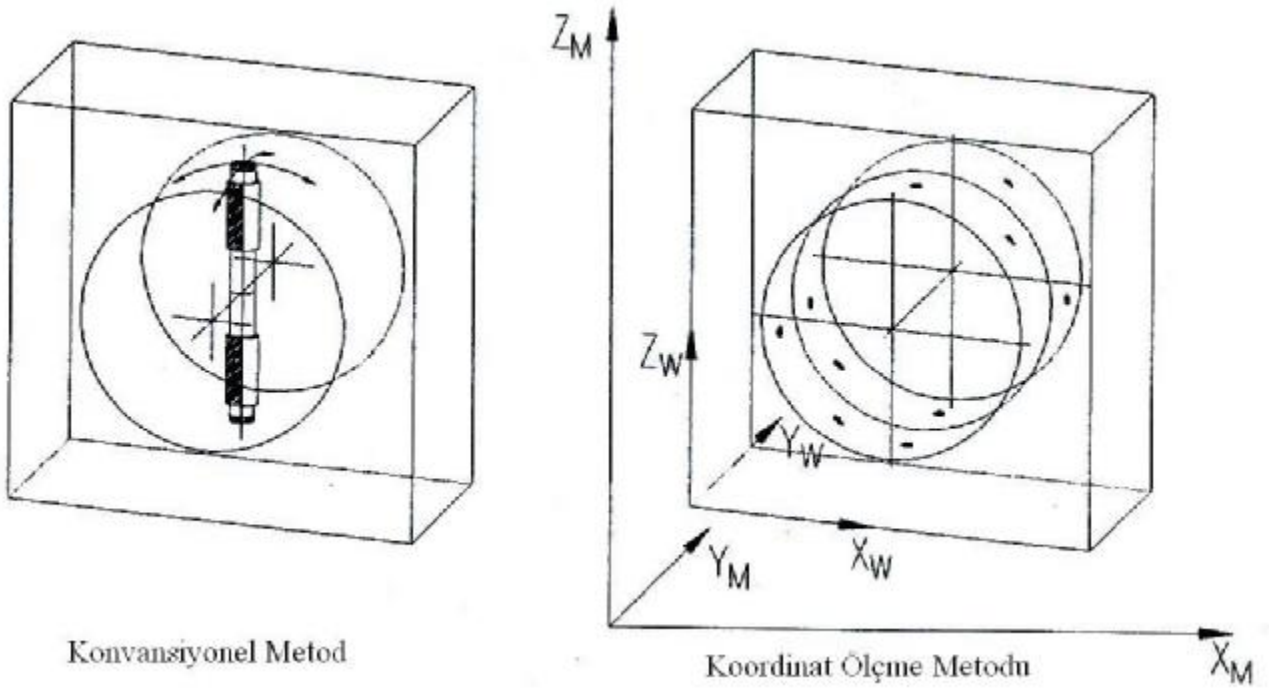
Ölçme cihazlarının seçiminde olabilecek sapmaların nedenlerinin bilinmesinin şartının yanısıra, cihazların boyut ve şekil ölçümlerinin yapabilecek özelliklerde olmalarına dikkat edilmelidir. Bu sahada çok koordinatlı ölçme tezgahları, boyut, şekil ve konum sapmalarını çok hassas olarak aynı sistemde ölçebilen cihazlardır. Cihaz hassasiyeti, ölçme güvensizliği ve ölçülecek parçaların adedi, ölçme cihazlarının seçiminde önemli rol oynarlar. Özellikle üretim parçalarının talep edilen hassasiyetleri IT5 (örneğin 500 mm uzunluğunda bir iş parçası yüzeyinde R_a değerinin $1\mu\text{m}$ 'nin altında talep edildiği anlamına gelir) tolerans derecesinden daha hassas olmalarını gerektiriyorsa ve büyük seri ölçümleri yapılması halinde çok koordinatlı tezgahların kullanılmaları kaçınılmazdır. (Durakbaşı, 2005)

Konvansiyonel ölçme tekniği ile çok koordinatlı ölçme tekniği arasındaki fark şekil 8.1'deki delik örneğinde belirgin bir şekilde gösterilmektedir. Deliğin çapı konvansiyonel metotlar kullanıldığında iki ölçme noktası arasındaki uzaklık olarak tespit edilmektedir. Ölçme noktaları arasındaki mesafenin çap olarak elde edilmesi için, minimum değerlerinin

bulunması gerekmektedir. Deliğin çapı bu durumda elde edilen her iki çap değerinin birbirlerine eşit değerlerde olma şartıyla belirlenmektedir. (Durakbaşı, 2005)

Çok koordinatlı ölçme cihazının temel çalışma prensibi Durakbaşı (2005) tarafından şu şekilde tanımlanır:

- Üretim parçalarının geometrik elemanları, çok koordinatlı ölçme cihazında bir çok değişik noktada dokunmak suretiyle ölçülmektedir.
- Çok koordinatlı ölçme tezgahının bilgisayarı yardımıyla ölçme noktalarının koordinatları, üretim parçalarının geometrilerinin matematiksel hesaplamalarında kullanılmaktadır. (Durakbaşı, 2005)



Şekil 8.1 Konvansiyonel yöntem ile ve CMM ile bir deliğin ölçülmesi (Durakbaşı, 2005)

Çok koordinatlı ölçme tekniğinde deliğin çapı yüzeyinde bir çok noktada cihazın dokunma ucuyla dokunmak suretiyle (geometrik eleman silindir olarak hesaplanacağı için en az beş ölçme noktası olmalıdır) tespit edilir (şekil 8.1). Ölçme noktalarının asgari sayıdan fazla olduğu durumlarda ölçme neticelerinin değerlendirilmeleri için regresyon metodu uygulanmaktadır. (Gauss, Tschebyshev vb.). 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. (Durakbaşı, 2005)

Koordinat ölçme tekniğinde üretim parçalarının ölçülmesi ve ölçme değerlerinin hesaplanması ile ilgili olarak geometrik elemanlar nominal reel ve yedek geometri olarak

ayrılırlar. Üretim parçalarının mikromeometrileriyle karşılaştırıldığında benzer şekilde bir ayırım olduğu görülmektedir. (Durakbaşa, 2005)

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. (Durakbaşa, 2005)

8.1 CMM Sistemi Kullanarak Obje Geometrisi Belirlenmesi

CMM tekniği ile yapılan ölçmede, obje yüzeyinde bulunan belirli uzaysal koordinatlar belirlenmektedir. Bu işlemin amacı, prob ile yüzey haritasının çıkarılmasını sağlamaktır.

Bilinen geometrinin sonunda tekrarlanan noktalardan elde edilen koordinat değerleri bilgisayara kaydedilir, işlenen ölçme sonuçları formatlanır ve ölçülen yüzeylerin koordinatlarını içeren dosyaya kaydedilir. İşleme ve nakil için gerekli veriler, noktadan noktaya ve sürekli ölçüm işlemleri (objenin dış yüzeyi boyunca ard arda gelen noktaların taranması) sonucunda elde edilmektedir. Yüzey noktaları genellikle yüksek tamlıklı bir prob tarafından ölçülmektedir. Ölçülen bu noktalara geometrik özelliklerin atanması esnasında probun yüksek tamlığı muhafaza edilmelidir. Bundan dolayı CMM 'in içerdiği bilgisayar programı, ölçme sonuçlarını işlemesi bakımından bütün proseste çok önemli rol oynamaktadır. Elde edilen sonuçlar, çoğunlukla kullanılan probun ucuna bağlı olarak ortaya çıkan hatalardan etkilenmektedir. Düzensiz yüzeylerin ölçümü sırasında 10 – 100 μm 'a kadar hatalara ulaşılabilir.

Birçok diğer ölçme sisteminde olduğu gibi, temel CMM fonksiyonlarına da ilave edilen güçlü hesaplama özelliği ile bu makinenin kullanım hızı, doğruluk hassasiyeti, uygulanabilirliği ve kullanım kolaylığı gibi değerleri çok yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Örneğin, ağırlıklı dikdörtgen şekle sahip parçaların, ölçümler alınmadan önce CMM' in sabitlenmiş x, y, z koordinat sisteminde çok dikkatli konumlandırılmasına gerek yoktur. Ölçülecek parça herhangi bir konuma yerleştirilir ve x_p , y_p , z_p olarak bir parça koordinat sistemi tanımlamak için bir parçanın birbirine dik üç yüzeyi seçilebilir.

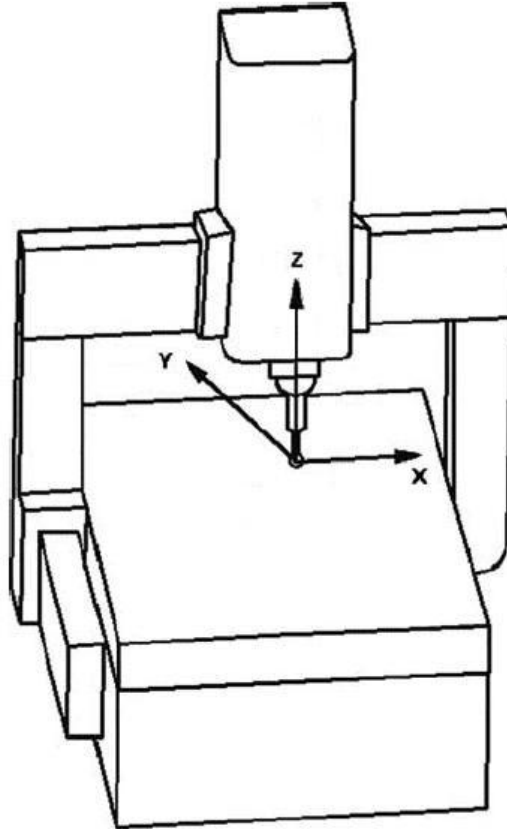
Prob, birbirinden uzak üç ayrı yüzeydeki noktalara dokundurularak parça eksenlerini tanımlayan üç düzlemin denklemi sayısal olarak hesaplanır ve daha sonra bu düzlemlerin (x_p , y_p , z_p) kesişim noktası bulunabilir. Parça koordinat sistemi tezgahın eksen sistemine yerleştirildikten sonra, diğer bütün parça ölçümleri otomatik olarak makine koordinatlarından daha uygun olan parça koordinatlarına çevrilebilir. Güçlü bir işlemciye sahip olan CMM 'lerde, zor olan parça yerinin belirlenmesi işlemi yerini, eksenlerin matematiksel olarak uygun biçime döndürülmesine bıraktırmıştır. Yine benzer geometrik algoritmalar sayesinde herhangi

bir deliğin çevresine üç ya da daha fazla noktaya prob temas ettirilerek deliğin yarıçapı ve merkezi kolayca belirlenebilir. İşlenmiş parçalarda görülen temel şekillerin belirlenmesi için analitik geometri esaslarına göre probun en az üç noktaya dokunması gerekmektedir. İşlenmiş yüzeyler gerçekte hiçbir zaman mükemmel geometride olmadıklarından dolayı, teorik olarak gerekli olandan daha fazla sayıdaki noktalardan en küçük kareler algoritması gibi bir algoritma kullanılarak yüzey geometrisi belirlenir. Doğrular ve düzlemler için de benzer algoritmalar kullanılabilir olsa da, basit görünen bir dairede, sıradan, en küçük karelerle eğriyi bulma tekniği sonuç vermeyecektir. Bu teknik ile herhangi bir bilgisayar kütüphanesinde bir daireyi incelediğinizde görülecektir ki:

1. Daire iki bilinmeyenli bir fonksiyondur.
2. Çözülmesi gereken denklemler her zamanki doğrusal cebrik denklemlerden farklıdır.
3. Fiziksel olarak mümkün olan belirli dokunma noktaları için, imkansız sonuçlar ya da hesaplamalar ortaya çıkar bu gibi durumlar için geleneksel teknikleri kullanmak yerine özel algoritmalar geliştirilmelidir.

8.1.1 Makine Koordinat Sistemi

Ölçme dünyasındaki iki çeşit koordinat sisteminden biri *makine koordinat sistemi* olarak adlandırılmaktadır. Şekildeki X,Y,Z eksenleri cihazın hareketlerini belirtmektedir.

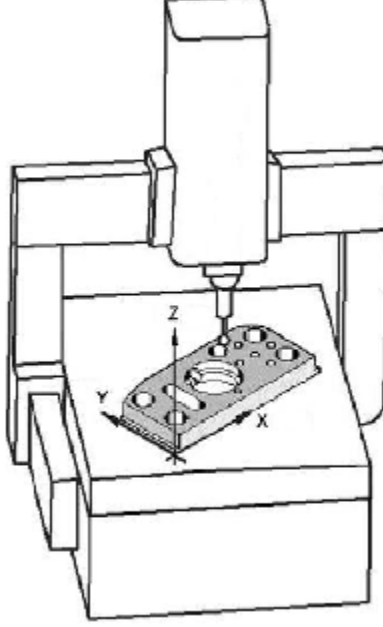


Şekil 8.2 CMM ve eksenleri [14]

Cihaza ön cepheden bakıldığında X eksenini soldan sağa yönlenmekte, Y eksenini önden arkaya ve Z eksenini de yukarı ve aşağıya doğru yönlenmektedirler.

8.1.2 Parça Koordinat Sistemi

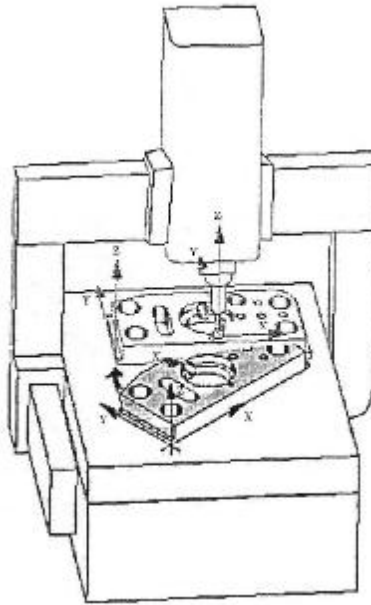
İkinci koordinat sistemi ise *parça koordinat sistemi* olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 8.3 Parça koordinat sistemi [14]

Koordinat ölçümü için, bilgisayar programını tanıtmadan önce parçalar fiziksel olarak makine eksenlerine paralel olarak düzenlenmekteydi ve böylelikle *makine ve parça koordinat sistemleri* birbirlerine paralel olmaktadır. Bu zaman israftıydı. Bunun için CMM 'in sahip olduğu yazılım ile iki koordinat sistemi ilişkilendirilmektedir

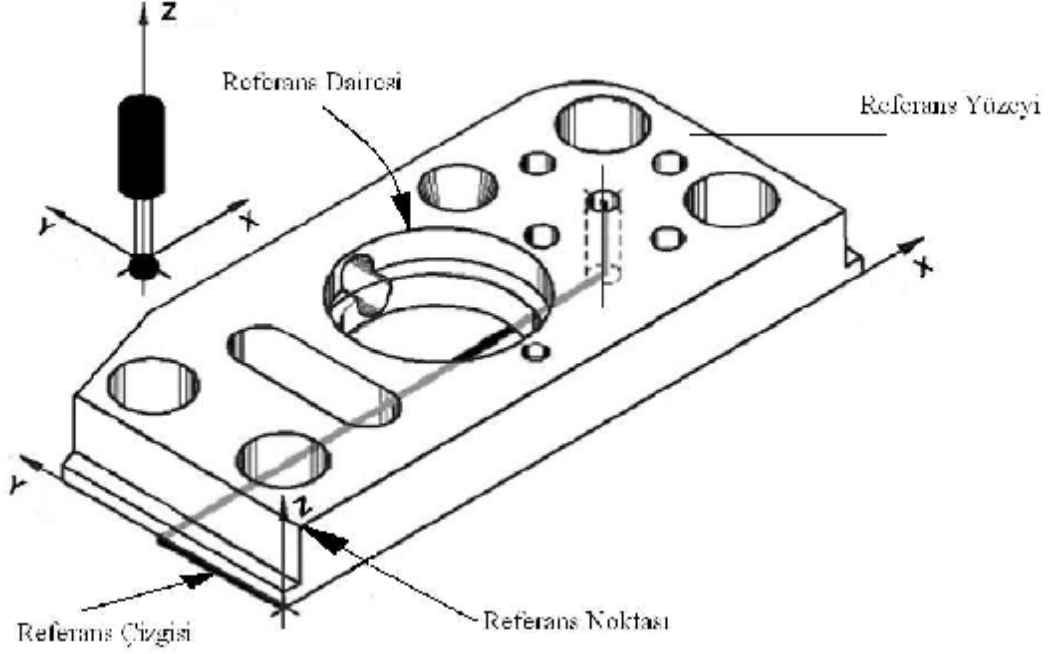
8.1.3 Hizalama



Şekil 8.4 Hizalama (Görür, 2003)

CMM programları, CMM iş parçasının referansını ölçmekte, parça koordinat sistemini tesis etmekte ve bunu matematiksel olarak makine koordinat sistemi ile ilişkilendirebilmektedir. İki koordinat sistemini ilişkilendirme prosesine “*hizalama*” denmektedir.

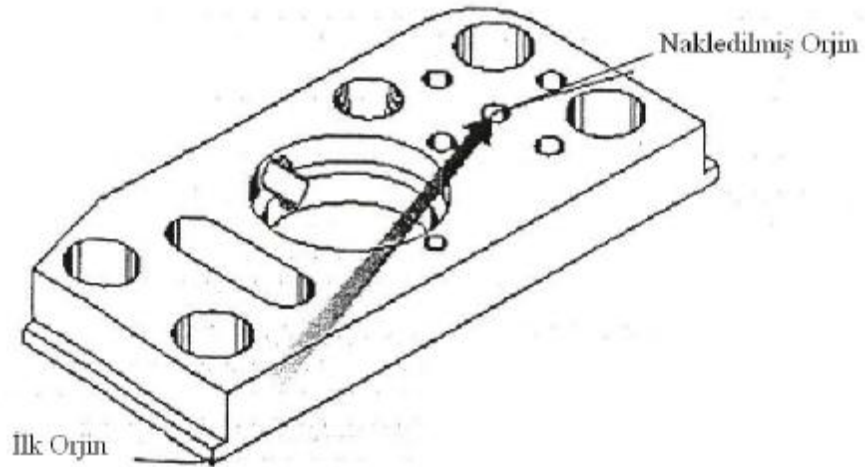
8.1.4 Referans



Şekil 8.5 Referanslar [14]

Referans bir yerdir. Referansı diğerlerine nerede olduğumuzu söylemek için klavuz olarak kullanırız veya bir yere gitmek için yönlendirme olarak kullanırız. Ölçme biliminde referans, iş parçası üzerinde bir delik, yüzey veya oyuk gibi bir unsur olabilmektedir.

8.1.5 Nakil

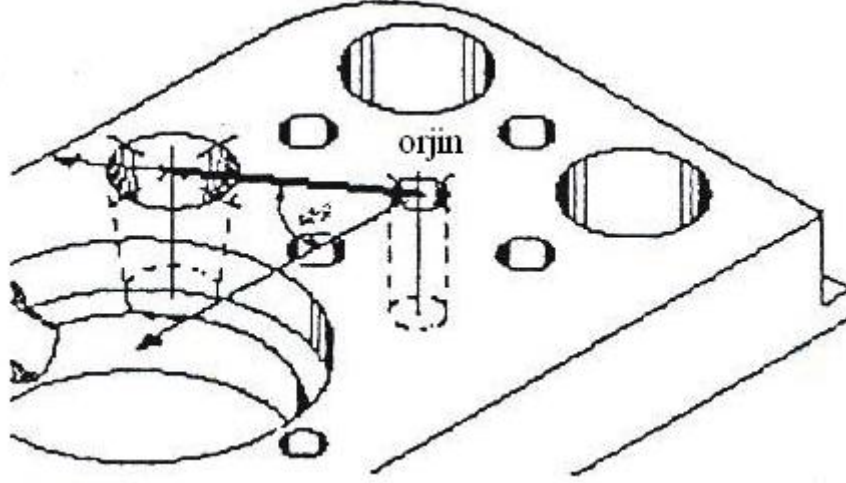


Şekil 8.6 Nakil (Görür, 2003)

Bir iş parçasının belirli bir unsurunun diğer bir unsuruna ne kadar uzaklıkta olduğunu bilmek gerektiğinde, örneğin 4 deliğin merkezinden, merkezi deliğe olan uzunluğu belirlemek için önce merkezdeki delik ölçülmeli, orjin bu deliğin merkezine nakledilmeli ve daha sonra çevrelenen 4 delik ölçülmelidir. Genel olarak, ölçmenin başlangıç noktasını (orjin) geçerli pozisyondan iş parçasının diğer bir noktasına götürmeye “*nakil*” denmektedir. CMM bunu kendi geometrik ölçüm yazılımı yardımıyla hizalama rutinini matematiksel olarak yapmaktadır.

8.1.6 Rotasyon

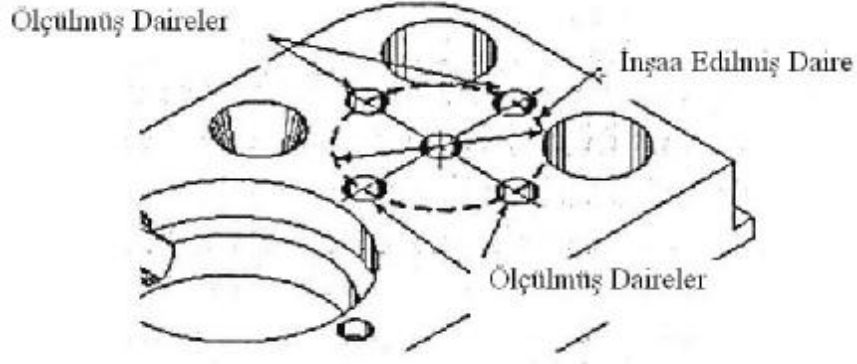
İş parçası üzerindeki herhangi iki delik arasındaki mesafe ölçülebilir. Önce orijinal orjin daha küçük deliğe nakledilir ve parça koordinat sistemi aşağıdaki şekle göre matematiksel olarak 45^0 döner. Bu durumda her iki delik de yeni Y eksenini boyunca durmakta ve mesafe otomatik olarak hesaplanabilmektedir.



Şekil 8.7 Rotasyon (Görür, 2003)

8.1.7 Ölçülen ve Düzenlenen Unsurlar

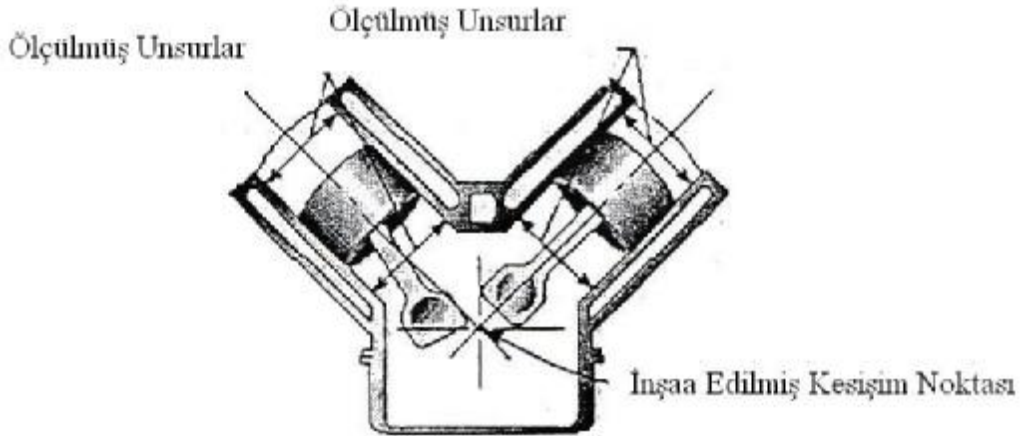
Geniş iş parçalarının büyük bir kısmı işleme veya şekillendirme ile yapılan basit geometrik elemanlardan meydana gelmiştir. Bu ana elemanlar düzlemler, kenarlar, silindirler, küreler, koniler, v.b. gibi unsurlar olabilmektedirler. CMM bu unsurları iç yüzeylere proba dokunarak direkt olarak ölçebiliyorsa, bu unsurlar *ölçülen unsurlar* olarak tanımlanmaktadır. Diğer unsurlar, örneğin; mesafe, simetri, kesişim, açı ve izdüşüm gibi, değerleri belirlenmeden önce direkt olarak ölçülemezler, fakat ölçülen unsurlardan yararlanılarak matematiksel olarak düzenlenirler. Aşağıdaki şekildeki kesik çizgi ile belirtilen daire, ölçülen 4 dairenin merkez noktalarından düzenlenmiştir. Bu durumda bu daireye *düzenlenmiş unsur* denilmektedir.



Şekil 8.8 Ölçülen ve düzenlenmiş unsurlar (Görür, 2003)

8.1.8 İnşaa Edilmiş Unsurlar

Bir unsur veya unsur grubunun diğer unsur veya unsur grupları ile arasındaki ilişki imalat için çok önemlidir. Örneğin motor bloğundaki silindirin kesişim noktası, bu eş parçaların ne kadar iyi yerleştirilebildiğini göstermektedir.



Şekil 8.9 İnşaa edilmiş unsurlar (Görür, 2003)

8.1.9 Hacimsel Telafi

CMM 'ler oldukça dar toleranslarla üretilmelerine karşın, hassasiyetine ve tamlığına etki eden nedenlerden dolayı (kaçıklık, diş açıklığı, ölçek hatası...v.b.) ölçme sırasında hatalar yapabilirler.

İmalat toleranslarının artan bir şekilde daha dar hale gelmesiyle CMM'lerin daha fazla tamlığa sahip olmaları gerekmektedir.

CMM'in hataları CMM'in bilgisayarında yüklü olan yazılım ile otomatik olarak düzeltilenmektedir. CMM'in bütün geometrik hataları belirlendiği zaman, CMM'in

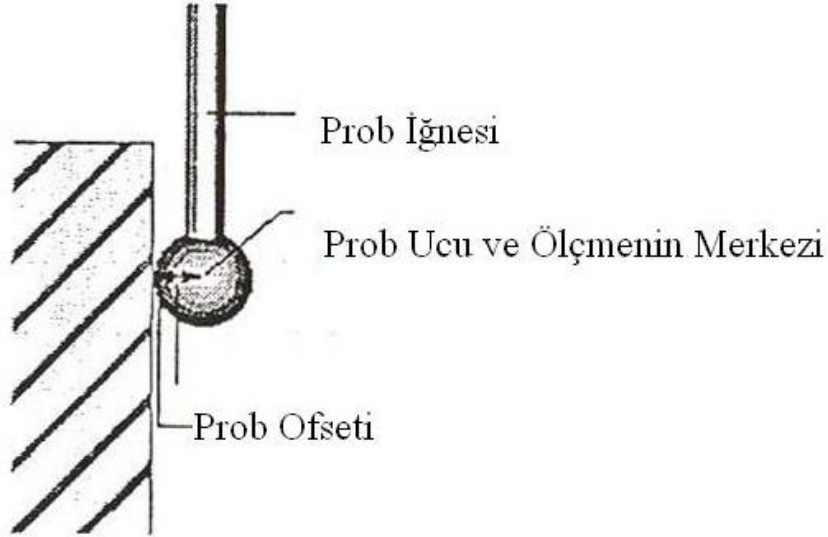
programı içindeki güçlü algoritmaların yardımı ile bu hatalar minimize edilebilmekte veya yok edilebilmektedir. Bu tekniğe “*hacimsel hata telafisi*” denilmektedir.

Belirlenen hataların matematiksel olarak giderilmesiyle, imalat maliyetleri düşürülebilmektedir.

8.1.10 Prob Telafisi

Koordinat ölçme cihazları genellikle verilerini cihazın ölçme eksenine takılı probun ile iş parçasına dokundurularak toplama yapmaktadır. Probun uçları yüksek tamlıktadır, prob CMM'e takıldığında, ölçmeden önce ucun konumu makine koordinat sisteminde belirlenmelidir. Çünkü ucun çevresi parçaya dokunmaktadır. Probun ucunun merkezi ölçme merkezidir.

Prob ucunun merkezi ve yarıçapı bilinmektedir. Probun iş parçasına dokunması ile elde edilen değer prob ucunun yarıçapı kadar ötelenerek gerçek ölçme değeri elde edilir. Bunun nedeni bahsedildiği gibi, ölçme merkezinin prob ucunun merkezi olmasıdır.

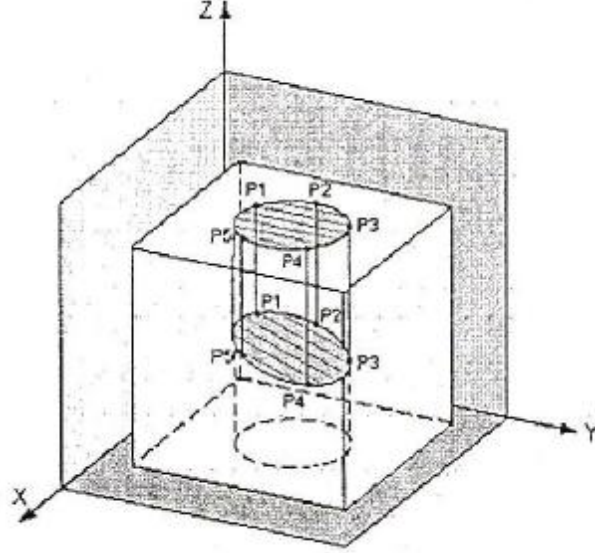


Şekil 8.10 Prob telafisi (Görür, 2003)

8.1.11 İzdüşümler

Bir iş parçası unsurunun diğer bir iş parçası unsuru üzerine kopyalanmasına *izdüşüm* denilmektedir. Bir daireyi ya da doğruyu bir düzlem üzerine ya da bir noktayı doğrunun üzerine kopyalamak izdüşüm işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Ölçme biliminde, izdüşüm işlemi ile, birlikte çalışacak olan parçaların nasıl takılacağı konusunda yardımcı olmaktadır.



Şekil 8.11 İzdüşümler (Görür, 2003)

Otomobillerdeki silindir ölçümlerinde, kafa yüzeyi düzlemi içine silindirin iz düşürülmesiyle, pistonların silindir içine nasıl yerleştirileceği ve kafa noktasının yanma odasıyla buluşacağı nokta ile ilgili belirleme tam olarak yapılabilmektedir.

Yukarıdaki şekilde, dairenin çapını ölçebilmek için minimum 3 noktaya ihtiyaç vardır ve bu noktalar deliğin üstünden itibaren aynı uzaklıkta değilse, ölçülen çap eliptik olarak gösterilecektir.

Bu yanlış belirlemeyi önleyebilmek için, ölçüm verisi eksene dik olan düzleme iz düşürülür, böylece gerçek çap değeri belirlenebilir.

9. KOORDİNAT METROLOJİSİNDE YAZILIMIN GEREKLİLİĞİ :

Bilgisayar ve kullanılan yazılımlar ölçmenin gelişiminde göz ardı edilemeyecek büyük faydalar sağlamışlardır. Bilgisayar ve yazılımların kullanılmadığı ilk koordinat ölçme cihazlarında ana problemlerin merkezini belirleyebilmek için basit bir dijital okuyucu bulunmaktaydı. Bu dijital okuyucular kullanılarak uzunluk ölçümleri rahatlıkla yapılabilmekteydi. Ayrıca bu basit cihazlar sayesinde, koordinat metrolojisinin her fonksiyonu hesaplanabilmekteydi. Zamanla CMM 'lerdeki gelişmeler ile CMM'lerin otomasyonu, bölgesel programlama, ısı dengeleme, geometrik veri düzeltici, veri analizleri ve sistem bütünleştirme için yaratılan networkler geliştirilmiş ve şimdiki halini almıştır.

CMM'lere bilgisayarların ilk ilave edildiği zamanlardaki asıl amaç, prob kaymalarını dengeleyebilmek ve kendi veri noktalarından geometrik özellikleri hesaplayabilmektir.

Direkt bilgisayar kontrolünün (DCC) gelişmesiyle, bölgesel programlama ve makina kontrolü için yazılım sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Daha sonraları, yüzey hesaplamasının gereğinden doğan daha da gelişmiş bilgisayar dilleri de makinaya entegre edilmiştir. CMM kullanıcıları

kendi bölgesel programlamalarını yaptıkları için CAD sistemleriyle ortak bir arayüz oluşturmak imkansız hale gelmiştir. Bu durumun ortadan kaldırılabilmesi için, tüm endüstri çevrelerinin çabası ile özel boyutsal ölçme arayüzleri (DMIS) geliştirilmiştir. Bu özellik, CAD sistemleriyle boyutsal ölçüm aletleri arasında nötr bir değişim formatı sağlamıştır. Otomasyonun farklı seviyelerinde bir çok kullanıcı tarafından bölgesel programlama oldukça fazla kullanılmaktadır. Kapasitesinin genişliği, interaktif temel programcılardan full otomatik muayene ve deney yapımcılarına kadar yayılmıştır.

Yazılım temelli geometrik hata düzelticisinin skala uzunluğu için ilk gerçekleştirilişi basit bir deneme niteliğindedir. Zamanla ulusal standartlar laboratuvarlarında kullanılan ölçme cihazları, geometrik hataları düzeltmek için kullanılan birer öncü proses haline gelmişlerdir. Bu proses zaman kaybettirici ve kayda değer bir bilgisayar hafıza kapasitesi gerektiren bir prosesdir. Günümüzde ise geniş bir kullanım alanı bulan daha etkili parametrik dengeleyici bir prosedür geliştirilmiştir. Koordinat metrolojisinde büyük bir avantaj sunmakta olan bu parametrik dengeleyiciler sayesinde CMM'lerin kullanılabilirlik alanları arttırılarak, önemi giderek artan hassasiyet disiplini sağlanabilmektedir. Geometrik hata düzeltici gibi, sıcaklık dengeleyici de sürekli gelişmekte olan bir modeldir. Değişen sıcaklık durumları altında cihazların performanslarını formüle edebilmek için bir çok kullanıcı büyük çabalar sarf etmiş ve dengeleme için bir algoritma geliştirmişlerdir.

Bilgisayarların performansları, proses ölçme datalarına, istatistiksel metodlar gibi bazı analiz tekniklerinin de eklenmesiyle arttırılmıştır. Günümüzde üç boyutlu veri analiz periyodikleri, CMM'ler için, dişliler ve uçak kanatları gibi özel formların ölçüm ve analizlerini mümkün kılmaktadır. Ölçme cihazlarını diğer fabrika sistemlerine entegre edebilmek için, parça taşıma sistemleri, cihaz parçaları, kalite görüntüleme sistemleri ve mühendislik veri tabanlarını sağlayabilecek ağ sistemleri oluşturulması gerekmektedir.

10. PERFORMANS DEĞERLENDİRME :

Bu kısmın teması aslında, “izlenebilirlik” kavramının merkezini oluşturan CMM 'lerin ölçüm belirsizliğinin değerlendirilmesidir. Ölçüm belirsizliği, ISO tarafından tavsiye edilen CIPM (International Commite for Weights and Measures) ve NIST (Uluslararası Standartlar ve Teknoloji Enstitüsündeki) uluslararası laboratuvarlarında tanımlanmıştır.

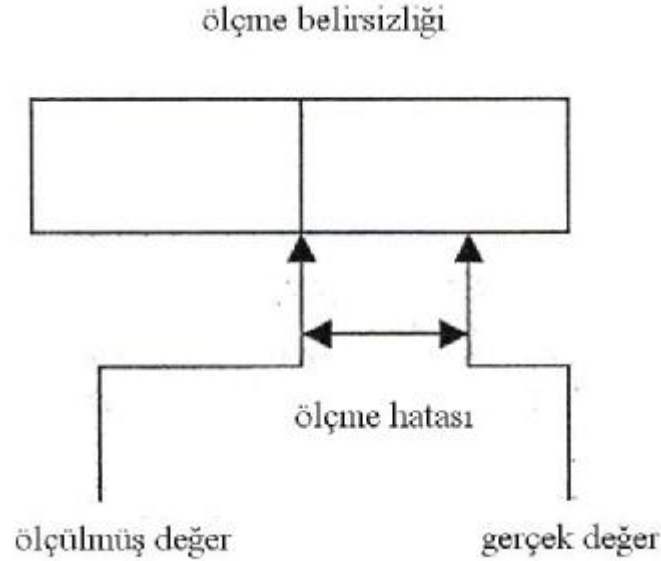
Bu bölümde belirsizliğin nedenleri açıklanacak ve koordinat ölçme cihazlarının performanslarının nasıl değerlendirileceği anlatılacaktır.

Ölçme Hataları ve Belirsizlik ; Koordinat ölçme cihazlarının ölçümlerini etkileyen faktörleri tartışmadan önce, bazı temel kavramların açıklanması gerekmektedir. Şekil 10.1'de “ölçme

hatası” ve “ölçme belirsizliği” arasındaki önemli fark görülmektedir. “ölçme hatası” kavramı “gerçek değer” ile ölçme sonucu bulunan değer arasındaki fark anlamına gelir. Çoğu ölçüm için, özellikle koordinat ölçme cihazlarının ölçümlerinde, “gerçek değer” ve dolayısıyla “ölçme hatası” bilinmemektedir. Zaten gerçek değerın bilinmesi gibi bir durum söz konusu olsaydı, ölçme işlemini yapmamıza gerek kalmazdı.

Bu durumda koordinat ölçme cihazlarının performanslarının değerlendirilmesinde, ölçme blokları gibi, iyi kalibre edilmiş bazı cihazların kullanılmasıyla, kalibreli ölçüm cihazının belirsizliği yeterli seviyelere kadar küçültülerek, kalibre edilmiş değer “gerçek değer” olarak kabul edilebilmektedir. Daha sonra kalibre edilmiş olan bu değer ile koordinat ölçme cihazının ölçtüğü değer arasındaki fark alınır ve bu fark *ölçme hatası* olarak adlandırılır. Ölçme sırasında ortaya çıkan ölçüm toleransının ihmal edilmesiyle iki değer arasındaki fark direkt olarak belirlenmektedir.

Ayrıca, iyi kalibre edilmiş cihazlar kullanılırken, tekrar eden CMM ölçüm serileri farklı sonuçlar verebilmekte ve böylece farklı ölçüm hataları oluşabilmektedir. Mümkün olabilecek tüm ölçme hatalarının toplamı ölçme belirsizliği ile tarif edilebilir.



Şekil10.1 Ölçme belirsizliği ve ölçme hatası arasındaki farkın gösterimi (Durakbaşı, 2005)

Ölçme belirsizliğinin kaynaklarının büyüklüğünü ve ölçme sonuçları üzerine etkilerini tahmin etmek gerekmektedir. Bu işlem, tekrar eden ölçümlerin analizlerinde, kalibrasyon raporlarına bilgi sağlanmasına yardımcı olmakta, kitaplardan alınan referans bilgilerinin belirsizliklerinin tahmin edilmesinde, ayrıca üreticilerin ilgili malzeme ve cihazların yararları ve genel davranış bilgilerinin edinilmesi gibi birçok bilgi kaynağında kullanılabilir. Bir bloğun uzunluğu veya bir dairenin çapı gibi bir çok ölçme işleminin sonucu, tek bir sayıyla açıklanabildiği

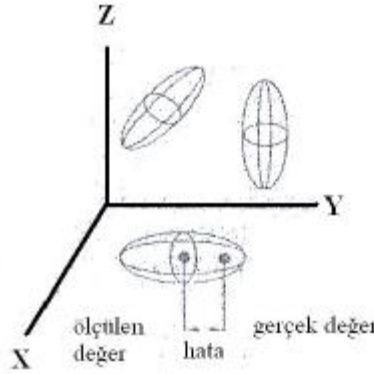
durumlarda, şekil 10.1’de gösterilen tek boyutlu belirsizlik bölgesi; ölçme belirsizliğini yeterli bir şekilde açıklanabilmektedir.

Bazı ölçme işlemlerinde ise ölçme sonuçlarını belirtebilmek birçok değeri bilmemizi gerektirmektedir. Buna örnek olarak uzayda bir noktanın (x,y,z) koordinatlarının belirtilmesi verebiliriz. Bu durumda ölçülen nokta koordinatı çevresinde üç boyutlu bir belirsizlik bölgesi oluşmaktadır. Her nokta için bulunan belirsizlik bölgeleri ile, bir “belirsizlik bulutu” belirlenmiş olarak kabul edilebilir. Bu bulutun şekli ve büyüklüğü koordinat ölçme cihazlarının hata kaynakları tarafından belirlenir. Genelde bu belirsizlik bulutları küre şeklinde değildir. Mesela, bazı belirsizlik kaynakları, koordinat ölçme cihazlarının özel bir eksenyle birleştirilebilir.

Özetle, bu bulutun büyüklüğü, standart bir sapma değeri ile karakterize edilir ve ölçüm bölgesi içinde noktadan noktaya çeşitlilik gösterebilmektedir. Bu belirsizlik bulutlarının hassas bir modeli şekil 10.2’de gösterildiği gibi elips şeklinde olabilmektedir.

Koordinat ölçme cihazında bir ölçme noktası belirlendiğinde, özel bir hata vektörü buluttan ayrılır. Bu hata vektörü, bir ölçüm noktasında koordinat ölçme cihazının kaydettiği koordinatlarla, kusursuz bir koordinat sistemindeki gerçek koordinat değerleri arasındaki farka eşittir.

Gerçek konum, statik bulut örneğinden daha komplekstir. Belirsizlik bulutunun büyüklüğü zamanla koordinat ölçme cihazlarındaki yapısal sapmalar ve diğer zararlı etkenlerin etkisiyle genişlemeye devam etmektedir. Belirsizlik sadece, koordinat ölçme cihazlarının geometrisine bağlı değil, aynı zamanda probun yaklaşım yönü, hızı ve problama (dokunma) kuvveti gibi birçok özel ölçme faktörünü de içeren benzeri statik hatalara da bağlıdır. Bundan dolayı, kullanıcının bir noktanın koordinat belirsizliği bile tam olarak sınırlayabilmesi için ölçümün tüm detaylarını belirtmesi gerekmektedir.



Şekil 10.2 CMM çalışma bölgesindeki birkaç noktanın koordinat sistemi içindeki üç boyutlu belirsizliğin şematik gösterimi (Nomak, 2000)

Ölçme belirsizliği üzerine iş parçasının etkisi üç ana başlık altında incelenebilir:

1. Form sapmaları
2. Kısmi ulaşılabilir yüzeyler
3. Sıkıştırma ve iş parçasının elastik deformasyonu

10.1 Form Sapmaları

CMM 'ler ile neredeyse hiçbir hassas parçada form sapması tam olarak ölçülememiştir. Kesin karakteristikleri hesaplayabilmek için *Gaussian* ve *Tchebzehev* gibi farklı matematiksel metotlar kullanılarak her yüzey için ölçme noktası sayısı arttırılmalıdır.

İş parçasının ölçümünde ölçme noktaları sayısı az tutulmuş ya da yüzeyin küçük bir parçasına yayılmışsa, form sapmaları ölçme belirsizliğinin oluşmasını önemli bir şekilde etkilemektedir. Daha fazla ölçme noktasını belirlemek ve bunların toplam yüzeyde yayılma göstermelerini sağlamak ölçme belirsizliğini azaltmaktadır. Ölçme noktalarının sayısının ve dağılımlarının kontrolü bir çok ölçme noktası gerektiren ikinci bir ölçümün yapılmasını gerektirmektedir.

10.2 Kısmi Ulaşılabilir Yüzeyler

Cihazın geometrisi, ölçme sistemi ve bilgisayar yazılımı mükemmel olmadığından her ölçme noktası, bir ölçme belirsizliği içermektedir. Tek bir ölçme noktasının belirsizliği, form sapmalarının neden olduğu ölçme belirsizliği üzerinde aynı olumsuz etkiyi yapar. Bu durum, ölçme noktaları sayısının az ve iş parçası üzerindeki dağılım alanlarının küçük olduğu durumlarda, belirsizlik üzerindeki etkinin büyük olması anlamına gelmektedir. Ölçülen parçanın bazı yüzeylerinde ölçme noktalarının sayılarının arttırılması mümkün değildir. Bu gibi durumlarda ölçme belirsizliğini azaltmak için *Gaussian* ve *Tchebzehev* gibi, bazı özel matematiksel algoritmalarından faydalanılmaktadır.

10.3 Sıkıştırma ve İş Parçasının Elastik Deformasyonu

Ölçülecek olan iş parçasını ve referans nesneyi CMM üzerinde konumlandırmak üzere sıkıştırmak, ölçmenin belirsizliği üzerine etkiyen yeni bir faktöre neden olmaktadır. Basit iş parçaları (dikdörtgen blok...v.b.) ve referans parçalar üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda, farklı sıkıştırma metotlarının, belirsizlik derecesi ölçülme de iş parçası üzerine bir etki yaptığı ve ölçme belirsizliğine yol açtığı belirlenmiştir. Belirsizliğe neden olan bu etkilerin sonuçları henüz kesin olarak belirlenememekle birlikte, yapılan ilk araştırmalar basit iş parçaları ve referans modeller üzerinde gerçekleştirilmiştir.

10.4 Çevrenin Etkileri

Koordinat ölçme cihazlarında ölçmenin belirsizliğini etkileyen diğer önemli bir faktör de çevrenin etkileridir. Ölçme yapılan ortamda oluşabilecek sıcaklık değişimi, titreşimlerin olumu, hava akımı, elektrik akımı, rutubet ve bunun gibi diğer nedenler koordinat ölçme cihazına, iş parçasına ya da referans elemanına etkide bulunabilmektedir. En önemli etkilerden biri olan sıcaklık, ISO / TC 231 / WG 3 ile ilişkilendirilmiş ve belirsizlik durumları formüle edilmiştir. Örneğin, ISO 1 numaralı standardında referans sıcaklığı 20 °C olarak verilmiştir.

Ölçüm esnasında iş parçasında olduğu gibi CMM 'de de sıcaklığın değişmesinden dolayı, bazı termal genleşme ve belirsizlikler meydana gelmektedir. Sıcaklık çoğunlukla unutulmuş bir etken olsa da, ölçme belirsizliğinin üzerinde önemli bir etkisi vardır.

11. METROLOJİ VE MUAYENE :

Üretimde ürün kalitesi için asıl önemli olan husus metroloji ve muayenedir. Metroloji ve muayene, kontrol fonksiyonuna, “*uygunluk kalitesi*” ile “*tasarım kalitesi*” terimlerini de katarak hizmet etmektedir. Muayenenin asıl amacı, ürünün sahip olduğu özelliklerin talepleri ve kalite gereksinimlerini karşılayıp karşılayamadığını belirlemektir. Kalite için alınan kararların, muayenenin ve yapılan ölçümlerin uygun bir biçimde sağlanamaması durumunda olumsuz sonuçların ortaya çıkması kaçınılmaz olmaktadır. Osanna'ya (1999) göre muayene, endüstriyel devrimden günümüze kadar olan süreçte, daima imalatta hayati bir rol oynamıştır. Ancak yıllar sonra bu rol değişmiştir. Endüstriyel devrimden önce, muayene, üretim sürecinin ayrı bir parçası olarak görülmemektedir. Ustalar da, muayeneyi yapan kişiler gibi tümüyle ürünlerin kalitesinden sorumlu tutulmaktaydılar. Fakat zamanlar gelişen seri üretimle ve parçaların değiştirilebilirliği özelliği muayeneyi gerekli kılmış, muayene yapan kişiler için endüstride apayrı bir iş kolu oluşmuş ve yaygınlaşmıştır. Fabrika içindeki muayene departmanının asıl görevi, üretimdeki hatalı parçaları hatasızlardan ayırmak ve iade edilecek olan mallar arasına göndermek olarak tanımlanabilir. Bilindiği gibi, muayene işlemi, iyi ürünleri, hatalı ürünlerden ayırmak olarak algılanmaktadır. Bunu yapmaktaki asıl amaç yönetimin isteği üzerine, kaliteyi sağlamaktan ziyade çıktıları görmektir. Üretim hattında muayene yapan elemanlar, hatalı parçaları yakalayıp düzgün olarak üretilmiş parçalardan ayıran ve ucuz kaliteyi göz önünde bulunduran kişilerdir.

Üretimde uygulanan geleneksel muayenelerin haricinde pratikte, hammaddeler ve son ürünler için proses hattının dışında bir takım ağır muayene metotları uygulanmaktadır. Hammaddelerin ve parçaların kabulünü gerçekleştiren üreticiler, özelliklerin uygun olduğu ve muayene edilmiş bazı modelleri yerleştirecek bir bölge aramaya yönelmişlerdir.

Müşterilerin, tedarikçilere güvenleri yoktur. Ayrıca, laboratuvar masraflarının iyileştirici önlemlerin ve düzeltici ilavelerin ürün değerine hiçbir katkısı olmamaktadır. Bu durumda müşteriler kendi muayenelerini fabrika bünyesinde gerçekleştirmektedir. Muayeneyi gerçekleştiren kişi ve/veya departmanın temel görevi kötü üretilmiş ürünleri , iyi üretilmiş ürünlerden ayırmaktır. Bu muayene sonucunda tespit edilen kötü üretilmiş ürün, ya yeniden işlenmekte ya da ıskartaya bırakılmaktadır. Her iki durumda da gereksiz masraflar ortaya çıkmakta ve maliyetler yükselmektedir.

Ayrıca yeniden işleme, ürün akışını kesintiye uğratar ve yine bu durumda ürün kontrolünün sağlanması sırasında gereksiz karışıklıklar meydana getirebilmektedir.

Fabrika bünyesinde yapılan üretim esnasında, üretilen bazı parçalar periyodik olarak toplanarak kontrol edilmek üzere muayene departmanına götürülür. Kontrol edilen parçalar tekrar üretim hattında tamamlanmış ürünler arasına gönderilir. Bu çevrimle ürünlerin kontrolü ve muayenesi sağlıklı bir şekilde sağlanmaktadır.

Yapılan her ölçme işleminin ve değiştirilebilir parça üretiminin (interchangeable manufacturing) en önemli şartı, tespit edilen uluslar arası kurallara uygun olarak belirlenmiş olmasıdır.

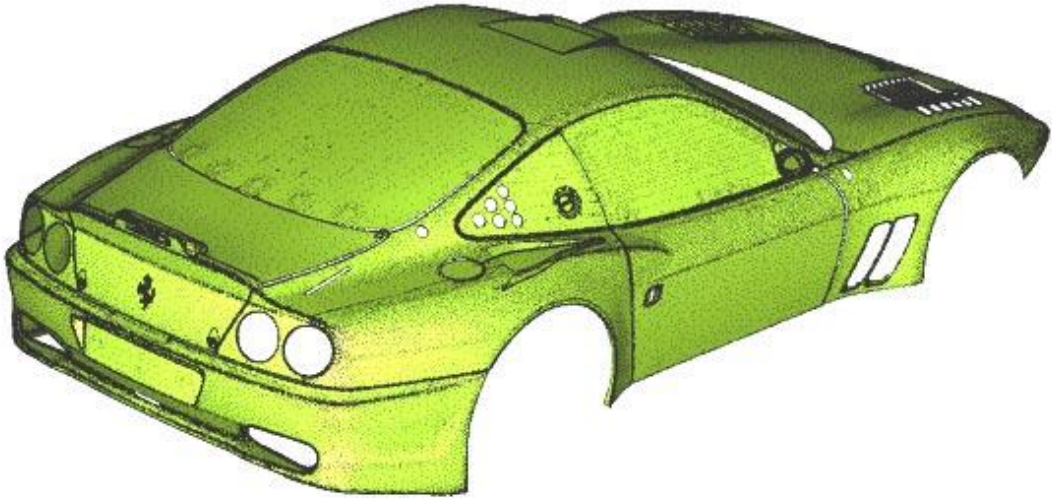
12. OTOMOBİLLERDE SERBEST YÜZEYLER :

Otomobillerde belirli nedenlerden dolayı, bir çok parçanın ve kısmın tasarımında serbest yüzeylerin kullanılması tasarım ve kullanım açısından büyük faydalar sağlamaktadır. Serbest yüzeyin kullanıldığı yere göre, tasarımda bu tür yüzeylere ihtiyaç duyulmasının belli başlı nedenleri ; aerodinamik, estetik, ergonomi, verim... v.b. olarak sıralanabilir.

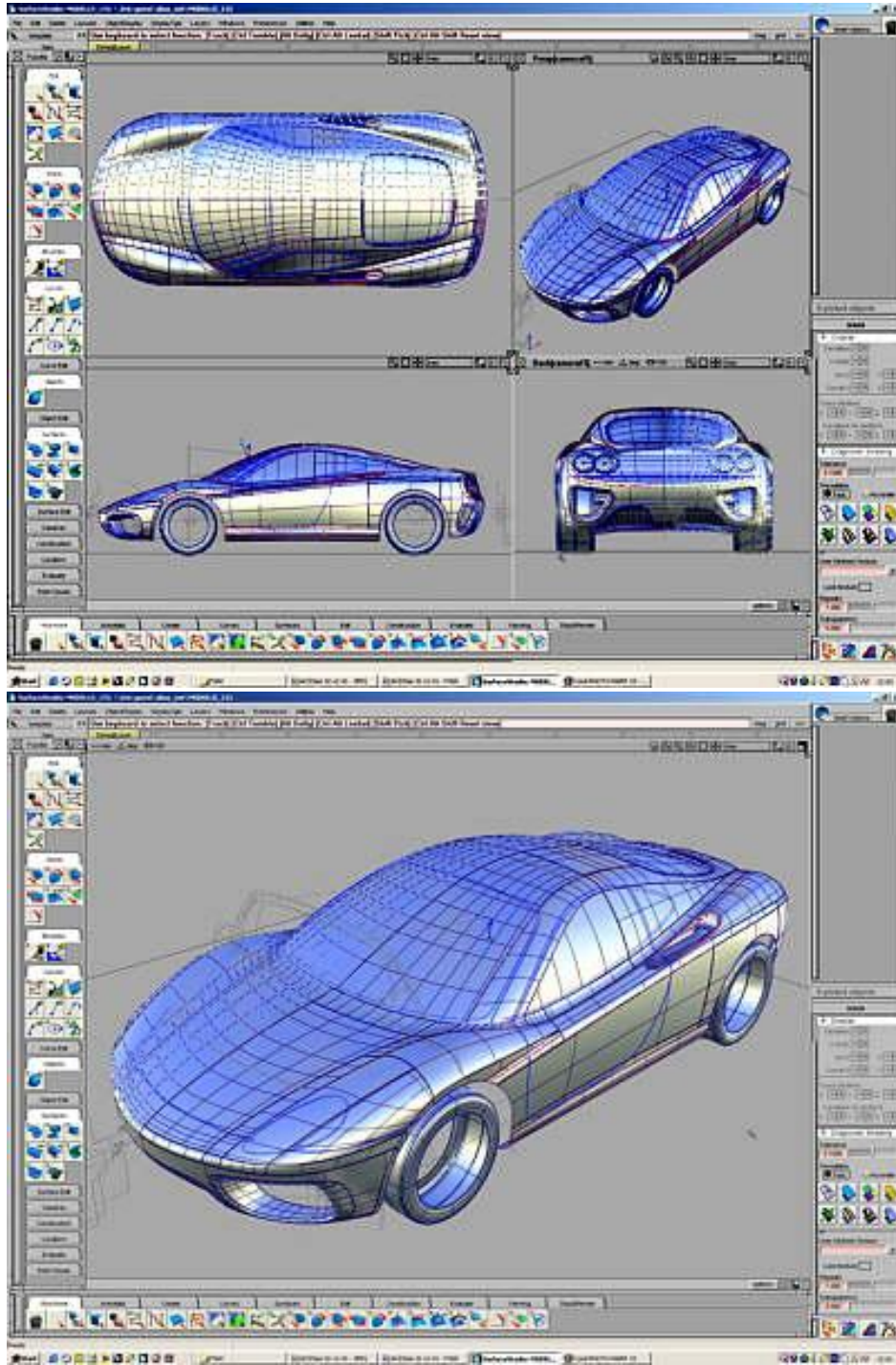
Aşağıda bölümde otomobillerde serbest yüzeylerin kullanıldığı yerler ve tasarım nedenleri açıklanmıştır.

12.1 Kaporta (Car Body)

Otomobillerde kullanılan serbest yüzeylerin belki de en önemlisi, otomobilin dış yüzeyini oluşturan ve bir anlamda otomobilin gövdesi anlamında da kullanılan kaporta kısmıdır. Otomobil dış yüzeyinin tasarlanmasında asıl kriter *aerodinamik* olarak gözükmektedir. Fakat bunun yanında otomobil kullanıcıların göz zevkine hitap etmesi açısından *estetik* de ikinci ve büyük bir kriter olarak göz önüne alınmaktadır. Temel olarak bu iki kriterin göz önüne alınmasıyla otomobillerin dış yüzeylerinin tasarlanması işlemi yapılmaktadır. Tasarım esnasında gerekli aerodinamik hesaplamalarla tasarım yönlendirilmektedir. Belirli aerodinamik değerlerin ve katsayıların hedef olarak alınmasıyla gerekli tasarım düzenlemeleri yapılmaktadır. Bunun yanında tasarlanan otomobilin estetik özelliklerinden de taviz verilmemektedir. Ayrıca bunun aksi olan düşünce de geçerlidir yani; bir otomobil estetik açıdan tasarlanırken aerodinamik açıdan ve diğer sebeplerden dolayı negatif sonuçlara neden olmamalıdır. Aerodinamik ve estetik kriterlerin dışında diğer bir tasarım kriteri de otomobil kullanıcısının *görüş açısı*dır. Otomobil kullanırken çok önemli olan görüş açısı kriteri tasarımın her aşamasında, diğer kriterler gibi, göz önünde tutulur ve tasarım sonunda bu kriterin kullanıcıya maksimum fayda sağlanması için çalışılır.

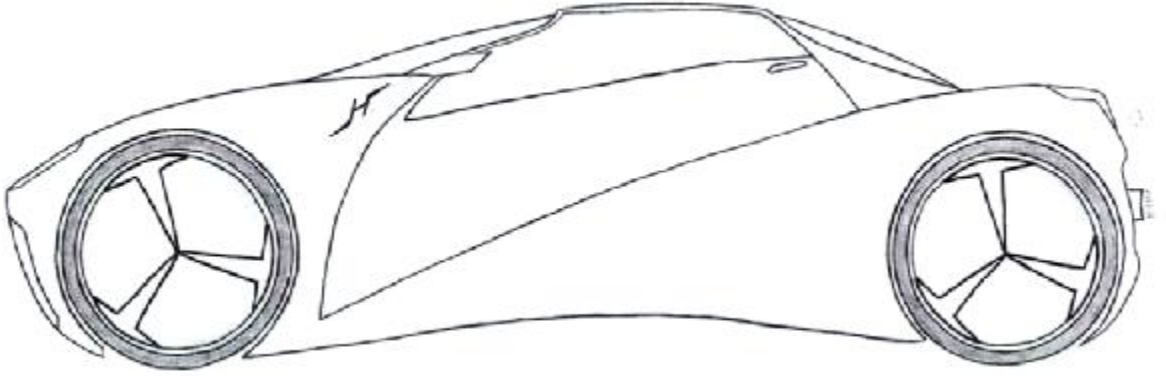


Şekil 12.1 Otomobil kaportası (car body) [3]



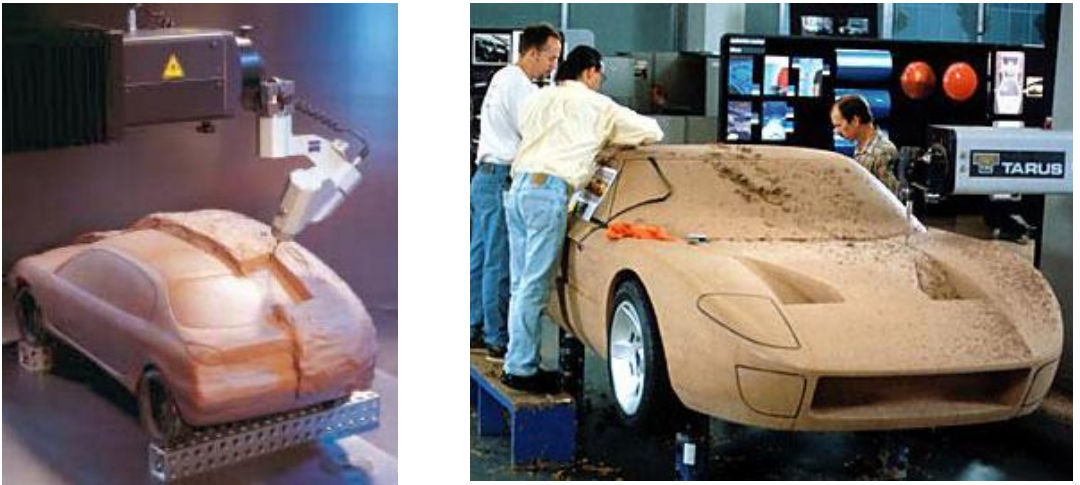
Şekil 12.2 Otomobilin CAD ortamında tasarlanması [3]

Kaporta serbest yüzeyinin tasarlanmasına öncelikle, serbest tasarım çalışmasının yapılmasıyla başlanır. Bu serbest çalışmada tasarlanacak otomobilin ana hatları ve tasarımcının estetik düşünceleri belirlenir. Serbest çalışma tasarımcı açısından sonlandırıldıktan sonra, tasarımın mühendislik açısından değerlendirilmesi açısından bu tasarımın CAD ortamına aktarılması gereklidir. CAD ortamına aktarılan tasarım, serbest çalışma halinin tamamıyla koruyamaz. Yani serbest tasarımda düşünülen ve çizilen her kısım CAD ortamına direkt olarak aktarılmaz. Bunun nedeni ise ; serbest tasarım yapılırken mühendislik ihtiyaçlarının düşünülmemesi ve sadece estetik değerlere bağlı kalarak çalışılmasıdır.



Şekil 12.3 Örnek otomobil serbest tasarımı [14]

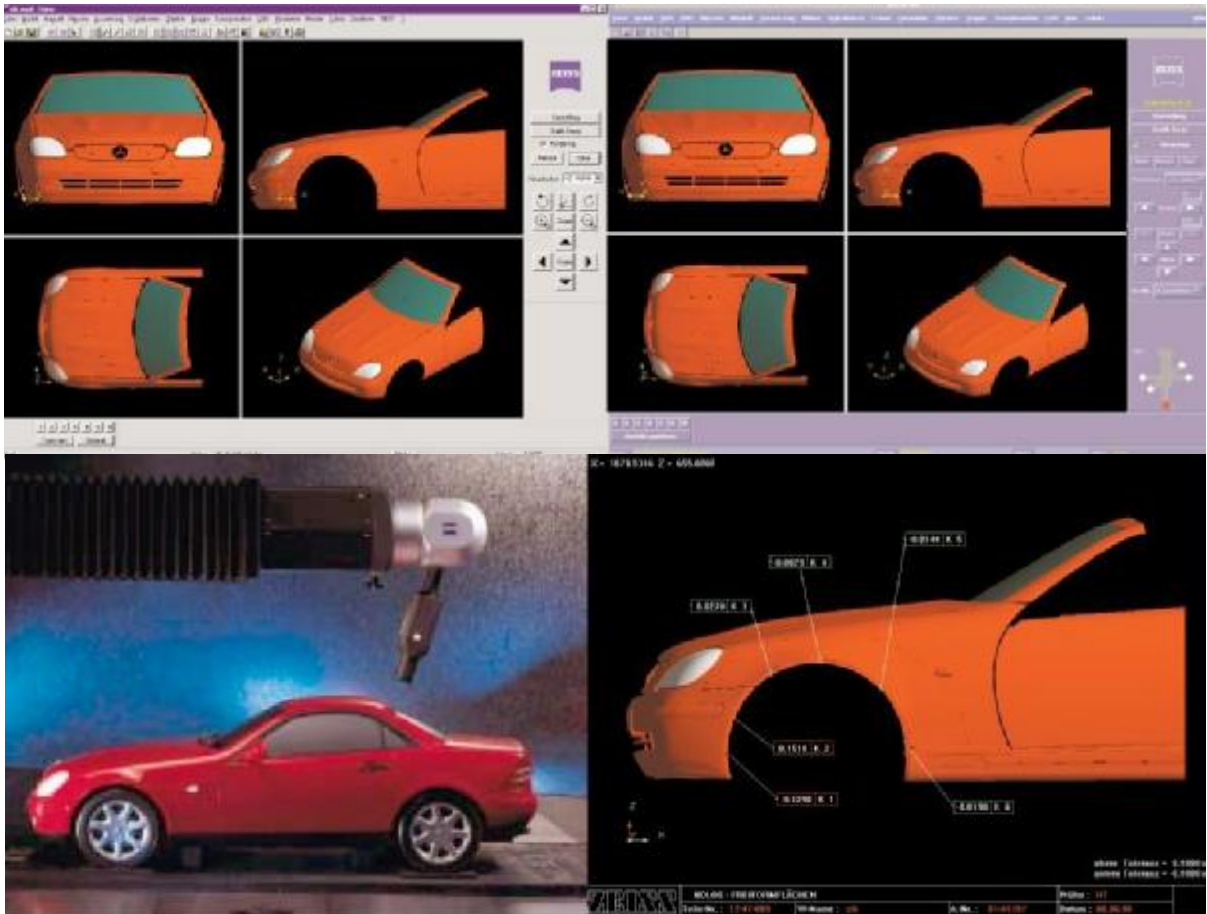
Tasarım CAD ortamına aktarıldıktan sonra ise prototipleme işlemi başlar. Prototipleme işlemi genellikle balmumu, kil (clay modeling), tahta veya değişik karışımlardan oluşturulmuş bir kat malzemeden imal edilmiş bloklar üzerine 5 eksenli CMM 'lerle CAD verisinin 3 boyutlu olarak aktarılmasıyla yapılır. 5 eksenli işlemeden sonra oluşturulan prototip yine CMM 'lerle taranarak (scanning) ikinci bir CAD verisi elde edilir. Elde edilen veri ile tasarım verisi karşılaştırılarak hatalar tespit edilir, düzeltilir veya bertaraf edilir.



Şekil 12.4 Prototipleme işlemi [9]



Şekil 12.5 Prototipin taranması (scanning) [9]



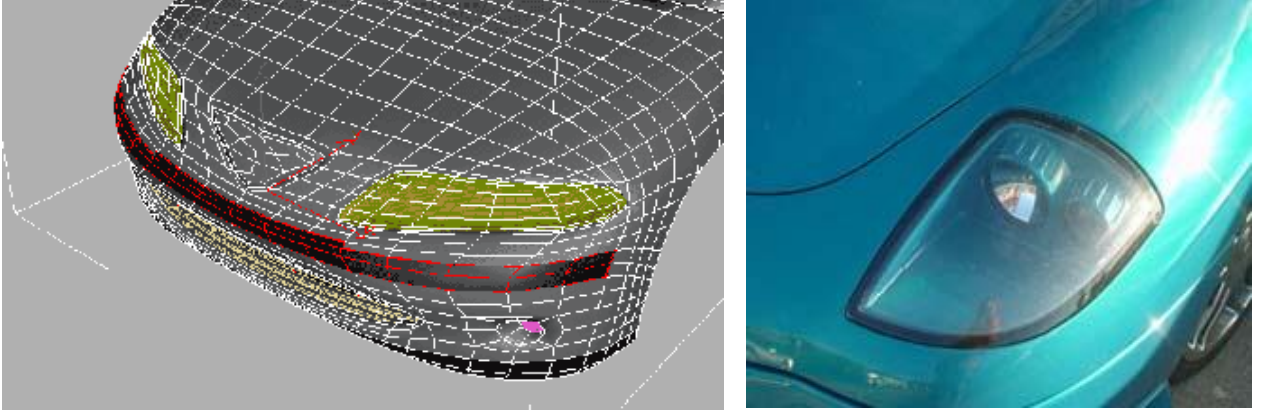
Şekil 12.6 Taranan prototipin tasarım ara yüzünün ve CAD verisinin belirlenmesi [9]

Tasarımın tüm aşamalarında dikkat edilen ve tasarım kriteri olan konstrüksiyonla ilgili hesaplamaların da tasarımda büyük önemi vardır. Otomobilin konstrüksiyon hesaplamaları ilgili programlarla yapılır (örneğin : Ansys) ve tasarım analiz edilir.

12.2 Farlar

Otomobillerde görülen serbest yüzeylerin bir kısmı da farların serbest yüzeyleridir. Farların iç yüzeylerindeki oval kısım, far merceği ve dış yüzeylerindeki cam kısım, ışıktan maksimum fayda sağlayabilmek, aerodinamik olarak kaportaya uyumlu ve estetik bir yapı sunmak için tasarlanmaktadır.

Tasarım için yine yukarıda bahsedildiği gibi bir yol izlenir. Bu yolun haricinde far tasarımına özel olarak ışığın kırınımını ve ulaştığı noktayı belirlemek için çeşitli denemeler yapılarak tasarım yönlendirilir. Aşağıda otomobil firmalarının değişik far tasarımları görülmektedir.



Şekil 12.7 Far tasarımları [14]

12.3 Dikiz Aynaları

Dikiz aynaları otomobillerde bir dış yüzey elmanı olup, genellikle serbest yüzeylerle tasarlanmaktadır. Dikiz aynalarının ayna kısmını hariç tutup bahsedecek olursak, dikiz aynalarının tasarımında temel olarak *aerodinamik* etkiler göz önüne alınmaktadır. İkinci bir tasarım kriteri de, genellikle her görsel tasarımda olduğu gibi, *estetiktir*.

Otomobildeki diğer tüm serbest yüzeylerin tasarımında olduğu gibi dikiz aynalarının tasarımında da temel olarak aynı tasarım süreçleri izlenmektedir.

Dikiz aynaları gövdeyle entegre tasarlanabileceği gibi, genellikle otomobil gövdesine bitişik olmayıp ayrı katlanabilir bir kolla gövde dışında tutulmaktadır. Dikiz aynasının tasarımındaki en önemli mühendislik ihtiyacı *görüş açısıdır*. Görüş açısının yeterli düzeyde sağlanabilmesi için ve özellikle dikiz aynalarındaki “kör nokta”nın mümkün olduğunca azaltılabilmesi için, tasarımlarda bu kriterler de dikkate alınmaktadır. Otomobilin içinde bulunan dikiz aynasının tasarımında ise estetik görünüm, ergonomi ve ışığın kırılması göz önünde tutulmuştur. Ayrıca iç dikiz aynasının öndeki görüş açısını fazla etkilememesi gerekmektedir. Aşağıda değişik tip iç ve dış dikiz aynalarının tasarımları görülmektedir.

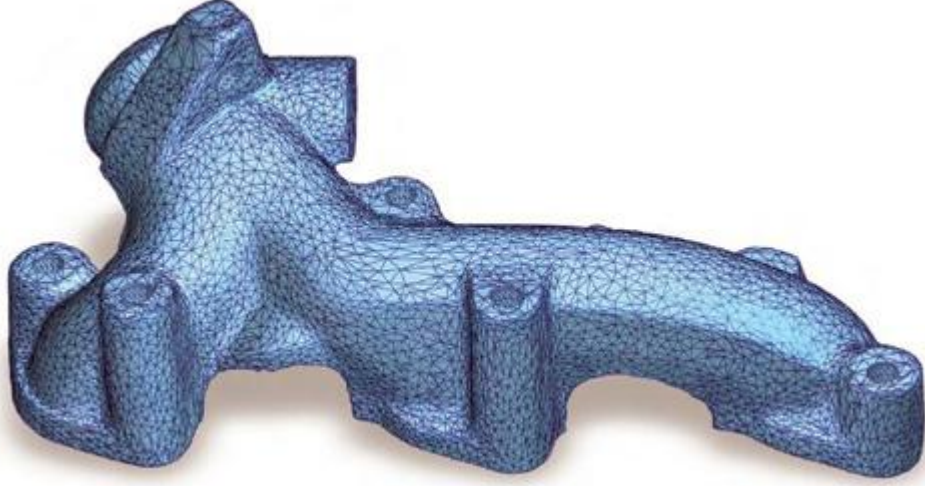


Şekil 12.8 Otomobil dikiz aynası tasarımları [14]

12.4 Egzost

Motor içindeki yanma sonucu ortaya çıkan gazın dışarı atıldığı kısım egzost olarak adlandırılmaktadır. Dışarı çıkacak olan gaz çıkarken yüksek sıcaklığa ve kinetik enerjiye sahiptir. Bu gazın sağlıklı bir şekilde dışarı atılması gerekmektedir. Bunun için egzost manifoldu ve egzost borusu bu tahliye işleminin akışkanlar mekaniği esaslarına göre kusursuz olarak atılabilmesi için tasarlanırlar.

Otomobillerdeki diğer serbest yüzeyler gibi, egzost ve egzost manifoldunun tasarım süreçleri de benzerdir. Serbest yüzeylere haiz parçaların tasarımında yukarıda da bahsedildiği gibi *tersine mühendislik* uygulamasından faydalanılmaktadır. Aşağıda egzost manifoldu tasarımı görülmektedir.



Şekil 12.9 Egzost manifoldu (Fu, 2004)

12.5 Silindir İçi Yanma Odası (Combustion Chamber)

Otomobillerdeki serbest yüzeylerin en önemlilerinden biri de silindir içi yanma odasıdır. Çünkü bu yanma odasının tasarımı aracın kalbi olan motorun verimiyle birebir ilgilidir. Ayrıca yakıtın sağlıklı yanması, motor veriminin artırılması ve sıkıştırma oranının iyileştirilmesi gibi işlemlerin tamamı direkt olarak silindir içi yanma odasıyla ilişkilidir.

Yanma odasının geometrik şekli; emme ve sıkıştırma periyodları sırasında meydana gelebilecek daha etkili bir türbülans sayesinde hava ve yakıt moleküllerinin daha homojen bir karışım oluşturmalarına yardımcı olur. Yapılan deneyler yanma süresinin kısaldığını, ısı veriminin yükseldiğini; sonunda yakıt sarfiyatının azaldığını göstermektedir. Silindir kafasının şekli, supapların ve bujinin yeri, yanma verimi üzerinde çok etkilidir. Bir çok motor imaleden firmalar kendilerine has silindir içi yanma odası konstrüksiyonları geliştirmişlerdir.

Yanma odaları aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadırlar :

- ▼ Direkt püskürtmeli yanma odaları
- ▼ Bölünmüş yanma odaları
 - Ön yanma odaları
 - Yardımcı yanma odaları
 - Türbülanslı yanma odaları

12.5.1 Direkt Püskürtmeli Yanma Odaları

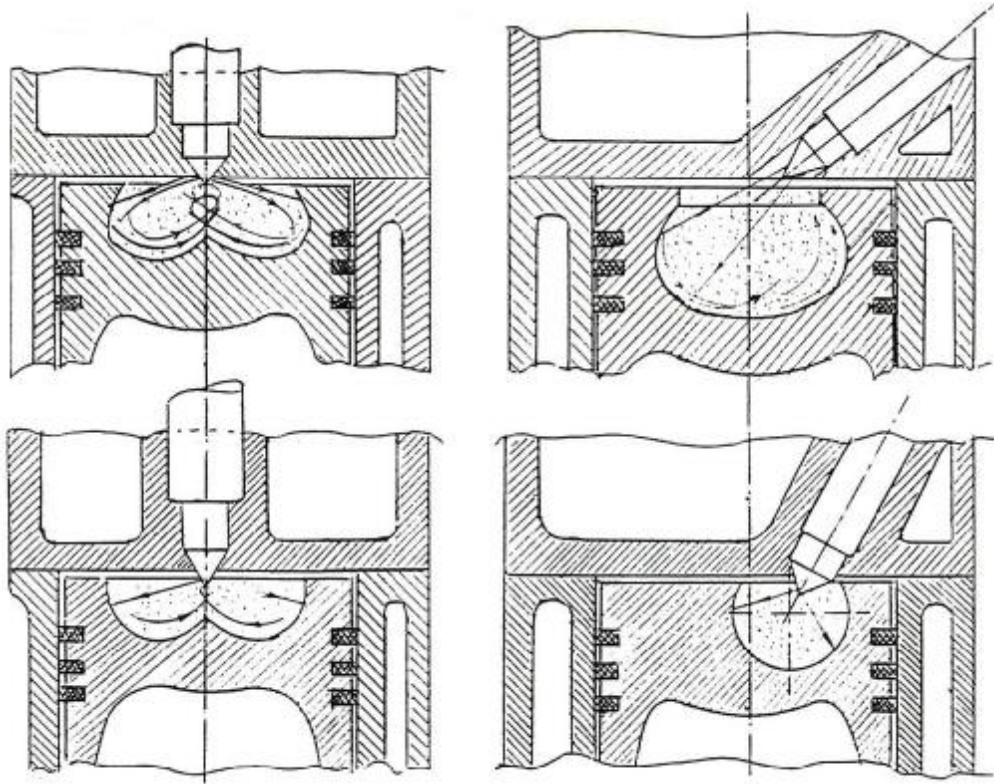
Burada yanma odası, pistonun üst yüzeyi, silindir kapağının düz yüzeyi ve silindir iç yüzeyi ile sınırlandırılmıştır. Burada yakıt doğrudan doğruya yanma odasının içine püskürtülür. Bu tip yanma odalarında pistonun sebep olduğu hava hareketi çok kuvvetli değildir. Motordan beklenen yüksek performans, tamamen enjektörden püsküren yakıt jeti tarafından sağlanacaktır. Çoğu kez ince delikli, çok delikli ve yüksek basınçlı enjektörler kullanılır. Yüksek basınç pompası 280 kp/cm^2 ile 400 kp/cm^2 değerleri arasında basınçlar sağlarlar. Bu sayede tozlaşma ve yakıt hava karışımı sağlanabilir.

Bu tip yanma odasının kullanıldığı motorlarda lüzumundan çok daha fazla hava kullanılır. Bunun sonucu, diesel motorlarda oluşan düşük basınçtan dolayı motor düşük bir güçle çalıştırılabilir.

Burada yanma odasının şekli çok basittir. Hava türbülansı çok zayıftır. İndike ısı verim en yüksek değerini alır bundan dolayı yakıt tüketimi düşük değerlerde olmaktadır. Hacimsel sıkıştırma oranı $\varepsilon = 14$ değerine kadar indirilebilir; bu oranda bile sıkıştırma sonunda ulaşılan sıcaklık yakıtın tutuşmasına rahatlıkla yeterli olmaktadır.

Doğrudan püskürtmeli motorlar, yakıtın bileşiminden ve temizliğinden büyük ölçüde etkilenirler. Ayrıca yük değişimlerine kolay uyum sağlayamazlar. Bu yüzden büyük yük taşımacılığı ve büyük hızların gerekli olduğu yerlerde kullanım alanı bulamamıştır. Daha çok stasyon motor ve gemi motoru olarak uygulamada kullanılmaktadırlar.

Direkt püskürtmeli motorlarda piston üst yüzeyine özel şekiller vermek suretiyle hava türbülansı sağlanmış, egzost gazındaki is yüzdesi azaltılmış ve 3000 devir / dak gibi yüksek devirlere kadar çıkabilmiştir.

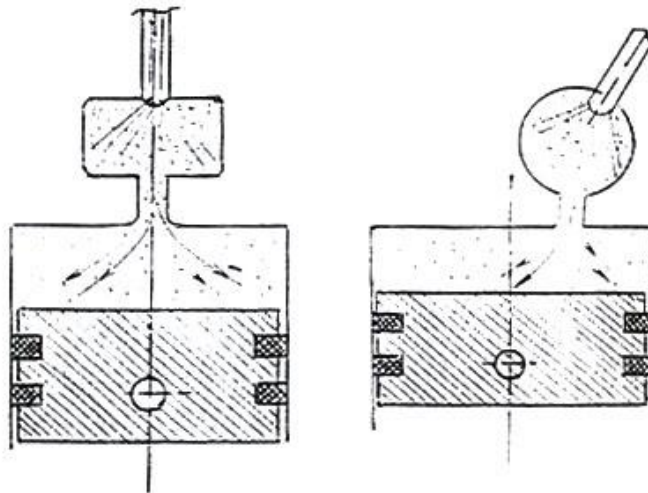


Şekil 12.11 Pistonu oyuk direkt püskürtmeli yanma odaları (Yalçın, 2003)

Direkt püskürtmeli düz pistonlu motorların olumsuz yanlarını iyileştirmek üzere piston üst yüzeyine türbülansı kuvvetlendirici özel oyuklar açılmıştır. Yanma odası içerisindeki ve piston oyuğu içerisindeki hava fazlalık katsayıları birbirlerinden farklıdır.

12.5.2 Bölünmüş Yanma Odaları

Diesel motorlarında çok kısa süre içerisinde yanma yapılması, motorun yumuşak çalışması özelliği hem zorunlu, hem de zor problemlerdir. Bu sahada çeşitli çarelere başvurulmuştur. Bunlardan birisi de iki ayrı hacim içerisinde oluşturulmasıdır. Bu usulde uygulanan yöntemleri üç kısma ayırabiliriz.



Şekil 12.12 Ön yanma odaları (Yalçın, 2003)

12.5.2.1 Ön Yanma Odaları

Bu motorlarda yanma odası iki kısımdan meydana gelir. Ölü hacmin %30 'luk veya %40 'lık kısmını ön yanma odası oluşturur. Diğer kısım ise büyük yanma odası olmuş olur. Ön yanma odası bir veya daha fazla delikle büyük odaya bağlanmıştır. Ön yanma odası çeşitli geometrik şekillerde olur.

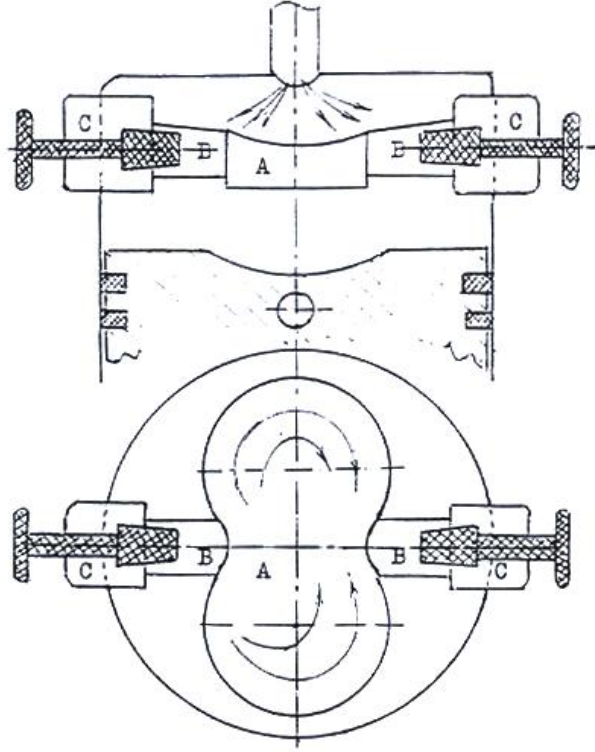
Piston üst ölü noktaya doğru yükselirken henüz enjektörler kapalıdır, dar boğazdan ön yanma odasına yüksek hızda hava akımı olur. Geçiş kanalında gazların hızı 400 – 500 m/s değerlerine kadar yükselir ve bunun sonucu ön yanma odasında yüksek bir türbülans olur. Çevrime gerekli yakıt, piston üst ölü noktaya doğru yaklaşırken, ön yanma odasına püskürtülür. Fakat bu yakıtı yakacak olan havanın önemli kısmı büyük yanma odasındadır, dolayısıyla ön yanma odasında oluşan yüksek basınç etkisiyle, büyük yanma odasına doğru, kısmen yanmış karışım yüksek hızla akar. Meydana gelen yüksek türbülans ortamında yanma tamamlanır. Deneyler, yanmanın yüksek devir sayılarında bile ıssız bir biçimde gerçekleştirilebildiğini göstermektedir. Bu yöntem sayesinde yanma iyileştirildiğinden artık enjektör haznesindeki basıncın yüksek değerlerde tutulmasına gerek kalmamaktadır.

Bu olumlu yanlarına rağmen, yanma odasının şekillendirilmesinden, hacme göre ısı iletim yüzeyi büyür. Böylece piston üst ölü nokta civarında iken soğutma suyuna doğru ısı transferi artar bu da ısı verimin düşmesine neden olur, özgül yakıt sarfiyatı artar. Ayrıca sıkıştırma periyodu sırasında yine fazla ısı transferi nedeniyle sıkıştırma sonu sıcaklığı düşer.

Bu olumsuzlukları gidermek üzere bu motorlarda sıkıştırma oranı biraz daha büyük seçilir, ısı verim termodinamik olarak yükselir ve sıkıştırma sonu sıcaklığı da artar.

12.5.2.2 Yardımcı Hava Odaları

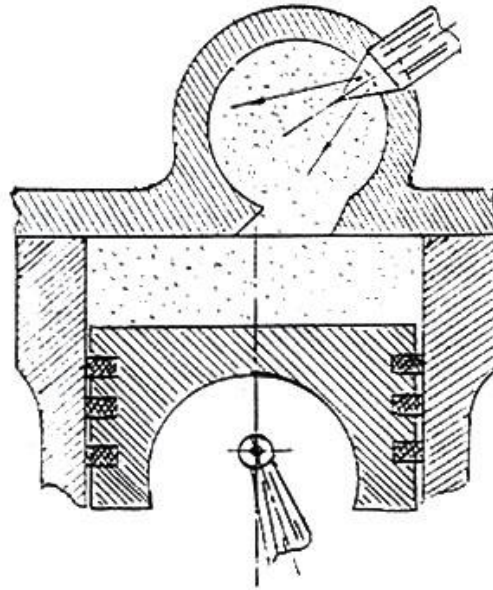
Şekilde görüldüğü gibi, burada silindir kapağı içine özel odacıklar yapılmıştır. İlk yanma buradan başlar sonra piston alt ölü noktaya inerken büyük odada yanma devam eder. Özel odacıklar, silindir eksenine göre simetriktir. Dar bir “B” odası ve ondan daha geniş olan “C” odası birbirlerine bağlıdır. “A” odası da “B” odasına bağlıdır. Bu tür motorların en önemlilerinden biri “Lanova” yanma odalı motorlardır.



Şekil 12.13 Yardımcı yanma odalı motorlar (Yalçın, 2003)

12.5.2.3 Türbülanslı Yanma Odaları

Bu motorlarda ön yanma odasında piston üst ölü noktaya yükselirken büyük bir türbülans yaratılır ve yakıt bu ortama püskürtülerek ilk yanma sağlanır. Piston alt ölü noktaya doğru inişe geçtiğinde, kısmi yanma sonucu ön yanma odasında basınç yükselmiş olduğundan ve piston alt ölü noktaya inerken büyük yanma odasında basınç düşeceğinden, ön yanma odasından sıcak gazlar yüksek hızla büyük yanma odasına geçerler ve orada eksik yanma, kısa sürede tamamlanır.



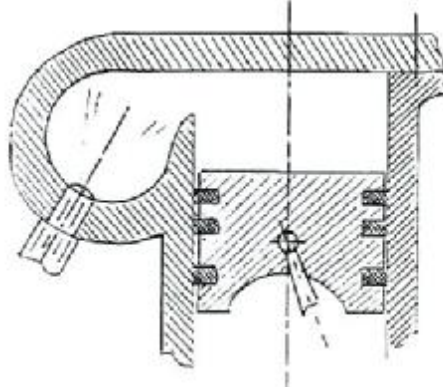
Şekil 12.14 Türbülanslı yanma odası (Yalçın, 2003)

Türbülans odası hacmi toplam ölü hacmin %40 'ı - %80 'i kadardır. Boğaz ve odanın geometrik şekli, bunların birbirleriyle bağlantısı yüksek bir türbülansın yaratılmasını amacını taşır.

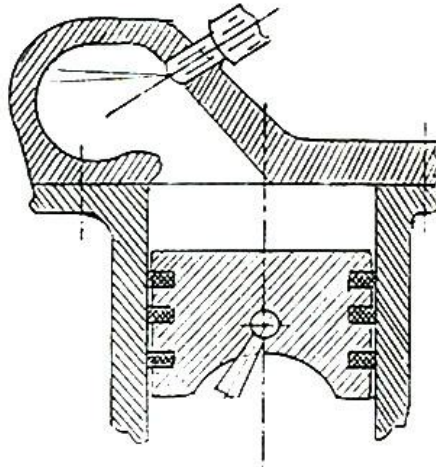
Ön yanmalı diğer motorlarda da olduğu gibi burada da ilk hareket zorluğu, fazla ısı transferi yüzünden ısıl verimin düşmesi, bir başka deyişle özgül yakıt sarfiyatının artması gibi olumsuz özellikler mevcuttur.

Türbülanslı yanma odalı motorların aşağıdaki önemli üstünlükleri tesbit edilmiştir :

- Ü Direkt püskürtmeli yanma odalı motorlara göre yanma odası basıncı daha yüksek olur. Basınç artma oranı, piston üst ölü nokta civarında iken daha yavaş olduğundan motor vuruntusuz, yani yumuşak çalışır,
- Ü Yanma daha iyi olur dolayısıyla yanma verimi yüksektir. Bunun sonucu olarak egzost gazları çevre için daha az zararlıdır,
- Ü Motor yüksek devirlerde verimli çalışır. Ayrıca motor gürültüsü daha azdır,
- Ü Daha düşük enjektör basıncı ile çalışılabilmektedir,
- Ü Kullanılan yakıtın bileşimi verim üzerinde etkili değildir.



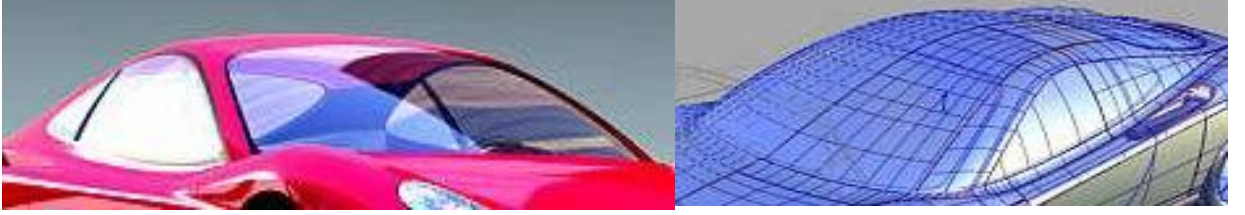
Şekil 12.15 Hercules tipi türbülanslı yanma odası (Yalçın, 2003)



Şekil 12.16 Perkins tipi türbülanslı yanma odası (Yalçın, 2003)

12.6 Camlar

Otomobillerdeki serbest yüzeylerin bir kısmını da camlar temsil eder. Otomobilin ön, arka ve yan camlarının tasarımlarında göz önüne alınan tasarım kriterlerini *aerodinamik, estetik, görüş açısı ve ışığın kırınımı* olarak sıralayabiliriz. Tüm bu etkiler göz önüne alınarak otomobillerin ön, arka ve yan camlarının tasarımları gerçekleştirilmektedir. Aşağıda Ferrari Modena marka otomobilin cam tasarımı görülmektedir.



Şekil 12.17 Ferrari Modena marka otomobilin yan ve ön cam tasarımları [14]

12.7 Koltuklar

Otomobil koltuklarının tasarımlarında da belirtilen diğer bölgeler gibi serbest yüzeyler kullanılmaktadır. Koltukların tasarımındaki öncelikli etkiler *emniyet, ergonomi ve estetik* olarak sıralanabilir.

Kaza anında veya sürüş anında emniyetin sağlanabilmesi için koltuklarda *yan tutucular* olarak adlandırılan bölgeler bulunmaktadır. Bu bölgelerin sayesinde sürüş anındaki ani manevralar sonucu sürücünün pozisyonunun korunması sağlanır.

Ergonomik etkenler göz önüne alındığında, sürücünün rahat etmesi ve uzun seyahatler sonunda yorgunluğun minimuma indirilmesi için tasarımlar uygulanmaktadır.

Estetik açıdan koltuk tasarımına bakıldığında, iç mekanla koltukların bütünlük sağlaması ve arabanın diğer bölgelerine iyi bir şekilde entegre olması ve göze hoş gözükmesi hedeflenmektedir. Diğer serbest yüzeylerin tasarımında olduğu gibi koltuk tasarımında da estetiğin büyük önemi vardır. Aşağıda belli başlı koltuk tasarımları gösterilmektedir.



Şekil 12.18 Çeşitli koltuk tasarımları [14]

12.8 Diğer Serbest Yüzeyle Komponentler

Otomobillerdeki diğer serbest yüzeyle ve tasarım kriterlerini şöyle sıralayabiliriz:

- Ø *ön panel* : genellikle ergonomi, estetik ve güvenlik etkenleri göz önüne alınır,
- Ø *vites kolu* : tasarımında ergonomi ve estetik etkenler ön plandadır,
- Ø *direksiyon* : öncelikle ergonomi ve estetik etkenler dikkate alınır,
- Ø *kapı kolları* :ergonomik ve estetik etkenler göz önüne alınarak tasarlanır,
- Ø *havalandırma sistemi parçaları* : hava akışının düzgün şekilde sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca her tasarımda olduğu gibi estetik etkenler de dikkate alınmaktadır,
- Ø *pedallar (gaz, fren ve debriyaj)* : öncelikle sürüş güvenliği ve ergonomi etkenleri göz önüne alınır. Bunların yanında estetik etkenler en son plandadır, çünkü otomobilin kumanda merkezi olan pedallarda ergonomi ve dolayısıyla güvenlik çok daha önemlidir.

Otomobillerin bünyesinde bulunan ve açıklanan belli başlı bu serbest yüzeylelerin tasarımında kaporta kısmında anlatılan ve *tersine mühendislik* olarak adlandırdığımız tasarım yolu izlenmektedir.

Tasarımın kullanılacağı yere ve tasarımın işlevine göre tasarım kriterleri yüksek mühendislik çalışmaları sonu belirlenir ve tasarımın her aşamasında geri dönüşümlü olarak uygulanır. Yani tasarımın herhangi bir aşamasında tespit edilen bir aksaklık tasarım durdurularak giderilir ya da o bölge tekrar tasarlanmak üzere fikir alışverişinde bulunulur.

13. YÜZEY ANALİZİ VE TEKNİK OLMAYAN YAPILARI DEĞERLENDİRME :

Geçtiğimiz 20 yılda, bilgisayar destekli ölçme tekniklerinin önemi, endüstriyel üretimi kontrol etmesi, teknik malzemelerin yüksek hassasiyetle test edilmesi ve kalitelerinin artırılması açısından büyük önem kazanmıştır. Bu yüzden sofistike ölçüm teknikleri, endüstriyel ürünlerin kontrollü ve optimizasyonları yapılmış bir kaliteye sahip olmaları için hayati önem teşkil etmektedir. Donanım ve yazılım sektöründeki dikkate değer gelişme süreci göz önüne alındığında hemen hemen her ölçüm işi gecikme olmadan ve düşük maliyetle gerçekleştirilebilmektedir. (Durakbaşı, 2003)

Eğer bir ölçme cihazının seçilmesi gerekliyse, form ölçümü yapılan alettaki boyut sapmalarının nedenleri de bilinmelidir. Sadece 3 koordinatlı ölçüm aletleri (CMM) ile boyut sapmalarını, formu ve pozisyonu yüksek doğrulukla ve tek aletle ölçmek mümkündür. Ayrıca hassas ölçüm aletleri kullanılarak parçaların mikro geometrileri özel cihazlara ihtiyaç duyulmadan değerlendirilebilir. (Durakbaşı, 2003)

14. SERBEST YÜZEYLER :

Serbest yüzeyler hem tüketim hem de sermaye mallarında sıklıkla görülmektedir. Örnek olarak elektrikli aletler, ev eşyaları, televizyon tüpleri, türbin kanatları verilebilir. Araç yapım sektöründe araç karoserinde, iç mekânda ve motorda görülebilir. Bu yüzeylerin formu bir yandan fonksiyonellikleri, bir yandan da estetik ve ergonomik özellikleri göz önüne alınarak kararlaştırılır. (Durakbaşı, 2003)

Serbest yüzeyleri matematiksel olarak tanımlamak çember, silindir veya koni gibi geometrik elemanların tersine daha zordur. Bu yüzden çizimde CAD uygulamalarının sayısı gittikçe artmaktadır. Artan bu uygulamalar sayesinde, parçaların nominal geometrileri tanımlanabilir ve bir veri saklama ortamında kayıt altına alınabilir. CAD uygulamaları, üretim, kalite yönetimi ve kalite güvencesi gibi ikincil alanlarda uygulama içine girdiğinde çok daha ekonomik hale gelmektedir. Böylece çizimden üretime, kalite yönetiminden kalite güvencesine kadar sürekli bir proses zinciri elde edilebilir (Durakbaşı, 2003).

CAD sistemlerinin düzgün çalışması ve CAD verilerinin işlenmesi için hazırlanan özel program modüllerinin iletişimi, arabirimler aracılığıyla sürekli bir proses düzeni sağlamak için gerçekleştirilir. Serbest yüzey alanında VDA-FS arabirimi elde edilmiştir. Böylece kalite yönetimi ve güvencesi arasındaki veri iletimi ölçüm ve sayısallaştırılabilirlik açısından gerçekleştirilebilmektedir (Durakbaşı, 2003).

Serbest yüzeyler gibi teknik olmayan yüzeyler kapalı olarak analitik bir şekilde tanımlanamazlar. Bu yüzden özellikle otomotiv endüstrisi, farklı formları tanımlayabilmek

için matematiksel yaklaşım karakteristikleri ve interpolasyon metotları geliştirmiştir. Kartezyen koordinat sistemi yerine pratikte kanıtlanabilen parametrik gösterim kullanılmaktadır. Bu gösterimler ;

- Coons gösterimi
- Bezier Polinomları
- Temel Polinomlar olmak üzere 3 şekildedir.

Polinomun derecesi, polinom düğümlerinin miktarına bağlıdır. Değişik CAD/CAM/CAQ sistemleri arasındaki veri alışverişi, otomotiv endüstrisi birliği (VDA) tarafından belirlenen serbest yüzey arabirimi ile gerçekleşir ve hemen hemen tüm üreticiler tarafından desteklenir.

Yüksek dereceden yüzeyler aşağıdaki matematiksel formlarla tanımlanabilir;

- Implicit form $F(x,y,z)=0$
- Explicit Form $z=z(x,y)$
- Parametrik Gösterim $x=x(u,v)$; $y=y(u,v)$; $z=z(u,v)$

Aşağıda sayılan sebeplerden dolayı parametrik gösterim yüksek dereceden yüzeylerin modellenmesi için kullanılmaktadır :

- Kesin gösterim, koordinat sisteminin seçiminden bağımsız olarak saptanır,
- Matris formunda açık bir biçimde gösterilir,
- Fonksiyon değerleri, parametlerin yerleştirilmesi ile belirlenebilir,
- Yüzey birleşimleri düzgün bir biçimde yapılabilir.

Yüksek dereceden yüzeyler matematiksel olarak kapalı biçimde tanımlanamadığı için geometrik yüzey modellenmesi için interpolasyonlar ve yaklaşık değerler kullanılır. İnterpolasyon sürecinde temel yüzeyler belirlenir ve orta noktaları hesaplanır. Aynı zamanda karışık $z=f(x,y)$ ilişkisine daha basit bir yolla ($z=a(x,y)$) yaklaşım yapılır. Bu yaklaşım süreci ile, yüzey üzerindeki noktaların hesaplanması, yüzey üzerinde ve eğim yönündeki belirli noktaların sayesinde gerçekleştirilir. Bu süreçte yaklaşım fonksiyonu, sapması mümkün olan en küçük değerde tutulmaya çalışılmalıdır. Genellikle büyük yüzeyler, küçük yama yüzeyler bir araya getirilerek sağlanır. Kullanıma göre farklı geçiş kuralları belirlenir. Örneğin aynı tanjanta sahip yüzeylerde geçişler düzgün olur. Farklı kenar şartları için birçok yaklaşım

mümkündür. Daha önce açıklanan yaklaşım prosedürleri, analitik gösterim için, model konstrüktörleri ve dizayn mühendislerine yeni formasyon olasılıkları sunmaktadır. İstenilen komponent için gerekli yüzey, parametrelerle oynanarak oluşturulabilir ve optimize edilebilir. Aşağıda günümüzde kullanılan ve CAD için (dolayısıyla serbest yüzey modellemesi için) bu modern matematiksel prosedürler açıklanmıştır (Durakbaşı, 2003).

14.1 Coons Yüzeyleri

Coons yüzeyleri 60 'larda MIT'den *Steven A. Coons* tarafından geliştirilmiştir. Temel olarak 4 sınır eğri içinden, $R(u,0)$, $R(u,1)$, $R(0,v)$, $R(1,v)$, $0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$ olmak üzere kare bir yama yüzey tanımlar. Bu eğrilerin köşelerde birleştiğini kabul eder. Bu yüzey gösterim formu aynı zamanda polinom gösterim olarak bilinir (Durakbaşı, 2003).

Bu yüzeyler aşağıdaki karakteristiklere sahiptirler:

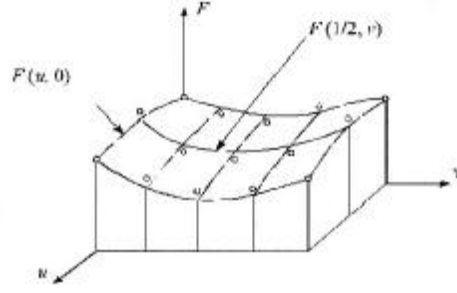
- Verilen kenar noktaları, tanjant vektörleri ve büküm vektörleri için kesin interpolasyon yapılabilme imkanı vardır,
- Birleşme noktalarında kompleks geçiş şartları sağlanır,
- Büküm noktalarındaki Coons yüzeylerinin lokal modifikasyonu açık değildir.

Standart VDA-FS arabirimi, eğrilerin ve yüzeylerin veri alışverişi için özellikle Coons gösterimini kullanır.

14.2 Bezier Yüzeyleri

70'lerde *Bezier* tarafından serbest yüzey hesaplamaları için geliştirilmiş nümerik bir metottur. Bu metot polinom düğümlerinin tabanı üzerindeki serbest yüzeyleri *Bernstein* vasıtasıyla hesaplar. Bir Bezier yüzeyinin polinom yüzeyi üzerindeki imajı kesindir. Bezier yüzeylerinin karakteristikleri aşağıdaki gibidir :

- Bütün yüzey alanı, ona eşlik eden taban noktalarının konveks sarılmış alanında bulunur,
- Taban noktalarının basit tanımı, koordinat sisteminden bağımsızdır,
- Tanjant sürekliliği geçiş şartları veya eğri sürekliliği komplekstir,
- Genellikle pürüzsüz bir geçiş sağlanır,
- Bir destek noktasının varyasyonu, kenarlar olmadan toplam alanı değiştirir. Lokal değişimler direkt olarak mümkün değildir. Genelde yüzeyin kesimlenmesini gerektirir.



Şekil 14.1 Bezier yüzeyi (Durakbaşa, 2003)

Bezier yüzeylerinin iki ana dezavantajı vardır :

- Belirli bir kontrol noktası, kendisine yakın olan eğrileri etkilemenin yanı sıra, bir noktaya kadar bütün eğriyi etkiler.
- Eğrinin derecesi, kontrol noktası sayısına bağlıdır. Bu yüzden yüksek derecede polinomlar hesaplanmalı veya birden fazla düşük dereceli eğri segmenti kullanılmalıdır (Durakbaşa, 2003).

14.3 B-Spline Yüzeyler

B-Spline yüzeyler, serbest yüzey ve serbest eğri oluşturulmasındaki uygunluklarından dolayı bugünkü CAD sistemlerinde kullanılmaktadır. “B” İngilizcede temel anlamına gelen *Basis* sözcüğünden gelmektedir. “Spline” ise gemi yapımcılarının gemiye form vermek için kullandıkları ince bir demir çubuktur. B-Spline’lar polinom ve rasyonel olarak ikiye ayrılırlar. CAD/CAM işleminde, sistemler için standart arabirimler olan IGES ve STEP veri alışverişinde B-Spline ‘lar kullanılırlar. Bir parametre boyunca bütün kesişimler homojen olarak dağıtılıyorsa buna *uniform*, dağıtılmamışsa *non-uniform B-Spline* denir. Non-Uniform B-Spline ‘lar ayrıca *Nurbs yüzeyler* olarak bilinirler. Nurbs (Non-Uniform Rational B-Spline) yüzeyler, son yıllarda nümerik veri işleme alanında daha da anlam kazanmışlardır. Vis-a-vis Coons ve Bezier yüzeyleri ile karşılaştırılınca Nurbs metodu aşağıdaki avantajları sunar:

- Taban, ağırlık ve düğüm noktalarında modifikasyon olasılıkları sağlamaktadır,
- Analitik olarak gösterilebilen (silindir, koni) ve analitik olarak gösterilemeyen yüzeyler (serbest yüzeyler) için üniform birleşmiş matematiksel gösterim sağlar,
- Farklı serbest yüzey gösterimleri için basit ve kesin imajlar yaratır.

Matematiksel olarak B-Spline eğrisi, genelde kontrol noktalarına yakın geçen bir set kübik polinom segmentinden oluşur. Verilen kontrol noktaları;

$$P_0, P_1, \dots, P_n, \quad n \geq 3,$$

Bir kübik B-Spline eğrisi $n-2$ tane kübik eğri segmentinden oluşur. i . eğri segmenti aşağıdaki noktalarla tanımlanır :

$$P_{i-1}, P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$$

Fakat eğri bu noktalardan geçmez, yakınlarından geçer. Bu dört noktaya ek olarak eğri şeklini tanımlayan noktalar:

P_i and P_{i+1} 'dir.



Şekil 14.2 B – spline eğrisi (Durakbaşa, 2003)

Bu verilere dayanarak daha önceden serbest yüzeylerin dizaynında kullanılan bezier yüzeylerinin yerini b- spline yüzeyleri almaktadır.

15. SERBEST YÜZEYLERİN ÜRETİMİ :

CAD sistemleri tarafından kullanılan geometrilerin matematiksel ve grafik gösterimi sadece NC makineler için değil aynı zamanda ölçme fonksiyonelliğinin geliştirilmesi adına da önemlidir. Hızlı ve kesin koordinat ölçüm cihazları ile ölçüm zamanları kısaltılır, kalite ve üretim artar (Durakbaşa, 2003).

Serbest yüzeylere sahip parçalar diğerler yüzeylere sahip parçalardan, sadece matematiksel konseptte değil, aynı zamanda optimum yüzeyi bulmak için geçen araştırma ve geliştirme sürecinde de farklıdır (Durakbaşa, 2003).

Serbest yüzeylerin önemli uygulamaları arasında araba karoseri kesme ve oluşturma araçları, enjeksiyon kalıpları, ergonomik epoksi kasalar, türbin kanatçıkları ve uzay araçları sayılabilir.

Piyasanın genişlemesi ve ürün - yaşam döngülerinin kısalmasıyla otomobil şirketleri form verme ve alet üretiminde taşeron firmalara ihtiyaç duymaya başlamışlardır. Makinelerin çalışma süresi kısaldıkça değişmeyen veya daha da azalan üretim maliyetleri, form toleransları ve yüzey koşulları bazında daha yüksek kalitelere ulaşılmıştır. Bu da orta ölçekli şirketler üzerinde baskı kurulmasına neden olmuştur. Bu baskıdan dolayı, bu şirketler modern üretim teknolojileri ve CAD sistemleri kurmak için çaba içine girmişlerdir (Durakbaşa, 2003).

Örneğin otomobil karoseri imalatında, modellemeden üretime geçen süre 2 yılı bulabilmektedir. Dizayn edilen modele ait akışkan ve optik araştırmalar ve CAD yüzeyine ait hesaplar, geometrik değişimler, modelleri aynı seviyeye getirir.

Günümüzde birçok yüzey ve araç üreticisi konvansiyonel fabrika işlerinden, tamamen CAD/CAM tabanlı işlere kadar çeşitli metotlar kullanırlar. Bu metotların çoğunun ekonomik olarak ispatı yapılmıştır. Belirli işler için kullanılacak prosedürlerin seçimi, üreticinin inisiyatifine bağlıdır (Durakbaşı, 2003).

Eğer matematiksel yüzey mevcut değilse ve kopyalanamıyorsa, ana model dijitize edilmektedir (Durakbaşı, 2003).

En önemli işlem, 3 ya da 5 eksenle makineler için dijitize edilmiş yüzey noktalarının hesaplanması ve mevcut CAD/CAM sistemlerde kullanılabilir hale getirilmesidir. Bu işlemlerin sonuçlarını görmek için test sonuçları mevcuttur. Piyasada birçok CA çözümü bulunmaktadır (Durakbaşı, 2003).

15.1 Üretim Ortamı

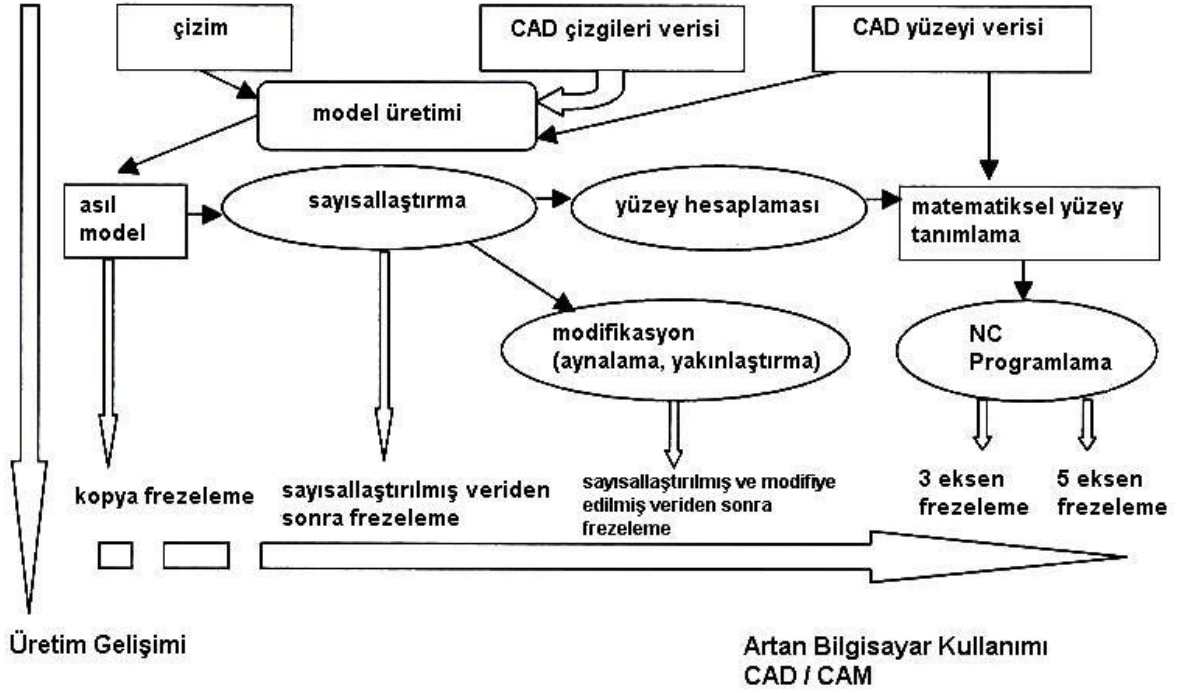
Günümüzde birçok yüzey ve araç üreticisi konvansiyonel fabrika işlerinden, tamamen CAD/CAM tabanlı işlere kadar çeşitli prosedürler kullanırlar.

Üretim safhasında seçilen yol bilgi modellerine ve makinelere bağlıdır.

Eğer elimizde herhangi bir matematiksel yüzey tanımı yoksa *copy-milling* prosesi kullanılmamalıdır. Burada kullanılacak metot 3 boyutlu noktalardan dijitize yüzey oluşturmak ve bu yüzeyi mevcut CAD/CAM sistemlerinde bulunan 3 ya da 5 eksenli makinelerle işlemektir (Durakbaşı, 2003).

Gözlem CAD verisi ile ana model arasındaki ilişkiyi doğrulamak için yapılır. Üretilen parça bir CNC ölçüm programında CMM ile ölçüldükten sonra veya ana model kalıbı kullanılarak onaylanabilir (Durakbaşı, 2003).

Piyasa bütün bu işler için PC uyarlamalarından büyük sistemlere kadar farklı çözümler sunmaktadır. Fakat hala baştan sonra bütün prosesleri gerçekleştirecek bir sistem geliştirilememiştir. Günümüzde her üreticinin böyle bir sisteme ihtiyacı vardır (Durakbaşı, 2003).



Şekil 15.1 Serbest yüzeylerin üretimi esnasındaki proses zinciri (Durakbaşı, 2003)

16. KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZLARININ ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI :

Geliştirme periyodunu kısaltma yolunda CMM teknolojisi önemli bir rol üstlenmektedir. İç ve dış üretim, amaca yönelik teknik ve organizasyonel önleyici ölçümler ve CMM cihazlarının tekrar kullanılabilir hassaslığı ile kısalan test süreleri sayesinde hızlandırılabilir (Durakbaşı, 2003).

CMM teknolojisinin CAD/CAM/CAQ prosesine katılmasıyla test, hesap ve dizayn alanları rahatlayarak daha çabuk ve kaliteli bir üretim süreci elde edilir (Durakbaşı, 2003).

Form ve araç üretimi test ve sayısallaştırma aşamalarında CMM enstrümanlarını kullanma eğilimi gittikçe artmaktadır. Diğer tekniklere oranla daha hassastırlar ve koordinat ölçüm cihazının kontrol işlemcisiyle müşteriye hesaplanabilir tarih tahmini sunarlar (Durakbaşı, 2003).

Çizelge 16.1 Test ve sayısallaştırma prosedürü (Durakbaşı, 2003)

Uygulama Alanı Ölçüm Yazılımı	Serbest yüzeylerin ölçümü	Bilinmeyen modellerin sayısallaştırılması	Değişimden sonraki modellerin sayısallaştırılması
Manuel CMM veya işleme merkezi	Daha fazla işlem için aşağı yöndeki noktaların transfer için alımı		
Standart ölçüm yazılımı	Model değme noktalarında Aktüel- nominal karşılaştırma	Nokta teması: • Tek nokta teması • Tarama metodu	
Özel eğri ölçme programı	Kontur ölçümü		
Özel eğri ölçme programı	Tek noktalardan yüzey ölçümü	Ölçüm alanında belirli noktaların iterasyonundan yüzey oluşturma	
CAD – Uygulama Modülü	Ölçüm Programları • Nokta • Kontur • Yüzey • Özel çözümler için	Çevrimiçi: Yüzey hesaplanması için optimum ölçüm noktalarının verilmesi.	Yüzey benzerliklerinin kullanılması.

CMM için yeni yazılım gereksinimleri oluşacaktır. Ölçüm teknik temel elemanları (nokta, çizgi, yüzey, yüzük, elips vs) ile oluşturulan temel ölçme programları serbest yüzeyler için kullanılamaz. Programlama sistemleri daha önceden tanımlı matematiksel prosedürler (Coon, Bezier, B-Spline ve Nurbs gibi) ile birleşmelidir. Bununla birlikte, yazılım ile paralel olarak, yüksek miktarda hesaplama ve veri saklama kapasitesine sahip donanımlar bulunmalıdır.

17. SERBEST YÜZEYLERİN ÖLÇÜMÜ :

Ölçüm, yüzey üzerindeki aktüel noktaların hesaplanması, nominal noktalara göre sapmalarının hesaplanması ve ifade edilmesi olarak tanımlanabilir (Durakbaşı, 2003).

Aktüel noktaların hesaplanması kesişim ölçümlerinin taranması veya tek nokta üzerinden yapılabilir. Sapmalar, standart ölçüm yönündeki aktüel ve nominal noktalar arasındaki uzaklık baz alınarak bulunur. Grafik veya nümerik olarak ifade edilebilir (Durakbaşı, 2003).

Algoritmaların test aşamasında kompanzasyon elemanlarının doldurulması, ölçüm iğnesi çap düzeltmeleri ve tolerans handikaplarının düzeltilmesi kullanılamaz. Bunların yerine aşağıdakiler kullanılabilir:

- Prop noktalarının üretimi
- Hesaplamalar
- Sonuç görüntüleme

18. PROB NOKTALARININ ÜRETİLMESİ :

Nokta üretim ölçümü, programlama sistemindeki kullanıcı bilgisi ile alakalı ölçüm noktalarına bağlı olarak oluşur. Ölçüm noktaları dağıtımı yüzey tanım koordinatlarında oluşur. Tek karar mekanizması yüzey formu değildir. Tanımlanmış kesit görünüşlerindeki koruyucu parçaların geçerli radius prosesleri uyumu test edilir, böylece müşteri isteğine göre adapte edilmiş çözümler uygulanır (Durakbaşı, 2003).

Eğer karmaşık parçaların ölçüm sekansları, parçaların basit şekilleri ve iğne konfigürasyonundan farklı olarak yönetilebilir olmaktan çıkarsa; sistem, kapasitesine bağlı olarak bir grafik veya hesaplamalı çatışma kontrolü için CNC programını kullanabilir.

19. ÖLÇÜM VERİSİNİN HESAPLANMASI :

Ölçüm verisinin hesaplanması prop tipine göre olur. Ölçüm noktasındaki proplama yönü veya standart ölçüm yönü, iğne merkez koordinatları yanında bilinir. Dolayısıyla iğne ucu radius düzeltmesi yüksek kesinlikte veya tam olarak yapılabilir. Eşit uzaklıktaki alan düzeltmesi, iğne ucu radiusünde başka bir bilgi yoksa kullanılmalıdır (Durakbaşı, 2003).

Kürel iğnenin kullanımı, iğne radiusünde bir düzeltmeyi gerektirir. Maksimum 0.4r miktarında bir yanlış, dolayısıyla 45 derece altında bir proplama olur. Bu aşamada, en ufak radiuse sahip uç kullanılmalıdır (Durakbaşı, 2003).

Aktüel ölçüm noktalarının, nominal noktalarla, eğrilerle ve yüzeylerle karşılaştırılması devam eder. Bu düzenleme lokal bir sapma çevresine sadece bir ifade sağlar. Ölçülen yüzeydeki en

iyi nokta oturumu, sapmaların rotasyon ve iç koordinat sisteminin çevirisinden sonraki minimizasyonu ile sonuçlara ulaşılır.

Hata gösterimi uzayda grafiksel vektörler yardımı ile alfanümerik bir kayıtla tamamlanarak oluşturulur.

20. SERBEST YÜZEYLERİN SAYISALLAŞTIRILMASI :

Tarama süreci 3 boyutlu giriş dosyası oluşturmak için gerçekleştirilir. Oluşturulan veri, yüzey modellemeye bir kılavuz olarak kullanılabilmesi gibi mevcut bir CAD modelinin ölçüm analizi, sayısallaştırılması ile yeniden üretim, tersine mühendislik (mevcut parçanın kopyasının çıkarılması veya sayısallaştırılması) için de kullanılabilir. Tanımlanmış parçalarda prop önceden tanımlanmış bir yoldan ilerleyip yüzey sapmalarını belirleyebilir. Belirsiz bölümlerde prop önceden tanımlanmış bir alanda hareket ederek ve prop dönme vektörünü kullanarak iğnenin yönünü belirler ve iğneyi yüzeye temas halinde tutar. Aktüel geometri, nokta, kesik eğri (ölçüm noktası sonucu, nokta/vektör sonucu) veya matematiksel yüzey modeli olarak bulunur. Empirik olarak tanımlanmış parçaların sayısallaştırılması gereklidir. Empirikten kasıt deney, tasarımcı veya stilistin çizdikleridir (Durakbaşı, 2003).

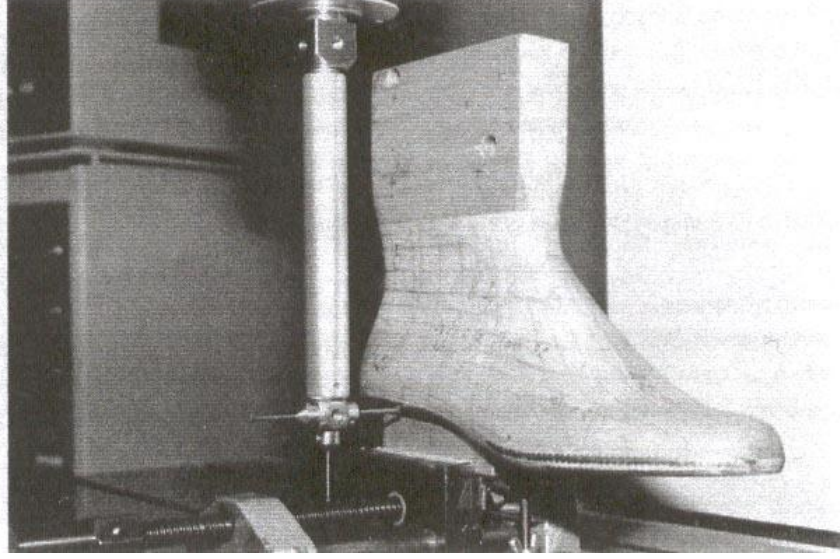
Sayısallaştırma yapılırken, yüzeyin matematiksel tanımı ana formda alınır (genelde ağaç modeller). Bu modeller döküm, saç, dövme parçaların oluşturulması için kullanılırlar. Modelde kaba parçalar veya kalıplar kesilerek oluşturulurlar. Modeller deney ile optimize edilmeli ve manüel olarak tamamlanmalıdır (Durakbaşı, 2003).

Sayısallaştırma işi bir parça yüzeyinin matematiksel olarak tanımlanması ve VDA-FS formatında CAD sistemine geçirilmesi ile gerçekleşir. Böylelikle empirik halde bulunan parça formları CAD/CAM sürecine eklenir. Yüzey modeli CNC verisinin oluşturulmasında FE-nets ve hacim hesaplaması ile kullanılabilir (Durakbaşı, 2003).

Şimdiye kadar, sayısallaştırma görevleri tarama veya nokta teması ile çözüldü. Bu süreçlerin dezavantajı küçük bir otomasyon için yüksek zaman gerektirmeleri ve iğne radius düzeltme hatalarından oluşan ölçüm yanlışlarıdır. Sayısallaştırma neticesinde, yapı mühendisine yüksek sayıda ölçüm noktası bilgisi iletilir. HOLOS programı ile sayısallaştırma, otomatiğe bağlanıp yapım mühendisi için CAD modeli çıkartılması sağlanabilir. HOLOS standart arayüz formatları (VDAFS ve IGES gibi) ile çalışır. Parça verisi herhangi bir modelden direkt olarak alınıp ölçme programlarına iletilir (Durakbaşı, 2003).

Sayısallaştırma yapılırken, yüzey parçası alt bölümlere bölünmelidir. Bu bölümlere *yama* denir. Bölümleme deneyimli ve hassaslık konusunda bilgili bir teknisyen tarafından yapılmalıdır.

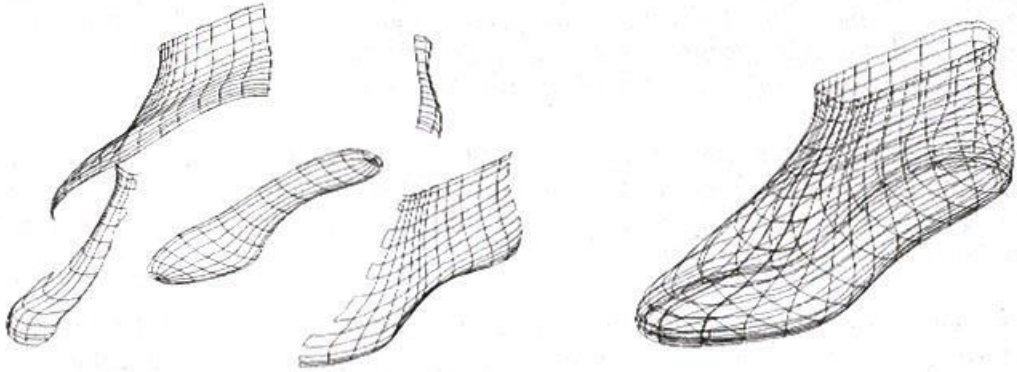
Sistem en başta manuel olarak kaba yüzeylerin, köşelerin çığnenmesini talep eder. Otomatik iteratif bir süreçte, tek noktalar ağı yama üzerine yerleştirilir ve bu polinomdan yüklenir. Ölçü hassaslığı opsiyonel olarak ölçüm noktalarının ve zamanının çokluğuna bağlıdır.



Şekil 20.1 Yama dağılımı ile ayakkabı modeli (Durakbaşa, 2003)

Bütün yamaların sayısallaştırılmasından sonra, bu yamaları birleştirmek için bir kural tanımlanmalıdır. Bu otomatik olarak CAD sistemi verisinin yorumlanması ile oluşturulabilir. Ekstrapolasyon, kesme, yuvarlama gibi ek fonksiyonlarla, yama ekleme, bölme işlemleri ve yüzey manipülasyonu yapılabilir.

Hesaplanan yüzey VDA dosyası olarak CAD sistemine transfer edilebilir. Yüzey modeli CAD/CAM sisteminde CNC programlama için kullanılabilir.



Şekil 20.2 Ölçüm verisinin yüzey modeli olarak değerlendirilmesi (Durakbaşa, 2003)

Karmaşık bölümlenmiş parçalar, değişik eğrilerden oluşmuş yüzeyler CAD sisteminde ölçüm hazırlığı olarak oluşturulur. Farklı kesit görünümündeki kesişimler ve kot çizgileri, ölçümü yapılan nokta / vektöre göre yüklenir. Bu noktalar ölçüm aletinin çalışmasında ve ölçüm yüzeylerinin hesaplanmasında görev alır. Stil tanımına ve modelin sıkışmasına göre görsel olarak çatışmaların engellemesi için kullanılabilir.

21. TERSİNE MÜHENDİSLİK :

Günümüz global rekabet ortamı, üreticilerin ürünlerini tüketicilere daha kaliteli, daha ucuz ve daha çabuk ulaştırmasını bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu zorunluluğu avantaja dönüştürmek isteyen işletmelerin, ürün geliştirme zamanını (Product Development Time) en aza indirmesi gerekmektedir. Otopa ya da bir başka deyişle Hızlı Prototipleme (Rapid Prototyping) teknikleri ile birlikte *Tersine Mühendislik* (Reverse Engineering) yaklaşımı, ürün geliştirme zamanının azaltılması için işletmelere mükemmel Bileşik Mühendislik (Eşzamanlı Mühendislik) (Concurrent/Simultaneous Engineering) fırsatları sunar. Bu makalede, kısaca bir tanımı verildikten sonra, tersine mühendislikte kullanılan yöntem ve teknikler, yazılım ve donanımlar tanıtılmıştır. Ayrıca, tersine mühendislik yaklaşımının ürün tasarımıdaki yeri, önemi ve potansiyel uygulamalarından örnekler verilmiştir (Baykasoğlu vd., 2005).

Günümüzde müşteriler daha kişisel ve daha özelleştirilmiş ürünler talep etmektedir. Müşteri ihtiyaçlarındaki bu belirsizlik ve değişkenlik, rekabet güçlerini artırmak isteyen bir çok işletmeyi yeni üretim ve pazarlama stratejileri uygulamaya zorlamaktadır. Bu işletmeler, müşteri ihtiyaçlarını tatmin ederek kâr elde etmek amacıyla geniş bir ürün yelpazesine pazara hakim olmaya çalışmanın yanı sıra, pazara sürekli yeni ürünler sunmaktadır. Sunulan bu ürünlerin kaliteli olması ve pazardaki yerlerini en kısa zamanda alması ise işletmelere rekabet açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu koşullar altında varlıklarını sürdürmeye çalışan işletmeler, pazara küçük partiler halinde, özelleştirilmiş, çok kaliteli ürünleri düşük maliyetler ile sunmayı hedeflemektedir. Bu hedefi gerçekleştirmek kolay olmadığı gibi, bu iş için işletmelerin kitlesel üretim ve yalın üretimden çok daha güçlü olan çevik, tepkisel ve bileşik üretim/yönetim felsefelerine ihtiyaçları vardır. Bu yüzden son zamanlarda üretim dünyasında, müşteri isteklerine ve önceden kestirilemeyen pazar değişikliklerine çok çabuk uyum sağlayabilecek; çevik, tepkisel ve esnek üretim ve yönetim stratejileri, yöntemleri ve paradigmaları öne çıkmış bulunmaktadır. Tasarımdan üretime ve üretimden de pazarlamaya değin akıp giden tüm süreçlerin her zaman başlangıç noktası olması nedeniyle, "ürün tasarımı ve geliştirilmesi" alt süreci performansının tüm bu modern yöntemlerin başarılarında en büyük rolü oynadığı anlaşılmış bulunmaktadır. Ürün geliştirme zamanının azaltılması; esnekliğin, çabukluğun, çevikliğin ve tepkiselliğin bir ön şartı durumuna gelmiştir.

Tersine mühendislik yaklaşımı, ürün geliştirme zamanının azaltılması için işletmelere mükemmel bileşik (eş zamanlı) mühendislik (concurrent/simultaneous engineering) fırsatları sunar. Tersine mühendisliğin temel uygulamaları şu şekilde sıralanabilir;

- Yeni bir parçanın tasarımı,
- Var olan bir parçanın kopyalanması,

- Yıpranmış veya hasar görmüş parçaların kurtarılması, düzeltilmesi ve yeniden tasarlanması
- Model hassasiyetinin ve doğruluğunun geliştirilmesi,
- Numerik modellerin denetlenmesi.

Kavramsal tasarım ile başlayan geleneksel (Düz) mühendislik sürecinin aksine, Tersine Mühendislik (Reverse Engineering) sürecinde ürün tasarımına, gerçekte var olan bir modelin şekil bilgisinin elde edilmesi ile başlanır. Serbest ve karmaşık yüzeylere sahip olan gerçek parçaların geometrik bilgisinin elde edilmesi tersine mühendisliğin en önemli aşamalarından biridir. Yeniden yapılandırılacak parça modelinin kalitesi, başlangıç modelinin üzerine ölçülen noktaların sayısına, ölçüm tipine ve doğruluğuna, ve ölçüm tekniğine (cihazın cinsi vb) bağlı olarak değişebilir (Baykasoğlu vd., 2005).

21.1 Bileşik Mühendislik ve Ürün Tasarımı Teknolojileri

Bileşik (Eşzamanlı) Mühendislik, çeşitli mühendislik süreçlerinin, geleneksel üretim anlayışından farklı olarak, işlemlerin sırayla yapılması yerine, adından da anlaşılacağı gibi, aynı anda, yani eşzamanlı olarak yapılması esasına dayanır. Tüm tasarım aşamaları, üretimin fonksiyonel bir eniyileme elemanı konumundadır. Bu yöntem sayesinde, tasarımcılar ürünün erken üretim aşamalarında görünüş, tasarım ve üretim durumunu göz önünde tutma imkanı bulurlar. Yani tasarım sürecinde tüm mühendislik çalışmalarını aynı anda ve etkili bir şekilde yürütebilirler. Amerikan Savunma Enstitüsü eşzamanlı mühendisliği şöyle tanımlar:

"Ürünlerin eşzamanlı ve entegre üretimi sırasında ilgili işlemleri, üretimi ve üretim sonrasında servisi sağlayan bir disiplin."

Bu yaklaşım üretimin her aşamasındaki çalışanları, üretim zincirinin diğer birimlerinin dışında tutmak yerine; kalite, maliyet ve müşteri istekleri unsurlarının tamamını göz önünde tutmaya yönlendirir. Bu üretim felsefesinin en büyük avantajı, problemleri en aza indirmesidir. Tasarım aşamasında eşzamanlı mühendislik prensipleriyle çalışmak, üretilebilirliğe (prodüktivite) katkıda bulunur ve maliyetleri düşürür. Amerika, Avrupa ve Japonya'da yapılan son çalışmalar, fabrikadaki tasarım uygulamaları, araştırma-geliştirme ve üretim zincirinin servis evreleriyle birleştirilmesine yöneliktir. Yani, eşzamanlı mühendisliğin temel mantığı olan "tasarım işlemleri ile üretim planlarını aynı anda uygulama" ilkesi ile, müşteriye yönelik servis imkanını bağlama, amacı güdülmektedir. Genel bir tanımla mühendislik, "Bir şeyin nasıl doğru bir yöntemle yapılabileceğini öğreten ve bütünsel düşünmeyi sağlayan düşünme sistemi" şeklinde tanımlanır ise, eşzamanlı

mühendisliğin tasarım ve üretim elemanlarının aynı anda çalıştıkları etkili bir yöntem olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Eş zamanlı üretim felsefesinde genellikle şöyle bir işlem sırası vardır. Başta ihtiyaçlar temin edilir, ürün özellikleri belirlenir ve tasarım mühendisleri üç boyutlu çalışmalara başlar. Hızlı prototipleme teknolojisi de kullanılarak test için prototipler üretilir, istenilen seviyeye ulaşıncaya en son tasarım şekliyle üretim yapılır. Bu aşamada prototiplerin uygun olup olmadığına üretim mühendisleri karar verir. Bilinen bir gerçek şudur ki, üretim; analizler, temel araştırma işlemleri, kontrollü deneyler, cesur kararlar ve birimler arasında iletişimi gerektiren zor bir süreçtir. Bu süreç ancak birkaç şekilde başarıyla tamamlanabilir. Bu başarı ne tasarım ve üretim birimlerinin sorumluluğu tek başına alması; ne de faaliyetlerini birbirlerinin prensiplerine göre yürütmesi ile kazanılabilir. Başarıya en yakın yol ise; birimlerin üretim sürecinde, etkili bir takım çalışması ile oluşturdukları üretim mantığıyla gidilecektir (Baykasoğlu vd., 2005).

Eşzamanlı mühendislik sistemi, üretim için birimlerin kararlarıyla birlikte beklentilerinin sentezini de ister. Tasarım elemanlarının amaçları üründen bekleneni veren fonksiyonelliği sağlayan özellikleri geliştirmektir. Üretim birimleri ise yapılan prototipin özelliklerinde üretim için çalışırlar. Bununla beraber üretim safhasında ki uygulamalar, her iki birimin ortak kararıyla alınır (Baykasoğlu vd., 2005).

Özet olarak, eşzamanlı mühendislik, ürün henüz tasarım aşamasında iken devreye girerek üretim problemlerini çözmek, ürün geliştirme ve üretim süresini kısaltmaya yönelik bir üretim felsefesidir. Bu disiplinde iki ana senaryo olduğunu düşünebiliriz. Biri, ürün oluşturmak için yeni üretim sistemi planlamak, diğeri ise üretim sistemi oluşturmak için bir ürünü tasarlamaktır. Fakat her iki yaklaşım da ürün ve üretim sistemi arasındaki karşılıklı ve eşzamanlı araştırma-geliştirme mantığına dayanır (Baykasoğlu vd., 2005).

Ürün tasarımı aşamasında, ürün fikrini somutlaştırmak için birçok teknik uygulanabilir. Planlanan ürün her açıdan tasarlanır ve ileride oluşabilecek muhtemel tasarım hatalarının önüne geçilmeye çalışılır. Böylece hatalı ürün üretilmesi daha tasarım aşamasında engellenir. Ürün tasarımı için, tersine mühendislik teknolojileri kullanılabilir, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımlarıyla bilgisayar ortamında görsel olarak çalışmalar yapılabilir ve bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojisi sayesinde ürün verileri doğrudan üretim ortamına aktarılabilir. Mevcut CAD bilgisinden yararlanarak hızlı prototipleme ile kısa zaman içerisinde ürünün üç boyutlu modelleri elde edilebilir. Bu şekilde tasarım daha görsel bir hale getirilir ve ürünün tasarımında yapılan hataların daha kolay farkına varılabilir. Bilgisayar

Destekli Mühendislik (CAE) teknolojileri ile üretim ve üretim süreçleri benzeştirilerek (simülasyon) üretim esnasında karşılaşılabilecek problemler önceden kestirilebilir.

Bir diğer eşzamanlı mühendislik yaklaşımı olan *X için Tasarım* (Design for X) kullanılarak yeni ürün geliştirme süreciyle ilgili üretilebilirlik, test, servis yeteneği vb. kavramlar tasarımda ön plana çıkarılabilir. *Taguchi'nin Gürbüz Tasarımı* (Robust Design) yaklaşımı kullanılarak ürün veya üretim süreci en-iyilenebilir veya Modüler Tasarım ile karmaşık ürünler birbirinden bağımsız bileşenler olarak tasarlanabilir. Bunların yanı sıra, *Tasarım Hata Türleri ve Etkileri Analizi* (Failure Mode and Effect Analysis) kullanılarak tasarımdaki muhtemel hatalar bulunabilir ve hataların nedenlerini ortadan kaldırmak için yapılması gereken önleyici faaliyetlerin tespit edilmesi sağlanabilir. *Değer Analizi* (Value Analysis) kullanılarak ürünün kendinden bekleneni düşük maliyetle yapmasını sağlayacak malzeme, imal teknikleri ve üretim süreçleri bulunabilir ve tasarımdaki gereksiz unsurlar bu şekilde elenebilir (Baykasoğlu vd., 2005).

Bütün bu yöntemler ile birlikte, *Dağıtık Yapay Zeka Uygulamaları* ile karmaşık ve dinamik tasarımlar birbirleriyle etkileşimli ajanlar kullanılarak oluşturulabilir. Burada, her ajan tasarımda üstüne düşeni yapar ve tasarımcıyı optimum tasarıma götürebilir. Tasarım ve üretim arasında çok güçlü bir entegrasyon aracı ve ortak dil olan *step* standardı ise bütün tasarımların ortak bir dille ifade edilmesine olanak sağladığı için ürün tasarımının vazgeçilmezleri arasındaki yerini her geçen gün daha da sağlamlaştırmaktadır (Baykasoğlu vd., 2005).

Günümüz üretim dünyasının yükselen bir değeri olan eşzamanlı mühendislik felsefesi çerçevesinde kullanılan ve yukarıda bir kısmına değinilen onlarca yöntem ve teknoloji içerisinde tasarlanan modellerin görselleştirilmesi ve ön modellerini elde edilmesi büyük bir önem arz eder. Bunu sağlayan yetenekleri tasarımcılara sunan tersine mühendislik ve ilgili teknolojilerinin doğru anlaşılması ve kullanılması, tasarımcıların eline bir yol haritası verilmesi gereklidir. Bu makalenin sonraki bölümleri, projektörleri tersine mühendislik üzerine çevirmektedir (Baykasoğlu, Dereli, 2005).

"Tersine Mühendislik" terimi kolaylıkla anlaşılabilir anlamlara sahip değildir ve çoğu kez karıştırılır. Örneğin, donanım tersine mühendisliği, bilgisayar parçalarının de-montaj yapılarak nasıl çalıştığını öğrenilmesi ve aynılarının yapılması amacıyla kullanılmaktadır. Yazılım tersine mühendisliği ise, bir programın kodlarını çözmek ve programın bazı kısımlarını kopyalamak, programın lisans kodlarını kırmak gibi yasal olmayan amaçlarla da kullanılmaktadır. Bu işlemler pek çok ülkede olduğu gibi, ülkemizde de yasal değildir ve "fikir ve sanat eserlerinin korunması" ile ilgili kanunlar uygulamadaki sorunlarıyla birlikte yürürlüktedir.

"Tersine mühendislik" bir makineyi veya nesneyi, kopyalamak veya geliştirmek amacıyla veya çalışma prensibini belirlemek amacıyla parçalara ayırmak olarak da tarif edilmektedir. Bu tarif, özde yanlış olmamakla birlikte eksiktir. Örneğin otomobil endüstrisindeki bir firmanın, rakip firmanın otomobilini alıp bunu parçalara ayırması, daha sonra her bir parçayı inceleyip test ederek, kendi otomobilini geliştirmek için bu parçalardan faydalanması tersine mühendisliktir ve yasal olabilir. Ancak, parçaların aynı prensip ve yöntemler kullanılarak taklit edilmesi etik olmadığı gibi, eğer rakip firma tarafından patent ile korunmuş ise hırsızlıkla eş değerdir. Bu nedenle, neden - sonuç ilişkisinin çok iyi kurulması gereklidir.

Vaktiyle ülkemizde takım tezgahları üreten bir fabrika, Uzakdoğu'dan getirdiği bir bilgisayar kontrollü (CNC) torna tezgahını en küçük parçasına kadar sökmüş ve taklit etmeye çalışmıştı. Ancak sonuç hüsrana oldu. Taklit etmeye çalıştıkları tezgahı geliştirmek şöyle dursun, taklit bile edememişler ve iflasın eşiğine doğru sürüklenmişlerdi. Bu sonuç, bu yaklaşımın tek başına yeterli olmadığını, modern teknoloji ve bütünleşik imalat felsefesi olmadan başarıya ulaşılamayacağını bir örneği olarak tarih sayfalarındaki yerini almıştır. Siz bir makinenin, tenekelerinin ve dişlilerinin aynısını yapabilirsiniz, ama Murat 124 şasına Mercedes motoru koyamazsınız. Oysa, CNC tezgahların mekanik aksamın dışında bir de kontrol üniteleri vardır. Bedenlerin yanında bir de ruhlar vardır. O ruhu veremezseniz, beden hareketsiz bir kütleden ibaret kalır (Baykasoğlu vd., 2005).

Bizim asıl üzerinde durduğumuz "tersine mühendislik", var olan bir nesnenin tasarım bilgilerinin bulunmadığı durumlarda, nesneyi yeniden üretebilmek veya geliştirebilmek amacıyla, ürünün üç boyutlu uzayda sayısal tasarım bilgilerinin elde edilmesidir. Bu yönüyle, tersine mühendislik uygulamalarının en önemli elemanları şunlardır,

- Sayısallaştırıcı/ tarayıcılar
- Otoinşa (Hızlı prototipleme) makineleri
- Tersine mühendislik yazılımları

21.2 Sayısallaştırma ve Tersine Mühendislik

Nesnelerin üç boyutlu ölçümleri kalite kontrol uygulamaları için vazgeçilmez bir unsurdur. Parça üzerindeki unsurların paralelliği, dikliği ve boyutsal toleranslarının doğruluğunun kontrol edilmesi bu uygulamalar içerisinde yer alır. Bununla birlikte, bu uygulamalar genellikle geleneksel üretim sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkar. Tersine mühendislik ise bunun bir adım ötesidir. Aynı cihazlar üzerinde, sadece ölçüm değil, tarama ve sayısallaştırma da yapılabilir. Tersine mühendislikte ölçüm ve sayısallaştırma/tarama uygulamaları içerisinde

kullanılan cihazları (koordinat ölçme cihazları, sayısallaştırıcı/tarayıcılar vb.) iki ana grupta toplamak mümkündür;

- Temas ederek (Problu) ölçüm ve sayısallaştırma/tarama yapan cihazlar
- Temas etmeden ölçüm ve sayısallaştırma/tarama yapan cihazlar
 - Lazerli
 - Kameralı (Topometrik Görüş) sistemleri

Problu ölçüm cihazlarında, ölçüm kolunun üzerinde elmas sertliğinde bir küre mevcuttur. Bu küre parçanın yüzeyinde, koordinatları belirlenmesi istenen noktaya değdiği anda, kolun üzerindeki koordinat belirleyici sistemi ile, parçanın o noktadaki konumu, iş parçasının geometrik ve boyutsal verileri üç boyutlu uzayda (x, y, z) elde edilmekte ve cihazın üzerinde bulunan bilgisayara aktarılır. Problu sistemin dezavantajı, ölçüm alınabilmesi için probun yüzeye değme zorunluluğunun olmasıdır. Bu zorunluluk parçanın karmaşık şekilli olması durumunda, istenen değerlerin alınamaması sonucunu doğurabilir (Baykasoğlu vd., 2005).

Lazerli sistemlerde, ölçüm/sayısallaştırma/tarama bir lazer hüzmesi kullanılarak gerçekleştirilir. Parçanın ölçüm yapılmak istenen bölgelerine yollanan lazer ışını, kaynaktan gidiş ve dönüş zamanının, ışının hızıyla çarpılması sonucu otomatik olarak hesaplanır. Koordinatlar yine kolun üzerindeki bir adım koordinat belirleyici sayesinde alınır. Lazerin doğrusal hareket ettiği dikkate alındığında düz-yüzey tabir edilen yumuşak yüzeyli (Arabaların kaportaları vb.) yüzeyler için oldukça idealdir. Ancak, karmaşık parçalar için, önerilen bir sistem değildir. Bunun nedeni ise lazer ışınının geri dönmesini söz konusu olamayacağı karmaşık şekilli ve içsel (delik içerisinde) unsurları bulunan nesnelere katı modelinin oluşturulması ya da ölçümlerinin yapılmasında neden olduğu zorluktur. Bu sistemde veri toplanması, ilerleyen bir lazer ışınının, kusursuz üçgen tekniği olarak adlandırılan bir yöntem ile geri dönmesi sayesinde sağlanabilir (Baykasoğlu vd., 2005).

Topometrik (Kameralı) ölçüm/sayısallaştırma/tarama sistemlerinde, bir üç-ayağın üzerine sabitlenmiş olan ölçüm/sayısallaştırma/tarama kafası, hedef parçanın yaklaşık 70-100 cm kadar ön tarafında tutulur. Ölçüm/sayısallaştırma/tarama sırasında parçanın yüzeyine kenar oluşumlarının izdüşümlerinin yansması sağlanır ve bu izdüşümler, ölçüm kafası içerisine sabitlenmiş olan bir kamera tarafından kaydedilir. Dijital görüntü işlemcisinin yardımıyla üç boyutlu koordinatlar yüksek bir hassasiyetle hesaplanır. Nesnenin tamamının sayısallaştırılması/taranması, birçok ayrı ölçümlerin bir araya getirilmesi ile oluşur ve bazen birden fazla görüş açısı veya bir başka deyişle kamera kullanılması gerekebilir. Günümüzde, computer-vision yazılım ve donanım teknolojisinin gelişimi zor (free form veya sculptred

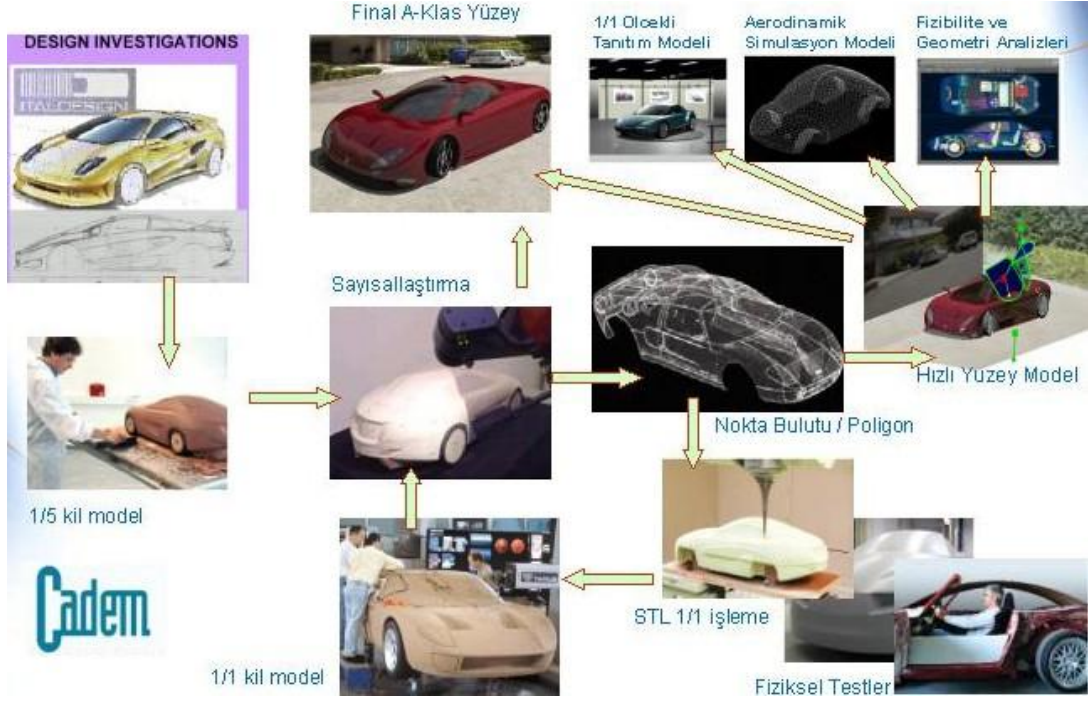
surfaces) yüzey ve unsurlara sahip nesnelerin modellerinin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır (Baykasoğlu vd., 2005).

İş parçasına temas etmeden çalışan algılayıcılarla ölçüm/sayısallaştırma/tarama işlemi uzaktan çok kısa bir sürede tamamlanabildiği halde, mekanik problemler gibi iş parçasına temas eden algılayıcılar kullanıldığında işleme çevrimi durdurulup pozisyonlama yapılması gerektiğinden, ihmal edilemeyecek bir zaman kaybına neden olmaktadır. Fiyat bakımından incelendiğinde, iş parçasına temas etmeyen algılayıcıların diğerlerine göre oldukça ucuz olduğu görülecektir (Baykasoğlu vd., 2005).

Temaslı / temassız sistemlerin hepsi de temelde aynı prensiple çalışırlar. Hedef bir *nokta bulutu* elde etmektir. Daha sonra bu nokta bulutu uygun yazılımlar ile birlikte anlamlandırılır, uygun yüzeyler türetilir ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat (CAD/CAM) süreçlerinde kullanılacak uygun bir formata dönüştürülür. Böylelikle nesnenin model verileri bilgisayar üzerine aktarılmış olur. Elde edilen yüzey veya katı model üzerinde istenilen değişiklik veya geliştirmeler yapılabilir. Model son halini aldıktan sonra, modelin üretimi için gerekli takım yolları ve CNC parça programı elde edilebilir. Ancak, bu son işlemden önce bilgisayar üzerindeki modellerin *otoinşa* (hızlı prototipleme) makineleri ile ön-gerçek modellerinin oluşturulması önerilir (Baykasoğlu vd., 2005).

21.3 Tersine Mühendislik İçin Kullanılan Yazılımlar

Tersine Mühendislik, aslında ülkemizde yıllardır uygulanan bir yöntemdir. Ancak bugüne kadar körü-körüne ve tamamen insan gücü ve beyninin bazı kabiliyetlerine dayanarak yapılan uygulamalarda, uygun tersine mühendislik yazılımlarının kullanılması da zorunlu hale gelmeye başlamıştır. Piyasada bazı güçlü-ticari tersine mühendislik yazılımları bulmak mümkündür. *CappsNT*, *Geomagic Studio*, *RapidForm*, *CopyCAD*, *Imageware* ve *CATIA* bunlardan bazıları olup, Tersine mühendislik ve kitlesel özel üretim konusunda Dünya'nın en çok tavsiye edilen yazılım paketleri arasındadır. Bu yazılımlar ile fiziksel bir nesnenin üç boyutlu tarama verisi işlenerek üretim için gerekli yüksek hassasiyet ve kalitede BDT modeli elde edilebilir. Yazılımlar, ayrıca daha ileri düzeyde çözümler elde etmek için sayısallaştırma sistemleri ile birlikte kullanılabilir (Baykasoğlu vd., 2005).



Şekil 21.1 Tersine mühendisliği akışı ve prototipleme (Baykasoğlu vd., 2005)

Üç boyutlu tarama ve algılama cihazları ile elde edilen nokta bulutları, bu yazılımlar ile birlikte anlamlandırılır; taranmış nokta verilerden aralıksız üçgen hücrelerden oluşan modeller elde edilir (triangulation/polygonisation) ve daha sonra uygun yüzeyler giydirilir. Doğrulama aşamasından sonra, CAD/CAM süreçlerinde kullanılacak uygun bir formatta kaydedilir.

21.4 Hızlı Prototipleme Teknolojisine Son Durum

Üç boyutlu yazıcı/model makineleri günümüzde hızlı prototipleme (Rapid Prototyping) makinesi olarak da adlandırılmaktadır. Hızlı prototipleme makineleri tersine mühendisliğin olmazsa olmazlarından sayılabilir. Bu makineler üzerinde üç boyutlu nesnelere elde edilmekte olup, bunlar yeni ürün geliştirme süreçlerinde kullanılmaktadır. Ancak, normal yazıcılardan farklı olarak, dünyada bu cihazları üreten belli başlı birkaç firma bulunmaktadır; 3D Systems, Stratasys, Z Corp. vb. gibi (Baykasoğlu vd., 2005).

Bu firmaların ürettiği makinelerin en iyisi şudur ya da en kötüsü budur demek mümkün değildir. Her bir makinenin (teknolojinin) kendine has avantajları ya da dezavantajları bulunabilir. Fiyat-performans ilişkisi, bütçe olanakları ve makinenin kullanım amacı göz önünde bulundurularak optimum bir seçim yapılması gerekir. Yukarıda adı geçen firmaların her biri farklı teknolojileri kullanan Üç Boyutlu Yazıcı/Model makineleri üretmektedir.

Örneğin, Stratasys firması, FDM (Fused Deposition Modelling) metodu ile üretim yapan ve ABS malzemelerden modeller üretebilen makineleri üretmektedir. Bu makinenin sarf malzeme fiyatları diğer makinelerinki ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır. Bu da model fiyatlarına yansımaktadır. Ancak, hassas modeller bu makine ile rahatlıkla üretebilmektedir,

ancak model üretebilmek için zaman gereksinimi hayli fazladır. Destek malzemelerinin çıkarılması zaman almakta ve çevreye zararlı kimyasal kullanımı gerektirmektedir. Z Corp. firması ise, püskürtme (jet) teknolojisi ile üretim yapabilen, normal hassasiyetteki modelleri, kısa bir sürede ve destek malzemesi kullanmadan yapabilen 3 Boyutlu Yazıcı/Model makineleri üretmektedir (Baykasoğlu vd., 2005).

Bu makineler, plaster, elastik malzeme, hassas döküm malzemesi, nişasta bazlı malzemeler, seramik, ABS vb gibi çok çeşitli malzemelerden modeller oluşturabilmektedir. Kullandığı hammaddelerin içerisinde mm3 fiyatı çok uygun olan malzemeler de mevcuttur. Bu yüzden, özellikle öğrencilerin, bilgisayarda çizdikleri modelleri görsel olarak üretmeleri söz konusu olduğunda, bu büyük bir maliyet avantajı sağlamaktadır. Eğitimde kullanımının yanı sıra, sanayide de başarılı uygulamaları mevcuttur. Hızlı prototipleme teknolojisine yatırım yapmak isteyen işletmeler, kendi gereksinimlerini göz önünde bulundurarak bir seçim yapmak zorundadır (Baykasoğlu vd., 2005).

22. SERBEST YÜZEYLERİN TERSİNE MÜHENDİSLİĞİ :

Tersine mühendislik dizayn ve üretimin farklı alanlarında kullanılır. Otomotiv endüstrisinde, üretim prosesi sırasında prototipin şeklini değiştirmek sıklıkla yapılan ve gerekli bir işlemdir. Bu değişiklikler daha sonra, CAD sistemlerinde, bazı parçaların teknik çizimlerinde ve geometrik modellerinde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu işlem ise parça yüzeyinin ölçümü ve bu yüzeyin tahmini ile ilgilidir. Bu makalenin yazarları, genel olarak serbest formlu yüzeylerin ölçümü ve geometrik modellemesi üzerinde durmuşlardır. Makalede bu ikisinin birleştiği bir çözüm önerilecektir. Ayrıca makalede, koordinat ölçümleri vasıtasıyla bir nesnenin tanımlanması konusu tartışılmaktadır. Ölçüm sonuçları, bu makalenin yazarları tarafından yazılan bir yüzey tahmin programında doğruca kullanılabilir bir formatta yazılmaktadır. Yüzeyin tanımlanması için NURBS metodu kullanılmıştır. Problem ise En Küçük Kareler metoduyla çözülmüştür. Matematiksel işlemlerin sonuçları makro-bildiri formatında (belli bir CAD sistemi için) veya daha evrensel bir yaklaşımla IGES standartlarında yazılmıştır. Araştırmalar sırasında iki tane CAD/CAM sistemi beraber kullanılmıştır (Personal Machinist ve Mastercam). CAD modülü geometrik modelin görselleştirilmesi için, CAD modülü ise CNC freze tezgahlarında kullanılmak üzere kesme yolu oluşturmak için kullanılır. İşlenmiş parçaların ölçülmesinin sebebi işleme hassasiyetinin belirlenmesidir. Bu da CNC tezgahında özel bir test çubuğu kullanılarak yapılır.

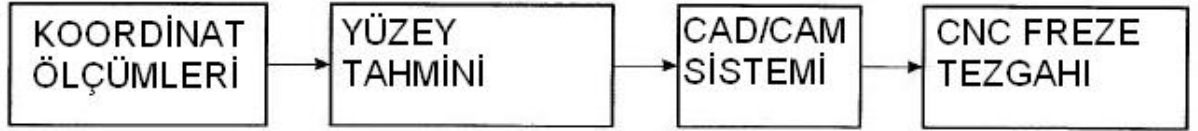
Tersine mühendisliğin yerine getirdiği ana görev, yüzeyi farklı farklı şekillerin yüzeylerinden oluşmuş bir nesnenin yeniden inşa edilmesidir. Unutulmaması gereken nokta şudur ki, nesnenin şekli bir çok değişikliğe gebedir; örnek olarak, testlerden ve malzeme aşınımından

sonra prototipe uygulanan değişiklikler. Öte yandan, teknik dökümantasyon da eksik veya yanlış olabilir (Werner vd., 1997).

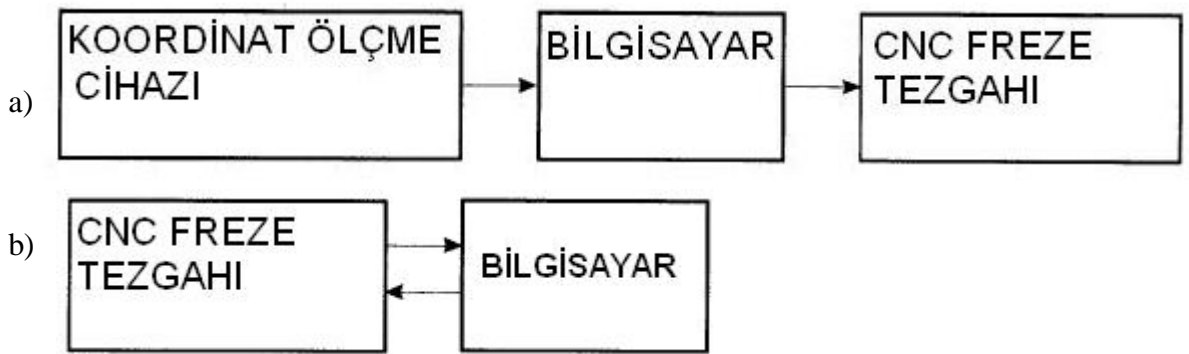
Tersine mühendislik probleminin çözümü prosesin ardışık safhalarından şu tekniklerin uygulanmasını gerektirir:

1. Koordinat ölçümleri- nesne tanımlaması için
2. Yüzey tahmini- nesnenin geometrik modellemesi için
3. CAD/CAM sistemleri- teknik dökümantasyon sağlamak ve NC parça programlaması için
4. CNC freze tezgahı- parçan üretimi için

Bu safhalar arasında düzgün bir bilgi akışı olması tersine mühendisliğin çabuk ve etkili bir performans göstermesi bakımından önemlidir. Bu yüzden, ölçümlerin sonuçları, sonrasında kullanılacak yüzey tahmin programınca tanınabilecek bir formatta hazırlanmalıdır. Yüzey tahmin sonuçları da aynı şekilde CAD/Cam sisteminin kabul edeceği bir formda yazılmalıdır. NC parça programlaması da CNC freze tezgahıyla uyumlu olmalıdır. Bilgi formatlarının birbiriyle uyumlu olması otomasyon derecesini artırır ve prosesi hızlandırır. Bu makalede tersine mühendislik probleminin çözümüne yönelik bir prosedür gösterilecektir (Şekil 22.1).



Şekil 22.1 Serbest formlu yüzeylerin tersine mühendisliğinin bilgi akışı (Werner vd., 1997)



Şekil 22.2 Serbest formlu yüzeylerinin tersine mühendisliğinde gerekli ekipman düzenlemesi

a) CMM (koordinat ölçme aleti) ile b) CMM'siz (Werner vd., 1997)

22.1 Serbest Yüzeylerin Tersine Mühendisliğin Metodolojisi

Aşağıda makalenin yazarlarının tersine mühendisliğin çözümüne ilişkin önerisi yer almaktadır. Prosedür şu safhalardan oluşmaktadır: koordinat ölçümleri, yüzey tahmini, CAD/CAM sistemi kullanarak işleme prosesinin programlanması, üretim hatalarının düzeltilmesi (Werner vd., 1997).

22.1.1 Koordinat Ölçümleri

Karışık şekiller içeren bir nesnenin tanımlanabilmesi açısından koordinat ölçüm tekniği gereklidir. Bu, bir nesnenin tarifi için gerekli bilgileri elde etmenin tek yoludur. Ölçümler ya bir koordinat ölçme aleti ile (CMM) ya da uygun bir ölçme test çubuğu ile desteklenmiş bir CNC freze tezgahı ile alınabilir. Ölçüm sonuçları uygun bir dijital formda alınır, ki bu dijital sonuçlar analog dataların aksine başka bir prodesten geçmek zorunda değildir. Yukarıda da belirtildiği gibi ölçümler bir CNC freze tezgahı ile alınıp direk olarak üretimde kullanılabilir. Bu oldukça karlı bir yaklaşımdır ve özellikle CMM'i olmayan üreticilerin de tersine mühendislik yaklaşımını kullanmalarına (hem de üretim prosesi sırasında gerekli olan makinaların sayısının azaltarak) imkan sağlar (Şekil 22.2). Bütün proses sadece bir makina-bilgisayar sistemi kullanarak yürütüldüğünden, bilgi akışı da böylelikle kolaylaşır.

Ölçümler alınırken tezgahın miline sabitlenmiş bir şekilde iki farklı test çubuğu kullanılabilir:

1. Kontrol sistemine bağlanmamış bir test çubuğu
2. Kontrol sistemine bağlı bir test çubuğu

Yukarıdaki ilk tip test çubuğuna örnek olarak hafif bir sinyal ile desteklenmiş bir temas-test çubuğu verilebilir. Bu test çubuğunun kullanımı basittir fakat manuel olması açısından ölçüm alırken meziyet gerektirir. İkinci tip test çubuğuyla ise (kontrol sistemine bağlı olanla) ölçüm yapma işlemi daha kısa ve daha kolaydır. Parça işleme operasyonu döngülerinin yanısıra ölçme döngülerinin de yapılabilmesiyle makina kontrol sisteminin bütün özelliklerinden istifade edilebilir. Böyle bir test çubuğu ile tanımlanmış bir nesnenin otomatik ölçümü istenen bir basamakta yapılabilir ve ölçüm sonuçları direk olarak kontrol sisteminin hafızasında depolanmaya gönderilebilir (Werner vd., 1997).

Kompleks bir şekli olan bir nesnenin ölçümleri 'top uçlu' bir test çubuğu ile yapılır. Ölçümlerin iki yönde yapılmasıyla $n \times m$ (burada n ve m birbirine dik iki yöndeki ölçüm sayısıdır) elemanlı bir ağın koordinatları oluşturulur. İki ölçüm noktası arasındaki mesafe sabit olabilir ya da ölçülen yüzeyin eğrisine göre adapte edilebilir. Elde edilen koordinatlar test çubuğun top ucunun merkezine karşılık gelir; bu yüzden nesnenin geometrik modelini oluştururken bu noktalar tekrar uygun bir işlemde geçirilmelidir. Bunu yapmanın bir yolu

ölçülmüş noktaların üzerine gerilmiş hayali bir yüzey yaması oluşturmak ve daha sonra oluşan bu yüzeyi top ucun yarı çapı kadar taşıyarak kaçıklık yüzeyine yani nesnenin yüzeyine ulaşmaktır. Bu işlemlerde yama, tahmin programıyla oluşturulurken, kaçıklık yüzeyi CAD sistemi kullanılarak oluşturulur (Werner vd., 1997).

22.1.2 Yüzey Tahmini

Yüzey yamasını oluştururken farklı yöntemler kullanılabilir. Ölçülen bir çok farklı şekil göz önünde bulundurulduğunda, NURBS metodunun en etkilisi olduğu görülmektedir. İki değişkenli (u,v) fonksiyonun matematiksel ifadesi şöyle ifade edilebilir:

$$S(u,v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{ij}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{ij}} \quad (22.1)$$

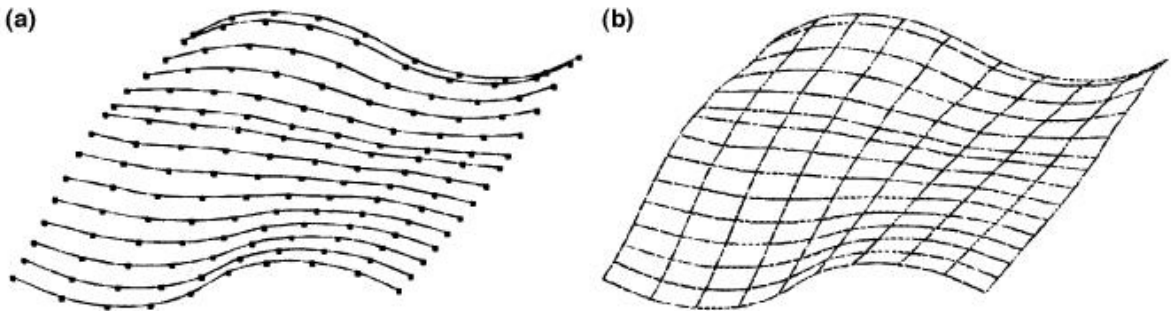
Burada P_{ij} kontrol noktaları, $N_{i,p}(u)N_{j,q}(v)$ B-spline esas fonksiyonları; ve w_{ij} ağırlıklardır.

Spesifik özellikleri nedeniyle bu metodla, çok ölçüm noktasıyla ifade edilmiş kompleks bir şeklin bile belirlenmesi mümkündür. İteratif tahmin, proses parametrelerinin (kontrol noktalarının sayısı) seçimiyle basamak-basamak etkilenir, ta ki istenilen hassasiyete ulaşmaya kadar. Tahmin için iki basamaklı *En Küçük Kareler Yöntemi* kullanılır. İlk basamakta, ölçüm noktalarının koordinatlarına dayanan, ölçüm noktalarının da içine alan bir dizi eğri oluşturulur. İkinci aşamada ise yüzey yaması oluşturulur (Şekil 22.3).

Tahmin hatası, ölçüm noktası ile elde edilen yüzeye dik yönde ölçülen yama arasındaki mesafe cinsinden ifade edilir. Bu mesafe şu şekilde yazılabilir:

$$d = \sqrt{(X_{ij} - S_{ij}^x(u,v))^2 + (Y_{ij} - S_{ij}^y(u,v))^2 + (Z_{ij} - S_{ij}^z(u,v))^2} \quad (22.2)$$

Burada d , tahmin hatası ; X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij} ölçüm noktaları; $S_{ij}^x, S_{ij}^y, S_{ij}^z$ ölçüm noktalarının yüzey üzerindeki karşılıkları, ; ve $i=1\dots n, j=1\dots m$ ölçümün iki yönündeki ölçüm noktalarının sayısıdır.



Şekil 22.3 Yüzey oluşturulması a) eğri serileri ve b) tahmin edilmiş yüzey (Werner vd., 1997)

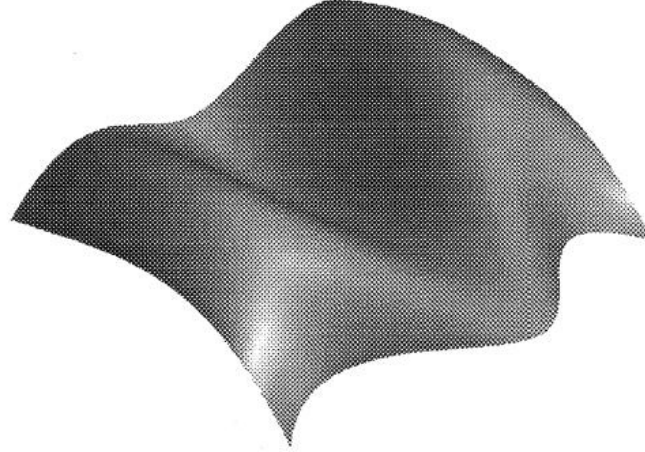
Yüzey tahmini sonuçlarının formatı bir sonraki aşamada kullanılacak olan CAD/CAM sistemiyle uyumlu olmalıdır. Belirli bir CAD sistemi için makro-bildiri formatında veya daha genel bir yaklaşımla IGES standardı kullanılarak yazılabilir. Bu standartta NURBS-tipi yüzeyler 128 numaralı varlık (entiti) numarası ile ifade edilir. Bu standart bütün CAD/CAM sistemlerince tanınan ve en sık kullanılan standarttır. IGES standardında yaratılan bu dosya, nesnenin yüzey modelinin yaratılması için gerekli bilgileri içermektedir. aşağıda bu bilgiler verilmiştir:

1. Kontrol noktalarının parametrizasyonun iki farklı yönündeki sayısı
2. Parametrizasyonun iki farklı yönündeki B-spline esas fonksiyonlarının dereceleri
3. Düğüm noktaların (nod) vektörleri
4. Tüm kontrol noktalarındaki ağırlık katsayısı değerleri
5. Kontrol noktalarının koordinatları

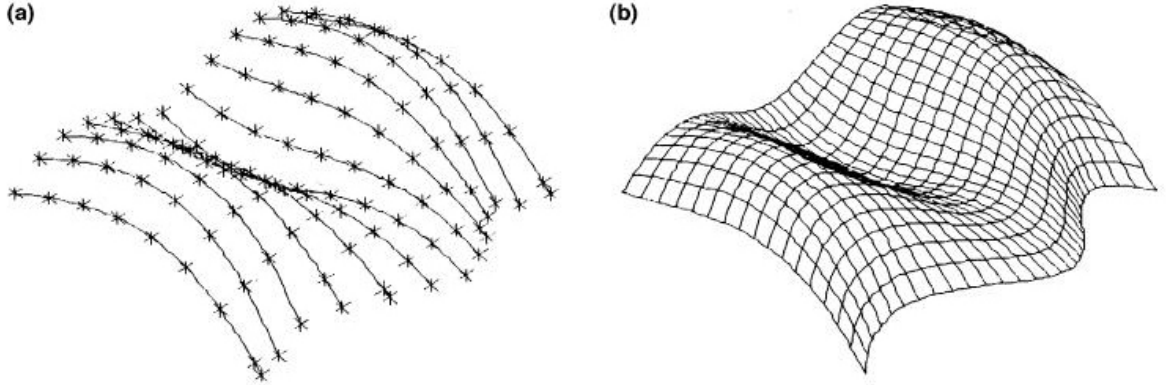
22.1.3 NC Parça Programlaması ve Hata Düzeltmesi

Tahmin sonuçları daha sonra CAD/CAM sistemine aktarılır ve koordinat ölçümleri ile elde edilen tahmin yüzeyi görselleştirilir. Bu yüzey test çubuğunun ucundaki topun merkez koordinatlarına denk gelmektedir. Bundan sonra yüzey topun yarı çapı kadar kaydırılarak nesnenin gerçek yüzeyini belirten kaçıklık yüzeyi elde edilir. Böylece, üretilecek nesnenin geometrik modeli elde edilmiş olur ve bu aynı zamanda CNC freze tezgahı için yazılacak olan parça programının da temelini oluşturur. NC parça programı şunlar göz önünde bulundurularak meydana getirilir: nesnenin geometrik modeli, belirtilmiş parça işleme parametreleri ve son yüzey işleme metodu. Parça üretimi aşamasında üç farklı aşamadan söz edilebilir: kaba işleme, profil verme ve son yüzey işleme. Kaba işleme ve profil vermeden sonra parçanın üzerinde düzgün olarak dağılmış bir fazlalık kalır ve işte bu durumda son yüzey işlemesine geçilir. Koordinat ölçümlerinin bir kez daha yapılması ve işleme hassasiyetinin değerlendirilmesi için cihazın miline ölçüm test çubuğu takılır. Elde edilen sonuçlar yukarıda belirtilen işlemlerden geçirilir. İşleme hatalarını da bünyesinde bulunduran ve gerçek işlenmiş parça yüzeyini tanımlayan bir yüzey yaması elde edilir. Yüzey işleme hatalarının dağılımı, yamanın teorik olarak elde edilen yüzey ile karşılaştırılmasıyla bulunur. Teorik olarak elde edilen yamanın yanı sıra hata dağılımının da bilinmesi, son yüzey işleme programına da uygulanabilecek bir şekilde nesnenin yeni bir yüzey modelini yaratabilmemizi sağlar. Böylece, işleme hataları kompanse edilir ve son işleme hassasiyeti önemli ölçüde artar. Yukarıda anlatılan prosedür, şekil 22.4 'te gösterilen nesnenin yeniden yapılandırılması işlemi ile bir testten geçirilmiştir. İlk olarak, TNC360 HEIDENHEIN kontrol sistemi olan bir CNC

freze tezgahı kullanılarak koordinat ölçümleri yapılmıştır. Top uçlu RENSHAW JPC11 test çubuğu kullanılmıştır.



Şekil 22.4 Yeniden yapılandırılmış yüzey (Werner vd., 1997)

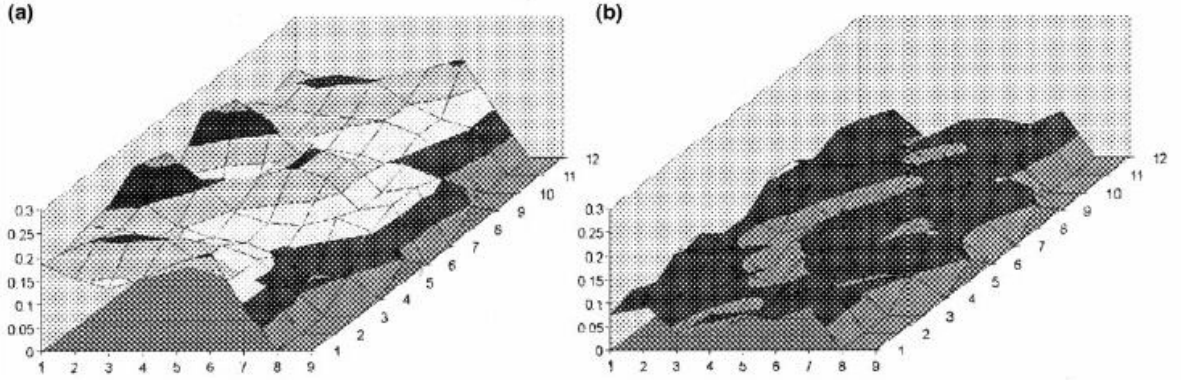


Şekil 22.5. Yüzey tahmini a) eğri serileri ve b) tahmin edilmiş yüzey (Werner vd., 1997)

Parça direk olarak freze tablasına monte edilmiştir. Cihazda takılı olan aletin hareketini kontrol eden elektronik arabanın özellikleri kullanılarak manuel olarak besleme yapılmıştır. Ölçüm adımı iki farklı yönde olmak üzere kontrol sistemi aracılığıyla belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları doğrudan kontrol sisteminin hafızasında saklanmıştır. Bütün ölçümler yapıldıktan sonra sonuçlar, input olarak kullanılmak üzere yüzey tahmin programına aktarılmıştır. Makalenin yazarları tarafından yazılan program yüzey tanımlaması için NURBS metodunu kullanmaktaydı. Sonuçlar, *En Küçük Kareler Yöntemi* kullanılarak elde edilmiştir. Önce ölçüm noktalarında eğri serileri elde edilmiş, daha sonra bu eğrilerin üzerine yüzey yaması gerdirilmiştir. (Şekil 22.5) (Werner vd., 1997)

Tahmin sonuçları, IGES standartlarında yazılmıştır. Sonra bu dosya CAD/CAM sistemine aktarıldı (bu çalışmada Mastercam) ve yeniden yapılandırılacak nesnenin şeklini temsil etmek üzere test çubuğunun top ucunun yarı çapı kadar (3mm) kaydırılmak suretiyle kaçıklık yüzeyi

oluşturulmuştur. Nesnenin bu geometrik modeli daha sonra yazılacak NC parça programlarının temeli olarak kullanılmıştır. 8 mm. çapında küre uçlu bir freze çakısı ile profil verildikten sonra yüzeyde düzgün olarak dağılmış bir pay bırakılmıştır. Bu noktada cihazın miline test çubuğu takılarak kontrol ölçümleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak, parçanın gerçek şeklini belirtmek üzere (işleme hatalarıyla beraber) bir yüzey yaması oluşturulmuş ve bu yamanın teorik olarak elde edilen yüzey yaması ile karşılaştırılması ile de işleme hatası dağılımı elde edilmiştir. Hata dağılımının ve teorik yüzeyin göz önünde bulundurulmasıyla yüzey, işleme hatalarını kompanse edecek şekilde modifiye edilmiştir. Böylece son yüzey işleme programında kullanılacak yeni ve düzeltilmiş bir yüzey yaması elde edilmiştir. Son yüzey işlemeden sonra işleme hatalarının hissedilir derecede azaldığını göstermek üzere bir kez daha kontrol ölçümleri yapılmıştır (Şekil 22.6) (Werner vd., 1997).



Şekil 22.6 İşlenmiş yüzey üzerindeki hata dağılımı, a) düzeltmeden önce b) düzeltmeden sonra (Werner vd., 1997)

23. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TERSİNE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI :

Henry Ford otomotiv endüstrisine montaj hattını adapte ettiği zaman daha önceleri tek renk siyah olarak sunulan otomobilleri artık tüketiciler herhangi bir renkte alabilir hale geldiler. Bir yüzyıl sonrası ise otomotiv endüstrisi, mümkün olan en yüksek kaliteyi yakalayabilen, kişisel beğeni ve ihtiyaçları karşılayan araçlar ve kitlesel özel üretim ekonomisi sayesinde artık tüketicilerin arzularını karşılayabilir hale geldi (Fu, 2004).

Pazardaki farklı ürüne karşı duyulan talep otomobil üreticileri için tersine mühendisliği (Reverse Engineering) montaj hattının kitlesel üretime yaptığı etki kadar önemli bir hale getiriyor. Modern otomotiv endüstrisi tersine mühendisliği 6 anahtar sebepten dolayı kullanmaktadır:

- CAD yazılımlarında modellenmesi zor olan serbest formların oluşturulması
- Data aktarımlarında çıkabilen engelleri aşmak

- Bir CAD yazılımı ile tasarlanması imkansız veya çok zor olan karmaşık geometriye sahip 3D modelleri oluşturmak
- Orijinal CAD modeli ile işlenen kalıp veya üretilen parça arasındaki uyumsuzlukları gidermek
- Ergonomik tasarım, retro tasarım, aerodinamik gibi alanlarda yenilikleri hızlandırmak
- Bilgisayar destekli denetim (CAI, Computer Aided Inspection) ve mühendislik analizleri için kalite ve performansı sağlamak

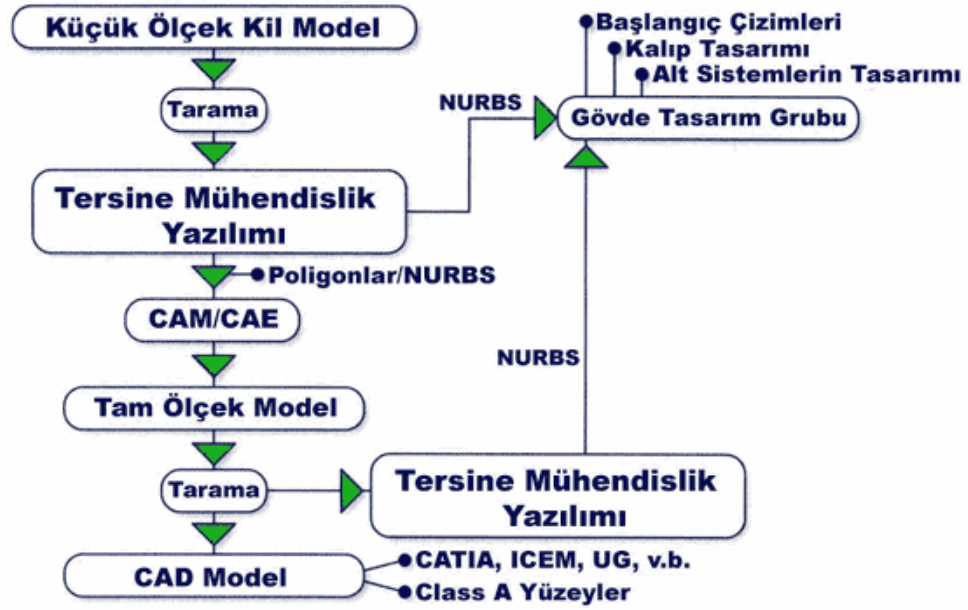
23.1 Otomotiv Endüstrisinde Tersine Mühendisliğin Yeri

Tersine mühendislik terimi, ilgili teknolojilerin haksız rekabet yoluyla orijinal bir tasarımın illegal olarak kopyalanması amacıyla da kullanılıyor olmasından dolayı negatif yönde etkilenmiştir. Bugünün üretim dünyasında ise tersine mühendislik kavramı yeni ürünlerin üretilmesi ve eski ürünlerin yeni versiyonlarının tasarlanması için kullanılan bir uygulama olarak geçer. Burada kullanılan "Tersine" (Reverse) terimi dijital ve fiziksel dünyalar arasında yapılan data aktarımının çift yönlülüğünden gelmektedir (Fu, 2004).

Bugün yapılan tersine mühendislik uygulamaları sayesinde otomobil üreticileri üretim prensiplerini tasarım ile bütünleştirerek zamanı kısaltırken kaliteyi arttırıyor, üretim masraflarını düşürüyorlar ve böylece kârlarını yüksek miktarlarda arttırıyorlar. Tersine mühendislik uygulamaları ile Japonya'da zamandan nasıl tasarruf edildiğini ve Avrupa'da otomobil üreticilerinin daha yüksek kaliteyi daha kısa zamanda nasıl elde ettiklerini örneklerle görebiliriz (Fu, 2004).

Geleneksel CAD/CAM/CAE yöntemlerini kullanarak tam ölçekli bir otomobili tamamlamak için üç ay gibi bir süre gerekiyor. Bu süreyi üç güne indirmeye çalışan Japon otomobil firmaları için bu kabul edilebilir bir süre değil. Hızlandırılmış bir süreç yeni bir çalışma akışı ile sağlanabiliyor. Bu süreç tasarımcının otomobil gövdesini dörtte bir ölçeğinde kilden çalışması ile başlıyor. Küçük ölçekli bu model bir 3D optik tarama cihazı ile ölçülüyor. Bu tarama cihazı ile birçok parçadan oluşan yoğun 3D nokta bulutu dataları elde ediliyor. Bu nokta bulutu verileri hizaya getirilip birleştiriliyor ve yoğunluğu da uygun seviyeye getirilerek tek bir nokta bulutu elde ediliyor. Tersine mühendislik yazılımları yardımıyla, kafes (mesh) yapısında poligon model veya NURBS yüzeyler elde edilebilir. Poligon modeller mühendislik hesaplamaları için analiz (FEA, CFD) yazılımlarına ve hızlı prototip imalatı için otoinşa cihazlarına (STL formatında) veri aktarmak için kullanılıyor. Tersine mühendislik yazılımları yardımıyla elde edilen NURBS yüzeyler de CAD/CAM yazılımlarına (IGES formatında) veri aktarmak için kullanılmaktadır (Fu, 2004).

Elde edilen bu dijital model güncellemeler için yüzey tasarım grubuna ve ilk imal kısıtlamalarını hesaplamaları için üretim grubuna gönderiliyor. Üretime gidecek dijital model tam boyutuna büyütülüyor ve kil veya başka bir malzemedен işleniyor. Yine optik tarama cihazı ile işlenen tam boyuttaki model taranıyor. Buradan elde edilen yoğun nokta bulutu üretilen fiziksel model ile işlenen dijital model arasındaki toleransı doğrulamak için kullanılıyor. Eğer bu değer tolere edilebilir ise tasarımcılar tersine mühendislik yazılımını tam boyuttaki CAD yüzeyini çıkarmak için, geleneksel CAD yazılımını da fonksiyonel tasarımını yapmak için kullanıyorlar. Eğer değer tolere edilebilir değil ise kil model modifiye ediliyor ve tarama, modelleme, kıyaslama aşamaları tekrar ediliyor ve bu aşamalar, tolere edilebilir ve tasarımda istenen değerler elde edilinceye kadar sürdürülüyor.



Şekil 23.1 Japon otomotiv firmaları tarafından kullanılan tersine mühendislik iş akışı (Fu, 2004)

Sonuç olarak mühendislik grubu tarafından oluşturulan CAD model ve gövde tasarımı grubu tarafından oluşturulan yüzey modeli birleştiriliyor ve "golden" (altın) model denen geriye kalan üretim aşaması için gerekli model elde ediliyor.

Bu yeni tersine mühendislik yöntemi ile tasarım, mühendislik, üretim departmanları içindeki fiziksel ve dijital dünyalar arası boşluk kapanmış oluyor. Aynı dijital model üzerinde çalışma ve bunu üretilen model ile kıyaslama sayesinde daha hızlı şekilde tasarım değişiklikleri yapılabilir. Bu şekilde otomobil üreticileri aynı maliyette sayısız ürün çeşitliliği ve opsiyonları elde edebiliyor, farklı ürünler için yenilikçi tasarımlar yapabiliyorlar.

23.2 Sürekli Kalite İyileştirilmesi

Avrupa'da otomobil üretiminde liderlik yapan bir firma için tersine mühendislik motor iyileştirme sürecinde çok önemli bir rol almaktadır. Bu firma yılda yaklaşık 600,000 adet motor imal eden fabrikasında bilgisayar destekli denetim (CAI) dalında yeni bir uygulama olarak tersine mühendisliği tamamlayıcı rolde kullanmaktadır. Kalite bölümünde 900'ün üzerinde uzman üretim bandını ve operasyon ünitelerini denetlemektedir. Krank kutusu, krank şaftı, bağlantı kolu, silindir kafası gibi motor bloğunun elemanları firmanın hassas ölçüm laboratuvarlarında noktasal kontroller ile motor parçaları için gerekli milimetrenin yüzde biri değerlerindeki toleransları tutup tutmadığı kontrol edilmektedir.



Şekil 23.2 Fiziksel parçanın taranması ile elde edilen otomobil emiş türbini ve orijinal CAD referans modeli (Fu, 2004)

Bu küçük tolerans değerleri çerçevesinde hareket etmek için firma koordinat ölçüm cihazlarını (CMM) kullanarak parçaları inceleme yöntemine geçti. CMM cihazları parça üzerinde örnek noktaların koordinatlarını çıkarır. Bu yöntem yavaş gerçekleşiyor ve sac parçalar gibi kompleks yüzeyli parçalarda yeterli derecede hassas bir karşılaştırma yapılmasına olanak vermiyor. Sonuçlar 2 boyutlu geometri ölçülendirmesi ve tolerans değerleri şeklinde kayıt ediliyor, ve direkt olarak 3D CAD model ile arasındaki bağı raporlayamıyordu.

CAI prosesi ile saniyeler içinde dokunmasız (non-contact) tarama cihazları kullanılarak milyonlarca nokta elde edilebilir. RE prensiplerini kullanan bir yazılım ile bu bilgi kullanılıp otomatik olarak CAD model ile kıyaslanabilecek fiziksel parçanın dijital verisi elde edilir. Bu yöntem ile tasarım, üretim ve kalite kontrol bölümleri arasında karşılıklı etkileşime sahip (interactive) bir bağ oluşuyor (Fu, 2004).

Poligon model üzerindeki tırtıklı kenarlar, delikler ve yüzeyler yumuşatılabilir, ve model üzerindeki gereksiz noktalar atılabilir. Tamamlanan dosyalar birleştirilebilir, hizaya getirilebilir ve STL formatında kayıt edilebilir. Bu STL model CAI yazılımına aktarılarak

mühendisler tarafından otomatik olarak hizaya getirilip orijinal CAD model arasındaki parçanın fonksiyonelliğini etkileyebilecek geometri değişimleri analiz edilebiliyor (Fu, 2004).

CAD datası ve fiziksel parça arasındaki küçük farklar bile performans kusurlarına ve hatalı mühendislik analizlerine yol açabileceğinden otomobil üreticileri için tolerans değerleri 0.02 - 0.03 mm arasında değişmektedir (insan saç telinin kalınlığından daha küçük değerler). Eğer sonuçlar orijinal parçadan farkı bu değerlerin üzerinde gösteriyor ise parça üzerinde yeniden çalışılması için geri gönderiliyor.

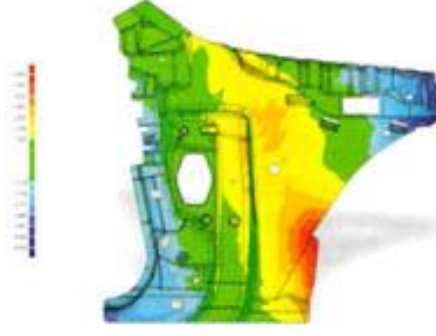
CAI yazılımı ile parçalar arasındaki farklar görsel resimler ve numerik sonuçlarla birlikte raporlar otomatik olarak oluşturuluyor. Raporlar HTML, PDF, Microsoft Word, Excel ve çeşitli grafik formatları gibi birçok standart formatta kayıt edilebiliyor. Bu raporlar aynı zamanda tedarikçiler, kalite kontrol mühendisleri ve firma içerisindeki diğer bölümlere veriliyor (Fu, 2004).

Avrupalı bu otomobil üreticisi tersine mühendislik üzerine kurulu bu CAI prosesi sayesinde zamandan kazanmasına ek olarak mühendislik performansının ve ölçüsel doğruluğu sağlaması ile kaliteyi arttırması konusunda Japon meslektaşları ile aynı görüşte birleşiyor. Üretici firmaya göre tasarım mühendislerinin parça kalitesi hakkında ürün yaşam çevrimi içerisinde daha erken süreçlerde daha iyi bir bilgiye sahip olması sayesinde firma maliyetleri düşürebiliyor ve son kullanıcının eline daha kaliteli bir ürün geçmiş oluyor (Fu, 2004).

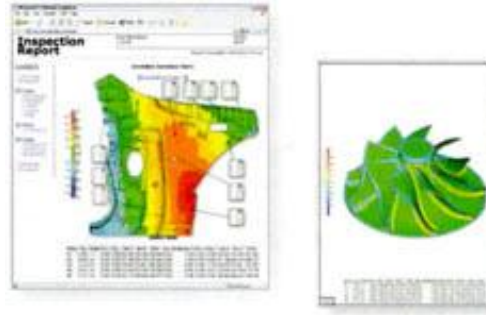
23.3 Dijital Ortamda Birleşme

Otomobil üreticileri için ulaşılmaması zor bir amaç bütün mühendislik aşamaları ve tedarikçileri arasında konsept fazından üretim ve servis fazına kadar bütün aşamalarda tek bir dijital model kullanılmasıdır. Geleneksel CAD yöntemleri otomotiv endüstrisinde birçok başarılar sağlamasıyla birlikte hatalara da sebebiyet vermiştir. Otomobil stilistleri halâ kil model üzerinde çalışmanın zevkini tercih ediyorlar. Kontrolörler bu çalışmalardan elde edilen verilerle katı modeller arasındaki kıyaslamayı yapmak için çabalyorlar. CAD sistemleri arasındaki farklılıklar tasarım ve üretim prosesleri arasındaki sürekliliği bozuyor (Fu, 2004).

Geleneksel CAD, matematiksel sürekliliği (continuous) olan eğri ve yüzeyler üzerine kuruludur. Bu etkili bir teknik olmasına rağmen bugünkü lider CAD sistemlerinde görüldüğü gibi bazı sınırlamaları vardır. Şu ana kadar hantal olan bu proses, emeğin ve el işçiliğinin yoğun olduğu koordinat ölçüm cihazları (CMM) ile gerçekleştiriliyordu (Fu, 2004).



Şekil 23.3 Sac metal parçanın taranması ile elde edilen model ile CAD referans modelin kıyaslanması sonucundaki farkları gösteren renkli harita (Fu, 2004)



Şekil 23.4 Sac metal bir parçanın ve bir emiş türbininin bilgisayar destekli denetleme sonuçlarını (CAI) gösteren HTML ve PDF formatındaki raporlar (Fu, 2004)

Son 10 yılda geliştirilen yeni hesaplama algoritmaları sayesinde artık bütün nokta bulutu poligon bir modele dönüştürülebilir ve hatta parametrik hale getirilebilir. Bu yeni teknolojiler gün geçtikçe global ölçekte kabul edilen, otomatik ve klasik (manuel) yöntemlerin yerini alan bir hale geliyor. Daha güçlü makineler, daha büyük bilgisayar hafızası ve hızlı, dokunmasız (non-contact) tarama cihazları sayesinde parçalı (discrete) geometrinin otomobil tasarımı, üretimi ve kalite kontrolünde giderek önemi artıyor (Fu, 2004).

Buradaki gerçek güç, sürekli (continuous) ve parçalı (discrete) matematik modeller arasındaki bir yarışma değil, ikisinin arasında bir birleşme meydana gelmesidir. Buradaki anahtar ise bu iki uygulamayı doğru yerlerde birbirini arasında geçişler yaparak başlangıç noktasının dijital ya da fiziksel model olmasından bağımsız olarak kullanmaktır. Bugün dijital ve fiziki dünyaların birleşmesi sayesinde hem mühendislik hem de tersine mühendislik teknolojileri ürünlerin tasarım, üretim ve pazarlama yöntemlerini temelden değiştirmelidir. Dünyanın dijital kopyasını oluşturmayı, dijital bir resmi çekmek kadar kolay bir şekilde yapabilirsek üretimde 21. yüzyılın en büyük sıçraması gerçekleştirilebilir. Bu, otomotiv dünyasında tüketicinin arzu ettiği bütün istekleri karşılayabilme amacının başarılması anlamına gelmektedir (Fu, 2004).

24. KALİTE :

Kalite, Durakbaşı (2005) tarafından , var olan karakteristiklerin tamamıyla talepleri hangi ölçüde karşıladığı olarak tanımlanmaktadır.

Kalite kontrolü ise , kalite taleplerinin yerine getirilip getirilmediğinin kalite yönetimi tarafından denetlenmesidir (Durakbaşı, 2005).

Serbest yüzeylerin tasarımında kalite değerlendirilmesi için yüzeylerin pürüzlülüğü, şekil ve konum sapmaları ele alınır ve kontrol edilir. Ayrıca kalite kontrolünde kullanılan ve serbest yüzeylerin tasarım sürecinde önemli rol oynayan CMM'lerin CAQ (Computer Aided Quality) entegrasyonu ile serbest yüzeylerin kalite kontrolü sağlanır. CAD ortamında tasarımı tamamlanan serbest yüzeyli iş parçasının öncelikle bir prototipi üretilir ve bu prototip üzerinde CMM (Coordinate Measuring Machine) tarafından yapılan *tarama (scan)* işlemi ile koordinat ölçümleri yapılır. Elde edilen koordinat verileri karşılaştırılarak hataların yerleri tespit edilir ve gerekli görülen düzenlemeler yapılır (Durakbaşı, 2005).

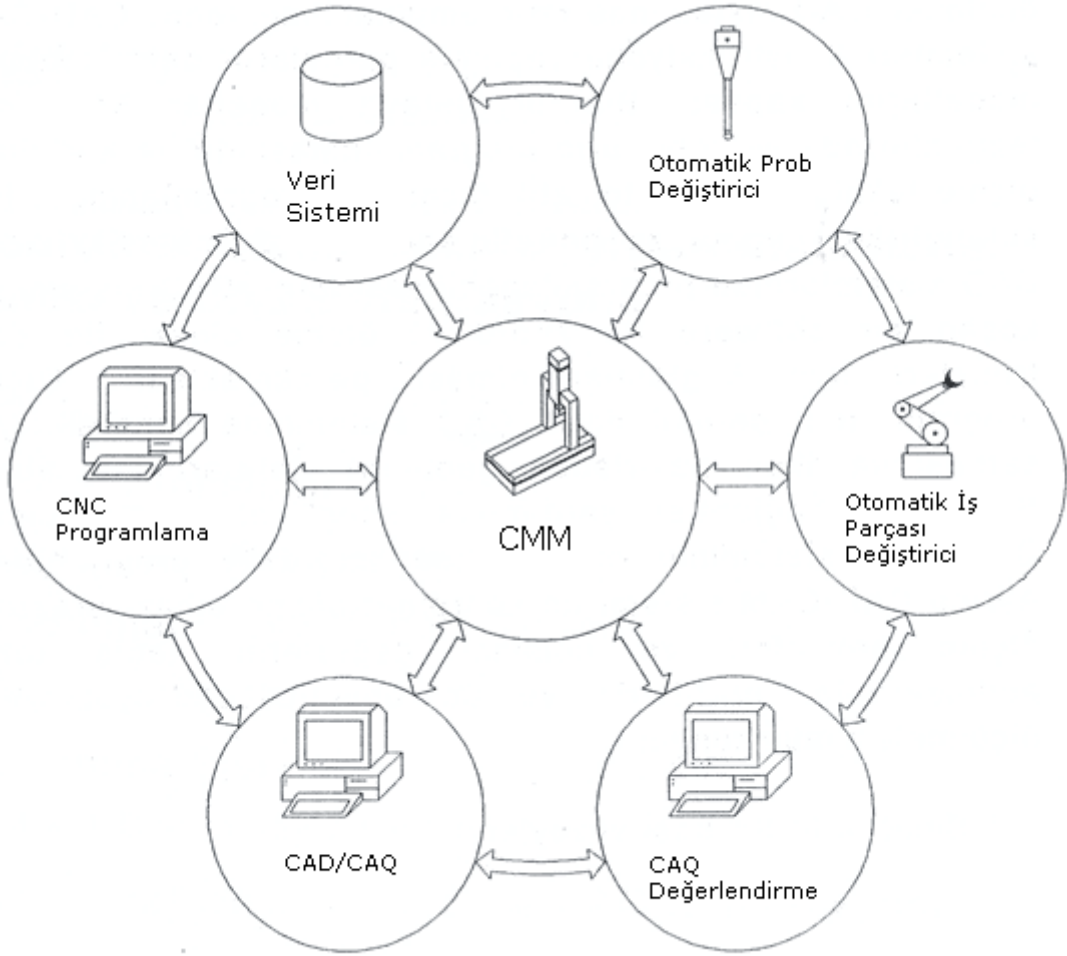
25. CMM VE CAQ ENTEGRASYONU :

Ölçme robotu olarak da adlandırılan CNC kontrollü koordinat ölçme cihazı kullanımıyla üretilen tümleşik proses ve kalite kontrolü için, yüksek otomasyona sahip, esnek bir denetleme sistemi kurmak mümkündür. Koordinat ölçme cihazının modern üretime entegrasyonunun başlıca nedenini, çabuk ve hassas ölçme kabiliyeti, esneklik, geniş alanlı ve ekonomik kullanım gibi özelliklere sahip olması teşkil etmektedir (Durakbaşı, 2005).

Koordinat ölçme cihazının üretime entegrasyonu ilk olarak, üretimde materyal ve bilgi akışının ayrı bir komponenti anlamına gelmektedir. Bu tür bir entegrasyonun hedeflerini, ürün işleme sürecinin analiz edilmesiyle üretimde iyi ve kaliteli ürün oranının artırılması, ıskarta üretimin sebeplerinin zamanında teşhis ve tespit edilip gereken düzeltmelerin yapılmasının sağlanması ve üretim sistemleri ile ölçme tekniği arasındaki kalite kontrol devresi halkasının kapanması oluşturmaktadır (Durakbaşı, 2005).

Koordinat ölçme cihazının modern üretime entegrasyonu, iş parçalarının palet transport sistemleri yardımıyla işleme ünitelerine gönderilmelerinde olduğu gibi, otomatik parça akışına bağlanması ve tüm üretim sistemlerinin zamanlamasına ayak uydurabilecek şekilde ölçme hızının ayarlanması amacıyla sistem komponentlerinin konstruktif olarak şekillendirilmesini gerektirir. Ölçme cihazı, materyal akışına ve manipulatörlere bağlanabilmesi için programlanabilen kontrol sistemleri (SPC veya PC : Programmable Control) ile iletişimi gerçekleştirecek şekilde hazırlanmalıdır (Durakbaşı, 2005).

Koordinat ölçme cihazının bilgisayarı, verilerin transferi ve komut alışverişini sağlamak üzere bir master computere bağlanmaktadır. Modern üretimde idare ve kumanda merkezi, tüm fonksiyon akışının kontrol, koordinasyon ve denetlemelerinin yapıldığı yerdir. Koordinat ölçme cihazının bilgisayarında iki birimden oluşan bir bilgisayar bağlantı programı yerleştirilmektedir. Bu sayede format değiştirici yardımıyla verilerin bilgisayar tarafından kullanabileceği şekilde formatların değiştirilmeleri gerçekleştirileceği gibi terminal emulâtörü ile de veri transferi sağlanır. Veri transferi genellikle seriel arabirim vasıtasıyla (V-24, RS-232) tokalaşma metoduyla (handshake) veya LAN üzerinden yapılmaktadır (Durakbaşı, 2005).



Şekil 25.1 CMM veri alış-verişi şeması (Durakbaşı, 2005)

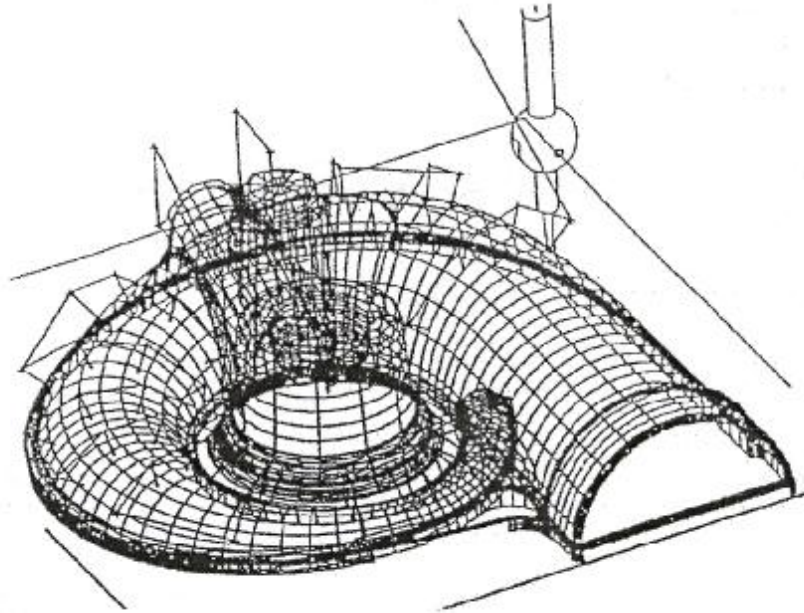
25.1 Otomatik Ölçme

Bilgisayar yardımıyla parçaların otomatik olarak ölçülmeleri, koordinat ölçme cihazının bilgisayarında, ayrı bir terminalde ya da CAD sistemlerinde programlanmak suretiyle

gerçekleştirilmektedir. Otomatik ölçme için programlama, koordinat ölçme cihazını programlama süresince bloke etmesinin üretim sürecine negatif etkisinden dolayı ayrı bir terminalde ölçme cihazından bağımsız olarak hazırlanır (Off-line programming). Bunun dışında geliştirilen parametre tekniği de ölçme işlemlerinin hızlı bir şekilde programlanmasını sağlamaktadır (Durakbaşı, 2005).

Yarı ve %100 kontrolün yapıldığı ölçümlerde, ölçülen parçaların otomatik olarak değiştirilmesi ile problemlerin ölçme işleminin aralıksız olarak sürdürülmesi böylece CMM'in otomasyon derecesini arttırmak amacıyla, manipulatörler cihazlara entegre edilmektedirler.

Son gelişmeler sayesinde, bilgisayar ağları bünyesindeki otomatik ölçümler CAD sistemlerinde programlanabilmektedir. CAD-CAM sistemleri konstrüksiyonu hazırlanmış parçaların detaylı şekilde modellerini kapsar (Şekil 25.2). Bu tür detaylı modeller, NC üretim tezgahlarında ve robotların programlanmasında ve koordinat ölçme tekniğinde otomatik ölçmenin programlanmasında kullanılırlar. Bilgisayar kontrollü koordinat ölçme cihazlarını CAD sistemlerinde programlayabilmek amacıyla gerekli data, CAD sisteminde konstrüksiyon safhasında hazırlanan geometri datalarından alınır. Bu data transferi CAD sistemlerinde çalışan bir yazılım yardımıyla gerçekleştirilir. Bilgisayar bağlantısı yardımıyla CAD/CAM sistemi ile koordinat ölçme cihazı arasındaki ölçme neticeleri ve nominal değerlerin değiş tokuş edilmeleriyle, profillerin ve üç boyutlu eğri yüzeylerin ölçümleri mümkün hale gelmiştir.



Şekil 25.2 Katı model (Durakbaşı, 2005)

26. KAPORTA ÖLÇÜM SİSTEMLERİ :

26.1 Ölçme Sistemleri Uygulamaları

Otomobil kaportalarını ve onların kesilmiş elemanlarını ölçme işlemi fikstür kontrolleri bulunan CMM 'ler tarafından gerçekleştirilir. Bu işlem için kullanılan CMM 'ler daha önce de belirtildiği gibi hem mekanik hem de optik olabilirler.

uygulama ve ölçme maksadının genişliğine bağlı olarak özel ölçme sistemlerinin kullanılma şekli belirlenir. Genellikle, imalatçılar CMM 'leri daha geniş, bir çok boyutsal kontrolü gerektiren karmaşık parçalarda kullanmaktadırlar.

Sabit sistemleri çevresel kontrollü odalarda olan CMM 'ler en yaygın olanlardır, ayrıca en fazla mantığa ve tekrarlanabilirliğe sahiptir.

İlave boyutsal kontroller programlama gerektirmediğinden dolayı portatif CMM'ler sabit CMM'lerden daha esnektir. Çünkü prosese göre hareket ettirilebilirler. Bu esneklik imalatçıların presleme işlemi öncesinde, problem çözümüne izin vermektedir. Bazı imalatçılar atölyede bu tür CMM 'lerden montaj-takım konumlayıcılarını ölçmek amacıyla faydalanmaktadırlar.

Fakat portatif CMM 'lerde geniş parça örneklerinin parça karakteristiklerinin kesin konumlarının ölçülmesinde problemler oluşmaktadır..

Kaporta imalatında kullanılan diğer bir koordinat ölçme cihazı tipi de optik versiyondur (OCMM). Bu cihazların tipik özelliği olan, ölçüm süresini düşürebilme özelliğinden dolayı, imalat hızlarında on-line ölçüm için kullanılmaktadır. OCMM 'ler karmaşık şekilli montajların, CMM kontrol odasında transport genişliği boyunca, taşınması problemini de ortadan kaldırmaktadırlar. Bu kadar avantaja sahip olan OCMM 'lerin (Optical Coordinate Measuring Machine) en büyük dezavantajı, yüksek tamlik sağlayamaması ve ölçme tesirleridir.

İmalatçılar OCMM'lerin verilerini CMM verileri ile optimize için, gerçek ölçüm göstergelerinin ortalama sapmalarını programlamaktadırlar.

OCMM'ler ile ilgili diğer bir potansiyel problem, parça konumlamadır. Bazı OCMM kullanıcıları parçaları konumlayıcı delikleri ve yüzeyleri ölçerek matematiksel olarak sıraya koymaktadır. Daha sonra parça karakteristiklerini bu veri tarzına göre referanslanmaktadır.

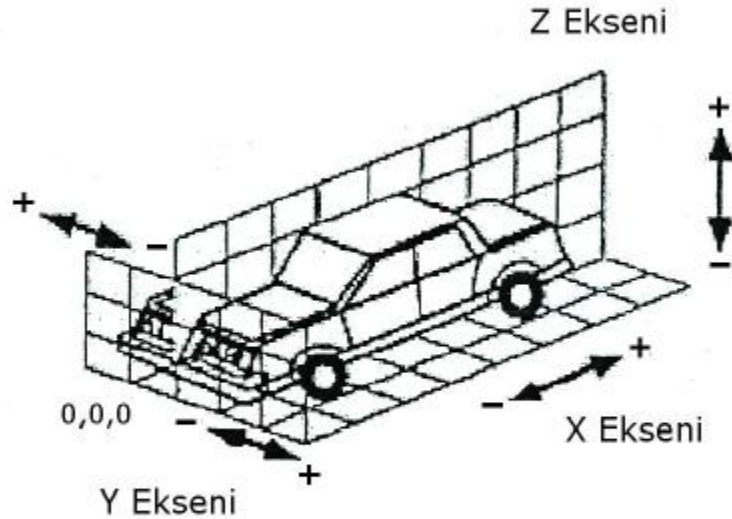
Maalesef matematiksel sıralama bazındaki parça ölçümleri çoğu zaman, fikstür ölçümlerinden oluşan konumlayıcı delik çarpılmalarından veya ağırlık etkisiyle parça hareketinden dolayı oluşan problemler nedeniyle farklıdır.

Genellikle, OCMM'ler çok pahalı oldukları ve pratik olmadıkları için geniş alanlı presleme uygulamalarında pek kullanılmamaktadırlar. Bunun yanında CMM'lerin ise, uzun proses zamanından dolayı, ufak boyutlu preslenmiş parçalar için pratik olmadığı düşünülmektedir. CMM 'in proses zamanı, özel kontrol odasına taşınmayı, ölçme cihazının ölçüm için müsait olmasını beklemek için geçen zamanı, kuruluş zamanını ve makine döngü zamanını içermektedir. Uzun proses zamanı, proses kontrolü verimliliğini azaltmakta ve ölçme bilgisi geri beslemesini geciktirmektedir.

Bir çok imalatçı preste şekillendirilen parçaların proses kontrolü için sıkı kontrol fikstürlerine güvenirler. İmalatçıların bunları presin yanına veya alt montaj hatlarına konumlandırabilmesi, fikstür kontrolünün avantajlı olduğunu göstermektedir. Böylece proses performansında hızlı geri besleme sunulabilmektedir. İmalatçılar için kontrol fikstürleri kullanmanın amacı düşük maliyet ve yüksek ölçme kapasitesidir. Fakat kontrol fikstürleri genellikle CMM taşıyıcı fikstürlerinden daha yüksek maliyetlidirler. Ölçme kapasitesi şartlarında, kontrol fikstürlerinin koordinat ölçme sistemlerinden daha az tamlık ve daha az tekrarlanabilirlik içerdiği sayılmaktadır.

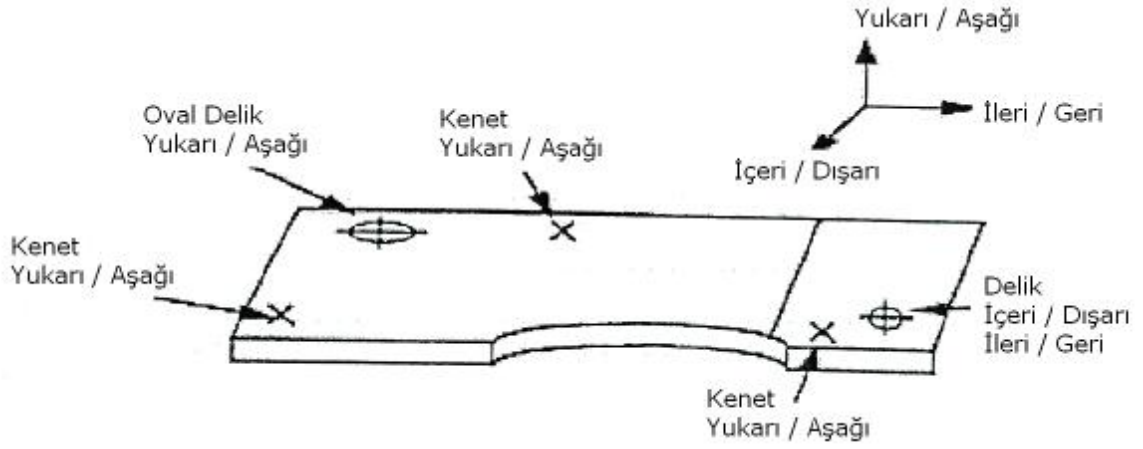
26.2 Parça Konumlama Sistemi

Ölçme sistemlerinin ana elemanı parça referansı veya konumlama sistemidir. Hemen hemen bütün parça ölçümleri ölçme teknolojisi dikkate alınmayarak, geometrik boyutlandırma ve toleranslandırmada tarif edilen parça veri planına ilişkindir. Bu veri planları kaporta koordinatlarını kullanarak bütün parça yüzeyleri ve unsurları için referans sistemi sunmaktadır. Şekil 26.1 'de tipik kaporta koordinat sistemini açıklanmaktadır. Bu sistem, geleneksel X,Y ve Z yön tayininin ön taraf / arka taraf (X), iç / dış (Y) ve üst / alt veya yüksek / alçak (Z) şeklinde belirlenmesi ile oluşturulur. Arabanın 0,0,0 noktası ön, alt, merkez pozisyonudur.



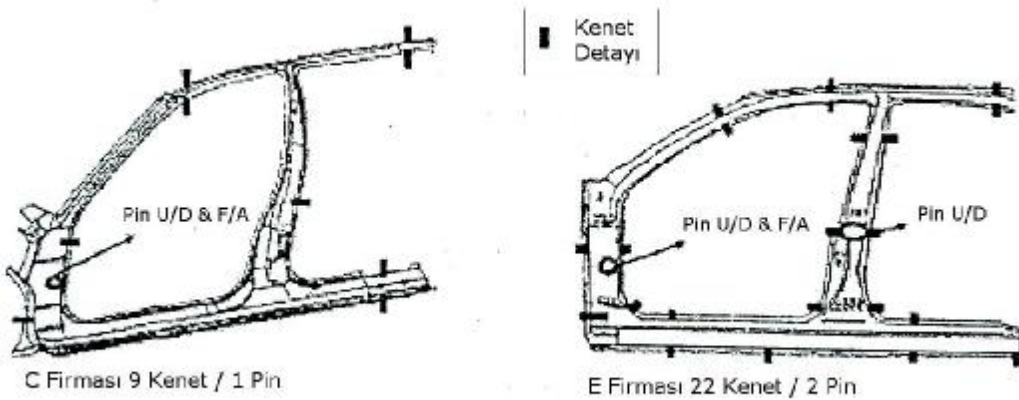
Şekil 26.1 Otomobil kaportası koordinat sistemi (Görür, 2003)

Taşıyıcı fikstürler ölçme sistemlerinde ve montaj operasyonlarında kullanılmaktadırlar. Genellikle parçayı pozisyonlamak için 3-2-1 konumlama planı göz önüne alınmaktadır. Bu plan altında üç konumlayıcı parçayı, birincil düzlem veya yönde pozisyonlamakta, daha sonra iki konumlayıcı parçayı konumlayıcı üçüncü yön için bırakarak ikinci yönde konumlamaktadır. Bu yaklaşım parçayı üç boyutlu uzayda sabitlemekte ve altı dereceli serbestlik sağlamaktadır. Bazı parça tasarımları için, imalatçılar iki küresel bacak, bir tutucu dairesel delik ve diğer bir dişli yiv kullanarak ikincil ve üçüncül yönler için üç konumlayıcının yönünü almaktadırlar. Bacak, parçayı iç/dış ve ön/arka olmak üzere iki yönde konumlamaktadır. Oval delik ikincil yön için diğer konumlayıcı olmaktadır. Şekil 26.2 delik/dişli yiv kombinasyonu kullanımının 3-2-1 konumlama planındaki sunumudur.



Şekil 26.2 Konumlama düzeni (Görür, 2003)

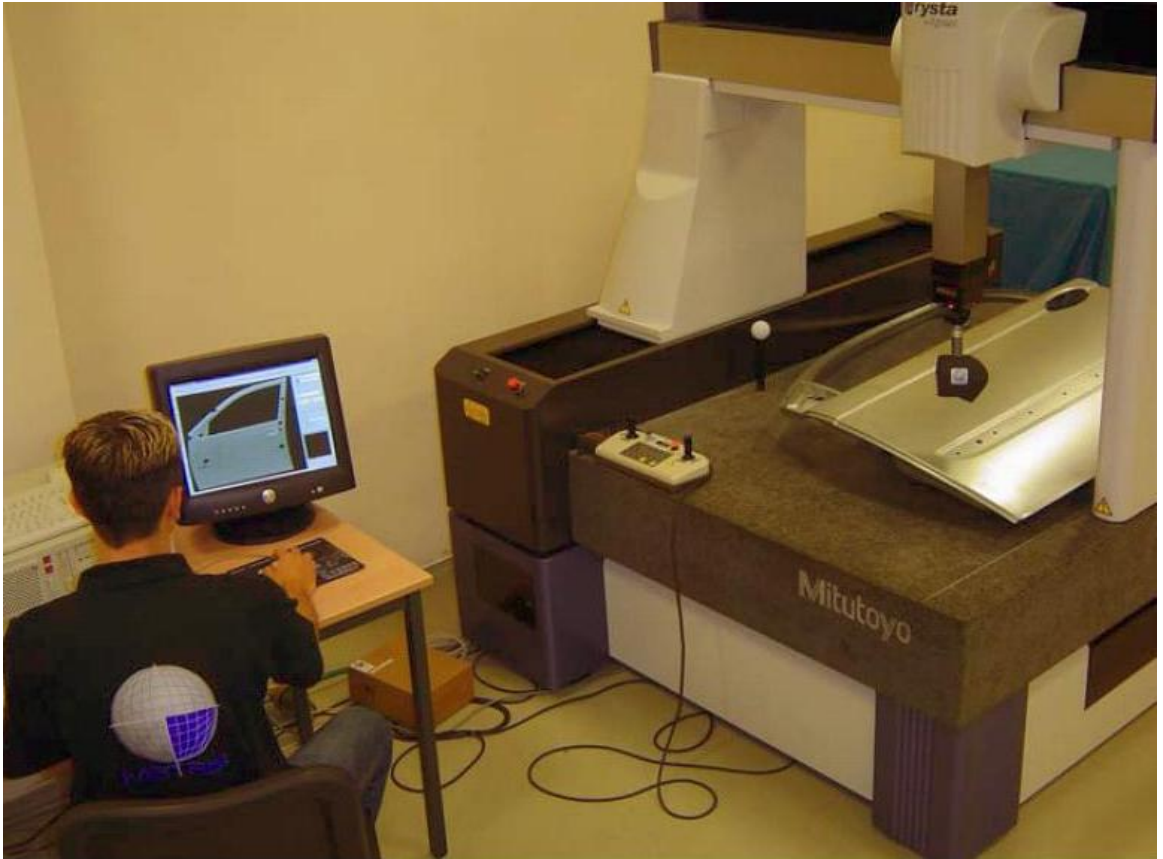
İmalatçılar sıklıkla preslenmiş parça ve montajların rijitlik ihtiyacı için, sıklıkla 3-2-1 konumlama planını çiğneyerek ve parçaları stabil ve tekrarlanabilir usulde pozisyonlamak için ek konumlayıcılar kullanmaktadırlar. Sonuç olarak, sac parçaları konumlama planı bazen n-2-1 şeklinde ifade edilmektedir. “n” bir parçayı ana düzlemde pozisyonlamak için üç veya daha fazla konumlayıcı ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Şekil 26.3 'de iki imalatçının aynı kaporta parçası dış tasarımını göstermektedir.



Şekil 26.3 C firmasının ve E firmasının kullandığı konumlayıcı kenet sayısı (Görür, 2003)



Şekil 26.4 Kaporta ölçüm sistemleri [7]



Şekil 26.5 Laser proba kapı sacının ölçümü [7]



Şekil 26.6 Kapı kaportasının ölçümü [7]



Şekil 26.7 Otomobil kaportasının ölçümü [7]

27. SONUÇ :

Sonuç olarak otomotiv sanayisindeki serbest yüzeyler, tasarımlarından üretimlerine kadar bir çok safhadan geçmektedirler. Tasarım süreçlerinde kullanılan CMM 'lerin ve uygulanan tersine mühendislik yönteminin önemi büyüktür. Tasarım safhasından üretim safhasına kadar geçen süreçte her serbest yüzey için tasarımla ilgili tüm kriterler kontrol altında tutulmalıdır.

Serbest yüzeylerin tasarımında kullanılan CMM 'ler ölçülecek olan serbest yüzey elemanına göre çeşitli şekillerde olabilirler. Dokunmalı ve dokunmasız olarak yaptığı ölçme ile prototipin ölçülmesi ve taranması işlemini gerçekleştirirler.

Otomotiv endüstrisinde serbest yüzeylerin tasarımında olduğu kadar kalite kontrolünde de CMM 'lere büyük görevler düşmektedir. CMM 'in üretim bandına entegre edilmesi ve PC yardımı ile bir kalite kontrol sistemi geliştirilmiş olur. Yukarıda da açıkça anlatılan bu sistem sayesinde (CAQ) daha kusursuz üretim sağlanabilmekte ve hatalar minimuma indirgenebilmektedir.

Otomobilin herhangi bir bölgesinde kullanılacak olan serbest yüzeyin tasarımının yapılmasında, o bölgenin otomobil üzerindeki görevi göz önüne alınarak tasarım kriterleri belirlenmeli ve uygulanmalıdır. CAD ortamında tasarlanan serbest yüzeyin prototipi çıkarılır ve CMM ile ölçme uygulamasıyla tekrar yeni bir model elde edilir. Tasarlanan model ile prototipten elde edilen verilerin karşılaştırılması ile ortaya çıkan yanlışlıklar düzenlenir. Tasarım esnasında bu süreç tasarımın daha hatasız olmasına yardımcı olur.

Otomotiv endüstrisindeki serbest yüzeylerin tasarlanmasında uygulanan yöntemler ve yukarıda anlatılan tasarım ile üretim süreçleri tamamıyla bir ekip işidir. Tasarımın her aşamasında tüm birimler birbirleriyle iletişim halinde çalışırlar. Bu iletişim sayesinde ortaya çıkabilecek yanlışlıklar kolayca belirlenir ve önlem alınır.

Sonuç olarak, otomotiv endüstrisinde serbest yüzeylerin tasarlanması ve kalite değerlendirilmesi, serbest yüzeylerin belirli bir formu olmaması ve matematiksel olarak kolayca ifade edilebilen diğer yüzeyler gibi olmaması nedeniyle tasarım süreçleri diğer yüzeylerin tasarım süreçlerine nazaran daha zordur. Yapılan uygulamalarla, bilgisayar yardımıyla ve CMM 'ler ile bu tasarım süreçleri daha da kısaltılmıştır. Ayrıca tasarım süreçlerinin kısaltılmasının yanısıra bu sistemler ve uygulamalar sayesinde daha kusursuz tasarımlar ortaya çıkarılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Durakbaşı, M.N., (2003), Geometrical Product Specifications and Verification For The Analytical Description Of Technical And Non-Technical Structures, Abteillun Austauschbau und Messtechnik Technische Universität Wien, Wien, Austria
- Durakbaşı, M.N., (2005), Yıldız Teknik Üniversitesi, Ölçme Tekniği ve Kalite Yönetimi, Bahar Dönemi Ders Notları.
- Nomak A., (2000), Yıldız Teknik Üniversitesi , Geometrik Ürün Spesifikasyonlarına Göre Kompresör Parçalarının Kontrol Metodları ve Tolerans Analizleri, Yüksek Lisans Tezi.
- Görür B.V., (2003) , Yıldız Teknik Üniversitesi, Kalıpta Biçimlendirilen Sac Parçaların Geometrik Spesifikasyonları İle Biçim ve Boyut Sapmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Usluoğlu, Y., (2000), Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar Destekli Boyutsal Ölçüm Cihazları, Yüksek Lisans Tezi.
- Yalçın, K., (2003), İstanbul Üniversitesi, Motorlar, Ders Notları.
- Werner, A., Skalski, K., Piszczatowski, S., Świążkowski, W., Lechniak, Z., (1997), “Reverse Engineering Of Free Form Surfaces”, Journal Of Material Processing Technology, 76 :128-132.
- Baykasoğlu, A., Dereli, T., (2005), “Tersine Mühendislik”, Gaziantep Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye.
- Fu, P., (2004), “Reverse Engineering in Auto Industry”, Time Compression Technologies – Europe March-April 2004.
- ISO/TC/213., (1999), “Dimensional and Geometrical Product Specification and Verification”.
- ISO 1101., (2004), “Geometrical Product Specification (GPS) – Geometrical Tolerancing – Tolerancing of form, orientation, location and run-out”.
- ISO 10209-1., (1992), “Technical Product Documentation Vocabulary”.
- ISO/TS 12180-1., (2003), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Cylindricity – Part 1: Vocabulary and parameters of cylindrical form”.
- ISO/TS/12180-2., (2003), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Cylindricity – Part 2: Specification operators”.
- ISO/TS/12181-1., (2003), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Roundness – Part 1: Vocabulary and parameters of roundness”.
- ISO/TS/12181-2., (2003), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Roundness – Part 2: Specification operators”.
- ISO/TS/12780-1., (2003), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Straightness – Part 1: Vocabulary and parameters of straightness”.
- ISO/TS/12780-2., (2003), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Straightness – Part 2: Specification operators”.
- ISO/TS/12781-1., (2003), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Flatness – Part 1: Vocabulary and parameters of flatness”.
- ISO/TS12781-2., (2003), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Flatness – Part 2: Specification operators”.
- ISO 3650., (1998), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Length standards – Gauge blocks”.

ISO 1302., (2002), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Indication of surface texture in technical product documentation”.

ISO 5458., (1998), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Positional tolerancing”.

ISO 14660-1., (1999), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical features – Part 1: General terms and definitions”.

ISO 14660-2., (1999), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Geometrical features – Part 2: Extracted median line of a cylinder and a cone, extracted median surface, local size of an extracted feature”.

ISO 4287., (1997), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture : Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters”.

ISO 8785., (1998), “Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface imperfections – Terms, definitions and surface texture parameters”.

TS 971., (1988), “Yüzey Pürüzlülüğü – Parametreler ve Pürüzlülük Tespiti Kuralları”.

TS 6956., (1989), “Yüzey Pürüzlülüğü – Terimler – Yüzey ve Yüzey Parametreleri İçin”.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.3dscanners.com/>

[2] <http://www.carbodydesign.com/>

[3] <http://www.cadinfo.net/editorial/ferrari3601.htm>

[4] <http://www.cadem.com.tr/>

[5] <http://www.renishaw.com/client/category/UKEnglish/CAT-596.shtml>

[6] <http://www.cagcadcam.com/copycad.htm>

[7] <http://www.mitutoyo.co.jp/eng/>

[8] <http://www.turkcadcam.net/>

[9] <http://www.tarus.com/>

[10] http://www.free-ed.net/sweethaven/MechTech/EngineMech/EngMech01_

Main.asp?iNum=0401

[11] <http://rcboat.com/chambers.htm>

[12] www.scirus.com

[13] www.sciencedirect.com

[14] <http://www.google.com.tr/imghp?hl=tr&tab=wi&q=>

[15] www.iso.org

[16] www.tse.org.tr

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	21.05.1981	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1995-1998	Ataköy Lisesi
Lisans	1999-2003	İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı İmal Usulleri Programı