

T. C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ BİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TALAŞLI İMALATTA BİR KALİTE KARAKTERİSTİĞİNİN
MODELLENMESİ

Özlem Akçay KASAPOĞLU
2502030037

TEZ DANIŞMANI:
DOÇ. DR. NECDET ÖZÇAKAR

İSTANBUL, 2007

TALAŞLI İMALATTA BİR KALİTE KARAKTERİSTİĞİNİN MODELLENMESİ

Özlem Akçay KASAPOĞLU

ÖZ

Günümüz global ve rekabetçi dünyasında firmaların hayatta kalabilmesinin tek yolu kaliteli mal ve hizmet üretmektir. Artan kalite talebi ve daralan toleranslar, birçok endüstriyel uygulamada kullanılması zorunlu olan talaşlı imalat, yüzey pürüzlülüğünü, birçok mekanik ürün için en kritik kalite kriteri haline getirmiştir. Proseslerin ilk seferde ve her seferinde, hedef değerde doğru çalışması artık bir gerekliliktir. ‘Talaşlı İmalatta Bir Kalite Karakteristiğinin Modellenmesi’ isimli bu çalışmada, firmalarda kalite geliştirilmesine yardımcı olan tekniklerden Altı Sigma’yı başarıyla uygulayan bir şirket olan KaleKalıp ve Indiana University Purdue University Indianapolis (IUPUI) Makine ve İmalat Mühendisliği laboratuvarlarında yapılan deneyler sonuçlarıyla değerlendirilmiştir. Minumum yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi maliyet ve kapasite stratejileri açısından çok önemlidir. Bunun sağlanabilmesi için deney tasarımı yöntemleri ile kesme şartlarının modellenmesi sağlanmış, sezgisel algoritmalarla da optimize edilerek kesme işlemlerinde kesinlik ve maliyetlerde düşüş hedeflenmiştir

ABSTRACT

In this globalized and competitive world of today, the only way to survive for a company is to produce high quality products and services. In the increasing demand of quality and tight tolerances, surface roughness became the most critical quality criteria in machining which have to be used in most of the industrial applications. The necessity of the processes to be able to work properly in the first time and all the time, is an obligation. In this Phd Dissertation “Modelling of a Quality Characteristic In Machining”, the experiments and their results are evaluated

which are done in the succesfull Company KaleKalıp, and Indiana University Purdue University Indianapolis (IUPUI) Mechanical and Manufacturing Engineering Labaratories. Minimum surface roughness is the key factor in capacity and cost strategies. In order to maintain these goals modelling of the cutting conditions are done by design of experiment tecniques and they are optimized by the heuristic algorithms for accuracy in cuttting and decrease in costs.

ÖNSÖZ

Endüstride başarı gün geçtikçe artan bir çaba ile ürün ve proses konusundaki gelişmeleri takip etmekten ve firmaların kendi proseslerini her geçen gün daha da iyileştirmeye çalışmasından geçer. Günümüzde artan otomasyon teknolojilerinden en önemli imalat tekniklerinden biri olan talaşlı imalatla faydalanmış, konvansiyonel tezgahlar, yerini CNC tezgahlara bırakmış, istenen kalite ve ekonomiye ulaşılmasına çalışılmıştır. Endüstride kalite iyileştirme çalışmaları için istatistiki beceriler, mühendislik becerileri, iletişimsel yetenekler, takım çalışması gibi birçok alanlardaki becerilerin birleşimiyle deneyler tasarlanmalı, prosesler daha doğru kararlar alınabilmesi için modellenmelidir. Bu çalışmanın amacı: İmalatta en önemli kalite karakteristiklerinden biri olan yüzey pürüzlülüğünün modellenmesidir. Talaşlı imalatla minimum seviyede yüzey pürüzlülüğü değerleri, ulaşılması gereken kritik bir hedeftir. İyi bir yüzey bitirme ve boyutsal kesinlik için optimum kesme şartlarının seçimi ve tahminlenmesi, imalat kalitesinde ve proses planlamada çok önemli rol oynar. Metal kesme işlemlerinde kesme şartlarının belirlenmesinde, genelde makine operatörünün tecrübesine güvenilir ancak iyi ve tecrübeli bir operatörün olması halinde bile optimum değerlerin tespiti zordur.

Uygulama yapılan KaleKalıp Firması üretiminin büyük bir kısmını, kalıp imalatı ve savunma sistemlerinde kullanılan parçalar oluşturmaktadır. Çalışılan parçaların hassas olarak üretilmesi gerektiği için toleransları azdır. Torna, freze gibi talaşlı imalat yapan makinelerden istenen değer aralıklarında yüzey pürüzlülüğünün bir kerede elde edilmesi, prosese göre üretimin çok yaygın olduğu üretim sistemlerinde makinelerin durması, iş gücü kaybı gibi önemli maliyetlere yol açacak olumsuz durumların ortaya çıkmasını engeller. Torna prosesinde, birçok parçanın üretiminde bulunmakta olan AISI 4140 malzemesi kullanılarak, kesme şartlarının değişiminin bu malzeme üzerine etkisi modellenmiştir. Kesme sıvısı kullanılarak kesme işlemleri yapılan KaleKalıptaki deneyler, kesme sıvısı kullanılmadan IUPUI laboratuvarlarında yapılan deneylerin sonuçları ile karşılaştırılmış, kesme sıvısı

kullanılmadan yapılan deneyde elde edilen modelin sezgisel metotlarla optimize edilmesi sonucunda maliyetlerde düşüş sağlanması hedeflenmiştir.

Tez 6 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde konu ile ilgili olarak daha önce yapılmış çalışmalar değerlendirilmiş ve tezin amacından bahsedilmiş, ikinci bölümde kalitenin iyileştirilmesi, üçüncü bölümde üretim ve imalat süreci esasları, dördüncü bölümde deney tasarımı yaklaşımı, beşinci bölümde sezgisel algoritmalar, sonuncu bölüm olan altıncı bölümde ise yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi ve optimize edilmesinin endüstride uygulanması ele alınmıştır.

Tez çalışmasının her aşamasında bilgi ve fikirlerinden yararlandığım değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Necdet Özçakar'a, değerli vaktini tezime yön vermek için bana ayıran Prof. Dr. Güneş Gençyılmaz'a, tez konumun oluşturulmasında ilk adımları atmamı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Alp Baray'a, tezin uygulama aşamasında çalışma ortamını sağlayan ve deneylerin yapılmasında desteklerini esirgemeyen KaleKalıp Üretim Mühendisi Burak Dedeoğlu'na, IUPUI öğretim üyesi Dr. Hazim El-Mounayri ve Latif Razak'a, değerli çalışma arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. U. Tuğba Şimşek'e, Arş. Grv. Timur Keskintürk'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca sezgisel algoritmalarla tanışmamı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Tunchan Cura'ya gecikmiş teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmamın her aşamasında bana sabır gösteren ve sevgiyle yaklaşan eşime, başaracağıma inancını kaybetmeyen ve beni hasta yatağında dahi yüreklendiren ilk öğretmenim Cicianneme, beni bugünlere kadar yetiştirip her türlü duygusal ve zihinsel donanıma sahip olmam için uğraşan Anneme ve Babama, gelecekte benimle akademik bir hayatı paylaşacak olan sevgili Kardeşime, bana her zaman ilham kaynağı olan Anneanneme ve Dedeme, bana daima huzur ve destek veren Meliha Annem ve İrfan Babama, beni seven ve destekleyen tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Özlem AKÇAY KASAPOĞLU

İstanbul, 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	iii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
TABLolar.....	vii
ŞEKİLLER.....	viii
KISALTMALAR.....	x
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 1. TEZİN AMACI VE LİTERATÜR TARAMASI.....	4
1.1. TEZİN AMACI.....	4
1.1.1. DENEY TASARIMI KULLANILMASININ AMACI.....	6
1.1.2. TALAŞLI İMALAT KONUSUNDA ÇALIŞILMASININ AMACI.....	7
1.1.3. KALİTE KARAKTERİSTİĞİ OLARAK YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ SEÇİLMESİNİN AMACI.....	7
1.2. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI.....	8
1.3. LİTERATÜR TARAMASI.....	9
BÖLÜM 2. KALİTE İYİLEŞTİRİLMESİ.....	15
2.1. KALİTE KAVRAMI VE KALİTEYİ OLUŞTURAN TEMEL UNSURLAR	15
2.1.1. TASARIM KALİTESİ VE UYGUNLUK KALİTESİ.....	17
2.2. TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ VE DENEY TASARIMI.....	19
2.3. KALİTE KONTROL MALİYETLERİ	21
2.4. KALİTE GURULARI VE KALİTE TANIMLARI.....	22
2.5. KALİTE İYİLEŞTİRME PROSESİ	25
2.6. KALİTE TEKNİKLERİ.....	27
2.6.1. DİĞER ARAÇ VE TEKNİKLER.....	29
2.6.2. ALTI SİGMA.....	30

BÖLÜM 3. ÜRETİM VE İMALAT SÜRECİ ESASLARI..... 35

3.1. ÜRETİM SÜRECİ ESASLARI	36
3.1.1. ÜRETİM SİSTEMLERİ	37
3.1.1.1. Kesikli ve Sürekli Üretimin Farkları.....	38
3.2. İMALAT SÜRECİ ESASLARI	41
3.2.1. DÖKÜM YOLUYLA İMALAT	42
3.2.2. TALAŞSIZ İMALAT	43
3.2.3. BİRLEŞTİRME YOLUYLA İMALAT	46
3.2.4. TALAŞLI İMALAT.....	46
3.2.4.1. Talaşlı İmalat Yöntemleri	47
3.2.4.2. Talaşlı İmalat Tezgahları	51
3.2.4.3. CNC Takım Tezgâhları.....	55
3.2.4.4. CNC Tezgahlarının Tarihçesi	56
3.2.4.5. CNC Tezgahların Üstünlükleri	57
3.2.4.6. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler	58
3.2.4.7. Kesme Hızı.....	59
3.2.4.8. Talaş Derinliği, İlerleme Miktarı, Kesme Hızı	60
3.2.4.9. Talaşlı İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü.....	61
3.2.4.10. Talaşlı İmalatta Kesme Sıvıları.....	65
3.2.4.11. Talaş Kaldırma İşlemlerinin Ekonomisi	67

BÖLÜM 4. DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI 70

4.1. KLASİK DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI.....	70
4.1.1. DENEY TASARIMININ TARİHÇESİ	70
4.1.2. DENEY KAVRAMI VE DENEY TASARIMI	71
4.1.2.1. Geleneksel Yaklaşım İle İstatistiksel Yaklaşımın Karşılaştırılması	74
4.1.2.2. Deney Stratejileri	75
4.1.2.3. Deney Tasarımında Kullanılan Bazı Tanımlar	77
4.1.3. DENEY TASARIMININ AŞAMALARI	79
4.1.4. ENDÜSTRİYEL PROSESLERDE DENEY TASARIMI UYGULAMALARI.....	80
4.1.5. DENEYSEL TASARIMLAR	81
4.2. TAGUCHİ DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI.....	86
4.2.1. ÜRÜN VE PROSES PARAMETRE TASARIMI	90
4.2.2. TAGUCHİ'NİN SİNYAL GÜRÜLTÜ ORANLARI	92

4.2.3. TAGUÇI'NİN KAYIP FONKSİYONU	93
4.2.4. TAGUÇIYE YAPILAN ELEŞTİRİLER	95
4.3. YANIT YÜZEYİ YÖNTEMİ YAKLAŞIMI.....	96
4.3.1. REGRESYON ANALİZİ VE YANIT YÜZEYİ YÖNTEMİNİN BENZERLİKLERİ.....	99
4.3.2. YANIT YÜZEYİ YÖNTEMİ TASARIMLARI	100
4.3.2.1. Box-Behnken Tasarımı	100
4.3.2.2. Merkezi Kompozit Tasarımlar (CCD)	101
4.3.3. YÜZEY YANIT YÖNTEMİ ANALİZİ	105
BÖLÜM 5. SEZGİSEL ALGORİTMALARLA OPTİMİZASYON	113
5.1. GENETİK ALGORİTMALAR.....	114
5.1.1. GENETİK OPERATÖRLER	116
5.1.2. GENETİK ALGORİTMALARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	117
5.1.3. KODLAMA	118
5.1.4. POPÜLASYON	118
5.1.5. UYGUNLUK FONKSİYONU	120
5.1.6. SEÇİM.....	120
5.1.7. GENETİK ALGORİTMALARIN BASİT BİR SİMULASYONU	122
5.1.8. GENETİK ALGORİTMALARIN DİĞER YÖNTEMLERDEN FARKLARI.	123
5.1.9. GENETİK ALGORİTMALARIN KULLANIM ALANLARINA ÖRNEKLER	123
5.2. DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI	124
5.2.1. DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASINI TEMEL ADIMLARI	127
5.2.1.1. Kodlama.....	127
5.2.1.2. Popülasyon Yapısı ve Parametre Sınırları	129
5.2.1.3. Mutasyon	130
5.2.1.4. Seçim	130
5.2.1.5. Çaprazlama	130
BÖLÜM 6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONUNUN ENDÜSTRİDE UYGULANMASI.....	132
6.1. UYGULAMA YAPILAN FİRMA “KALEKALIP” HAKKINDA BİLGİ ..	134
6.1.1. TEKNOLOJİ.....	135

6.1.2. KALE KALIP'IN KİLOMETRE TAŞLARI	135
6.1.3. ŞİRKET İÇİ KALİTE ANLAYIŞI	136
6.1.3.1. Kalite Yetenekleri	137
6.1.3.2. Altı Sigma Uygulamaları	138
6.2. METODOLOJİ.....	139
6.2.1. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON	139
6.3. DENEYSEL DETAYLAR.....	141
6.3.1. KESME SIVISI KULLANILARAK YAPILAN DENEY KALEKALIP FİRMASINDA UYGULAMA.....	142
6.3.1.1. Uygulanan Yüzey Yanıt Yöntemi.....	144
6.3.2. KESME SIVISI KULLANILMADAN YAPILAN DENEY	147
6.3.2.1. Uygulanan Taguchi Tasarımı.....	147
6.3.2.2. Uygulanan Yüzey Yanıt Yöntemi.....	152
6.3.2.3. Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Optimizasyon.....	160
6.3.2.4. Genetik Algoritma ile Optimizasyon	161
SONUÇ.....	164
KAYNAKÇA.....	170
EKLER.....	182
ÖZGEÇMİŞ.....	191

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2. 1 Juran'ın Kalite Geliştirmesinde Semptomdan Nedene Doğru Yolculuğu	26
Tablo 2. 2 Kalite Teknikleri	28
Tablo 2. 3 Kalite İyileştirilmesi İçin Araç ve Teknikler	29
Tablo 4. 1 Endüstriyel Proseslerde Dikkate Alınabilecek Değişkenler	81
Tablo 4. 2 Latin Kare Tasarımı	83
Tablo 4. 3 Greco-Latin Kare Tasarımı	84
Tablo 4. 4 Merkezi Kompozit Tasarımlar	103
Tablo 4. 5 α 'nın Döndürebilirlik İçin Aldığı Değerler	103
Tablo 4. 6 Yanıt Yüzeyi Tasarımlarının Özeti	104
Tablo 4. 7 Merkezi Kompozit ve Box-Behnken Tasarımları İçin Deney Sayıları...	104
Tablo 4. 8 Tek Faktör ve Sabit Etkiler Modeli İçin Varyans Analizi Tablosu	106
Tablo 4. 9 İki Faktör ve Sabit Etkiler Modeli İçin Varyans Analizi Tablosu	107
Tablo 4. 10 Üç Faktör ve Sabit Etkiler Modeli İçin Varyans Analizi Tablosu	107
Tablo 5. 1 İki Noktalı Çaprazlama Örneği	116
Tablo 5. 2 İkili Kodlama Düzeninde Mutasyon	117
Tablo 5. 3 Genetik Algortimaların Basit Bir Simülasyonu 1	122
Tablo 5. 4 Genetik Algortimaların Basit Bir Simülasyonu 2	123
Tablo 6. 1 Kesme Sıvısı Kullanılan Deney İçin Faktör Seviyeleri	144
Tablo 6. 2 3 Faktörlü 2 Seviyeli L8 Taguchi Dizayn Matrisi	148
Tablo 6. 3 L 8 Hesap Tablosu	149
Tablo 6. 4 Gözlem Değerleri	150
Tablo 6. 5 Kesme Sıvısı Kullanılmayan Deneydeki Kesmeyi Etkileyen Faktörlerin Seviyeleri	152

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1 Dizayn Kalitesi İçin En Uygun Kalite Derecesinin Saptanması.....	17
Şekil 2. 2 Uygunluk Kalitesini Etkileyen Maliyet Unsurları	18
Şekil 2. 3 Deming'in PYDK Çemberi	20
Şekil 3. 1 Üretim Sistemlerinin Genel yapısı.....	35
Şekil 3.2 Üretim Yönetiminde Yer Alan İşlemler	37
Şekil 3.3 Tornalama	48
Şekil 3. 4 CAD-CAM-CNC	55
Şekil 3.5 Kesme Şartlarının Değişiminin Takım Ömrüne Etkisi.....	60
Şekil 3.6 Yüzey Pürüzlülüğü.....	61
Şekil 3.7 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçmede Kullanılan Araç Perthometer.....	63
Şekil 3. 8 Tornalama İşleminde Kesme Sıvısının Kullanımı	66
Şekil 3. 9 Üretim Zamanı	68
Şekil 3. 10 Bir Parçanın İşlenme Maliyetine Etki Eden Faktörler.....	69
Şekil 4. 1 Kara Kutu Proses Modeli.....	72
Şekil 4. 2 Deney Tasarımı Prosesi	77
Şekil 4. 3 Faktör Etkileşimleri –Mevcut Olma ve Olmama Durumu	78
Şekil 4. 4 Üretim Kalite Çemberi.....	88
Şekil 4. 5 Off Line Kalite Mühendisliği.....	89
Şekil 4. 6 Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu	94
Şekil 4. 7 Üç Faktör İçin Box-Behnken Tasarımı.....	100
Şekil 4. 8 Faktör İçin Merkezi Kompozit Tasarımın Ortaya Çıkarılışı.....	102
Şekil 5. 1 Genetik Algoritmaların Çalışma Prensibi.....	119
Şekil 5. 2 Rulet Tekniği	122

Şekil 5.3 DGA' nın Adımları Kullanılan Fonksiyon	128
Şekil 6. 1 Box Behnken Tekniği Tasarım Noktaları	141
Şekil 6. 2 Kesme Sıvısı Kullanılarak Yapılan Deneyde Kullanılan Torna Tezgahı	142
Şekil 6. 3 Kesme Sıvısı Kullanılarak Yapılan Deneyde Kullanılan İş Parçası	143
Şekil 6. 4 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı	143
Şekil 6. 5 Sinyal Gürültü Oranları Grafikleri	150
Şekil 6. 6 Faktörlerin Ana Etkileri Grafikleri	151
Şekil 6. 7 Faktörlerin Birbirleri İle Olan Etkileşimleri	151
Şekil 6. 8 Kalıntıların Normal Olasılık Dağılımı	155
Şekil 6. 9 Kalıntıların Veri Toplama Sırasına Göre Çizimi	156
Şekil 6. 10 Kalıntıların Model Değerlerine Karşı Grafiği	157
Şekil 6. 11 Kesme Hızı ve Kesme Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Yüzey Grafiği.....	157
Şekil 6. 12 Kesme Hızı ve Kesme Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Kontür Grafiği.....	158
Şekil 6. 13 İlerleme Hızı ve Kesme Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Kontür Grafiği.....	158
Şekil 6. 14 İlerme Hızı ve Kesme Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Yüzey Grafiği.....	159
Şekil 6. 15 Kesme Faktörlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Yüzey Grafikleri	159
Şekil 6.16 DGA ile İterasyonlar Boyunca Uygunluk Fonksiyonunun Değeri.....	161
Şekil 6. 17 Matlab Programı Genetik Algoritma Modülünün Ekran Görüntüsü	162
Şekil 6. 18 GA ile İterasyonlar Boyunca Uygunluk Fonksiyonunun Değeri.....	163

KISALTMALAR LİSTESİ

AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (The American Iron and Steel Institute)
ANOVA	Varyans Aanalizi (Analysis of Variance)
ANN	Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim (Computer Aided Manufacturing)
CCC	Daire ile Çevrelenmiş Merkezi Kompozit Tasarım (Circumscribed)
CCD	Merkezi Kompozit Tasarım (Central Composite Design)
CCF	İçine Daire Çizilmiş Merkezi Kompozit Tasarım (Inscribed)
CCI	Merkezi bir Yüzde Olan Merkezi Kompozit Tasarım (Face Centered)
CNC	Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol (Computerized Numerical Control)
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması (Differential Evolution Algorithm)
DT	Deney Tasarımı (Design of Experiment)
ERP	Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning)
GA	Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)
HAA	Hata Ağacı Analizi
IUPUI	Indiana University Purdue University Indianapolis
İPK	İstatistiksel Proses Kontrol (Statistical Process Control SPC)
KFG	Kalite Fonksiyon Göçerimi (Quality Function Deployment KFD)
NC	Nümerik Kontrol (Numerical Control)
OFAT	Bir kerede bir faktör (One Factor At a Time)
OHTEA	Olası Hata Türü ve Etkisi Analizi (Failure Modes and Effect Analysis, FMEA)
PYDK	Planla-Yap-Doğrula-Karar ver
TKY	Toplam Kalite Yönetimi

GİRİŞ

Günümüz rekabetçi dünyasında firmaların hayatta kalabilmesi için ürünlerin, servislerin ve proseslerin ilk seferde ve her seferinde hedef değerde doğru çalışması, yenilik ve teknolojinin yakından takip edilmesi gereklidir. Müşteriler yalnızca fiyata değil, artan bir dikkatle kaliteye önem vermekte, ürün ve servis kalitesinde değişkenliği kabul etmemektedirler. Bu eğilim, hizmet ve mamül üreten firmaları, ürün ve servislerini tasarım ve gelişim basamaklarında optimize eden yönetim stratejileri geliştirmek zorunda bırakmaktadır. Dünya çapındaki rekabetle başa çıkabilmenin yolu, ürün ve servislerdeki değişkenliğin azaltılmasıdır. Bu değişkenliğin azaltılması hata oranlarını azaltır, verimi artırır, hurda oranını azaltır, ürünlerin tekrar işlenmesini azaltır, servis ve garanti masraflarını düşürerek firmanın pazardaki konumu sağlamlaştırır.

Birey ve toplumların bilinç düzeyi, tükettikleri mal ve hizmetlerin kalitesiyle ölçülür. Her alanda daha iyi mal ve hizmetin üretilmesi için, daha iyi olanın tasarlanması, üretilenin de denetlenmesi bir zorunluluktur. Üretim verimliliğinin ve kalitesinin artırılması için araştırma ve deneysel çalışma yapılması kaçınılmaz olmaktadır. Çeşitli deney tasarımları bir yandan deneysel yanılmanın küçültülmesinde benimsenirken, bir yandan da önemli etmenlerin ayrı ayrı veya birlikte bağımlı değişkeni etkileme derecesi ve yönünün belirlenmesinde kullanılır (Çömlekçi,2003 s:1).

Araştırma geliştirme faaliyetlerinde ve mühendislik çalışmalarında, tasarlanan sistemin ya da ürünün en iyi performansa sahip olmasına çalışılır. En iyi performansı sağlayacak şartlar belirlenirken, performans kriteri ve onu etkileyen faktörler saptanır. Bu çerçevede sisteme sorulacak sorular, tasarlanan deneyin kendisi, deneyde elde edilen çıktılar ise sistemin verdiği cevaplardır. Bir sistemi etkileyen bütün faktörlerin, bu faktörlerin mümkün olan bütün seviyelerinin ve bunların birbirleriyle olan etkileşimlerinin, çok yüksek maliyet ve zaman kaybına yol

açacağından, hatta bazı ekonomik ve sistem şartlarında mümkün olamayacağından bütün kombinasyonlarının incelenmesi çok zordur. Bu çerçevede deneysel kaynakları en verimli kullanarak ve kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörlerin arasındaki ilişkiyi istatistiksel yöntemlerin kullanılmasıyla yorumlayarak belirsizlik ve hata payını azaltacak seviyede kullanan teknik, deney tasarımıdır.

Talaşlı imalatla önemli bir yer tutan torna işlemlerinde sağlanacak performans artışları, maliyetlerin düşmesine ve kaliteye önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. En düşük pürüzlülük değerinin elde edilmesinde, optimum kesme ve ilerleme hızının ve kesme derinliğinin bulunması, verimliliğin artırılmasında katkıda bulunur. Torna tezgahlarında kesme sıvısının kullanılması ve kullanılmaması durumlarındaki kesme faktörlerinin üstel derecelerinin oluşturduğu yüzey pürüzlülük modellerinin değerlendirilmesi, deney tasarımı yöntemlerinden yanıt yüzeyi metodu ile en az maliyet ve kaynak kullanımı sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Taguchi ve yanıt yüzeyinin karşılaştırılması yapılarak, yüzey pürüzlülüğünün modellenmesinde en efektif yöntem saptanmıştır. Birden çok faktörün bir ürün veya sürecin performansı ve kalitesini etkilediği durumlarda, girdi değişkenleri ile yanıt değişkeni arasındaki ilişkinin yapısı bilinmediğinde, girdi değişkenlerinin yanıt üzerindeki etkisinin amprik olarak bulunması, bu bilinmeyen ilişkiye yaklaşabilecek bir polinamiyal bulunması esastır. Yanıt yüzeyi çalışmalarında veri toplama aşamasının planlanması çok önemlidir.

Tez kapsamında ele alınacak teknik konulardan önce bu ana kadar yapılan çalışmalar özetlenmiş, ve tez çalışmasının ortaya koyacağı katkı ve farklılık ortaya konmuştur. Daha sonra kalite iyileştirilmesi, deney tasarımı, yanıt yüzeyi metodu, sezgisel optimizasyon, talaşlı imalat sistemleri özetlenmeye çalışılmıştır. Deneylerin ayrıntılı bir şekilde planlanması ve gerçekleştirilmesi ve en son olarak da elde edilen veriler ve sonuçlarının değerlendirilmesi aşamalarına yer verilmiştir.

Değerlendirme kısmında ise talaşlı imalat sistemlerinden torna tezgahının kesme işlemleri yapılması sırasında kesme sıvısı kullanılıp kullanılmamasının elde edilen modele yaptığı etkiler tartışılmış, farklılıklar kesme hızı, derinliği ve ilerleme

hızı parametreleri ışığında yorumlanmıştır. Kesme hızı, kesme derinliği, ve ilerleme hızı faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri ve bu faktörlerin birbirleri arasındaki etkileşimleri deney sonuçlarına göre yorumlanmıştır. Kesme sıvısı kullanılmadan yapılan deneyde elde edilen model diferansiyel gelişim algoritması ve genetik algoritmalar ile optimize edilmesi sonucu performansı etkileyen en etkin parametre düzeyleri bulunmuştur.

BÖLÜM 1. TEZİN AMACI VE LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde çalışılan konunun amacı anlatılarak konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalardan bahsedilecek ve uygulanacak çözüm yaklaşımı ana hatlarıyla özetlenecektir.

1.1. TEZİN AMACI

Doktora çalışması çerçevesindeki hedeflerden biri istenen kalite parçasının geliştirilmesinde deney tasarımı tekniklerinin getirdiği faydaların ortaya konulmasıdır. Talaşlı imalat proseslerinde yüzey pürüzlülüğünün minimum düzeyde olması istenir. İstenen düşük seviyede pürüzlülüğün sağlanamaması durumunda işletme ek maliyetlere katlanır. Ortaya çıkabilecek ek maliyetlerin önlenmesi için talaşlı imalatla önemli işletme şartlarının bir arada optimize edilmesi gerekmektedir. Optimizasyon ile en düşük seviyedeki yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi için sistem sınırları içerisinde en uygun hangi parametrelerle çalışılması gerektiğinin hesaplanması ve bu şekilde tekrar tekrar yapılması gerekebilecek talaşlı işlemenin bir kerede optimum şartlarda yapılmasının sağlanıp, maliyetlerin düşürülmesi de tezin bir diğer hedefidir.

Deneylerin kendisi de bir firma için zaman, işgücü, malzeme adına bir maliyettir. Optimizasyon için gerekli deney sayısı ise deney tasarımı sayesinde büyük oranda azaltılmıştır. Hedeflenen optimum noktaya yani minimum pürüzlülük seviyesine ulaşılması için talaşlı imalatla önemli kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği etkilerinin incelenerek en uygun seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Gerekli deneyler gerçekleştirilmeden önce torna tezgahında yüzey pürüzlülüğüne etki edecek faktörler beyin fırtınası, geçmiş literatür ve üretici firmanın tavsiyelerine dayanarak tespit edilmiştir. Sistemi etkileyebilecek diğer faktörler üretim şartları dolayısı ile sabittir.

Son yıllarda kesme sıvısının kullanımında sınırlayıcı yönde çalışmalar vardır. Kesme sıvısının, çalışanların sağlığına ve çevreye yaptığı olumsuz etki ve işletmeye getirdiği maliyetler yüzünden yurtdışında ve Amerika Birleşik Devletlerinde kullanımı sınırlıdır. Kesme sıvısı kullanılıp kullanılmamasının optimizasyon modeline etkisinin yapılan deneylerle incelenmesi de tezin bir diğer amacıdır.

Optimizasyon amacıyla incelenen üç faktör teker teker ele alındığında kesme sıvısı kullanılarak yapılan deneyde, ilerleme hızı en önemli faktör olarak belirlenmiştir her üç faktörün birinci dereceden incelenmesine ek olarak ikinci dereceden uygunlukları da araştırılmıştır. Yapılan deneylerde, kesmeyi etkileyen en önemli faktörler araştırılmış, kesme sıvısı kullanılmadan yapılan deneyde, kesme derinliği ve kesme hızı en etkin faktörler olarak belirlenmiştir.

Kesici takım olarak yüksek hız çeliklerinin kullanılması, bunların yüksek ısılara olan dayanıklılıkları, yeni torna ve freze makinelerinin yüksek ilerleme ve kesme hızlarına imkan tanınması ile modellemenin önemi artmıştır. Elde edilen bu avantajlarla istenen parçanın kalitesi artmış yüzey pürüzlülüğünde çok iyi değerler elde edilmiştir. Artan hızlarla birlikte çeşitli aşınma faktörleri devreye girmekte ve kesici takımların ömrü kısalabilmekte olduğu için elde edilen modeller çok önemlidir.

Bir sistemin değerlendirilmesi için bütün faktörlerin ve etkileşimlerinin beraber değerlendirilmesi gerekmektedir. Prosesi etkileyen kesme sıvısı kullanılması ve kullanılmaması durumunda, sistem üzerinde etkili her bir faktörün farklı derecede etkisi olduğu gibi, birbirleri arasındaki etkileşimler de farklı olabilir. Bu yüzden faktörlerin farklı seviyelerinde deneyler yapılmış, deney sayısı zaman ve diğer maliyetleri minimuma indirecek şekilde tasarlanmıştır. Bunun için yanıt yüzeyi tekniklerinden ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde istatistiki yöntemlerden ve optimizasyondan faydalanılmıştır. Yanıt yüzeyi tekniklerinden Box Bhenken tekniği talaşlı imalat konusunda, daha önce yapılan çalışmalarda çok seyrek olarak uygulandığı tespit edilmiştir.

Optimizasyon yaklaşımda ulaşılmak istenen asıl hedef minimum yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak proses parametrelerinin elde edilmesidir. Optimizasyon tekniklerinden sezgisel algoritmalar, klasik optimizasyon yerine tercih edilmiştir. Klasik optimizasyon zaman ve uygulama zorluğu açısından günümüzde terk edilmekte, yerini sezgisel algoritmaların kullanımı almaktadır. Bu algoritmaların en yenilerinden olan Diferansiyel Gelişim Algoritması tezdeki problemin çözümü için kullanılmıştır. Literatürde bu tekniğin tez konusu ile ilgili uygulanmasına benzer daha önce yapılmış bir çalışma yoktur. Dolayısı ile bu tez çalışması alanında ilk olarak tanımlanabilir. Diferansiyel Gelişim Algoritmasıyla elde edilen çözümün Genetik algoritmalarla karşılaştırılması sonucu, birbirine yakın sonuçlar elde edilmiş ve çözümün doğruluğu teyit edilmiştir.

1.1.1. Deney Tasarımı Kullanılmasının Amacı

Deney tasarımı prosesin en iyi şekilde anlaşılmasının sağlanması, ürün kalitesinde önemli bir artış sağlanması, üretim maliyetlerinin azalması ile organizasyonlara binlerce dolar tasarruf sağlar. Üreticilerin deney tasarımı yaygın olarak kullanmamaktadır. Bazı üreticiler tekniği deneyip, firmalarına uymadığını söyleyerek çalışmaları bırakmaktadır. Buna sebep olarak, ihtiyaçlara uygun tasarlanmayan eğitimler, yoğun üretim temposu ya da zaman baskıları, bir ya da bir seri deneyin gerçekleştirilmesi için kullanıcak kaynaklar ve katlanılacak maliyetler gösterilebilir. Ayrıca istatistik tekniklerin kullanılmasına dair bir korku yaygındır, bu durum tecrübeli mühendisler ve yöneticiler için de geçerlidir. Endüstriyel deneylerin başarısı istatistiki beceriler, mühendislik becerileri, iletişimsel yetenekler, takım çalışması gibi birçok alandaki becerilere bağlıdır. Bir başka deyişle mühendisler ve bugünün modern endüstri dünyasındaki yöneticiler, ürün ve proses kalitesindeki ilerlemeleri deney tasarımı kullanarak sağlamayı gün geçtikçe artan bir çabayla sağlamaya çalışmaktadır.

1.1.2. Talaşlı İmalat Konusunda Çalışılmasının Amacı

Günümüzde insan iş gücü gereksinimini azaltmak ve seri imalata yani fabrikasyona geçebilmek için makineler ve bu makineler için takım tezgahları tasarlanmıştır. Takım tezgahları, özellikle talaş kaldırma tezgahları, büyük teknolojik gelişmeler kaydetmiştir. Günümüzde takım tezgahlar konvansiyonel ve CNC adını taşıyan bilgisayar destekli tezgahlar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Konvansiyonel tezgahlarda tezgahın tüm hareket ve işlemleri “insan” (operatör); CNC tezgahlarda ise “program” adını taşıyan yazılı bir belge tarafından kontrol edilir. CNC tezgahları işleme kalitesi, işleme zamanı ve prodüktivite bakımından konvansiyonel tezgahlardan çok daha üstündür ve esnek üretime de imkan sağlar. Esnek üretim daha çok ve daha çeşitli ürün, insan ve toplumların artan ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde çabuk değiştirilebilen, kaliteli ve sabit kaliteli mal üretimi anlamına gelmektedir. Bu şekilde bir üretim toplum fertlerinin yaşam standardını yükseltir, toplumun uluslararası politik, ekonomik ve rekabet gücünü artırır. Bununla beraber gerçek esnek otomasyon ancak CAD-CAM ve CNC olgularının CAD-CAM-CNC şeklinde entegrasyonu ile mümkündür (Akkurt, 1996, s:1). Endüstride otomasyonun yaygınlaşması ile birlikte talaşlı imalatta istenen kalite ve ekonomiye ulaşılması daha kolaylaşmıştır. Bu amaç doğrultusunda, talaşlı imalat proseslerinin çıktı performanslarının tahmini ve bunun mümkün olabilmesi için imalatta güvenilir model ve metotların elde edilmesi gerekmektedir.

1.1.3. Kalite Karakteristiği Olarak Yüzey Pürüzlülüğü Seçilmesinin Amacı

Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatta en önemli kalite karakteristiklerinden biridir. Minimum seviyede yüzey pürüzlülüğü değerleri ulaşılması gereken bir hedeftir. İyi bir yüzey bitirme (surface finish) ve boyutsal kesinlik için optimum kesme şartlarının seçimi ve tahminlenmesi imalat kalitesinde ve proses planlamada çok önemli rol oynar. Metal kesme işlemlerinde kesme şartlarının belirlenmesinde

genelde makine operatörünün tecrübesine güvenilir, ancak iyi ve tecrübeli bir operatörün olması halinde bile optimum değerlerin tespiti zordur.

1.2. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Birçok deneysel program iki amaçla yapılmaktadır: Ölçülebilen çıktı değişkenleri birbiri arasındaki ve çıktıları etkileyeceği düşünülen deneysel faktör(ler) arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve en iyi değeri veren faktörlerin ya da çıktı değerlerinin bulunmasıdır(Cornell,1984, s:1). Tezde girdi değişkenlerinin sürecin yanıtını etkilediği durumlarda gerekli olan matematiksel ve istatistiksel teknikler kullanılmıştır. Tezdeki çözüm aşamaları şöyledir:

- 1) Söz konusu yanıtın ölçülmesini sağlayacak uygun deneylerin tasarlanması
- 2) Seçilen tasarımdan toplanan verilere uygun modelin bulunması
- 3) Optimum yanıt değerini veren faktör seviyelerinin seçimi

İlk iki madde Taguchi ve Yanıt Yüzeyi Yöntemi ile Minitab 7.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üçüncü madde Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Genetik Algoritmalar ile Matlab 7.0 matematik programı bünyesindeki araçlar kullanılarak ve kod yazılarak optimizasyon yapılmıştır. Deneyler Taguchi yöntemine göre 8 deney ve 3 tekrarla birlikte 32 deney, Box Behnken yöntemine göre 15 deney ve 2 replikasyon ile birlikte 45 deneyden oluşmaktadır. Kesme sıvısı kullanılması ve kullanılmaması durumuna göre değerlendirme yapılmış iki ayrı model oluşturulmuştur. Böylece elde edilen iki farklı model yorumlanarak birbirleri arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir. Kesme işlemleri modern torna tezgahlarında gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon için kullanılacak güvenilir modeller minimum sayıda deney ile minimum maliyette yapılmıştır. Deney sonuçlarının analizinde varyans analizi ve çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Güvenilirlik seviyesinin %95 olması, R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerlerinin yüksek seviyede olması sağlanarak güvenilir modeller elde edilmiştir.

1.3. LİTERATÜR TARAMASI

Proses modelleme ve optimizasyon, imalattaki iki önemli konudur. Endüstride otomasyonun yaygınlaşması ile birlikte talaşlı imalat proseslerinin çıktı performanslarının tahmini ve bunun mümkün olabilmesi için imalatla güvenilir model ve metotlar gerekmektedir. İyi bir yüzey bitirme ve boyutsal kesinlik için optimum talaşlı imalat koşullarının tahminlenmesi proses planlamada çok önemli rol oynar. Suresh ve arkadaşları (2002) çalışmalarında, yumuşak çeliğin (mild steel) talaşlı olarak işlenmesinde yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanarak, yüzey pürüzlülüğü tahmin modeli geliştirilmişlerdir. Deneyler TIN kaplamalı Tugsten Karbide (CNMG) kesici takımların yumuşak çelik iş parçalarını çeşitli talaşlı işleme şartlarında işlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Yüzey yanıt yöntemi kullanılmasıyla oluşturulan 2. dereceden yüzey pürüzlülüğü tahmini matematiksel modeli, talaşlı imalat parametrelerini içermektedir. Yüzey pürüzlülüğü tahmin modelindeki amaç fonksiyonu, Genetik Algoritmalar kullanılarak optimize edilmeye çalışılmıştır. GA programı yüzey pürüzlülüğünün minimum ve maksimum değerlerini ve onların optimum talaşlı imalat parametrelerini vermektedir.

Reddy ve Rao (2005) freze tezgahlarında takım geometrisinin ve bunun kesme yüzey kalitesine etkisini araştırmışlar, birinci ve ikinci dereceden modelleri yanıt yüzey yöntemi uygulayarak elde etmişler, elde edilen yüzey pürüzlülük modelini genetik algoritmalarla optimize etmişlerdir.

Son yıllarda imalat alanındaki gelişmeler CNC freze takım tezgahlarının önemine işaret etmiştir. Öktem ve arkadaşları (2005) kalıp yüzeylerinin frezelenmesinde minimum yüzey pürüzlülüğü elde edilmesi için optimum kesme şartlarını belirlemeye çalışmışlardır.

Günümüzde tasarım, modelleme, analiz ve optimizasyon üretim mühendisliğinde gerekli adımlardır. El-Mounayri, Gadallah ve Briceno (2002) makalelerinde düzleme (flat), torna proseslerini yeni bir yaklaşımla modellemeye

çalışmışlardır. Girdileri kesme koşullarının bir formu ve araç geometri parametreleri olan bir yapay sinir ağı (ANN= Artifical Neural Network) modeli geliştirmişlerdir. Başlangıçta, ilerleme hızı(feed rate), dönme hızı(spindle speed), radyal kesme derinliği(radial depth of cut) olan kesme parametreleri rassal olarak değiştirilmiştir. Bütün kesme parametrelerinin deneye eklenmesi deney sayısının dramatik olarak artışına ve eğitim maliyetine sebep olacaktır. Bu yüzden kesirli faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır, ayrıca Particle Swarm Optimization (PSO) kullanılarak maliyet fonksiyonu en küçüklenmiştir.

Taraman ve diğerleri çalışmalarında yanıt yüzey yöntemlerinden merkezi kompozit tasarımı, talaşlı imalat sistemlerindeki değişkenlerin seçilmesine uygulamışlardır. Takım ömrü, yüzey bitirilmesi ve kesme kuvvetlerinin matematik modelleri kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametreleri ile modellenmiştir. Bu modeller talaşlı işleme değişkenlerinin seviyelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. (Taraman ve Lambert, 1972, s:111)

Feng(2001) çalışmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmıştır. Bu araştırmada kesirli faktöriyel deney yaklaşımı ile bu etkinin ve etkileşimlerin araştırılması için Varyans Analizi tekniğini kullanmıştır. Feng ve Wang (2002) ise yüzey pürüzlülüğü modellenmesinde yapay sinir ağları ile doğrusal olmayan regresyonu karşılaştırmışlardır ve her ikisinin de eşit derecede iyi sonuçlar verdiklerini vurgulamışlardır.

Şahin ve Motorcu (2004) makalelerinde karbon çeliklerinin tornayla işlenmesinde yanıt yüzey yöntemlerinden merkezi kompozit tasarımı kullanarak 2. dereceden, yüzey pürüzlülük değerinin ilerleme hızının artmasıyla arttığı, kesme hızı ve derinliğinin artması ile de pürüzlülük değerinin azaldığı bir model elde etmişlerdir.

Tosun ve Tosun (2004) minimum yüzey pürüzlülüğü koşulu için delme parametrelerinin genetik algoritma ile optimizasyonu adlı makalelerinde regresyon yöntemi ile matematiksel bir model elde etmiş, daha sonra genetik algoritmalarla

elde ettikleri modeli optimize etmişlerdir. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri araştırılmıştır.

Feng (2001) araştırmasında kesirli faktöriyel tasarım kullanmış torna işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiş, bu etkiyi ve etkinin etkileşimlerini varyans analizi ile saptamıştır.

Altın ve arkadaşları (2005), inconel 718 süper alaşımını yuvarlak formlu kaplamasız sementit karbür takımla, torna tezgahında soğutma sıvısı kullanmadan ancak sabit kesme derinliği ve ilerleme hızı değerlerinde beş farklı kesme hızı denenerek talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirilerek, kesme hızlarının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Gökkaya ve arkadaşları (2006), AISI 1030 çeliğini sayısal denetimli torna tezgahında soğutma sıvısı kullanmadan kesme derinliğinin sabit tutulmasıyla, değişik kesme hızı ve ilerleme hızlarında kesme işlemi gerçekleştirmişlerdir. AISI 1030 çeliği kaplamasız sementit karbür kesici takımla işlenerek kesme parametrelerinden kesme hızı ve ilerleme hızı değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır.

Abdou ve Yien (1995) çalışmalarında, freze tezgahlarındaki operasyon parametrelerinin pratik etkilerinden bahsetmişlerdir. Kuru şartlarda kesme kuvveti ve takım ömrünü ölçmek üzere deneyler gerçekleştirilmişlerdir. Kuvvet ve takım ömrünü ilişkilendiren matematiksel modeller geliştirilmiş, kesme kuvvetlerinin verilerinde mevsimsel trend ve doğrusal olmayan trend olup olmadığı analiz edilmiştir. Minimum üretim maliyetini hedefleyen bir optimizasyon yapılmıştır.

Erzurumlu ve Öktem (2007) makalelerinde, kaynak yüzeylerinin yüzey kalitesinin belirlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü ölçmüşler, freze tezgahında model parametreleri olarak kesme hızı, derinliği, ilerleme hızı ve makine toleransını değişken olarak almışlardır. 3 seviyeli tam faktöriyel tasarım uygulanmış, yanıt yüzeyi yöntemi ile yapay sinir ağlarının sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Kopac (1998) kesme malzemesinin ve kesme takımındaki kaplamanın takım kalitesi ve ömrüne etkisini incelemiş, kesici takımların üretim maliyetlerinin yalnızca %3'ünü teşkil ettiğini, kesici takım değiştirilmesinin % 25, makine- takım hasarının % 7, kesme sıvılarının % 16, kesme işleminin % 30 ve diğer masrafların %19'unu teşkil ettiğini saptamıştır.

Zuperl ve Cus (2003) yapay sinir ağları ile optimum kesme şartlarını bulmaya çalışmışlar, optimum kesme şartlarının bulunmasının üretkenliğe ve maliyetlerin azaltılmasına katkısına inanmışlardır. Çok amaçlı bir optimizasyon yapmışlar, teknolojik, ekonomik ve organizasyonel kısıtları da hesaba katmışlardır. Parametre olarak kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin etkisini incelemişlerdir. Kesme parametreleri öyle seçilmelidir ki makine en hızlı şekilde çalışmalı ve takım ömrü en uzun olmalıdır. Bu birbiriyle çakışan ve başarılması güç bir optimizasyon problemidir. Kesme, ilerleme hızı ve kesme derinliği azaltıldığında, iş verimliliği düşer, bu şekilde takımlar korunur ama iş istasyonunun maliyeti artar.

Jusso ve arkadaşları (2000), Kim ve arkadaşları (2007), Chen ve arkadaşları (1999) makalelerinde görüntü işleme tekniklerinden Wavelet yöntemini kullanarak yüzey pürüzlülüğünü tahminlemişlerdir. Chang ve arkadaşları (2005) yüzey yanıt yöntemi ve wavelet transform yöntemini birlikte kullanmışlardır.

Yüzey pürüzlülüğü ürün kalitesinde çok önemli bir rol oynar. Feng ve Wang, (2002) makalelerinde en önemli veri madenciliği tekniklerinden olan doğrusal olmayan regresyon analizinde, logaritmik dönüşüm yapılması ile amprik bir model oluşturmuşlardır. Model çalışma parçasının sertliğini, ilerleme hızını, kesici takım nokta açısını, kesme derinliği ve kesme hızı parametrelerini dikkate almaktadırlar. Metal kesme deneyleri ve istatistiki testler bu iş için geliştirilen modelin , daha önce var olan modellerden daha az hata verdiğini saptamışlar ve model oluşturulması ve doğrulanmasında daha tatmin edici uygunluğa ulaşmışlardır. Elde edilen model birinci derecedendir.

Noordin ve arkadaşları (2004) çok katmanlı tungsten karbür takımının, yüzey AISI 1045 çeliğinin tornalanmasındaki performansını yanıt yüzey yöntemiyle saptamışlardır. İncelenen faktörler kesme hızı, ilerleme hızı ve kenar kesme açısıdır. (SCEA) (cutting edge angle) Ana kesme kuvvet, tanjantsal kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü incelenen çıktı değerleridir. Deneysel plan olarak yüzey merkezli, merkezi komposit tasarım kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünü ve tanjantsal kuvveti etkileyen en önemli faktör ilerleme hızı çıkmıştır. Diğer faktörlerin de yanıt etkileri inkar edilemez.

Canyılmaz ve Kutay (2003) makalelerinde Taguchi metodunun, ortogonal dizileri kullanarak kontrol edilmeyen faktörlerin etkilerini minimize etmeye çalışan bir deneysel tasarım tekniği olduğu söylemişlerdir. Bu teknikle faktör seviyelerinin tespit edilmesinde çeşitli yöntemler kullanılarak, “Varyans Analizi ile faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yönteminin” bir karşılaştırılması yapılmış ve elde edilen sonuçlara dayalı olarak problem, çok amaçlı karar verme problemi şeklinde tekrar modellenmiştir. Yeni modelin çözüm sonuçları Anova ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak mühendislik tasarımlarında faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yönteminin varyans analizi yöntemine göre daha iyi sonuç vereceğini ileri sürmüşlerdir.

Sharma ve arkadaşları 2005 yılında yayımladıkları makalelerinde proses parametre seçimi üzerinde durmuşlar, kalite karakteristiklerini seçerken Taguchi L9 tasarımını kullanmışlardır. Analiz yöntemi olarak sinyal / gürültü oranı (en büyük en iyi) ve anova analizi kullanılmıştır.

Zhang ve arkadaşları (2006) Taguchi tasarımını CNC yüzey frezeleme işleminde yüzey kalitesini optimize etmek için kullanmışlardır. İyi bir yüzey kalitesinin sağlanabilmesi üretkenlik kaybı ve ek üretim maliyetlerini içerir. Taguchi tasarımı yanıtın optimize edilebileceği etkili ve verimli bir yöntemdir, faktöriyel tasarımdan daha az kaynak kullanır. Bu çalışmada ilerleme hızı, dönme hızı ve kesme derinliğini kontrol faktörleri ve gürültü faktörleri olarakta sıcaklık ve aynı özellikte farklı takımların kullanılmasını ele almışlardır. L9(3⁴) ortogonal dizini

kullanmışlar, Anova analizi yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli faktörlerin tespiti için kullanılmış, en iyi yüzey pürüzlülüğü ve sinyal gürültü oranını tespit etmeye çalışmışlardır.

Endüstriyel organizasyonlar yüzey kaplama üretici ve kullanıcılarını da içeren bir şekilde, spesifikasyonlara uyum ve düşük varyansı sağlamak için artan bir çaba harcamaktadırlar. Dowey ve Matthews (1998) bunun için Taguchinin kayıp fonksiyonunu kullanmışlardır. Toplam Kalite Yönetiminde sürekli kalitenin artırılması hedeflemişlerdir.

Öyle görülmektedir ki, takım aşınması, pürüzlülük, birim maliyet gibi birçok kritere dayanan talaşlı imalat parametrelerinin optimize edilmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ancak talaşlı imalat, kesme işlemi sırasında, kesme sıvısı kullanılıp kullanılmamasının elde edilecek proses modeline etkisi üzerinde çalışmaya rastlanılmamıştır ve tezde bu konu üzerine eğilinmiştir. Daha önce yapılan çalışmaların incelenmesinde regresyon yönteminin sıklıkla kullanıldığı görülmüş, bu alanda deney tasarımı ve yanıt yüzey yöntemi çalışmalarına az rastlanılmıştır. Yanıt yüzey yöntemlerinden biri olup deneysel kaynakların kısıtlı olduğu durumlarda iyi sonuçlar veren Box Bhenken yönteminin kullanımı ise yok denecek kadar azdır. Yapılacak deneylerden önce planlamayı gerektiren ve faktör etkileri ve etkileşimlerini iyi tahminleyen Box Bhenken yöntemi ile tezde çalışılmıştır. Yapılan araştırmalarda talaşlı kesme parametrelerinin modellenmesinde yapay sinir ağlarının kullanımı görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü modeli tahminlenmesinde sezgisel metodların kullanımı ise çok sınırlıdır. Genetik Algoritmalar daha önce yapılmış çalışmalarda elde edilen modellerin optimizasyonunda yaygın olarak kullanılmıştır. Yapılan literatür taramasında, Diferansiyel Gelişim Algoritmasının yüzey pürüzlülük modelinin optimizasyonu problemine uygulanması örneğiyle karşılaşılmadığı için bu tez çalışmasında bu konu ele alınmıştır.

BÖLÜM 2. KALİTE İYİLEŞTİRİLMESİ

Son yıllarda, hacmi, değişkenliği ve kalitesi gün geçtikçe artan yeni bir dünya pazarı oluşumu söz konusudur. Bu yeni pazarda müşteri beklentileri gitgide artmakta, gerek var olan müşterilerin korunması gerekse organizasyonel, teknolojik gelişmelerin daha yakın takip edilmesiyle yeni müşterilerin kazanımı çalışmaları zorlaşmıştır. Bu gereklilikler kaliteye ve iyileştirilmesine olan ilgiyi daha da arttırmıştır. Kalite anlayışı ürünlere, servislere ve bunlara bağlı olarak mühendislik ve imalat proseslerine de yeni bir boyut getirmiştir. (Feigenbaum, 1991, s:3)

2.1. KALİTE KAVRAMI VE KALİTEYİ OLUŞTURAN TEMEL UNSURLAR

Kapsamlı bir kalite tanımı oluşturmadan önce kalitenin kesinlikle ne olmadığını belirtmek yerinde olacaktır. Kalite pek çok kişinin bildiği veya tanımlamaya çalıştığı gibi “mutlak anlamda en iyi” demek değildir. Kalite, ancak mamülün fonksiyonuna, diğer bir deyişle hizmet ettiği amaca göre bir anlam taşıyabilir (Kobu,1998, s.471).

Kalite birçok şekilde tanımlanabilir. Kalitenin geleneksel tanımı “kullanıma uygunluktur”. Kullanıma uygunluk tanımının, tasarım kalitesi ve uygunluk kalitesi olarak iki bakış açısı vardır. Genellikle insanlar kaliteyi bir ürünün işlevine ait istenen, bir veya birden çok özelliğe ilişkilendirerek tanımlarlar. Bu kavramsal tanım iyi bir başlangıç olsa da daha kesin ve yararlı tanımlar vardır (Montgomery 2001, s. 3). Kalite, pazara uyan makul bir fiyatta, güvenilir ve benzer olmanın önceden bilinebilme derecesidir (Gitlow, Oppenheim & Oppenheim, 1995, s.3). “Kalite değişkenlikle ters orantılıdır” tanımı ise daha moderndir ve daha sık kullanılır. Kalite, rekabet halindeki ürün ve servisler için en önemli müşteri karar faktörü

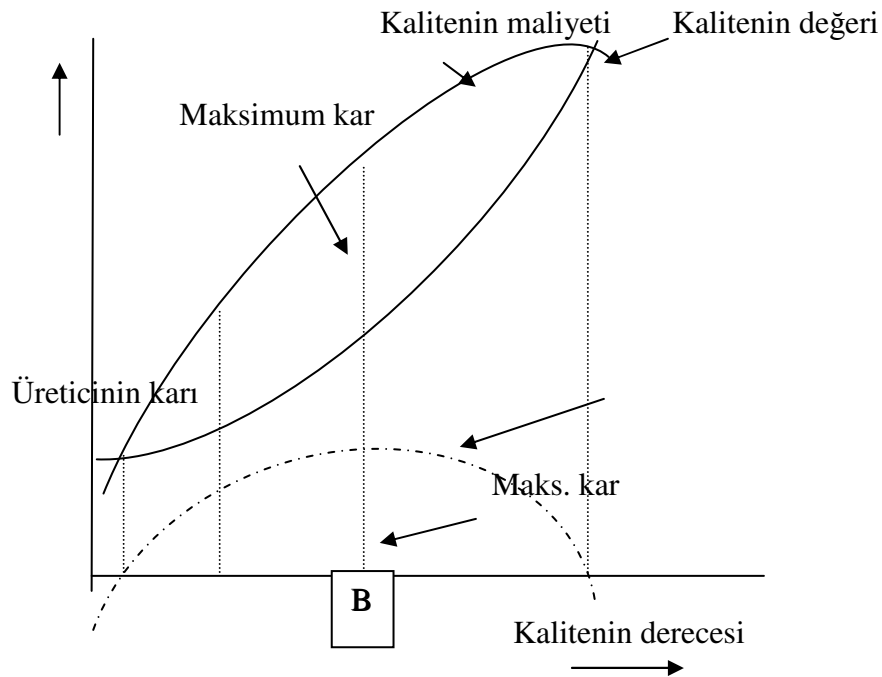
olmuştur. Bu olgu müşterinin birey olup olmadığı, endüstriyel bir organizasyon olup olmadığı, perakende dükkanı ya da askeri savunma programı olup olmadığına göre genişler. Bu yüzden kaliteyi anlamak ve kalitenin geliştirilmesi, iş başarısı, büyümesi ve rekabetsel konum açısından anahtar bir faktördür. Bütün şirket politikasının bir parçası olarak uygulanan kalite iyileştirilmesi anlayışının yapılan yatırımlarda çok fazla geri dönüşümleri olmaktadır (Montgomery 2001, s. 3) .

Kalite kavamı insanlığın doğuşu kadar eski bir tarihe sahiptir. Tarih boyunca çeşitli şekillerde kalite kavramı önem kazanmıştır. İlk başlarda müşteri odaklılık bir gereklilik iken, zamanla kitle üretiminin yaygınlaşması bunu zor bir hale getirmiştir. Artan rekabet şartları nedeniyle “müşteri odaklı kalite” kavramı günümüzde yeniden önem kazanmıştır. Kalite mühendisliği adı altında bir mühendislik disiplini olma yolunda olan kalite problemlerinin, modellenmesinin güçlüğünden dolayı, analitik ve ya sezgisel yöntemlerle çözümü güçtür. Fakat, sezgisel yöntemlerin kullanımına doğru bir gidiş vardır. Kalite, genel olarak üretim işletmeleri için, süreç içi ve süreç dışı olarak iki şekilde kontrol altında tutulmaya çalışılsa da daha çok tasarımı ilgilendiren süreç dışı kalite kontrolü günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Kalite kavramı çoğu kez insan duygularının algılarıyla karıştırılmaktadır. Örneğin güzel iyi gibi kavramlar kişiden kişiye göre değişmesine karşın belirli bir mal veya hizmetin kalitesinin aldığı değerin değişiklik göstermemesi gerekir. Kişiler talep ettikleri kalite düzeyini bilmediklerinden dolayı “olabildiğince iyi (kaliteli) olsun “ anlayışı içinde mal ve hizmet talep etmektedirler (Özdemir, 2006, s:249). Kalite $Q=P/E$ oranıdır. Burada kalite, performansın beklentilere oranıdır ve eğer “Q”, 1 den büyükse müşteri o ürün ve servis hakkında iyi bir duyguya sahiptir. P ve E’nin bulunması algıya dayanır (Besterfield, 1999, s:2).

Bu açıklamalardan sonra mamul kalitesi kavramı için şöyle genel bir tanımlama yapılabilir: Bir mamulün kalitesi, tüketici gereksinimlerini mümkün olan en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan mühendislik ve imalat karakteristiklerinin birleşiminden oluşur. Bir malın kalitesi, tasarım ve uygunluk kalitesi olmak üzere, iki unsurun bileşimi olarak ortaya çıkar.

2.1.1. Tasarım Kalitesi ve Uygunluk Kalitesi

Tasarım kalitesinin saptanmasında biri kalitenin değerini, öbürü maliyetini oluşturan iki parasal faktör arasında en uygun noktanın bulunmasına çalışılır. Şekil 2.1’de en uygun dizayn kalitesinin üretici açısından karın maksimum değerini aldığı B noktasında bulunduğu görülmektedir. Tüketici başlangıçta malın artan kalitesine değer verir, fakat kalite düzeyi ihtiyacının üstüne çıkınca aynı isteği göstermez .

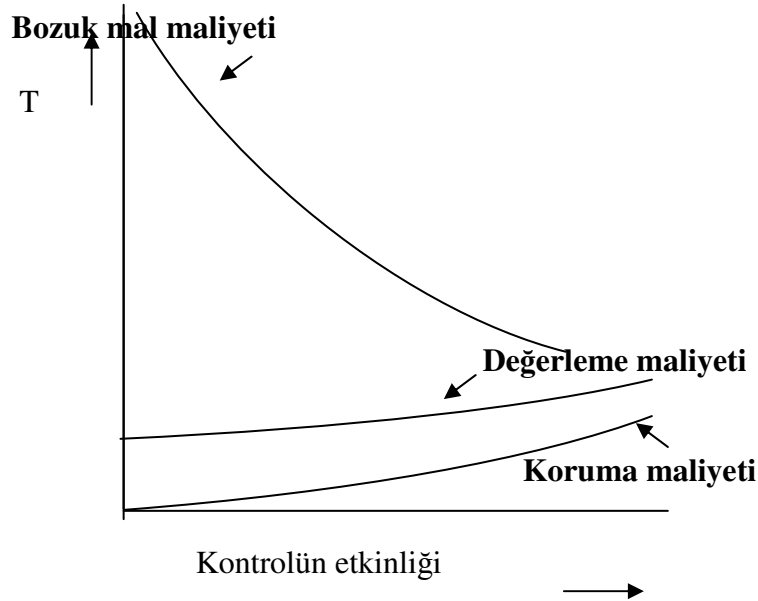


Şekil 2. 1 Dizayn Kalitesi İçin En Uygun Kalite Derecesinin Saptanması

Üretici müşteri isteklerini detaylı bir şekilde ürün ve proses spesifikasyonlarına aktarmak zorundadır. Bu araştırma, geliştirme, ürün tasarımı ve mühendisliğin rolüdür. Ürün tasarımcıları performans ve maliyeti dengelemek zorundadır. Üretimde makine ayarları bozulabilir, işçi hataları oluşabilir, hammaddeden kaynaklanan sorunlar olabilir, en kontrollü proseslerde bile önceden

tahmin edilemeyen sorunlar çıkabilir. Üreticinin rolü işte bu noktada önemlidir, her ne olursa olsun bitmiş ürün tasarlandığı şekilde fonksiyonlarını yürütmelidir. Kalite ürün spesifikasyonları ile tanımlansada üretimin başardığı kadardır (Evans, Lindsay, 1989, s.7).

Uygunluk kalitesi, tasarım kalitesi ile belirlenen spesifikasyonlara fiziksel üretim (imalat) esnasındaki uyma derecesidir. Belli bir düzeydeki uygunluk kalitesinin gerçekleştirilmesinde değişimleri Şekil 2.1 de görülen maliyetler arasında denge kurulmasına çalışılır. Garfiktende anlaşılabacağı gibi kontrolün etkinliği arttıkça, yani, kalite spesifikasyonlarına uygunluk dercesi yükseldikçe, değerlendirme ve koruma maliyeti yavaş yavaş yükselmekte , buna karşılık bozuk mal maliyetinde hızlı bir düşme kaydedilmektedir (Kobu, B., 1998, s: 472).



Şekil 2. 2 Uygunluk Kalitesini Etkileyen Maliyet Unsurları

Bir ürünün kalitesi birkaç şekilde değerlendirilebilir. Aşağıda sıralanan maddeler kalitenin boyutları olarak da adlandırılabilir.

- 1) Performans ile kastedilen ürünün istenen işi yapabilip yapamayacağı,
- 2) Güvenilirlik (Reliability) ile ürünün ne sıklıkla bozulacağı,
- 3) Dayanıklılık (Durability) ile ürünün ne kadar dayanacağı,

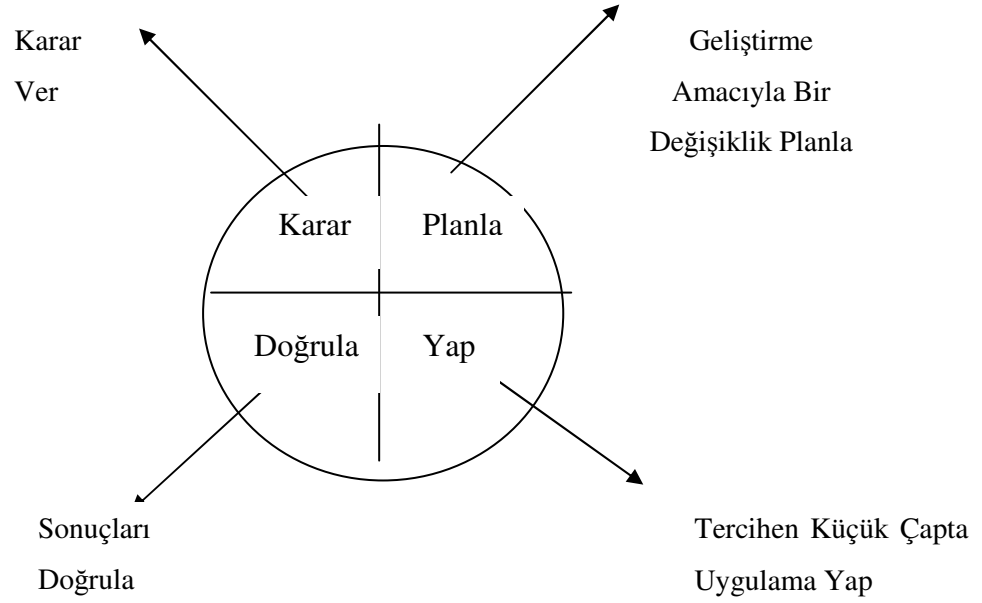
- 4) Servis alabilirliği ile ürünün tamirinin kolay olup olmadığı,
- 5) Özellikler ile ürünün görevini,
- 6) Algılanan kalite ile ürünün ya da firmanın ünü,
- 7) Standartlara uygunluk ile ürünün tasarımcının istediği şekilde yapılıp yapılmadığı kastedilmektedir (Montgomery, 2001, s. 3)

2.2. TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ VE DENEY TASARIMI

İstatistiksel deney tasarımını tanıtmadan ve yöntemin ayrıntılarına girmeden önce, deney tasarımının genel olarak kalite yöntemiyle olan ilişkisini açıklamanın yararı vardır. 2000’li yılların yönetim biçimi olacağa benzeyen Toplam Kalite Yönetimi’nin (TKY) doğru uygulanabilmesi için beş temel öğenin yerine getirilmesi gerekir.

1. Üst yönetimin liderliği,
2. Müşteri odaklılık
3. Firma elemanlarının yeterliliği
4. Takım çalışması
5. Sürekli geliştirme (kaizen) yaklaşımı

Yukarıdaki öğelerden ilk dördü, beşincisi için gereklidir. Gerçekte firmada ürün ve hizmet kalitesini iyileştirmek için gereken direkt çalışmalar, “kaizen” yaklaşımı içinde yapılır. Dolayısıyla, sürekli geliştirme, TKY’ nin en temel faaliyetidir. Kaizen çalışmalarında, Shewhart veya Deming çemberi olarak tanınan “Planla-Yap- Doğrula- Karar Ver”(PYDK) süreci genel çalışma çerçevesi olarak uygulanır. Bu çerçeve içinde çemberin değişik aşamalarında, çoğu istatistiksel olmak üzere birçok teknik ve yöntem kullanılabilir. Bu yöntemler arasında, Japonya’da geniş kitlelere öğretilmiş olmaları nedeniyle en çok tanınanları “İşikawa’nın Yedi Basit Aracı” olarak bilinen balık kılçığı çizelgesi, Pareto grafiği, çetele tablosu, histogram ve kontrol çizelgeleri gibi araçlardır. TKY, sürekli gelişmekte olduğu için bu tekniklere her geçen gün yenileri eklenmektedir (Şirvancı,1997, s.11).



Şekil 2. 3 Deming'in PYDK Çemberi

PYDK çemberinin ilk iki basamağına dikkatle bakıldığında, bu basamaklar çerçevesinde, bir değişikliğin planlanıp uygulanmasının önerildiği görülür. Gerçekte, PYDK çemberinde bir deney yapılması önerilmektedir. Amaç mevcut şartlar yerine farklılarını deneyerek üründe gelişme sağlamaya çalışmaktır. Pratikte uygulanan deneylerin bir kısmı basit deneylerdir. Bu basit deneylerin planlanması ve sonuçlarının analizi yukarıda sözü edilen yedi basit araçla sağlanabilir. Diğer yandan ürün tasarımı ve üretim aşamalarında karşılaşılan pek çok durumda ise, ürün kalitesini etkileyebilecek çok sayıda faktörün varlığı dikkati çeker. Bu durumlarda istatistiksel olarak tasarlanmış deneylere gerek vardır. İstatistiksel olarak tasarımılanan deneylerle, birçok faktörün ürün parametrelerine olan etkilerini ve birbirleriyle oluşan etkileşimlerini ekonomik olarak, yani düşük maliyetle, incelemek mümkündür (Şirvancı, 1997, s:12).

İstatistiksel süreç kontrol temelde pasif bir istatistiksel yöntemdir. İstatistiksel süreç kontrolünde pasif olarak sürecin kontrol altında olup olmadığı kontrol edilir. Eğer süreç kontrol altındaysa daha fazla bilgi üretmez, buna karşılık deney tasarımları aktif istatistiksel yöntemlerdir. Bu deneyleri kişiler kendileri aktif olarak

oluşturur ve bir dizi gözlem yaparak sürecin iyileştirilmesi için deneylerin kendilerine attıkları yorumlanır (Gürsakal, Oğuzlar, s.217, 2003).

Motorola firmasının kalite grubundan K Bhote kitabında üç yöntemin kalite gelişimine olan katkısını 1950-1990 dönemi için Amerika ve Japonya’da karşılaştırmaktadır. Amaçları kalite sağlamak olan bu üç yöntem, “geleneksel muayene”, “istatistiksel proses kontrolü” ve deney tasarımı yöntemleridir. Japonya’da kalitenin ilerlemesine en büyük katkısı, 1970’den sonra deney tasarımı sağlamıştır. Japonya’da yılda bir milyondan fazla istatistiksel olarak tasarlanmış deneyin uygulandığı söylenmektedir. Bu deneylerin bazıları oldukça büyük ölçeklidir. Örneğin Japon Fuji firmasını 1980’lerin ortalarında ziyaret eden bir Amerikan heyeti, Fuji firmasında 100 adet faktörün film kalitesine olan etkisinin birlikte incelendiği bir deneyin uygulanmakta olduğunu gözlemiştir. 1980’lerin başında Profesör Taguchi’nin Amerika’da verdiği seminerlerden sonra deney tasarımının eğitimi ve uygulaması Amerika’da da hızla yaygınlaşmıştır. Bugün dünyanın hemen hemen her ülkesinde deney tasarımı eğitimleri verilmekte ve yöntem üretiminde uygulanmaktadır (Şirvancı, 1997, s.13).

2.3. KALİTE KONTROL MALİYETLERİ

Kalite ve maliyet arasında bulunan ve ters orantılı olduğu düşünülen ilişki, gün geçtikçe geçerliliğini kaybetmektedir. Günümüzde düşük kalitenin üretici firmalar için daha maliyetli olduğu kabul edilmektedir. Firmalar gün geçtikçe artan bir çabayla üretim süreçlerini iyileştirerek kalite kontrol maliyetlerini düşürmeye çalışmaktadırlar. Firmaların katlanabileceği maliyetler şu şekilde özetlenebilir:

1.Koruma Maliyetleri

- a) Kapasite planlanması
- b) Proses Kontrolü
- c) Araştırma-Gecikme çalışmaları
- d) Ölçme Aletleri dizaynı ve geliştirilmesi

e) Eğitim

2. Ölçme ve Değerleme Maliyetleri

a) Gelen malzemenin muayene ve kontrolü

b) Laboratuvar testleri

c) Tamir Bakım ve Kalibrasyon

d) Muayene

e) Malzeme

f) İşçilik Kontrolü

g) Test ve muayene hazırlıkları

h) Analizler

i) işletme dışı ölçme ve testler

3. Bozuk mal Maliyetleri

a) Iskarta

b) Düzeltme veya tamir

c) Mühendislik hizmetleri

d) Müşteri şikayetleri

e) Servis (Kobu, 1998, s.490).

2.4. KALİTE GURULARI VE KALİTE TANIMLARI

Geçmişten günümüze kalite geliştirme çalışmalarına büyük katkıları olan ve çoğunun fikirlerinin halen geçerliliğini sürdürdüğü kalite gurularından aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

1) W Edwards Deming:

W. Edwards Deming tartışılmaz bir şekilde kalitenin gurusudur. ABD ve endüstrileşmiş ülkelerde kalite yönetiminin ilerleyişinden neredeyse tek başına sorumludur. 1930-1950 yılları arasında istatistiksel proses kontrol kavramını kalite ve verimliliğin iyileştirilmesi ve maliyetlerin azaltılması için oluşturup

geliştiren bir istatistikçidir. Japonyada bu konuda verdiği eğitimlerle daha sonra Juran tarafından verilecek eğitimlere önemli bir alt yapı sağlanmıştır. Sorumluluk alanları işin gerektirdiği kişiler ve değişim Deming'in dikkat çektiği alanlardır. Deming'e göre bir ürün ya da hizmetin tasarımını yenileme, süreçleri yenileme ve mevcut süreçleri iyileştirme yoluyla olmak üzere kalite üç şekilde iyileştirilebilir:

Deming'in beş prensibi şöyledir.

- Kalite eksikliğiyle ilgili temel problem yönetimin çeşitliliği anlayamamasıdır. Her şey çeşitlilik gösterir, istatistik ise ne kadar çeşitlilik göstereceğini tahmin etmekte yardım eder.
- Problemlerin sistemde mi yoksa insanların davranışında mı olduğunu bilmek yönetimin sorumluluğundadır.
- Takım çalışması; bilgi tasarım ve sürekli yeniden tasarıma dayanmalıdır. Sürekli iyileştirme yönetimin sorumluluğundadır. Düşük kalite ve verimliliğin bir çok nedeni, sistemden kaynaklanmaktadır.
- İnsanların eğitimi, istatistiksel kontrole geçebilmelerini sağlayacak düzeyde olmalıdır.
- Detaylı açıklamalar getirmek yönetimin sorumluluğundadır (Çetin, 2001, s:190).

2) Joseph M. Juran (1904-..)

Juran'a göre kaliteyi yönetmek evrensel bir süreçtir. Kalite yönetimi felsefesinin evrensel bir süreçten ibaret olduğunu ve bunun kalite planlama, kontrol ve iyileştirme olarak üç aşamadan oluştuğunu belirtmiştir. Bir başka anlatımda da kaliteye ulaşmak için politikalar ve hedeflerle beraber işletme için vizyonu tespit etmek gerekmekte olduğu vurgulanmıştır. Bu bağlamda hedeflerin sonuçlara dönüşebilmesi ancak planlama, kontrol ve iyileştirme gibi yönetsel işlemlerin kapsamlı kullanımından geçer (Çetin, 2001, s: 183).

3) Philip B. Crosby (1926-..)

Crosby 1979 yılında kabul edilebilir kusur seviyesi ile ilgili düşünce sisteminden söz ederek “Kalite Ücretsizdir” adlı eserinde herhangi bir kusur seviyesinin çok yüksek olduğunu ve işletmelerin, onları sıfır hata amacına götürecek programlar oluşturmaları gerektiğini ileri sürmüştür. Kalitenin ihtiyaçlara uygunluk olarak tanımlanması, önleme ile değil değerlendirme ile başarılır olması, kalitenin başarı standardının sıfır hata olması ve kalitenin uygunluk fiyatı ile ölçülebileceği, indekslerle ölçülemeyeceği Crosby’nin düşüncelerindendir (Çetin, 2001, s:194).

4) Shigeo Shingo

Kalite kapsamında Shingo’nun yaptığı en büyük katkı 1960’da geliştirdiği poka-yoke ve kaynak kontrol sistemleridir. Shingo, bu kavramları istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinin hataları sıfıra indirmeyeceğini anlaması ile geliştirmiştir.

5) Genichi Taguchi

Taguchi’nin katkısı etkili kalite tasarımı konusunda olmuştur. Taguchi’nin yöntemleri hedeflenen değerlere ulaşamamanın maliyetine odaklanmaktadır. Geleneksel kalite yönetimi ile bu anlayış arasında bir çelişki bulunmaktadır. Geleneksel yaklaşımda bir ürün spesifikasyon limitlerini karşıladığı sürece kabul edilebilirken Taguchi bu görüşü paylaşmamaktadır. Bu nedenle kayıp fonksiyonu kuramını geliştirmiştir. Bu katkısı ile, hedef değerden uzaklaşıldığında bunun ürün ve süreç özelliklerinin bir sonucu olarak değerlendirilmesi gerektiğini vurgular. Böylece maliyetlerdeki kayıp hesaplanabilmektedir. Kayıp fonksiyon, hedef değerden uzaklığın karesine karşılık gelmektedir. Taguchi; hedef değere ulaşmak için ürün ya da üretim süreci üzerinde durmuştur. Tasarım ve planlama aşamasında harcanan emek ve zamanın daha sonra harcanacak emek ve

zamandan tasarruf sağlayacağını belirtmiştir (Çetin, 2001, s:203). Taguchi'ye göre kalite, ürünün toplum tarafından algılanışıdır (Flood, 1993, s.42).

6) Kaoru Ishikawa (1915-1989)

Ishikawa; istatistiksel kalite kontrol vasıtasıyla kalite yönetimine yaptığı katkılarla tanınan bir yazardır. Ishikawa ya da neden sonuç analizi (balık kılçığı) olarak bilinen katkı, problem çözme tekniği olarak en çok kullanılan tekniklerden biridir. Ishikawa, kalite kontrol çemberlerinin babası olarak bilinir. Kalite problemlerini çözen kalite kontrol çemberleri (çalışma takımları) yedi temel aracı kullanarak bu işi yapabilirler. Şirket çapında kalite kontrol uygulamaları sonucunda ortaya çıkan bu gruplar aracılığı ile herkes herkesin işiyle ilgilenmeye başlamış ve çok çeşitli beceriler kazanarak beceri zenginliği ortaya çıkmıştır. (Çetin, 2001, s:198)

7) Armand Feigenbaum

Feigenbaum toplam kalite kontrol ve kalite maliyetleri kavramlarının öncüsüdür. Toplam kalite kontrolü en ekonomik seviyede tam olarak müşteri tatminini sağlamaya yönelik olarak, bir işletme içindeki üretim, pazarlama, insan kaynakları, finansman, mühendislik gibi birimlerdeki çeşitli grupların çabalarını bütünleştiren bir sistem olarak tanımlanmıştır. Kalite kavramını belirli müşteri ihtiyaçları için ürünün fiili kullanımı ve satış fiyatıyla ilgili olarak kullanırken, kontrol kavramını da bir süreç olarak ele almaktadır (Çetin, 2001, s:199). Feigenbaum'a göre kalite, organizasyonun asıl yönetilme şeklidir (Flood, 1993, s.42).

2.5. KALİTE İYİLEŞTİRME PROSESİ

Tanımını, "Kuruluşun, kalite hedefleri ve stratejisinin, kullanıma uygunluk, performans, güvenilirlik, emniyet vb. faktörlere bağlı olarak üst yönetimce

belirlenmiş ve tüm çalışanlara uygunluk hali” olarak yapabileceğimiz firmaların sahip olması gereken kalite politikası; sürekli iyileştirme, müşteri tatmini, önleme gibi temel kalite güvence prensiplerini kapsar ve firmanın tüm çalışanlarına ışık tutacak biçimde hazırlanır (Aytimur, 1997,s.13).

Dünya çapında rekabeti hedefleyen bütün iyileştirme programları müşteriye çok iyi anlamak ile başlamalıdır. Firmaların pazardaki beklentiyi bilmesi ve bunu ürün ve proses parametrelerine yansıtması önemlidir. Yedi yönetim aracı müşterinin sesini kalite fonksiyon göçerimine çevrilmesinde yardımcı olur. Proses, proses kontrol araçları ile stabilize edildikten sonra proses analizi ile daha fazla geliştirilir. Proseslerde daha fazla geliştirilmeye aday olanların bulunması için eldeki verilerin değerlendirilmesinde Anova analizi, prosesin geliştirilmesinde ise kalite fonksiyon göçerimi ve deney tasarımı önerilir. Kayıp fonksiyonu ile yapılacak iyileştirilmenin maliyetin düşmesine katkı sağlayıp sağlamayacağına bakılır. (Frigon& Mathews, 1997, s:2)

Tablo 2. 1 Juran’ın Kalite Geliştirmesinde Semptomdan Nedene Doğru Yolculuğu

Proses	Aktivite	Yönlendirme	Teşhis
Semptomdan Nedene Yolculuk	Projelere öncelik atanır	X	
	Semptomlara pareto analizi yapılır		X
	Semptomların nedenleri teorize edilir.	X	
	Teoriler analiz edilir. (Veri toplanıp analiz edilir)		X
	Teori listesi daraltılır.	X	
	Deney Tasarımı yapılır.		X
Nedenden Çözüme Yolculuk	Tasarım onaylanır, otorite desteği sağlanır.	X	
	Deney gerçekleştirilir, sebep sonuç ilişkileri saptanır.		X
	Çözüm üretilir.	X	

	Üretilen çözüm test edilir.		X
	Çözüm için gerekli eylemler kontrol edilir.	X	

(Summers, 2000, s:35)

2.6. KALİTE TEKNİKLERİ

Kalite teknikleri başlığı altında ele alınan ve müşteri memnuniyetini, dolayısıyla da işletme başarısını garanti altına almaya yönelik olarak kullanılan tüm teknikler önleyici niteliğe sahiptirler, hata veya başarısızlık söz konusu olduğundan doğru sonuçlara ulaşmaya katkı sağlarlar. “Kalite ürünle birlikte tasarlanmalıdır ve sürekli geliştirilmelidir” anlayışı ile yola çıkıldığında, ürün ve kalite geliştirme çalışmaları sadece ürünle ilgili teknik çizimler ile sınırlı görülmemelidir.

Ürün fikri oluşumundan başlayıp, ürün müşteriye ulaşmaya kadar geçen tüm evreler, sistematik ve planlı bir yaklaşımla bütünlük olarak ele alınmalı ve kalite tekniklerinden yararlanılarak olası sorunları en alt düzeye çekme öngörüsü ile hareket edilmelidir. Kalite teknikleri olarak adlandırılan ve dünya pazarlarında liderliği elinde tutan başarılı ülke ve işletmelerde ürün ve kalite geliştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bu teknikler:

- Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme (KFG) (Quality Function Deployment, KFG)
- Olası Hata Türü ve Etkisi Analizi (OHTEA) (Failure Modes and Effect Analysis, FMEA)
- Hata Ağacı Analizi (HAA) (Fault Tree Analysis, FTA)
- Deneylerin Tasarımı (DT) (Design of Experiments, DOE)
- Poka-Yoke
- İstatistiksel Proses Kontrol (İPK) (Statistical Process Control, SPC)

olarak tanımlanan altı teknikten oluşmaktadır. Bu tekniklerin özellikleri ve hedefleri ürün ve kalite geliştirmeye katkıları çevresinde Tablo2 de özetlenmiştir (Taptık, Keleş, 1998, s:108).

Tablo 2. 2 Kalite Teknikleri

Kalite Tekniği	Tekniğin Karakteristiği	Hedef	Aşama
KFG Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme	Ürün proses niteliklerine tüketici taleplerinin adapte edilmesi	Tüketicinin gereksinimine uygun ürünler	Ürün fikrinden proses aşamasına kadar
HAA Hata Ağacı Analizi	Hata nedenlerinin sistematik araştırılması	İşletmede olası arızaların önceden kaldırılması	Tasarımdan seri üretime kadar
OHTEA Olası Hata Türü Etkisi Analizi	Disiplinler arası diyalog, sistematik yaklaşımla hataların tanımlanması	Olası hataların azaltılması	Tasarımdan üretime kadar
DT	İstatistik deney planlaması için uygulamalı yöntem	Deneyleerin azaltılması sağlamlığının artırılması	Ürün geliştirme ve üretim
POKA-YOKE	Üretimde olası hata kaynaklarının azaltılması	Hata sonuçlarının tanımlanması ve önlenmesi	Üretim ve montaj
İPK İstatistiksel Proses Kontrol	Kalite yeteneği olan üretimin yolunda tutulmasına yönelik proses gözetimi	Pahalı olan iyi-kötü ayrımının azaltılması prosesin iyileştirilmesi	Üretim Kalite Planlama

2.6.1. Diğer Araç ve Teknikler

Deming döngüsü, veri toplama formu, ilişkilendirme diyagramı, kıyaslama, akış şeması, ağaç diyagramı, matris diyagramı gibi teknikler kalite iyileştirme için kullanılan diğer teknikler olarak sayılabilir.

Tablo 2. 3 Kalite İyileştirilmesi İçin Araç ve Teknikler

Araç ve Teknikler	Uygulamalar
Deming Döngüsü	Her aşamada sürekli bir iyileştirme sağlamak
Veri Toplama Formu	Gerçekleri net olarak görebilmek için sistematik veri toplamak
İlişkilendirme Diyagramı (Afinity Diyagram)	Belirli bir konu hakkında çok sayıda fikiri düşünceyi veya görüşü bir araya toplamak
Kıyaslama (Benchmarking)	Kalite iyileştirme fırsatını tanımlamak amacıyla, bir prosesi tanınmış lider kuruluşların prosesleri ile kıyaslamak
Akış Şeması	Mevcut bir prosesten yeni bir proses tasarlamak amacıyla yapılır.
Ağaç Diyagramı	Bir konu ve onun elamanları arasındaki ilişkiyi göstermek için uygulanır.
Nominal Grup Tekniği	Bir çeşit takım kararlaştırma tekniğidir.
Ok Diyagramları	Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği olarak bir çizelgeleme plan türüdür.
Matris Diyagramları	İki boyutlu bir dizi satır ve sütundan meydana gelir.
Kuvvet Alanı Analizi	Yapılması gereken değişikliklere yardım etmek veya engel olmayı sağlayan kuvvetleri tanımlamakta

	kullanılır.
Poke- Yoke (Hatadan Sakınma)	Hataların tekrarını ve kusurlu ürünün oluşmasını önlemeyi amaçlayan ve prosesi sürekli iyileştiren sistemleri kurmak
FMEA (Hata Modu Etki Analizi)	Riskleri Tahmin ederek hataları önlemeye yönelik güçlü bir analiz tekniğidir.
Toplam Verimli Bakım	Kalite Kontrolün proses denetiminde (önlenmesinde) kullanılmasıdır.
Deney Tasarımı ve Taguchi Yöntemi	Ürünün performans farklılıklarını asgariye indirerek, hem imalat, hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktadır.
Tam Zamanında Üretim (Just in time JIT)	İşletmedeki zaman ve kaynak kayıplarını önlemek ve ortadan kaldırmak
Kalite Fonksiyon Yayılımı (Quality Function Deployment)	Ürün ve hizmetlerin planlanmasına ilişkin bir tasarım projesi ve metodolojisidir.

(Çetin v.d., 2001, s: 480)

2.6.2. Altı Sigma

Altı Sigma, şirketlerin, karlılıklarını önemli ölçüde iyileştirmelerini sağlayan bir yönetim sistemidir. Bu sistemde, fire ve kaynak kullanımı minimize edilirken müşteri memnuniyeti ve sadakatinin artırılması için iş süreçlerinin gözden geçirilip iyileştirilmesi esastır.

Altı Sigma, şirket içerisinde yapılan her faaliyette, üretimden sipariş almaya kadar, daha az hata yapılması yönünde rehberlik yapar. Kalite kontrol sistemleri ticari, sanayi ve tasarım hatalarını yakalamaya ve düzeltmeye odaklanırken, Altı Sigma çok daha geniş manada, hataların ve firelerin bir daha hiç olmaması için süreçlerin iyileştirilmesine yönelik spesifik bir metot sunar.

Altı Sigma stratejisinde ilk adım, kişileri alışılmış düşünme şeklinden çıkartacak sorular sorulması ile atılır. Bu, kişileri olağan gibi kabul ettikleri konuları gözden geçirmelerine ve yeni bir yön edinmelerine faydalı olur. Altı Sigma şirkette kötü alışkanlıkların ve bürokrasinin azaltılmasını sağlar. Operasyonun içinde olan ve müşteriye en yakında bulunan kişiler, müşteri beklentilerini karşılamak için çok motive bir şekilde çalışırlar. Belli ürünlerin şirket içinde yapılış şekilleri ve süratleri gözden geçirilmeye ve analiz edilmeye başlandığında, çalışanlar daha kaliteli ürünleri daha kısa zamanda nasıl yapacaklarını araştırmaya başlarlar.

Altı Sigma metodunun içerdiği zor sorular firmaları, rakamlar ile ölçülebilir cevaplar vermeye mecbur ettiği için, şirket içerisinde kültür değişimi başlar ve hızlanır. Altı Sigma sayesinde şirketler bir ürün veya hizmet üretimindeki her türlü süreçlerini, rakamlarını ve adımlarını gözden geçirmeye başlarlar. Bunun sonucunda da şirketler, performansı yani başarıyı nasıl ölçeceklerine karar verirler, girdileri ve çıktıları ölçmeye başlarlar çünkü ölçülemeyen birşey değiştirilemez.

Sonuç olarak Altı Sigma sistematik bir soru sorma sürecidir; bu süreçte elle tutulur ve ölçülebilir cevaplar aranmakta, bu cevaplar ile karlı sonuçlara ulaşmaya çalışılmaktadır.

Altı Sigma müşteri beklentilerinin karşılanmasında mükemmel yakın bir performans hedefidir. İstatistiksel tanım olarak altı sigma, bir sürecin performansının milyonda 3.4 hata olasılığını aşmaması demektir. Yani milyonda 3.4 'ten daha az hata yapılması demektir.

Yönetimsel olarak baktıldığında ise Altı Sigma, şirketin, daha fazla müşteri memnuniyeti, karlılık ve rekabetçilik yönünde odaklanmasını sağlayan tam bir "kültür değişimi" dir. Bu sistemin uygulandığı şirketlerde yaşanan değişim gözlemlendiğinde kültür değişimi tabirinin abartma olmadığı görülebilir.

Altı Sigma'nın en temel özellikleri müşteri ihtiyaçlarının çok iyi anlaşılması, verilere dayalı bir karar mekanizması kurulması ve süreçlerin disiplin içinde uygulanmasıdır. Bunların sonucunda;

- Hatalar azalmakta,
- Çevrim süreleri kısalmakta,
- Stok seviyeleri düşmekte ve
- Verimliliğin yükselerek, maliyetlerin azalması sağlanmaktadır.

Elde edilen bu sonuçlar ise yüksek müşteri tatmini ve artan pazar payı ile birlikte karlılık artışını beraberinde getirmektedir.

Altı Sigma Roller

Projenin başarılı ve etkin uygulanması için şirket bünyesinde yaratılması gerekli görülen roller ve bu kişilerin profilleri aşağıdaki gibidir:

Altı Sigma Şampiyon:

Bu rol için bir kişi yeterli olacaktır. Full-time çalışma gerektirmemekle beraber, bu rolü üstlenecek kişinin üst düzey ve vizyon sahibi bir kişi olması, 12-15 yıllık iş tecrübesinin yanısıra şirkette en az 4-5 yıl çalışmış olması ve şirketin kritik süreçleri ile başarı faktörlerini çok iyi tanıyor olması beklenmektedir. Bu kişi Altı Sigma Görevlendirme Planından ve uygulama stratejisinden sorumlu olup, proje fikirlerinin tespit edilip, önceliklendirilmesine liderlik edecek, Kara Kuşakların gelişimine destek olacak ve sürdürülebilir kazançlar elde edilmesini sağlayacaktır.

Yerel Şampiyonlar:

Bu rolleri, şirket içerisinde en etkin konumdaki 3 ila 5 Genel Müdür Yardımcısı veya Bölüm Müdürünün üstlenmesi en doğrusudur. Yerel Şampiyonların sorumlulukları arasında, kendi bölümleri için bir Altı Sigma Görevlendirme Planı hazırlamak, proje tanımı ve sıralaması yapmak, Kara Kuşakların tespiti, geliştirilmesi ve desteklenmesi ile sürdürülebilir sonuçlar alınmasını sağlamak sayılabilir.

Süreç Sahipleri:

Şampiyonlar dışında kalan üst düzey yöneticiler ve şirket içindeki kilit süreçlerin yöneticileri bu rolü üstlenirler. Süreç sahipleri kendilerinden beklenen Altı Sigma Görevlendirme Planını desteklemek, proje tanımı ve seçimi işlemlerine destek olmak, projelerin başarılı olup, süreçlerin devamlı iyileştirileceği ve bunların korunacağı bir ortam yaratmakla yükümlüdürler.

Master Kara Kuşak (MKK):

Bu kişi Altı Sigma uygulaması için teknik liderlik yapacak, Kara Kuşaklara projelerinde danışmanlık yapacak ve onları eğitim sonunda değerlendirip sertifikalandıracaktır.

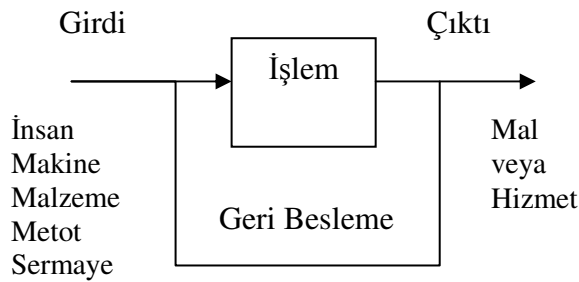
Kara Kuşak (KK):

Bu kişi şirkette en az 2-3 yıl tecrübeli, fonksiyonel veya teknik uzmanlar arasından seçilmelidir. Görevi Altı Sigma projelerini yönetmek ve her sene yönetimin karar vereceği oranda bir kazancın elde edilmesini sağlamaktır. Bunun dışında, Altı Sigma ile ilgili, şirket içinde birer uzman olarak, gerektiğinde diğer çalışanları eğitmek ve Altı Sigma'yı tanıtmak da görevleri arasında sayılabilir. (Çevrimiçi:04.102007.<http://www.kalekalip.com.tr>)

BÖLÜM 3. ÜRETİM VE İMALAT SÜRECİ ESASLARI

Üretim, var olanın değerini arttırmak üzere, mal ve hizmetlerde yapılacak değişikliklerin oluşturduğu süreç olarak tanımlanabilir. Bu tanımdan da anlaşıldığı gibi, mal üreten süreçler ve hizmet üreten süreçler olmak üzere iki tür süreçten bahsedilebilir. Bu nedenle üretim olayının yalnız fiziksel bir ürünün varlığı demek olmadığı görüşü 1960’lardan sonra giderek yaygınlık kazanmıştır.

Üretim sistemi, ekonomik değeri olan bir ürünün yapımı için oluşturulan insan makine malzeme sistemi olarak belli çeşit ve miktarda girdiyi alıp anlamlı bir çıktıya dönüştürebilen sistemdir. Üretim sisteminin temel özelliği bir dönüştürme süreci içermesidir. Bu dönüştürme süreci kara kutu olarak adlandırılır. Bu kara kutuda yer alan işlemlere ilişkin kararların alınması ve uygulanması üretim yönetiminin temel konusudur. Üretim sistemlerinin genel amacı kaliteli ve verimli bir çıktıyı ortaya koyabilmektir. Üretim sistemlerinin çalışmalarını değerlendirmede kullanılan kriterler etkinlik, üretkenlik, verimlilik gibi kavramlar olup, her biri ayrı bir önem taşımaktadır. (Yamak, 1993, s: 19)



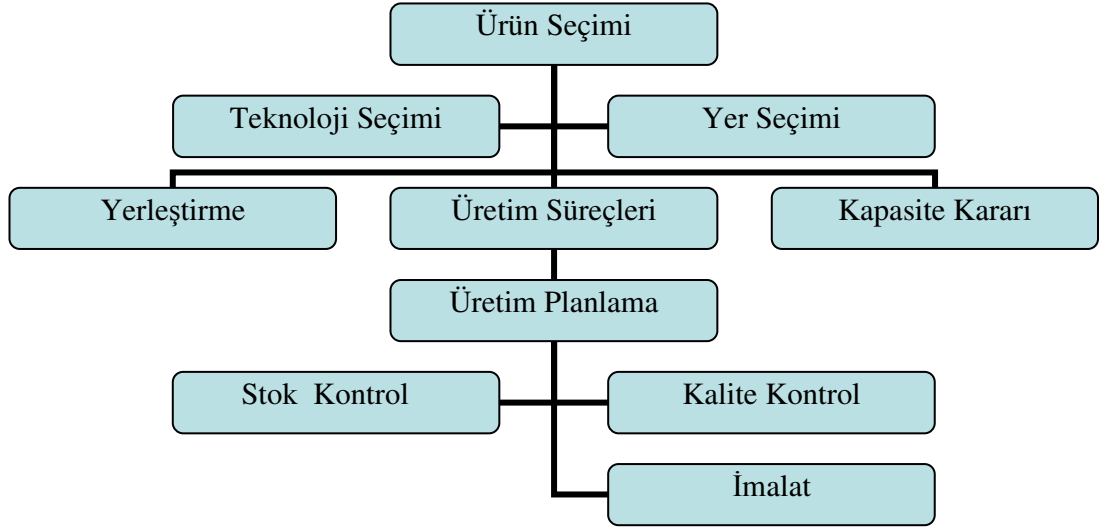
Şekil 3. 1 Üretim Sistemlerinin Genel yapısı

En genel anlamda üretim, insana faydalı olacak “ürün” adı verilen bir nesne meydana getirme işlemidir. Fiziksel olarak üretim genel bir şekilde olan ve hammadde denilen nesneye, amaca uygun bir şekil vermektir; yani bir şekil değişimi meydana getirmektir (Akkurt 2002, s:337).

İmalat ise, kelime anlamı olarak iki Latin kelime olan el (hand) ve yapma (make)’dan alınmış, bileşik anlamı ile “elle yapma” demektir. Fakat günümüzde çoğu modern imalatlar, otomatik ve bilgisayar kontrollü tezgahlar aracılığı ile yapılmaktadır. Teknolojik olarak imalat; parça veya ürün elde etmek için verilen başlama maddesinin (hammadde- yarı mamül) görünümünü ve/veya geometrisini, özelliklerini değiştirmek amacıyla, fiziksel ve kimyasal işlemlerin uygulanmasıdır. İmalata çok parçalı montaj da dahildir. İmalat ve üretim kelimeleri, genellikle birbiri yerine kullanılmaktadır, ancak üretimin imalattan daha geniş kapsamlı olduğu söylenebilir(Şahin, 2000, s:2).

3.1. ÜRETİM SÜRECİ ESASLARI

Üretim yönetimi, insan, makine ve malzeme gibi kaynakları bir araya getirmek ve bunları amaçlanan ürünü elde edecek biçimde etkin ve verimli kullanmaktır. Bu kapsamda ne üretilecek, ne miktarda üretilcek, nerede üretilcek, tesisler nereye yapılacak, ürün nasıl üretilcek, hangi yöntemler kullanılacak, kapasite ne olacak, kapasitenin ne kadarı kullanılacak, yerleştirme düzeni nasıl olacak, hangi işler yapılacak, kimler yapacak, ne kadar iş gücüne gereksinim var, hangi teknoloji kullanılacak gibi sorunlar konusunda karar verilmesi gerekir (Yamak, 1993, s: 38). Şekil 3.2’de bir üretim yönetiminde yer alan işlemlerin çoğu, ana başlıklar halinde bir şema olarak gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.2 Üretim Yönetiminde Yer Alan İşlemler

3.1.1. Üretim Sistemleri

Üretim sistemlerinin sınıflandırılması gereği, sistemin işleminde karşılaşılan önemli sorunların farklı sistemlerde farklı nitelikte olmasından kaynaklanır. Üretim sistemleri sürekli ve kesikli olarak adlandırılmaktadır (Yamak, 1993, s: 24).

Sürekli üretim eldeki makine ve tesislerin yalnız belirli bir mamüle tehis edilmesi ile yapılan üretimdir. Söz konusu mamülün talep düzeyi ve üretim miktarları çok yüksektir. Sipariş ve parti üretimlerinde, üretim hızının talepten biraz yukarıda olmasına izin verilebilir. Yani bir miktar stoklama yapılabilir. Sürekli üretimde ise ancak, talep hacminin üretimi her an yakından izlemesi şartı ile faaliyetleri sürdürmek mümkündür. Sürekli üretimi;

- a) Kütle ,
- b) Akış (veya proses)

üretimi olarak iki alt gruba ayırmak mümkündür. İki grup arasındaki önemli fark şöyle belirlenebilir: Kütle üretiminde bir mamülden çok büyük miktarlarda ve uzun sürede imal edilebilir. Fakat gerektiğinde, makine ve yerleştirme düzeni, tertibat kalıp gibi bazı özelliklerde bazı değişiklikler yapmak suretiyle başka tip mamülün üretimine geçme olanağı vardır. Örneğin, otomatik revolver tornalar ile belirli büyüklükte vida imal eden bir atölyede, kontrol mekanizmaları kesme kalemleri ile tespit tertibatlarını değiştirerek başka bir vida üretimine geçilebilir. Akış veya proses üretiminde makine ve tesisler yalnız bir cins mamulü üretecek şekilde dizayn edilmiş ve yerleştirilmiştir. Aynı yerde başka bir mamulü üretmek ya çok pahalıdır veya olanaksızdır. Çimento, şeker, petrol rafinerisi, motor vb. endüstriler akış üretiminin belli başlı örnekleridir. Sürekli üretimde üretim planlama ve kontrol faaliyetleri parti üretimine kıyasla çok daha basittir ve az yoğunudur. Üretime başlamadan önce geniş ve ayrıntılı planlama yapılır. Fakat üretim başladıktan sonra planlarda ve kontrol işlemlerinde değişiklik yapılması söz konusu değildir (Kobu,1999, s:37).

Bir malın, bir defa veya tekrarlanarak belirli aralıklarla üretilmesi kesikli üretim konusuna girer. Siparişe göre üretim ve parti üretimi bu gruba girer. Tekrarlanma, talep belirsiz olduğu taktirde, belirsiz aralıklarda, talep belirli bir süre içinde belirli miktarda olduğu taktirde gerçekleşir. Talep edilen miktar (sipariş) kadar üretim yapılıncaya, üretim durur; başka bir malın üretimine geçilir veya aynı malın tekrar ayrı bir parti olarak üretimine devam edilir (Doğruer, 2005, s:30).

Belirli bir sistemin yukarıdaki sınıflardan yalnızca birine ait olması şart olmamakta fabrikaların pek çoğunda birkaç üretim tipinin yer alması mümkün olmaktadır. Hangisinin uygun olduğu fabrikanın kendi yapısına bakılarak fabrikaya yarar sağlayacak şekilde belirlenir.

3.1.1.1. Kesikli ve Sürekli Üretimin Farkları

Üretim miktarına veya akışına göre yapılan sınıflandırmada sipariş üretim, parti üretimi, sürekli üretim ve proje üretimi olmak üzere dört üretim tipi

tanımlamıştı. Bunların ilk ikisinde tanımlardan da anlaşılacağı üzere iki ayrı mamülün belirli ve belirsiz aralıklarda üretilmesi söz konusudur. Bu açıdan üretim tiplerini kesikli ve sürekli olarak iki ana grupta toplamak mümkündür. İki grup arasındaki farklar şöyle özetlenebilir:

- 1) **Üretim Miktarı:** Kesikli üretimde mamül miktarı küçüktür. Buna karşılık mamül çeşidi fazladır. Eğer mamul çeşitlerinden bazılarının talebi yüksek düzeylere ulaşırsa, fabrika içinde bunlar için ayrı ve sürekli üretim yapan hatlar kurulur. Böylece, pratikte sık görüldüğü gibi aynı fabrika içinde iki tip üretim akışı yer almış olur.
- 2) **Kullanılan Makine ve Techizat:** Kesikli üretimde mamül cinsi ve dolayısı ile yapılan işlemler değiştiğinden, hammaddelere şekil veren tezgahların çeşitli işler görme niteliğinde olmaları istenir. Bu tür makinelere çok amaçlı veya üniversal tezgahlar denir. Üniversal tezgahlarda yapılabilecek işlem tipi bakımından sınırlar geniş olmasına rağmen hız ve verimlilik düşüktür. Halbuki sürekli üretimde kullanılan özel tezgahlarda, çalışma hızı ve insan gücünden yararlanma oranları oldukça yüksektir.
- 3) **Fabrikanın Yerleştirme Düzeni:** Makinelerin ve çalışma alanlarının fabrika içindeki yerleştirme düzeni, işlemin cinsine veya mamülün oluşmasında izlenen yola göre kurulur. Kesikli üretimde bazen prosese göre yerleştirme adı ile tanınan birinci kritere göre yerleştirme yapılır. Yani aynı işi gören tezgahlar bir yerde toplanır. Örneğin torna, freze ve matkaplar bir araya toplanarak makine atölyesi, kesme bükme tezgahları da bir arada gruplanarak saç atölyesi oluşturulur. Sürekli üretimde hammaddeden başlayarak mamül hale ulaşınca kadar iş parçası üzerinde uygulanan işlemleri yapan tezgahlar, bir imalat hattı üzerinde sıralanmıştır. Burada farklı cinsten tezgahların yan yana bulunması olağandır.

- 4) **İş Yüğü Dengesi:** Üretilen malın cinsinin sık sık değışmesi ve miktarının önceden bilinmemesi programlama yapmayı olanaksız kılar. Diğer taraftan tezgahların aynı anda farklı mamullere ait işlerle yüklenmiş bulunması, bir kısımda iş yığılmalarına, bir kısmında da boş kalmalara neden olur. Bu nedenle kesikli üretimde iş yükü dengesini sağlamak çok güçtür. Bazı tezgahlar boş beklerken bazılarının işi zamanında yetiştirememesi olağan sayılır. Halbuki sürekli üretimde programlar çok önceden titizlikle hazırlanmış bulunduğundan tezgahların iş yükleri arasında duyarlı bir denge vardır. Dolayısı ile kapasitelerden yararlanma oranı yüksek, gecikmelerin neden olduğu kayıpların oranı ise düşüktür.
- 5) **İşçilik Kalifikasyonu:** Üretilen malın cinsinin sık sık değışmesi imalatı yapan işçinin daha fazla bilgi ve inisiyatif kullanmasını gerektirir. Eğer imalatı, karmaşık teknik resimlerin okunması, ölçme işlemleri ve hassas tezgahların kullanılması gibi faaliyetler yer alıyorsa işçinin kalifiye olma durumu daha büyük önem taşır. Sürekli üretim yapan fabrikalarda birkaç kalifiye elemana karşılık, önceden ayrıntılı olarak planlanmış belirli, rutin sayılabilecek işleri gören çok sayıda vasıfsız işçi de bulunmaktadır (Kobu,1999, s:39).
- 6) **İş Hazırlama Maliyetleri:** Üretilen mal cinsinin sık sık değıştiği kesikli üretim tipinde iş hazırlama faaliyetlerinin yoğun olması doğaldır. Üretimin büyük partiler halinde yapıldığı sürekli üretimde yoğunluk azdır ancak yapılacak bir hatanın doğuracağı sakıncalar büyük olabilir.
- 7) **Hammadde ve Yarı Mamül Stokları:** Kesikli üretimde yüksek hammadde ve istasyonlar arası oluşabilecek iş yükü dengesizliği sebebiyle yarı mamül stoğu gerekirken, sürekli üretimde, düşük stok seviyesi mevcuttur, yalnızca üretimin doğasından dolayı yeterli hammadde bulundurulması gereklidir (Doğruer, 2005, s:30).

- 8) **Üretim Kapasitesi:** Üniversal tezgahlardan oluşan bir imalat atölyesinin kapasitesi çeşitli yollardan arttırılabilir. Çalışma yöntemlerini değiştirerek, fazla mesai yapma veya yeni tezgahlar alma yolu ile mevcut kapasiteyi arttırma olanağı vardır. Bu nedenle kesikli üretimde kapasitenin esnek olduğu söylenebilir. Sürekli üretimde tezgahlar birbirine bağımlıdır. Bunlardan birinin kapasitesini arttırmanın olumlu bir etkisi yoktur (Kobu,1999,s:41).
- 9) **Fabrika İçindeki Taşıma Faaliyetleri:** Kesikli üretimde çok farklı yere, çok farklı malzemenin iletilmesi gerektiği için üniversal taşıma araçları kullanılırken, sürekli üretimde taşıma hızı sabit olduğu için konveyör, kaygan yüzey gibi araçlar kullanılır.
- 10) **Tamir Bakım Faaliyetleri:** Sürekli üretime tamir bakım faaliyetleri çok önemlidir. Hatta olabilecek bir arıza kendisinden sonraki işlemleri ardıl olarak etkileyeceğinden ihmale gelmez. Makinelerin birbirinden bağımsız olduğu kesikli üretimde ise arızadan dolayı olabilecek zarar daha azdır. Ama her iki üretim tipinde de koruyucu bakıma önem verilmelidir.

3.2. İMALAT SÜRECİ ESASLARI

Üretim sürecindeki oluşuma göre çok çeşitli imalat yöntemleri kullanılır. İmalat; parça veya ürün elde etmek için verilen başlama maddesinin görünümünü, geometrisini, özelliklerini değiştirmek amacıyla fiziksel ve kimyasal işlemlerin uygulanmasıdır (Şahin, 2000, s:2).

İmalatta bilgisayar desteği ise günümüzde her yöntemde farklı konumlarda kullanılmaktadır. Ancak en genel anlamda CAD-CAM takım tezgahlarında herhangi bir parçanın işlenmesi; kalite (şekil, boyut, yüzey), yüksek produktivite, düşük

maliyet, esneklik gibi teknik ve ekonomik koşulların gerçekleştirilmesi için gerekir. Bu koşulları en iyi şekilde gerçekleştiren otomasyon olgusudur (Akkurt, 1996, s:3).

İmalat yapımında, çok çeşitli hammaddelerden ve yarı mamullerden, çok daha çeşitli yarı mamul ve bitmiş ürün elde edilebilmesi için farklı imalat yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler en genel haliyle döküm yoluyla, birleştirme yoluyla, talaşsız şekillendirme ve talaşlı şekillendirme ile beraber toplamda dört kümeye ayrılabilir.

3.2.1. Döküm Yoluyla İmalat

Döküm yöntemi, sıvı halde akıcı olan metallerin, üretilmek istenen parçanın biçiminde bir boşluk içeren kalıplara dökülerek biçimlendirildiği bir yapım tekniğidir. Sıvı metalin içinde döküldüğü kalıp olarak her dökülen parçadan sonra bozulan (örneğin kum) kalıplardan yararlanıldığı gibi, birden fazla parçanın üretimine imkan veren kalıcı (örneğin metal) kalıplar da kullanılabilir. Metalin katılaşmasından sonra kum kalıplar da kullanılabilir. Metalin katılaşmasından sonra kum kalıplar bozularak, kalıcı kalıplar ise açılarak dökülen parça çıkarılır.

Döküm yoluyla üretimin diğer yapım yöntemlerinden üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- Yöntemin sınırları çok geniş olup, hem çok küçük parçaların hem de tonlarca ağırlıktaki büyük parçaların üretimine uygun değişik teknikler bulunmaktadır.
- Çok karmaşık biçimli ve içi boş parçaların üretimi mümkündür.
- Bazı malzemeler (örneğin dökme demir) sadece döküm yoluyla elde edilebilir.
- Seri üretime uygun ekonomik bir yöntemdir.

Döküm yönteminin sınırları ise şunlardır:

- Çok ince kesitlerin elde edilmesi güçtür.
- Az sayıda parça üretimi için genellikle ekonomik değildir.
- Aynı malzemenin plastik şekil verme yöntemi ile elde edilmiş olanı, dayanma bakımından genellikle daha üstündür.

Kalıp malzemeleri, kalıplama yöntemleri, ergitme ocakları, döküm malzemeleri gibi alanlarda sürekli geliştirilen döküm teknolojisi, günümüzde yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemi haline gelmiştir. Döküm yoluyla biçimlendirilen metallerin en önemlileri kır dökme demir, temper dökme demir, beyaz dökme demir, çelik ve bakır alaşımlardır. Günümüzün dökümhaneleri mekanizasyon ve otomasyon yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı modern üretim tesisleridir (Cerit, 1996, s: 14-02).

3.2.2. Talaşsız İmalat

Talaşsız şekil vermenin bir diğer ismi de plastik şekil vermedir. Bir katı cismin şeklini başka bir şekle dönüştürmek amacıyla uygulanan ve bu işlem sırasında cismin malzemesinde kütle ve bileşim değişikliğine yol açmayan üretim yöntemlerine plastik şekil verme yöntemleri denir. Bu yöntemle üretilen parçaların en önemli uygulama alanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Otomotiv, takım tezgahları gibi çeşitli endüstriler için üretilen sayısız parçalar (örneğin otomobil kaportaları, krank milleri)
- Kerpeten, çekiç, tornavida gibi el takımları ve tıp aletleri
- Vida, somun, cıvata, perçin gibi bağlama elemanları.
- İnşaat sektöründe, örneğin kapı ve pencerelerde kullanılan donatım malzemesi.

Karbonlu ve alaşımlı çelikler (paslanmaz ve ısıya dayanıklı çelikler dahil), alüminyum, çinko, bakır ve bunların alaşımları gibi demir dışı malzemeler plastik

şekil verme yöntemleri ile işlenebilmektedir. Ayrıca, uzay ve reaktör teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda, titanyum alaşımları, nikel esaslı ısıya dayanıklı malzemeler, tungsten, molibden, zirkonyum ve bunların alaşımlarıyla benzeri malzemelere de, giderek artan talep nedeniyle, plastik şekil verme işlemleri uygulanmıştır (Cerit, 1996, s: 14-32).

İmalatta kullanılan çeşitli malzemelere bakıldığında bunların büyük bir çoğunluğunun hadde mamülleri (çelik kütükler, profiller, saçlar, v.b.) olduğu görülmektedir. Bunlara dövme, ekstrüzyon ve soğuk çekme mamülleri de eklendiğinde gerek yarımamül ve gerekse mamül olarak kullanıma giren malzemelerin miktar olarak hemen hemen tümüne yakın bir kesiminin talaşsız şekillendirme gördükleri kolayca saptanabilir. Burada söz konusu edilen, sadece yüksek kapasite özelliğinin dahi talaşsız şekillendirmenin önemini açıklamaya yeterli olmasıdır. Ancak bununla birlikte, işlemlerdeki hız, seri imalata uyum, malzeme kaybının hemen hemen hiç olmaması yine ilave edilmesi gereken çok önemli özelliklerdendir. Ayrıca talaşsız şekillendirmeye sağlanan yüksek dayanım özelliklerine diğer imalat usülleri ile ulaşabilmek, bugüne kadar mümkün olmamıştır (Yurci, 2003, s:2). En sık kullanılan talaşsız imalat yöntemleri şunlardır:

- **Dövme ve Basma**

Çok eski bir imalat tarzı olan dövme, iş parçasının basma kuvvetlerinin etkisi altında plastik şekil değiştirdiği bir şekil verme yöntemleri ailesini oluşturur. Dövme işlemi sıcak, yarı sıcak ya da soğuk olarak gerçekleştirilebilir (Cerit, 1996, s:37).

- **Haddeleme**

Haddeleme işlemi, parçanın, hadde ve yufkaç diye adlandırılan ve birbirine zıt yönde dönen ezici silindirler arasından geçirilerek plastik şekillendirmeye

uğratılmasıdır. Haddeme işlemleri ile bloğun kesiti daralırken, boyu uzamaktadır. Bu sırada ezilme ve bir miktar genişleme görülmektedir (Yurci, 2003, s:62).

- **Ekstrüzyon**

Silindirik bir metal blokun, bir kovan içine yerleştirilerek ıstampa vasıtasıyla uygulanan basma kuvveti etkisiyle matris deliğinden geçirilmesine ekstrüzyon denir. Bu yöntemle çubuk, boru, şerit gibi uzun ürünler elde edilir. Matris deliği ise ürünün kesitinin şeklindedir (Cerit, 1996, s:56).

- **Çekme**

Metal bir malzemenin matris ya da hadde olarak adlandırılan ve üzerinde bir ya da daha fazla delik bulunan bir takımdan çekilerek uzatılmasına çekme denir. Peşi sıra yapılan çekme işlemleriyle malzemenin kesit yüzeyi sürekli olarak düşürülür (Cerit, 1996, s:123).

- **Bükme ve Burma**

Bükme işleminde, parça kesitinin dış kısmındaki lifler uzatılmakta ve kesit daralmakta, iç kısmında ise lifler kısalıp kesit genişlemektedir. Çubuk kesitinin ağırlık merkezinden geçen nötr ekseninde değişiklik olmaz. Borularda da kesit darlamaları gözükür.

Burma işleminde de, kesitin ağırlık merkezinden geçen eksen sabit kalmakta ve lifler helisel bir şekil almaktadır. İç kısımlarda bası, dış kısımlarda da çeki kuvvetleri oluşur (Yurci, 2003, s:28).

3.2.3. Birleştirme Yoluyla İmalat

Birleştirme yöntemleri, çeşitli imalat süreçlerinde ve günlük hayatta kullanılan irili ufaklı montajlarda kullanılırlar. Birleştirme yöntemleri genel bakışla 4 kümede toplanabilir:

- Lehimleme
- Perçinleme
- Yapıştırma
- Kaynak ile Birleştirme

3.2.4. Talaşlı İmalat

Talaş kaldırma bir iş parçasından istenmeyen malzemeyi genellikle talaş şeklinde kaldırmak için yapılan üretim işlerini tanımlar. Bu işlem döküm, dövme ve ön şekillendirilmiş metal bloklarını, tasarım isteklerinin ölçü ve yüzey isteklerini karşılayacak yönde istenilen biçime getirmek için kullanılır. Talaş kaldırma işleminin endüstriyel uygulamalarının pek çoğu metal malzemeler içindir.

Metal kesme işlemindeki temel mekanizma, takımın kesici kenarının, hemen önündeki malzemede kesme, şekil değiştirmesi (deformasyon) oluşturmaktır.

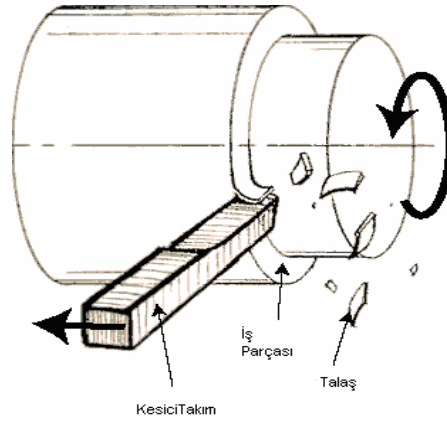
Kesme sırasındaki takım ve iş parçası arasındaki bağıl hareket takım önündeki malzemeyi sıkıştırır ve bu da talaşı şekillendiren kesme şekil değiştirmesini oluşturur. Talaş takım üzerindeki kayması ve kesmeden dolayı üst kesme yüzeyinden geçerken ek bir şekil değiştirmesine uğrar (Cerit, 1996, ss:14-223).

3.2.4.1. Talaşlı İmalat Yöntemleri

İmalatta kullanılan çok çeşitli talaşlı imalat yöntemleri bulunmaktadır. Aşağıda bu tekniklere kısaca değinilmiştir.

- **Tornalama**

Bu temel işlem imalat sanayinde talaş kaldırma için pratik uygulamalarda ve deneysel çalışmalarda çok genel olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu işlemde kesme hareketi, dönen iş parçası üzerinden sabit konumda bağlanan takımın ilerleme hareketi ile gerçekleşen talaş kaldırma işlemidir. İş parçası torna tezgahının aynasına bağlanır ve istenilen devirde döndürülür. Ayna da fener miline bağlanmıştır ve fener mili ise dişli kutusu aracılığı ile tahrik edilmektedir. İş parçasını işlemek için kullanılan kesici takım çok önemli bir eleman olup rijit şekilde tespit edilir. İş parçası eksenine boyunca sabit bir ilerleme miktarı ile hareket ederek silindirik veya daha karmaşık yüzeylerden talaş kaldırılır. Tornalama işlemi; universal torna, revolver torna, sayısal kontrollü (NC) torna veya bilgisayar denetimli sayısal kontrollü (CNC) torna tezgahlarında yapılır (Şahin, 2000, s:88).



Şekil 3.3 Tornalama

- **Frezeleme**

Frezeleme, çok sayıda kesme kenarına sahip dönen bir kesici takım ile iş parçası arasında bağıl hareketle talaş kaldırma işlemidir. Bazı uygulamalarda, kesici takım dönerek ilerlerken iş parçası sabit tutulur. Bazı uygulamalarda her ikisi de hareketlidir. Frezelemede kullanılan kesici takımlar genelde freze, tezgahlar da freze tezgahı olarak adlandırılır. İş parçası ve kesici takım, bağımsız olarak hareket edebildikleri için frezelemede çok değişik işlemler yapılabilir.

Frezeleme, hala karmaşık olan universal işleme yöntemlerinden biridir. Bu işlem, kullanılan tezgah çeşitliliği, iş parçası hareketleri ve takım tipleri olarak diğer temel işleme yöntemlerinden daha fazla seçeneğe sahiptir. Frezeleme ile talaş kaldırmanın en büyük avantajları, talaş kaldırma hızının yüksek, işlenen yüzeyin düzgün ve kesici takım seçeneklerinin fazla olmasıdır. Frezelemede, çevresel frezeleme ve alın frezeleme olmak üzere iki ana yöntem vardır (Cerit, 1996, s:406).

- **Matkaplama**

Delme işleminde kullanılan yöntemdir. Matkaplar genel amaçlı, özel amaçlı ve tek amaçlı olarak kümelendirilirler. Özelliği olmayan herhangi bir delik için genel amaçlı tezgahlar kullanılır. Matkap ile delme işlemi, bir matkap ucunu döndürerek ve

aynı zamanda eksenel doğrultuda ilerletilerek yapılır. Burada kesici takım basit bir matkap ucu veya başka tipte tasarlanmış bir matkap ucudur. Dolu malzemeye bir matkap ucu ile delinen delikler genelde daha büyük çaplı matkap uçlarıyla genişletilirler. Bu, genellikle daha hassas merkezler arası uzaklık elde etmeye yarar (Kantaroglu, 1987, s:245).

- **Planyalama ve Vargelleme**

Planyalama, yatay, düşey ya da açılı olarak düz yüzey elde etmek için kullanılan bir talaş kaldırma işlemidir. Özel donatımla, planya adı verilen tezgahlarda eğrisel ya da düzgün olmayan şekilleri elde etmek mümkündür. İşlemin, kesici takım tasarımının ve uygulamanın basitliği planyaları çok yönlü takım tezgahları yapar. Bunlar öncelikle orta ve büyük boylu iş parçaları için kullanılır. Planyalarda gerçekleştirilen işlemlerde, iş parçası ileri – geri hareket ederken, tek noktalı bir kesici takım iş parçasına doğru ilerletilir (Cerit, 1996, s:427).

Vargelleme ise planyalamaya çok benzeyen bir işlemdir. Birbirlerinden ayrıldıkları nokta vargelleme işlemi sırasında iş parçası sabit olması, kesici takımın ileri – geri hareketi yapmasıdır. Planyalama ve vargelleme işlemleri farklı planya ve vargel tezgahlarında yapılır.

- **Broşlama**

Broşlama düzlemsel, yuvarlak ya da kontürlü yüzeylerin iç ya da dış işlenmesidir. Bu işlemlerde talaş kaldırmak için, çok dişli kesici takımı ya da iş parçasını itmek ya da çekmek için farklı tiplerde tezgahlar kullanılır. Kesici takımın (broş) üzerindeki her diş, hareket yönünde kendinden önceki dişlerden yüksektir. Broş tezgahları genellikle, sadece kesme hızı ve itme/çekme kuvveti sağlamaları nedeniyle diğer tezgahlardan farklıdır. Genellikle talaş kesitini oluşturan kesme derinliği ve ilerleme hızı parametreleri kesici takımın yapısı içindedir. Broşlamanın diğer talaş kaldırma işlemlerinden farkı; kaba, yarı hassas ve hassas dişlerin kesici

takımın ekseni boyunca yerleştirilmiş olmalarıdır. İki ana tür broşlama vardır. Bunlar dış ve iç broşlamadır (Cerit, 1996, s:438).

- **Taşlama**

Kesme ile taşlama arasında büyük bir benzerlik mevcuttur. Taşlama ile talaş kaldırmada aşındırıcı özelliğe sahip taneler ve bunları birbirine bağlayan malzemeden yapılmış zımpara taşı denen takımın dönme hareketi ile ilerleme hareketi yapan iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Ancak bu işlem genelde tornalama, frezeleme, vargelleme işlemlerinden sonra imalat kalitesini arttırmak için yapılır. Daha hassas yüzeyler elde etmek için kullanılan bir işlemdir. Taşlama işlemi; düzlem yüzey taşlama, silindirik yüzey taşlama, puntasız taşlama olarak üç farklı taşlama tezgahında gerçekleştirilebilmektedir (Şahin, 2000, s:126).

- **Honlama**

Honlama, bir honlama taşı ya da çubuğu üzerine yapıştırılmış aşındırıcı tanelerle iş parçası yüzeylerinden, kalibrasyon ve yüzey bitirme amacıyla, kontrollü düşük hızlarda talaş kaldırma işlemidir. Honlamanın genel amacı silindirik delik yüzeylerde ve milimetrenin yüzde miktarlarından birkaç milimetreye kadar olan derinliklerde talaş kaldırarak düzgün, yüksek hassasiyete sahip delikler ya da yüzeyler elde etmektir.

Parça sayısı az ve işlemci deneyimli olduğu zaman iş parçalarının bir matkap tezgahı veya torna tezgahı ile honlanması da mümkündür. Seri üretimde honlama, bu amaç için yapılmış tezgahlarda yapılır. Bu tezgahlar, dikey ve yatay tiplerde, değişik boyut ve tasarımlarda olabilirler (Cerit, 1996, s:501).

- **Testereleme**

Testere ile kesme, bir iş parçasını kollu testere, şerit testere ya da daire testere ile kesme işlemidir. Genellikle her üretici tel, çubuk, boru, saclar, levhalar, dökümler ya da dövme parçalar kullanır. Bu malzemelerin genellikle talaşlı işleme, pres şekillendirme ya da montaj işlemleri için testere ile belli bir boyda getirilmesi gereklidir. Bu, fazla inceliği olmayan bir işlem olup, basit testere tezgahlarında yapılabilir. Kesme yönteminin seçiminde ölçü, özellikler, hassasiyet, yüzey kalitesi, üretim ve işlemin ekonomikliği koşulları göz önüne alınır (Cerit, 1996, s:448).

- **Raybalama**

Raybalama, rayba olarak adlandırılan çok kanallı kesici ağızları olan bir takım ile bir deliği büyütme, düzeltme veya hassas ölçüye getirme işlemidir. Raybalama işleminde rayba veya iş parçası bir diğerine karşı dönerken delik çevresinde çok az malzeme kaldırılır. Bu iş özel tezgahlarda veya seri üretimde NC tezgahlarda yapılabilir (Cerit, 1996, s:396).

Raybalama maça matkabı ile, delmeden sonraki ve delmeden önceki işlemlerden kalan kaba çizikleri çapakları ortadan kaldırmaya yarayan ilave bir işlemdir. Raybalama, deliğin konumunu düzeltmeye yaramaz (Kantaroğlu, 1987, s:247).

3.2.4.2. Talaşlı İmalat Tezgahları

Takım tezgâhlarının amacı, hammadde halinde bulunan bir malzemeye belirli bir şekil vermektir. Teknikte önemli bir yer tutan talaş kaldırarak şekil veren takım tezgâhlarında, parça ile takım arasındaki hareketler izafi olarak gerçekleştirilir. Bu bakımdan hareketler; ana (kesme), ilerleme ve yardımcı olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Ana veya kesme hareketi, esasen talaş kaldırma hareketidir. İlerleme hareketi, parçanın uzunluk veya genişlik yönünden belirli kısımlarının işlenmesini sağlayan harekettir. Yardımcı hareket ise, takımın parçaya yaklaşması, talaş

kaldırmak için gereken konuma girmesi, talaş kaldırıldıktan sonra başlangıç noktasına geri dönmesi gibi başlangıç hareketlerinden meydana gelmektedir (Akkurt, 1996, s:1).

Takım tezgahlarının değişik fonksiyonları mevcut olup bunlar kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- İşlenecek iş parçasını tutmak ve bağlamak
- Kesici takımını tutmak ve desteklemek
- İş parçasına, takıma veya her ikisine gerekli hareketi sağlamak
- İş parçası ve takımın ilerleme miktarı ve kesme hızını ayarlamak
- Farklı kesme işlemleri için değişik bağlama kalıpları tespit edebilmek ve verilen herhangi bir makine parçasının veya makinenin istenilen şekil, boyut ve toleransta üretimini gerçekleştirmektir (Şahin, 2000, s:82).

Takım tezgahlarını çeşitli şekillerde sınıflandırabilmek mümkündür:

A) İşlenen yüzeylerin şekillerine göre sınıflandırma :

- Silindirik yüzeylerin işlenmesi için kullanılan takım tezgahları (tornalar, vida çekme tezgahları, revolver tezgahı v.b.)
- Düz yüzeyi işleyen takım tezgahları (freze tezgahı, vargel tezgahı, planya tezgahı)
- Delik açmada kullanılan takım tezgahları (matkap tezgahları)
- Profil işleme tezgahları (kopya freze tezgahı, pantoğrafya)
- Dişli açma tezgahları (dişli azdırma tezgahı, dişli taşlama tezgahı v.b.)

B) Talaş ölçüsüne bağlı sınıflandırma :

- Kesici takım olarak abrasifler kullanılan takım tezgahları (honlama ve lepleme v.b.)
- Kesici takımlar kullanan takım tezgahları (torna, freze, planya, vargel tezgahları v.b.) (Şahin, 2000, s:82).

C) Takım tezgahının amacına göre sınıflandırma :

- Tek amaçlı
- Çok amaçlı
- Özel amaçlı
- Transfer tezgahı
- Sayısal (nümerik) kontrollü tezgahlar

Bir takım tezgahına, üzerinde uygun olarak tasarlanan aygıtlar aracılığıyla, takımlar ve iş parçaları bağlanır. Farklı takım tezgahları farklı bağlama aygıtları ile donatılır. Herhangi bir takım tezgahı, genellikle, farklı şekilli parçaların üretimi ve son bitirme yüzeylerinin elde edilmesinde kullanılır. Takım tezgahları farklı usüllere göre de sınıflandırılabilir :

Talaşlı imalat tezgahları elle kontrol edilen ve sayısal kontrollü (NC) tezgahlar olarak ikiye ayrılabilir.

Takım tezgahları, özellikle talaş kaldırma tezgahları büyük teknolojik gelişmeler kaydetmiştir. Bu nedenle günümüzde dünya çapında konvasiyonel talaşlı tezgah imalatı, tüm talaş tezgah imalatının % 11.4'ün altındadır. Bu tezgahlar özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde hala çok sayıda kullanılmaktadır. CNC tezgahların gelişmesi tezgah fonksiyonlarına da değişiklik getirmiştir. Günümüzde tornalama ve frezeleme işlemleri yapan CNC torna merkezleri ve frezeleme ve delme işlemlerini gerçekleştiren işleme merkezi denilen tezgahlar vardır.

Son yıllarda imalat alanında tezgah ve kesme takımlarla ilgili büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Örneğin takım alanında tane büyüklüğü mikronun altında olan sert metaller, kaplamalı sert metaller, seramikler, kübik bor nitrit (CBN) gibi takım malzemeleri geliştirilmiştir. Bu gelişme CNC tezgah alanındaki gelişmelerle birleşince yeni bir CNC tezgah nesli olarak Hızlı Talaş Kaldırma (HSC-High Speed Cutting) tezgahları ortaya çıkmıştır. Bu çeşit tezgahların önemli bir özelliği yalnızca kesme hızı değil ilerleme hızının da yüksek olmasıdır. Genelde bu tezgahların $n=(15000...30000)$ dev/dak kesme hızı $v_f= 70$ m / dak ilerleme hızına sahiptirler. (Bu gelişmeleri 1925 yılında 100 dakikada yapılan bir operasyon 1980’de 1 dakikada ve günümüzde 0.65 dakikada yapmaktadır.) İşleme zamanlarının bu denli azalması, işleme maliyetini de muazzam şekilde azaltmakta ve prodüktiviteyi artırmaktadır (Akkurt 2002, s:338).

Üretim prosesi üretim veya teknolojik tasarım ve esas üretim prosesinden oluşur. Üretim tasarımı, ürün ve parçalar üretime girmeden önce tasarım kademesinde hazırlanan imalat resimlerine göre yapılan bir işlemdir. Üretim prosesi ise takım tezgahların yardımı ile parça şeklini somut bir şekilde değiştiren bir işlem topluluğudur. Üretim tasarımı, tasarım ve üretim arasında üretim prosesinin bir kademesi olarak yer almaktadır.

Esasen günümüzde tasarım ve teknolojik tasarım işlemleri bilgisayarlarda CAD-CAM sistemlerine dayanılarak entegre bir şekilde yürütülmektedir. Burada elde edilen sonuçlar direkt (on-line) tezgahlara gönderilmektedir. Bunun yanı sıra CAD-CAM-CNC tezgah ve robot entegrasyonundan oluşan esnek imalat sistemleri vardır. Bu sistemler iki üç tezgahtan meydana gelen ve esnek imalat hücreleri adını taşıyan birimlerden oluşurlar. Burada tezgahlara parça ve takımların yüklenmesi ve boşaltılması robotlarla yapılmaktadır. Taslak ve bitmiş parçaların depodan tezgahlara, tezgahlardan depolara aktarılması kontrollü olarak çalışan arabacılarla

gerçekleştirilmektedir. Merkezi bir bilgisayar ve her birime ait ana bilgisayarı vardır ve tüm bilgisayarlar birbirine bilgisayar ağı ile bağlıdırlar (Akkurt 2002, s:338).



Şekil 3. 4 CAD-CAM-CNC

CAD parça geometrisini bilgisayara aktarırken, CAM bu geometriyi makine takımlarına ve takım emirlerine aktarır, CNC ise parçaları bu gelen komutlara göre iki ve üç boyutlu olarak keser.

3.2.4.3. CNC Takım Tezgâhları

Günümüzde tarım ve diğer insan iş gücü gereksinimini azaltmak ve seri imalata yani fabrikasyona geçebilmek için makineler ve bu makineler için takım tezgahları tasarlanmıştır. Bu tezgahlara makine sanayi ve otomotiv sanayinden sonra tarım makineleri imalatında da kullanılmaya gereksinim duyulmuştur. Bu tasarımcıların amacı daha önce de değinildiği gibi insan gücünü daha hızlı, güvenilir ve verimli aletlerle değiştirmek olmuştur. Uzun yıllar bu tezgâhlarda köklü bir değişiklikler olmamıştır. Ama sürekli bir gelişme kaydedilmiştir. Çağımızın bilgisayar teknolojisine bürünmesi, metal kesme işlerinde de bir çağ açmış olmaktadır. Bu olay genellikle “Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol” olarak isimlendirilir. Bu terim CNC olarak kısaltılabilir. Bu tür takım tezgahları diğer sanayi kollarından sonra tarım makineleri sanayine sıçramış ve üreticileri bu tezgahlara

yatırıma sevk etmiştir. Bu sayede tarım makineleri sanayi Avrupa standartlarına yaklaşma eğilimi göstermiş ve imalatı seri, hatasız üretime başlanmıştır. (çevrimiçi <http://www.makinamuhendisi.com>)

3.2.4.4. CNC Tezgahlarının Tarihçesi

İkinci Dünya Savaşından sonra uygulamaya konulan en önemli teknolojik gelişmelerden biri nümerik sistemlerdir. Cebir ve elektroniğin bir sentezi olan bu sistemlerin bilgisayar ve nümerik kontrollü sistemler olmak üzere iki uygulaması vardır. Devrim niteliği taşıyan her iki uygulama, insanlığın öteden beri özlemini çektiği esnek otomasyonun hızlı gelişmesine ve tüm insan faaliyetlerini kapsayacak şekilde yayılmasına neden olmuştur.

İlk “nümerik kontrollü” tezgah; ABD Savunma Bakanlığının bir siparişi üzerine, Massachusetts Institute of Technology laboratuvarlarında 1952 yılında, üç eksenli bir freze tezgahı şeklinde meydana gelmiştir. Ancak Sanayi Çapında NC tezgahı 1956 yılında yapılmış ve 1957 yılından başlayarak fabrikalarda çalışmaya başlamıştır. Bu tarihten sonra NC ve daha sonra CNC sistemleri gittikçe gelişmiş, tezgah dışında başka sistemlere de (ölçme, kaynak vb.) uygulamaya konulmuştur. Günümüzde takım tezgahlarının hemen hemen tümü CNC şeklinde imal edilmektedir; çok az sayıda konvansiyonel tezgah yapılmaktadır. İlk NC tezgahların kontrol sistemlerinde röle ve elektronik lamba tekniği kullanılmıştır. Bunu transistörler, transistörlere dayalı entegre devreler ve mikro prosesörler izlemiştir. Bu gelişme tezgahların fonksiyonlarını, işleme ve karışık işlemler yapma kapasitelerini artırmakla beraber; fiyatların düşmesine, kontrol sistemlerinin boyutlarının küçülmesine ve programlama sistemlerinin basitleşmesine neden olmuştur.

1980 yıllarında mikroprosesör teknolojisinin gelişmesi ile bu sistemler NC tezgahlarına uygulanmış ve CNC tezgahlar elde edilmiştir. Diğer taraftan bilgisayarların mühendislik alanlarına uygulanması ile CAD, CAM ve bunun

entegrasyonu olan CAD-CAM sistemleri gelişmiştir. Bilindiği gibi CAD sistemi herhangi bir ürünün tasarımını yapan, CAM sistemleri ise bilgisayarda NC ve CNC tezgah ve sistemler için NC programı üreten sistemlerdir. Bu gelişme ile CNC tezgahlarına direkt olarak programın, CAM sistemi üretilen bir bilgisayardan verilmesi mümkün olmuştur (Akkurt, 1996,s:7).

3.2.4.5. CNC Tezgahların Üstünlükleri

Konvansiyonel tezgahların üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır:

- Yardımcı ve hazırlık zamanlarının çok düşük olması, prodüktivitenin önemli şekilde artması ve maliyetin azalması,
- Daha yüksek ve özellikle sabit kalite elde edilmesi,
- Daha az ve basit tutturma tertibatlarına gereksinme olması,
- Çok karmaşık parçaların, yüksek bir doğrulukla işlenebilmesi.

Mekanik Otomat tezgahların üstünlükleri ise aşağıda sıralanmıştır:

- Çok daha esnek olması, yani işleme koşullarının çabuk değiştirilebilmesi,
- Ayar zamanın çok daha kısa olması.

CNC tezgahlarının mahsurları şunlardır:

- Daha hassas olması ve dolayısıyla çevre etkilerine karşı daha iyi muhafaza edilmesi gereği,

- Bozulma ihtimallerinin daha büyük olması ve ayrıca tamirat için uzman elemanların gerekmesi
- Programlama için kalifiye elaman gerekmesi (Akkurt, 1996, s:9).

3.2.4.6. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

Talaş kaldırma işleminde, kesici takım iş parçası üzerine belirli kuvvetle bastırıldığında ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği zaman, takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında, önce elastik daha sonra da plastik şekil değişiklikleri oluşarak malzeme tabakasında akmlar başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırının geçtiği anda, talaş olarak adlandırılan belirli bir yüzey tabakası, iş parçası boyunca parçadan ayrılır. Bu tabakanın parçadan ayrılış biçimi, parça malzemesinin mekanik özelliklerine ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik bir şekilde gerçekleşerek farklı talaş biçimleri meydana gelir. Sürekli talaş kaldırma işlemi bakımından tornalama talaş kaldırmayı en iyi karakterize etmektedir. Bu nedenle talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilinmesi ve birbirlerine etkilerinin dikkate alınması gerekir. Bunların başlıcaları şöyle özetlenebilir:

- Kesici takım ömrü, $T(\text{dak})$
- Kesme hızı, $V(\text{m/dak})$,
- Talaş derinliği, $t(\text{mm})$
- Kesme açıları, K_a
- Titreşim durumu, V_i
- Soğutma sıvısı, S_s
- Takım / iş parçası malzeme çifti, $T_m\phi$
- Takım burun yarıçapı, $r(\text{mm})$

Bunlar fonksiyonel olarak ifade edilirse: $f(T, V, t, K_a, V_i, S_s, T_m\phi, r)=0$

Talaş kaldırma işleminin karmaşıklığı nedeniyle bu fonksiyon da karmaşıktır. Bu nedenle yapılan araştırmalarda bunlardan birçok faktör sabit tutularak bir

kısımların tespit edilmesi gerekir. Bunlar arasında da en önemlisi kesici takım performansı ve maliyet bakımından daha yüksek olduğundan takım ömrüdür. Takım ömrü “kesici takımın birbirini takip eden iki bileme esnasında etkili olarak çalıştığı zaman” olduğundan genellikle, takım ömrü – kesme hızı ve kesme hızı- talaş kesiti ilişkileri öncelik arz etmektedir. Bunu ise talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık ve ısı dağılımı takip etmektedir (Şahin, 2000, s:300). Bir başka yazara göre talaş kaldırma olayı şu faktörlere bağlıdır.

- Parça malzemesi: özellikleri, işlenebilirlik, vb.
- Parça tasarımı: şekli, boyutu, toleransları, istenilen yüzey pürüzlülüğü,
- Takım: malzemesi, tipi, açıları vb.,
- Kesme koşulları: kesme verileri (kesme hızı, ilerleme, paso kalınlığı), takım ömrü, kesme maliyeti,
- Takım tezgah: gücü, tipi, doğruluğu, yaşı,
- Stabilitate: Parça- takım-tezgah sisteminin rijitliği.

Üretim tasarımı oluşturulmasında önemli bir işlem, operasyon için gerekli olan kesme hızını, ilerleme ve paso kalınlığını içeren kesme koşullarının tayin edilmesidir. Bu değerler deneylere dayanarak elde edilen takım imalatçıların kataloglarından ve talaş kaldırma ile ilgili kitaplardan seçilebilir (Akkurt2002, s:338).

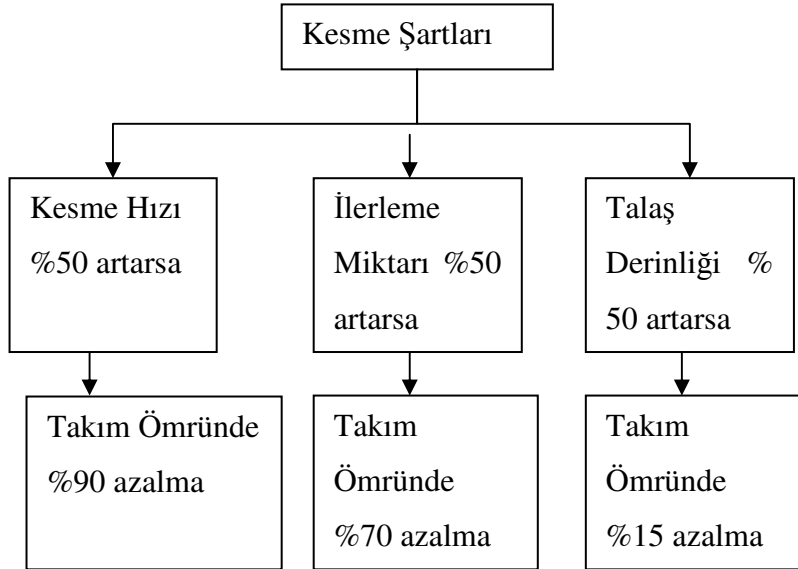
3.2.4.7. Kesme Hızı

Kesme hızı talaş kaldırma esnasında, kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yoldur. Kesmede genel kural olarak ideal kesme şartlarının belirlenmesinde düşünülmesi gereken en önemli faktör önceki deneylerden de yararlanarak uygun kesme hızı seçiminin yapılmasıdır. Kesme hızı

oldukça düşük seçilirse az parça üretilir ve çok düşük kesme hızlarında takım ucunda talaş sıvanması olabilir. Bu durum takım değişikliğini gerekli kılabilir. Ancak kesme hızı çok yüksekse takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş miktarlarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir (Şahin, 2000, s:306).

3.2.4.8. Talaş Derinliği, İlerleme Miktarı, Kesme Hızı

Talaş kaldırma miktarı (TKM) bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı olup mm^3/dak veya cm^3/dak cinsinden ölçülür. Bu üç değişkenden (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği) herhangi biri değiştirildiği zaman bunun sonucuna bağlı olarak TKM’de değişir. Örneğin kesme hızı % 25 arttırılırsa TKM de %25 artacak fakat kesici takımın ömrü azalacaktır. Ancak her bir değişkendeki bir değişiklik kesici takım ömrüne farklı olarak etki edecektir. Bir torna tezgahı üzerinde bir iş parçası seçilmesi ile bu durum ispatlanabilir (Şahin, 2000, s:310).

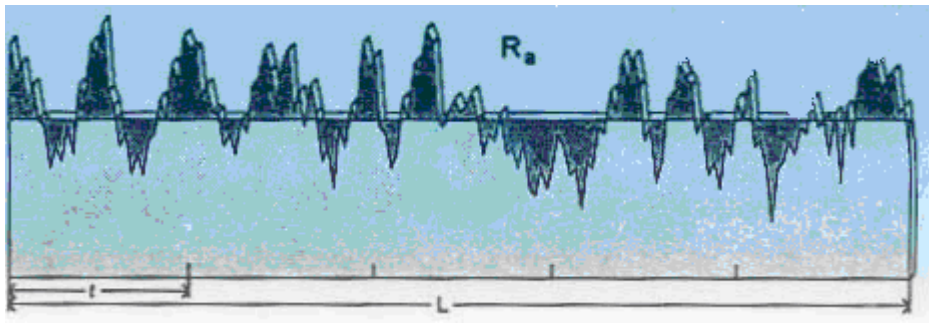


Şekil 3.5 Kesme Şartlarının Değişiminin Takım Ömrüne Etkisi

Kesme şartlarının değişmesinin etkileri işlenen bir iş parçası üzerinde düşünöldüğünde, bir torna tezgahı işlenecek malzeme için uygun devire ayarlanır. İlerleme miktarı seçilmiş ve genellikle minimum derinlik kabul edilen talaş derinliği, ilerleme miktarının 10 katı kadar seçilir. Deney yapıldıktan ve takım ömrü belirlendikten sonra her değişken % 50 arttırılır. Takım üzerine etkiler Şekil 3.5'te görölmektedir. Talaş derinliğinin % 50 arttırılması halinde takım ömrü % 15 oranında azalmaktadır. İlerleme miktarının %50 artmasıya % 70, kesme hızının % 50 artmasıyla takım ömrü % 90 azalmaktadır.

3.2.4.9. Talaşlı İmalatta Yüzey Pürüzlölüğü

Bir makine parçasının, gerektiği gibi çalışması ve hizmet ömrü, büyük ölçüde yüzey kalitesine bağlıdır. Parça resimlerinde gösterilen teorik yüzeylerin aksine, gerçekte işlenen makine parçalarının yüzeylerinde çeşitli düzensizlikler ve yükseklikler vardır. Bunlar takım tezgahında işleme sırasında meydana gelirler. İş parçasının bu yüzey düzensizliklerinin; yükseklik şekilleri, dağılmaları ve yönleri birçok faktöre bağlıdır, bunlar şöyle sıralanabilir; kesme hızı, ilerleme (besleme) hızı, kesme derinliği, kesici takımın soğutulma ve yağlanma koşulları, iş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi ve mikro yapısı; takımın (kesici) dizaynı, geometrisi ve kesme kapasitesi; takım tezgahının tipi ve şartları, kalıp ve bağlama aparatları (Danilevsky, 1987, s:41).



Şekil 3.6 Yüzey Pürüzlölüğü

Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatla en önemli kalite karakteristiklerinden biridir, minimum seviyede yüzey pürüzlülüğü değerleri ulaşılması gereken bir hedeftir. İyi bir yüzey bitirme ve boyutsal kesinlik için optimum kesme şartlarının seçimi ve tahminlenmesi imalat kalitesinde ve proses planlamada çok önemli rol oynar. Metal kesme işlemlerinde kesme şartlarının belirlenmesinde genelde makine operatörünün tecrübesine güvenilir ancak iyi ve tecrübeli bir operatörün olması halinde bile optimum değerlerin tespiti zordur.

Proses modelleme ve optimizasyon, imalattaki iki önemli konudur. Yüzey bitirme materyallerin talaşlı imalata tabi tutulmasında en önemli noktalardan biridir. Bütün yüzey pürüzlülük tahmin modelleri ampiriktir ve laboratuvar deneylerine dayanır. Ayrıca pratikte bütün faktörleri tekrar üretebilen sonuçlar üretilebilmesi için kontrol altında tutulması çok zordur. Genellikle bu modeller yüzey pürüzlülüğü ve operasyonel parametreler ile iş parçası arasında karmaşık bir ilişki vardır. Tornalama da yüzey bitirme ilerleme hızı, iş parçası özellikleri, işin zorluğu, sabit olamayan açı, kesme hızı, kesme derinliği, kesici takımın stabil olup olmadığı ve kesme sıvısı kullanılıp kullanılmaması gibi birçok faktörlerden etkilenir (Suresh, Rao ve Deshmukh, 2002, s:675)

Yüzey özelliklerinin en önemli olanlarında, yüzey pürüzlülüğü talaşlı işlenmiş ekipmanlarının fonksiyonlarını doğru olarak yerine getirebilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Pürüzlülük, sürtünme gibi parça özellikleri, parçaların birleşebilirlikleri, malzeme yorgunluğu, ısı transferi gibi parça kalitesinde hayati bir önem taşır. Yüzey pürüzlülüğünün iyi anlaşılması ve ölçülerek iyileştirilmesine çalışılması talaşlı imalatın en önemli mevzularından biridir (Reddy, Rao, 2005, s:64)



Şekil 3.7 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçmede Kullanılan Araç Perthometer

Talaşlı işleme proseslerinden biri olan tornalama prosesi için etkili olan faktörlerden, Taraman ve Lambert (1972), Suresh ve arkadaşları (2002), Feng ve Wang (2002) makalelerinde de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğünün kesme faktörleri (d , f , ve v sırasıyla *kesme derinliği*, *ilerleme hızı (feed rate)* ve *yüzey hızı*) ile arasındaki fonksiyonel ilişki şu şekilde gösterilmiştir.

$$Y=f(d, f, v)+\varepsilon$$

“ ε ” gözlenen yanıtı göre 0 ortalama ile normal dağılmış hatadır.

$$F(d, f, v)=\eta \quad \text{“}\eta\text{” yüzey yanıtı olmaktadır.}$$

Yüzey pürüzlülüğü ve diğer bağımsız değişkenler şöyle modellenir.

$$R_a=C d^{k_1} f^{k_2} v^{k_3} \quad C \text{ sabit } k_{1,2,3} \text{ ise parametrelerdir.}$$

İşlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğü, makina elemanlarının çalışma özellikleri ve performansları üzerinde büyük etki yapar. Çok iyi işlenmiş bir yüzeyin her zaman için ve her durumda aşınmaya karşı en dayanıklı yüzey olduğunu söylenemez çünkü çeşitli sürtünme şartlarında yağlama yağının yüzeyde tutulması (yük hızı, birbiri ile çalışan eşlenik parçaların malzemelerine bağlı olarak) büyük ölçüde mikro düzensizliklere bağlıdır. Bu nedenle optimum yüzey pürüzlülüğü ancak belli sürtünme şartlarına göre hesaplanır.

Birbiriyle temaslı çalışan eşlenik parçalar, üzerlerindeki dalgaların sadece tepe noktalarında birbirlerine dokunduklarından, yüzey dalgalılığı, temas basıncının artmasına neden olur. Aynı durum eşlenik yüzeylerin mikro düzensizlikleri için de söz konusudur. Bu mikrodüzensizliklerin tepecikleri deforme olurlar; sürtünen yüzeylerin birbirleri üzerindeki hareketleri sonucunda bunlar ya parçalanır yada ezilirler. Eğer bir yağlama maddesi kullanılıyorsa, bu yağ filmi bu düzensizlik tepecikleri tarafından kesilir ve sonuç olarak bu kısımlarda kuru sürtünme olur.

Birçok halde, makine parçasının dayanıklılığı, imal edilirken yapılan işlemede elde edilen yüzey kalitesine bağlıdır. Çeşitli çizgilerin derin ve keskin kazıntıların, iç gerilim konsantrasyon noktaları haline geldikleri ve parçanın kırılmasına neden oldukları bilinmektedir. Mikro düzensizlikleri olan bir yüzeyde tepecikler arasında kalan vadiler, böyle konsantrasyon noktalarıdır. Bu, gerilim konsantrasyonları çok küçük derecelerde olduğu açıkça bilinen döküm demirden veya demirsiz alaşımlardan yapılmış parçalar için dikkate alınmaz

Temaslı alıştırma'nın dayanıklılığı da yüzey pürüzlülüğüne, özellikle mikro düzensizliklerin yüksekliklerine bağlıdır. Bir parça diğerine preslenerek geçirildiğinde elde edilen geçme, eğer parçalar pürüzlü yüzeyli iseler düzgün yüzeyli parçalarda (pres geçme yapılan parçalarla aynı ölçülmüş çaplarda) elde edilenden farklı olacaktır.

Yüzey pürüzlülüğünün etkilediği bir diğer faktör de korozyon direncidir. Yüzey kalitesi sınıfı ne kadar yüksek olursa, yüzeyin korozyon yapıcı ortamla temas halinde olan alanı o ölçüde az olacaktır, dolayısı ile korozyon yapıcı madde, yüzeyi daha az etkileyecektir. Mikro düzensizliklerde tepecikler arasındaki vadiler ne kadar derin ve keskin çizgili olursa, metalin derinliklerinde korozyonun yıkıcı etkileri o ölçüde fazla olur (Danilevsky, 1987, s:47).

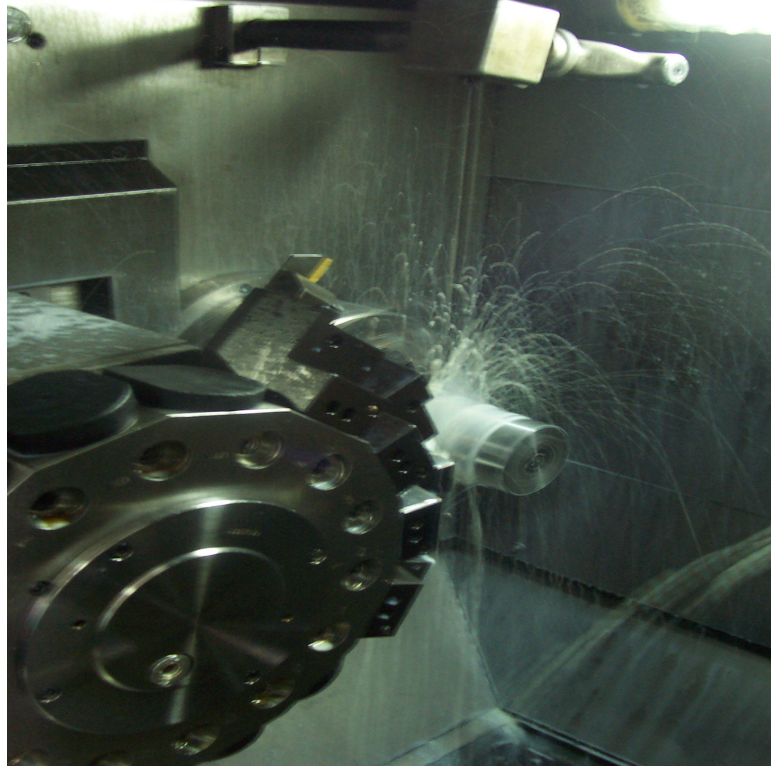
Talaş kaldırma işleminde amaç parça yapım resminde belirtilen tolerans derecesine göre parçaların istenilen geometrik ölçü ve yüzey kalitesinde parça imal edilmesidir. Makine parçasının geometriği, boyutu, ve yüzey kalitesi işleme

kalitesini oluşturur. Ancak parça yapım resminde gösterilen ideal ölçülere göre üretimi tamamlanan parça üzerinde boyut, yüzey kalitesi ve geometrisi yönünden bazı hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatalar “tolerans” olarak adlandırılır ve parçanın kullanıldığı yere göre müsaade edilen belli bir değerde tutulduğu takdirde parçanın çalışmasına engel teşkil etmez. Bu toleranslar da parçanın hem boyutu hem de yüzey kalitesini meydana getirirler. Ancak hatalar (toleranslar) ne kadar küçük olursa, o kadar yüksek yüzey kalitesi elde edilir. Kesme maliyeti ve toleranslar arasında ters bir ilişki mevcuttur. Çünkü toleranslar büyüdükçe parça maliyeti büyük oranda azalır. Fakat parçanın fonksiyonunu yerine getirmesi yüzey kalitesi toleranslarının küçülmesi ile artar. Bu nedenle, imalat mühendisliği açısından parçaların kullanılacağı yere göre ekonomiklik de dikkate alınarak parçanın uygun yüzey kalitesinde işlenmesini gerçekleştirecek üretim metodu yanında yüzey kalitesi tolerans ve maliyet arasında bir uzlaşma sağlayacak şekilde belirlenmelidir (Şahin, 2001, s: 186).

3.2.4.10. Talaşlı İmalatta Kesme Sıvıları

Kesme işleminde kesme sıvısının etkin kullanımıyla aşağıdaki avantajlar sağlanabilir (Şahin, 2000, s: 32).

- Malzemenin plastik deformasyonu ile ortaya çıkan ısı azalması ve dolayısı ile takım ömrünün arttırılması
- Takım talaş ara yüzeyindeki sürtünme azaltıldığı için meydana gelen ısısının azaltılması
- Sürtünme azaltıldığından kesme işlemi sırasında daha az güç harcanması
- Talaş sıvanmasının önlenerek daha uzun takım ömrünün elde edilmesi
- Daha iyi yüzey kalitesinin sağlanması



Şekil 3. 8 Tornalama İşleminde Kesme Sıvısının Kullanımı

Kesme operasyonlarının çoğu yağlama ve soğutma etkilerinden dolayı kesme sıvılarına ihtiyaç duyarlar. Ekoloji ve insan sağlığı problemlerinden dolayı imalat endüstrileri, üretim hatlarındaki kesme sıvılarını azaltma yolunda stratejiler üretmektedirler. Kesme sıvılarının büyük miktarlarda kullanımında; tedarik, depolama, dışarıya atım ve tamir bakım konusunda ciddi problemler yaşanmaktadır. Bu konudaki maliyetler üretim maliyetlerinin %7.5- 17'sini oluşturur. Bu maliyet takım maliyetlerinden bile fazladır. Kesme sıvıları maliyetin dışında da ne çevre ne de kullanıcı dostu olarak tanımlanabilir. Kesme sıvısı kullanmadan yapılan talaşlı imalat kesme prosesinin maliyetinin düşmesini sağlayarak ve çevre kirliliğini azaltarak, rekabet ortamında hayatta kalabilmenin anahtarlarından birini oluşturur. Kuru talaşlı imalata doğru yöneliş gelecekteki en önemli zorluklardan biri olacaktır.

Kuru talaşlı imalat yüksek sıcaklıklara neden olur. Çalışma parçası yüksek ısı almasıyla genişip, boyutsal değişikliklere sebep olur. Ayrıca kesici takımında fazla

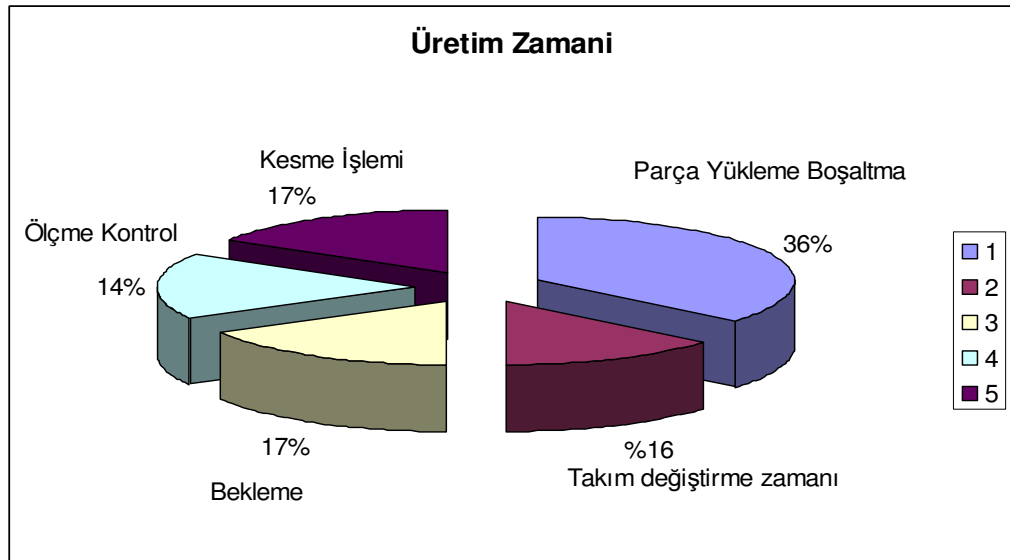
aşınma, oksidasyon gibi sorunlara yol açar. Kuru talaşlı imalat yapılmadan önce avantaj ve dezavantajlar göz önüne alınmalıdır. Kesici takımın özelliklerinin iyileştirilmesi ve kesme şartlarının optimizasyonu ile kuru talaşlı imalatın uygulanması başarılabılır (Reddy ve Rao, 2005, s:63).

3.2.4.11. Talaş Kaldırma İşlemlerinin Ekonomisi

Üretim mühendisliği için üzerinde durulması gereken en önemli konu, üretim miktarları ve üretim maliyetleri ile ilgilenmek olup, pratikte yüksek üretim miktarı düşük üretim maliyeti anlamına gelmesine rağmen, bu iki faktör ayrı olarak düşünülmeli ve maksimum üretim miktarını veren imalat şartlarının ve minimum üretim maliyetini veren imalat şartlarının bu şartlarla aynı olmayacağı dikkate alınmalıdır. Üretim miktarları ve üretim maliyetlerinin analizi karmaşık bir mesele olup, çoğu durumlarda analiz sadece özel bir işlem için uygulanmaktadır. Ancak yıllarca kazanılan deneyimler, gerçekleştirilen kesme işlemi için, optimum kesme şartlarının seçilmesinde temel prensipler veya belirli ampirik kuralların oluşmasına yol açmıştır.

Üretim zamanı, bir makine parçasını imal etmek için alınan ortalama zaman olarak tanımlanırken, üretim maliyeti ise bir takım tezgahı kullanılarak bir parça üzerinde yapılan talaş kaldırma işleminin ortalama maliyeti olarak tanımlanmıştır. Genellikle, bir parçanın imalatı farklı tezgahlar kullanılarak farklı talaş kaldırma işlemi gerektirmektedir. Bu nedenle malzeme maliyetinden başka toplam maliyetler dahil pek çok maddeyi içermektedir. Örneğin, ham maddenin öncelikle tezgaha taşınması, yerleştirilmesi ve ilk kesme işlemi tamamlandıktan sonra parçanın kaldırılması, depo edilmesi veya son işlem için ikinci tezgaha nakledilmesi ve çok işlem gerekiyorsa işlemlerin bu şekilde devam ettirilmesi gerekmektedir. Pratik olarak tezgahlar arasında parçaların elle transfer maliyeti, toplam maliyetlerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Fakat burada belirli bir kesme işlemi için gereken faktörlerin analiz edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu düşüncelerin ışığında herhangi bir talaş kaldırma işlemi için diğer şartlar sabit tutulurken, kesme hızı veya ilerleme miktarı arttırıldığı zaman gerçek işleme zamanının azaltılacağı ve takım aşınma miktarının arttırılacağı söylenebilir. Bu nedenle çok düşük kesme hızları ve ilerleme miktarları ile üretim, çok uzun işleme zamanına yol açacağından, üretim zamanı artacaktır. Başka bir ifade ile, çok yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarı ile daha sık olarak kesici takımlar değiştirileceğinden, imalat zamanını arttıracaktır. Kesin olarak minimum bir imalat zamanı gerçekleştirmek için optimum bir şart mevcut bulunmaktadır (Şahin, 2001, s:152).

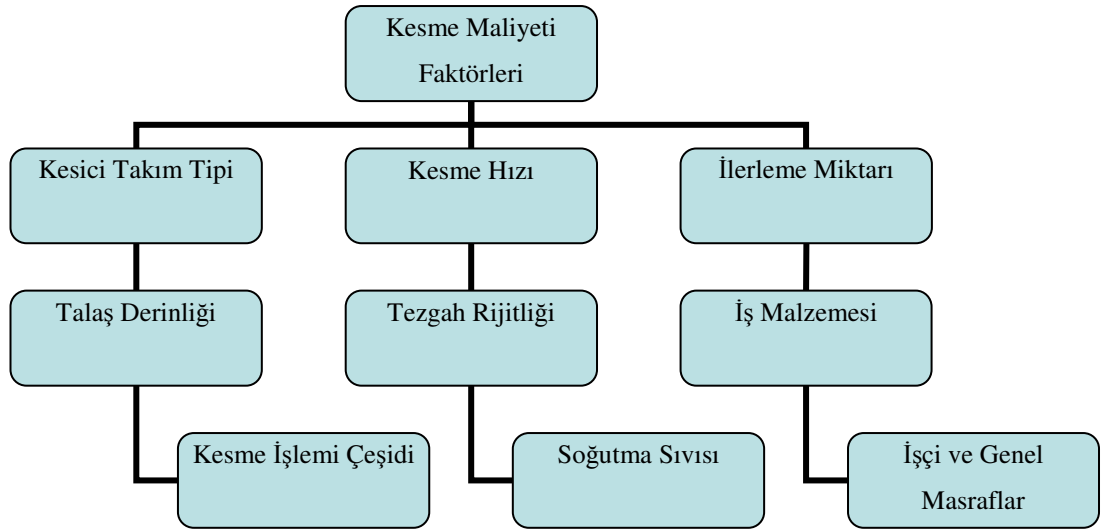


Şekil 3. 9 Üretim Zamanı

(Şahin, 2000, s:23)

Benzer şekilde minimum imalat maliyeti içinde optimum bir kesme şartı ortaya çıkabilir. Düşük hızlar ve ilerlemede, maliyet, uzun işleme zamanı için işçi ve tezgah kullanımı maliyeti nedeniyle yüksek olacaktır. Yüksek hız ve ilerleme miktarında sık sık takım değişikliği gerekeceğinden maliyetler yüksek olacaktır. İmalat mühendisinin esas fonksiyonu, hem imalat zamanının hem de imalat maliyetinin nasıl minimize edileceğini araştırmak ve bunu uygulamaktır. Bu amaçlara genellikle aynı anda ulaşamaz ancak bir uzlaşma bulunmalıdır. Talaş kaldırma mekaniği ve takım geometrisi çalışması verimliliği gerçekleştirmek için

gerekli iken, talaş kaldırma öncelikle bir ekonomik etkinlik faktörüdür. Talaş kaldırma işlemi tek-noktalı kesici takım ile talaş kaldırmadan oluştuğu zaman, kullanılan takım veya seçilen kesme hızının toplam üretim maliyeti üzerine talaş derinliği ve ilerleme miktarına göre daha büyük bir etkiye sahip olduğu daha önce açıklanmıştır. Bu şekilde talaş kaldırma işlemi özellikle tornalama imalatı halen önemli bir işlem olduğu için, bahsetmek dikkate değerdir. Kaba bir talaş kaldırma işleminde amaç, minimum maliyette veya minimum zamanda belirli bir malzeme hacmini kaldırmak veya maksimum üretim miktarı olduğunda takım cinsi ve kesme hızını buna göre seçmektir. Bir bitirme işleminde amaç, istenilen yüzey kalitesi elde edilinceye kadar, belirli bir bitirme yüzeyini iyileştirmektir. Bu nedenle de uygun ilerleme miktarının seçilmesi tasarımcıya bağlıdır (Şahin, 2001, s:152).



Şekil 3. 10 Bir Parçanın İşlenme Maliyetine Etki Eden Faktörler

(Şahin, 2000, s:319)

BÖLÜM 4. DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI

Deney, bilimin temelini oluşturur ve bu yüzden deney tasarımına geçmeden önce deney kavramının tanımlanması gerekir. Deney, belli bir amaç için bir prosesin girdi değişkenlerinin üzerinde anlamlı bir etki oluşturularak, çıktı üzerinde oluşan etkinin sonuçlarının ölçülmesi ve değerlendirilmesidir. İnsanoğlu bilimin basamaklarında ilerlerken çeşitli deneylere başvurmuştur, bu nedenle deney yeni bir kavram değildir. Bu bölümde incelenen, istatistik esaslara dayanan deney tasarımıdır.

4.1. KLASİK DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI

Deney tasarımı teknikleri, klasik ve modern deney tasarımları olmak üzere iki grupta inceleneceklerdir. Modern deney tasarımlarında tez de karşılaştırılmasına yer verilen “Taguchi ve Yanıt Yüzeyi” yöntemleri oluşturmaktadır.

4.1.1. Deney Tasarımının Tarihçesi

Deney tasarımı, 1920’lerde, istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan “Varyans Analizi”(ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem kısa süre içinde, Amerika’da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika’nın bu alanda dünyada lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır.

Deney tasarımı daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları, 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amerika'da imalat sektörü, 1980'lerin başında deney tasarımı Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deney tasarımı o tarihlerde japonya'da profesör Genichi Taguchi'nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmaktaydı. Taguchi, deney tasarımına kurumsal yenilikler getirmemiştir. Ancak, üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır (Şirvacı, 1997,s.13).

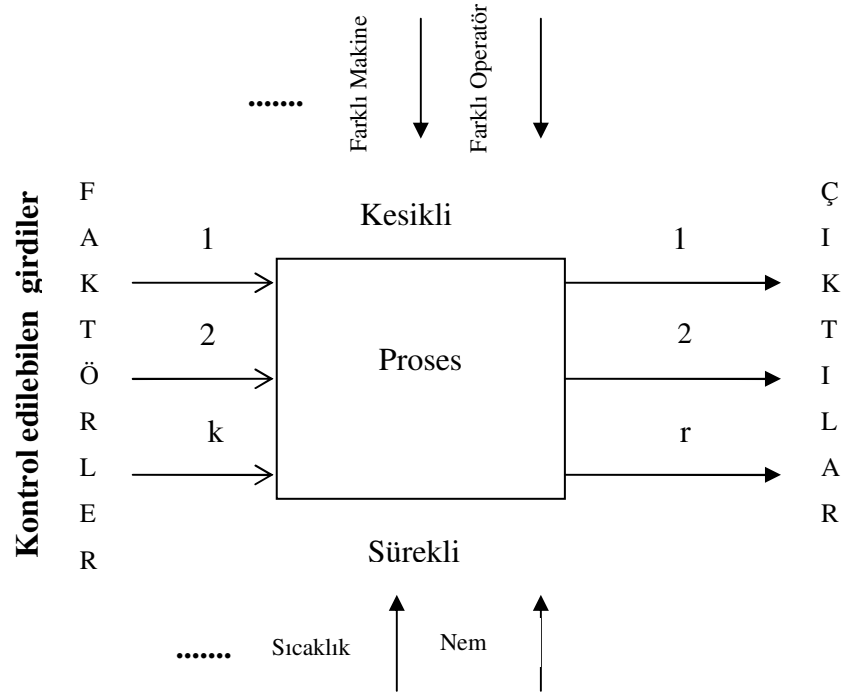
Yöntemin klasik, Taguchi ve Shainin olmak üzere üç yaklaşımı vardır. Klasik yöntem 1930'larda ziraat alanında uygulanmak üzere R. Ficher'in çalışmalarına dayanmaktadır. G. Taguchi klasik yöntemi basitleştirmiş ve ek tasarım mühendislik yöntemleri ilave etmiştir. D. Shainen ise ürün üretimi ile ilgili birçok problem çözüm yöntemi kullanmıştır (Akkurt ,2002, s.378).

4.1.2. Deney Kavramı ve Deney Tasarımı

İnsanın birçok faaliyet alanında özellikle bilim ve teknikte, deneyler önemli yer tutmaktadır. Deney tasarımı bilimi çerçevesinde deney kavramı, malzemelerin kopma veya aşınma gibi test adımı da taşıyan yalnızca basit deneyler için değil, tasarım ve üretim çalışmaları da dahil olmak üzere en geniş anlamda kullanılmaktadır. Örneğin tasarımı yapılacak bir ürünün veya o ürünle ilgili prosesin modelini kurarak faktörlerini ileri yöntemlerle incelemek, deney kapsamına girmektedir. Bu nedenle günümüzde deneyler yeni proseslerin geliştirilmesi, yeni proseslerin optimizasyonu, yeni malzemelerin geliştirilmesi, ömür ve güvenilirlik testleri, parça toleranslarının tayini gibi işlemlerde önemli rol oynamaktadır (Akkurt, 2002, s:378).

Bir deneyde bir ya da daha çok proses değişkeni (faktör) değiştirilerek, bir ya da daha çok cevap değişkeni üzerindeki etkisine bakılır. İstatistiksel deney tasarımı verilerden geçerli ve objektif sonuçlar çıkarılmasını sağlayan verimli bir prosedürdür. Deney tasarımı deneyin amaçlarını ve çalışma için proses faktörlerinin belirlenmesi ile başlar. Deney tasarımı, deneyin yapılmasından ziyade deneyin detaylı olarak planlanmasını gerektirir. İyi seçilmiş bir deney tasarımı, bilgiyi ekonomik olarak en büyükler. Deney tasarımının altındaki, teori proses modeli kavramıyla başlar(Çevrimiçi, <http://www.itl.nist.gov/handbook.htm>,1/26/2005).

Kontrol edilemeyen girdiler



Şekil 4. 1 Kara Kutu Proses Modeli

Deney tasarımına, deney yapanın değiştirebileceği birden fazla kesikli veya sürekli faktörlerin ve bir ya da daha fazla ölçülebilen çıktılarının oluşturduğu bir proses modeli olan “kara kutu” modeli ile başlanması genel bir yaklaşımdır. Çıktıların genellikle sürekli olduğu varsayılır. Deneysel veriler girdi ve çıktıların empirik modeller oluşturulmasında kullanılır. Bu empirik modeller genellikle birinci ve ikinci dereceden olurlar. Genellikle deney farklı makine ve

operatör gibi kesikli olan ve kontrol edilemeyen faktörleri ve/veya sıcaklık ve nem gibi sürekli olan ve kontrol edilemeyen faktörleri de içermelidir. Şekil 4.1 bu durumu açıklamaktadır (Çevrimiçi, <http://www.itl.nist.gov/handbook.htm,1/26/2005>).

Deney tasarımı, bir ürün veya prosesi etkileyen değişken parametrelerden kritik olanları ve bunların hedef değerlerini tayin eden bir yöntemdir. Bu amaçla biçimsel deney tekniklerini kullanarak birçok değişkenin etkileri aynı anda incelenmektedir. Ayrıca olay ile değişkenler arası matematiksel bir bağıntı kurmak için bilimsel bir yöntem olan regresyon yöntemi kullanılmakta ve ürün veya prosesteki değişiklikler, rasgele bir biçimde ve yüksek istatistik yöntemler kullanılarak incelenmektedir. Bunun yanı sıra deneylerin iyi bir planlaması ile, çok az deneyle çok bilgi toplamak mümkündür. Deneyler pahalı işlemler oldukları için bu husus çok büyük önem taşımaktadır. Deney tasarımı günümüzde kendi başına büyük ve geniş bir bilim dalı durumuna gelmiştir (Akkurt ,2002, s378).

Deneysel veriler için doğrusal form ve üstel (kuadratik) form en çok kullanılan amprik modellerdendir. X_1 ve X_2 faktörlerinden oluşan doğrusal model şöyle yazılabilir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \text{deneysel hata}$$

Burada ana faktörler olan X_1 ve X_2 ve aralarındaki mümkün olan etkileşim için $X_1 X_2$ kullanılmıştır. Sabit olan β_0 ise ana etkilerin 0 olması durumunda çıktı Y'nin alacağı değerdir. Doğrusal modelin 3 faktör içeren daha karmaşık hali de aşağıda gösterildiği gibidir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \text{deneysel hata}$$

Burada tek başına olan X'ler ana faktörlerdir, $k(k-1)/2=3*2/2$ adet ikili etkileşim ve 1 tane üçlü etkileşim vardır, ama üçlü etkileşim genellikle basitleştirilmek amacıyla ihmal edilir. Deneysel veriler analiz edildiğinde bütün

bilinmeyen parametreler tahminlenir ve X değişkenlerinin sıfırdan farklı olup olmadığı test edilir. Deney tasarımının olabileceği tahmin edilen cevap yüzeylerinde tipik olarak kullanılan iki dereceli (kuadratik model), üçlü erkileşim terim içermez ama doğrusal modele 3 adet daha terim ekler. Bu durum şöyle ifade edilebilir: (Çevrimiçi, <http://www.itl.nist.gov/handbook.htm>, 1/26/2005).

$$\beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2$$

4.1.2.1. Geleneksel Yaklaşım İle İstatistiksel Yaklaşımın Karşılaştırılması

Burada öncelikle varolan ve klasik olarak tanıdığımız deneylerle, yeni geliştirilen deney tasarımı arasındaki farkı açıklamakta fayda vardır. Klasik deneylerde incelenmek istenilen belirli bir olay ele alınır, olayı etkileyen faktörlerden birisi seçilir, olayla faktör arasındaki etkileme şekli hakkında bir hipotez yazılır, olayın gerçekleşmesini sağlayan bir deney tertibatı kurulur, deneyler yapılır ve elde edilen sonuçlardan hipotezin doğru olup olmadığı sonucuna varılır. Genelde deneylerde bir test grubu, bir de kontrol grubu bulunmaktadır. Klasik deneylerde bu iki grup üzerinde düzenlemeler yapılır, olayı etkileyen bir tek değişken incelenir. Ayrıca olay ile değişken arasında matematiksel bir bağıntı kurmak için belirli bir yöntem yoktur. Bu husus daha çok araştırmacının bilimsel kabiliyeti ve dehasına bağlıdır. Başta Galile'nin yer çekimi kanunu olmak üzere bir çok doğa kanunu bu şekilde keşfedilmiştir (Akkurt, 2002, s.378).

Bütün faktörlerin bir tanesi hariç sabit tutulması, lisede öğretilen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım kullanıldığında değişkenliğin sebep sonuç ilişkisine dayandığı bilinmektedir. Ama bu yöntem birçok yönden yanlışlar içermektedir.

- 1) Genellikle bütün değişkenlerin sabit tutulması imkansızdır.

- 2) Birlikte değişen ya da etkileşimde bulunan değişkenlerin etkisini hesaplamak olanaksızdır.
- 3) Deney hatasını, ölçme değişkenliğini içeren bir şekilde ölçmek imkansızdır. İstatistiksel olarak tasarlanan deney genellikle iki ya da daha fazla değişkenin aynı deney şartlarında tekrarlı ölçümlerle denenmesidir.

İstatistiksel yaklaşımın avantajları ise şöyledir:

- 1) Etkileşimler saptanarak ölçülebilir. Bir kerede bir faktör (OFAT) yaklaşımında etkileşimlerin saptanmasında genellikle hataya rastlanır.
- 2) Düzgün olarak tasarlanan deney birkaç farklı etkinin saptanması için aynı gözlemin kullanılmasını sağlar bu da istatistiksel yaklaşımla kıyaslandığında daha düşük maliyet sağlar.
- 3) Deney hatası ölçülür ve sonuçlar deney yapanın güvenilirliğinin bulunmasında kullanılır (Pyzdek, 2003, s:606).

4.1.2.2. Deney Stratejileri

Deneylerin planlanması ve yürütülmesi işlemine genel olarak deney stratejisi adı verilmektedir. Deney yapan kişinin uygulayabileceği birçok strateji vardır. Bunlardan ilki en iyi tahmin yaklaşımıdır. Alanlarında tecrübeli, üstün teknik ve teorik bilgiye sahip olan mühendis ve bilim adamları bu yaklaşımla başarılı sonuçlar elde etseler de, başarı garanti değildir.

Bu yöntem keyfi olarak seçilen faktörlerin biri hariç sabit tutulması ve diğerlerinin ilk deneyin sonuçlarına göre seviyelerinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilir. Bu yöntemin iki dezavantajı vardır. Bunlardan ilki, ilk iyi tahminin

istenen sonuçları vermemesi durumunda, deney yapan kişinin faktör seviyeleri kombinasyonunu düzeltmesi için yeni bir tahminde bulunmasının gerekmesidir. Bu işlemler uzun süre devam edebilir ve sonuca ulaşmakta problem yaşanabilir. Dezavantaj ise, ilk denemenin, kabul edilebilir bir sonuca ulaşıldığı varsayımında deney yapan en iyi sonuca ulaştığının garantisi olmadan deney yapmayı durdurabilir.

Pratikte yaygın olarak kullanılan bir başka deney stratejisi ise bir kere de bir faktörün incelenmesi prosedürüdür. Bu method bir başlangıç numarasının ya da taban değeri seviyeleri seçiminin ardından diğer faktörler taban seviyesinde sabit tutularak her faktörün kendi aralığında değiştirilmesini içerir. Bütün testler gerçekleştirildikten sonra cevap değişkeni y 'nin diğer faktörler sabit tutulup her faktörün ayrı ayrı denenmesi ile oluşan birçok grafiği çizilir. Bu grafikler faktörlerin optimum kombinasyonunun seçilebilmesine imkan tanırken faktörler arasındaki herhangi bir etkileşimi tahminleyemez. Birçok faktör içeren bir deney yapılabilmesi için en doğru yaklaşım faktöriyel tasarımlardır. Bunlar bir defa da bir faktör yerine faktörlerin bir arada değiştirildiği tasarımlardır ve literatürde adı geçen diğer tasarımlar faktöriyel tasarımların çeşitli türevleridir (Montgomery, 2005, s:4).

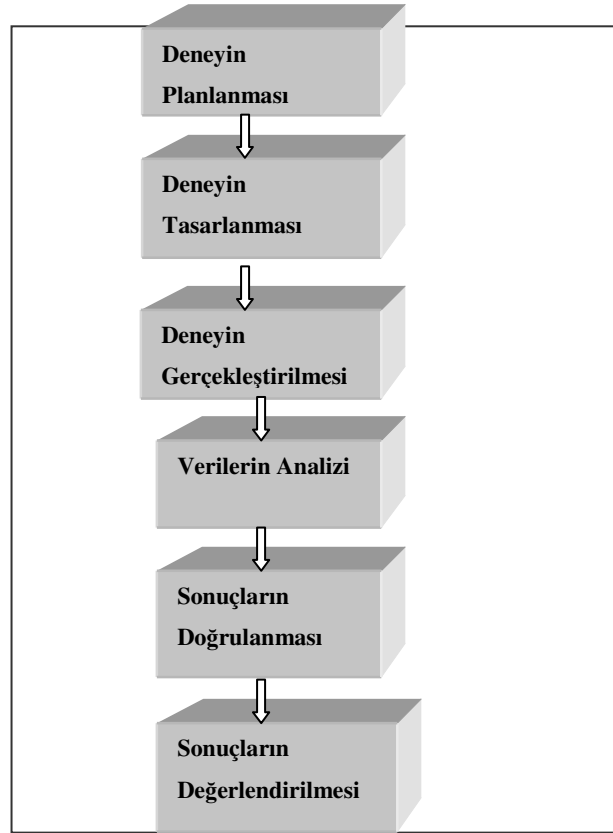
Deney tasarımında planlama aşaması çok önemlidir ve kendi içinde beş alt basamaktan oluşur.

- 1) Bağımlı ya da çıktı değişkeninin ya da değişkenlerinin belirlenmesi
 - 2) Çıktı değişkenlerinin ölçülebilir miktarlara dönüştürülmesi
 - 3) Çalışılacak çıktı değişkenlerine potansiyel olarak etki eden faktörlerin (girdi ya da bağımsız değişken) belirlenmesi
 - 4) Her faktör için seviyelerin belirlenmesi
 - 5) Farklı faktörler arasındaki potansiyel sinerji ya da etkileşimin belirlenmesi
- (Paul,D.,v.d, 2002, s:3)

Montgomery (2005) deney yapımının amprik çalışmalar gerektiren mühendislik, endüstri ve bilimde çok yaygın olarak kullanıldığını belirtmiştir. Deney tasarımı prosesi Şekil 4.2'de şematik olarak özetlenmiştir. İstatistik metotların

deneylerin verimliliğini büyük ölçüde arttırmasına rağmen, deney yapanları bazı unsurlara dikkat etmeleri konusunda uyarmıştır. Bunlar:

- 1) Problem hakkında istatistiki olmayan bilgilerin de kullanılması,
- 2) Tasarımın ve analizin mümkün olduğunca basit yapılması,
- 3) Pratik ve istatistiki önemin farkının anlaşılması,
- 4) Deneylerin genellikle birbirini takip eden bir etmesidir..



Şekil 4. 2 Deney Tasarımı Prosesi

(Paul,D., v.d, 2002, s:4)

4.1.2.3. Deney Tasarımında Kullanılan Bazı Tanımlar

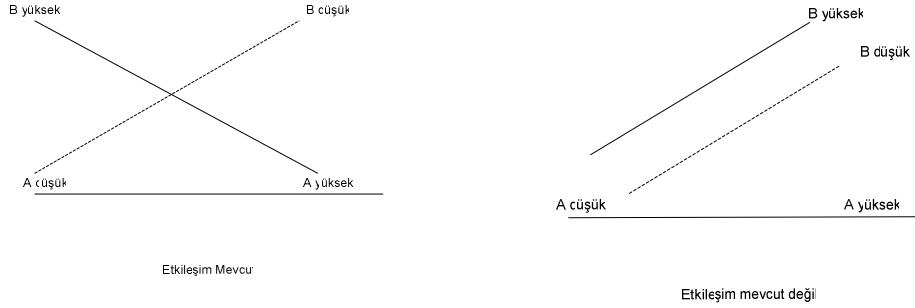
Yanıt Değişken: Bağımsız değişken olarak anılır, araştırılan değişkendir.

Primary (ilk) Değişken: Etkisi olduğu düşünülen kontrol edilebilir değişkenlerdir. Sıcaklık, basınç, hız gibi kantitatif olabilecekleri gibi, operatör, üretim metodu, satıcı gibi kalitatif değişkenler de olabilir.

Gürültü Değişkenleri: Deneyi dizayn edenler tarafından saptanmış etkisi olabilen ama değiştirilmemesi ya da sabit tutulması gereken değişkenlerdir.

Deneysel Hata: Herhangi bir deneysel durumda birçok değişken, birçok değişkenliğin potansiyel kaynağı olabilir. Değişken sayısı çok olduğunda bütün değişkenlerle ilgilenebilecek bir deney mümkün değildir. Bu değişkenler, değişkenliğin genel sebeplerine benzerdir ve prosesin gürültü seviyesini oluştururlar. Rassallık sayesinde gürültünün gerçek değişkenlerle karışması engellenir.

Etkileşim: Bir faktörün etkisinin diğer bir faktörün seviyesine bağlı olmasıdır.



Şekil 4. 3 Faktör Etkileşimleri –Mevcut Olma ve Olmama Durumu

Faktör: Deneyde etkisi incelenen kontrol edilemeyen değişkenlerdir.

Seviye: Deneyde bir faktörün incelenen değerleridir.

Blok: Bir deneysel programda bir değişiklik kaynağının etkisi olduğu bilinen faktördür.

Deneysel Tasarım: Bir deneyin yapılması için yapılan öncül tasarımıdır.

Ortogonalite: Aynı boyutta iki vektörün çarpımlarının toplamının sıfır olması durumudur (Juran, 1998, s:1411).

4.1.3. Deney Tasarımının Aşamaları

Deney tasarımı ve analizi çalışmalarında istatistiksel bir yaklaşım kullanılabilmesi için deneye katılan herkesin üzerinde çalışılacak konuyla ilgili yeterince bilgilendirilmesi, verilerin nasıl toplanacağı ve nasıl analiz edileceği konusunda fikir sahibi olması gereklidir. Deney tasarımı yapılması için önerilen süreç şöyledir:

1) Problemin Saptanması:

Deney yapmayı gerektiren problemin saptanması pratikte çok kolay değildir. Deneyin amaçları tüm açıklığıyla ortaya konulmalı fikirler geliştirilmelidir. Bu bir takım çalışmasıdır, mühendislik, pazarlama, yönetim, gibi departmanlara, müşteriye, üretimde görevli personele de fikirleri sorulmalıdır.

2) Yanıt Değişkenin Seçilmesi:

Seçilecek yanıt değişkeni, üzerinde çalışılacak proses hakkında yeterince bilgi sağlamalıdır. Birden fazla yanıt değişkenin de seçilmesi mümkündür.

3) Faktörlerin ve Seviyelerinin Seçimi:

İkinci veya üçüncü adımlar eş zamanda ya da ters sırada yapılabilirler. Tasarım faktörleri, deney sırasında sabit tutulacak faktörler ve değişmesine izin verilen faktörler saptanır. Bu faktörlerin istenilen seviyelerde nasıl kontrol altına alınacağı ve ölçümlerinin hangi şartlarda yapılacağı önemlidir.

4) Deney Tasarımının Seçilmesi

Deney öncesi planlamanın iyi yapıldığı durumlarda bu aşama kolaydır. Deney tasarımının seçilmesi; örnek büyüklüğünün ve tekrar sayısının belirlenmesi, bloklama yapılıp yapılmayacağı gibi kararları da içerir. Bu adımı destekleyen istatistiksel paket programları da mevcuttur. Bu programa faktör sayıları, seviyeleri girelerek uygun tasarım seçilir ve analizi yapılır. Tasarımın seçilmesinde deney amaçlarının da göz önünde tutulması gerekmektedir.

Faktörlerin, belirlenen yanıtı ne şekilde etkilediğini ve bunda hangi yöntemin daha etkili olduğunu bulmak amaçlanır.

5) Deneyin Gerçekleştirilmesi

Deneyin gerçekleştirilmesi sırasında dikkat edilmesi gereken nokta her şeyin daha önceden planlandığı gibi yapılmasının, prosesin takip edilmesiyle sağlanmasıdır. Deneysel prosedürde yapılabilecek hatalar deney geçerliliğini yok edecektir. Deneye başlamadan önce pilot çalışma yapılarak sistemin denenmesi önerilir.

6) Verilerin İstatistiksel Analizi

Verilerin analizi için istatistiki yöntemlerin kullanılması, analizin taraflı ve yargıya dayalı yapılmasını önlemek içindir. Faktör veya faktörlerin etkilerini istatistiki yöntemler kanıtlayamaz, yalnızca sonuçların güvenilirliği konusunda fikir verirler.

7) Sonuç ve Öneriler

Verilerin analiz edilmesinden sonra deney yapan kişi sonuçlara göre pratik çıkarımlar yapmalı ve bundan sonra nasıl bir yol takip edebileceğini belirlemelidir. Hipotezlerin araştırılması için deneyler yapılır, deney sonucunda yeni hipotezler üretilir. Deney, öğrenme sürecinin bir parçasıdır (Montgomery, 2005, s:18).

4.1.4. Endüstriyel Proseslerde Deney Tasarımı Uygulamaları

Deney tasarımı (DOE) endüstriyel prosesleri dizayn etmek ve iyileştirmek için kullanılır. Çok etkin bir seçim yöntemi ve optimizasyon metodudur. Deney tasarımı bazı kategoriler halindeki endüstriyel proseslerin optimize edilmesinde rutin olarak kullanılmaktadır.

Tablo 4. 1 Endüstriyel Proseslerde Dikkate Alınabilecek Değişkenler

Makine	Metot	Materyel	Personel	Çevre	Ölçüm
Alet Seçimi	Planlama	Malzeme Tipi	Eğitim	Sıcaklık	Enstrümanlar
Mallar	Sıralama	Tedarikçi	Tutum	Nem	Toleranslar
Doğruluk	Prosedürler	Malzeme Durumu	Fiziksel Yetenek	Titreşim	Spesifikasyonlar
Ayarlar	Teknikler	İçerik	Deneyim	Işık	Teknik
Hız	Kaynaklar	Hammaddeler	Vardiya	Basınç	Parametreler
Manuel	Prosesler	Fiyat	Yer		
Dijital					

Tablo 4.1’de bahsedilen bütün endüstriyel proses işlemleri aşağıda sayılan maddeler doğrultusunda optimize edilebilirler:

- Verimin optimize edilmesi
- Değişkenliğin azaltılması
- Hurda oranının azaltılması
- Kalitenin geliştirilmesi
- Operasyon maliyetinin düşürülmesi
- Gürbüz proses
- Tedarikçi değişkenliğine karşı duyarlılığın azaltılması
- Müşteri isteklerinin hesaba katılması
- Ürünlerin tamirinin azaltılması (Frigon &Mathews, 1997, s:237)

4.1.5. Deneysel Tasarımlar

Deneysel tasarımların en önemlilerinden faktöriyel tasarım, 2^k faktöriyel tasarım, kesirli faktöriyel tasarım, latin kare tasarımı, greco latin kare tasarımı, nested, split plot tasarımları, aşağıda özetle bahsedilmiştir.

- **Faktöriyel Tasarım**

Birçok deney iki ya da daha fazla faktör içerir. Genelde faktöriyel tasarımlar bu tip deneyler için en uygundur. Faktöriyel tasarımla kast edilen, her deney ya da deney tekrarında, her faktörün bütün seviyeleriyle birlikte kombinasyonlarının denenmesidir. Örneğin, faktör A'nın a seviyesi, Faktör B'nin b seviyesi olduğu durumda her tekrar ab deney kombinasyonunu içerir. Faktörler faktöriyel tasarıma tabi tutulduklarında, genellikle çaprazlanmış olarak adlandırılırlar (Montgomery, 2005, s:160).

Faktörlerin tek başlarına yapacağı etkiden, birarada yapacağı etki farklı olacağından, etkileşimlerin incelenmesi gereği artan faktör sayısı ile birlikte artan etkileşim ve artan deney maliyeti ortaya çıkacaktır. Bir çıktı üzerinde etkili olan faktörlerin birbirine bağlı olarak çıktıyı nasıl etkilediklerini incelemenin zorunlu olduğu durumlarda faktör deneyleri yoğun olarak kullanılır. Çeşitli sayıda ve düzeydeki faktörlerle deney yapmak mümkündür. (Bayraktar, 2007, s:129)

- **2^k Faktöriyel Tasarım**

Faktöriyel tasarımların önemli bir çeşidi 2^k faktöriyel tasarımlardır. Her biri 2 seviye içeren k adet faktör ile çalışılır. Bu seviyeler sıcaklık, basınç, zaman gibi kantitatif olabileceği gibi; iki makine, iki operatör, faktörlerin yüksek ve alçak değerleri gibi kalitatif değerler de olabilirler. 2^k tasarımları deneysel çalışmaların başlangıç aşamalarında özellikle yararlıdır, birçok faktörün araştırılmasının gerektiği ortamlarda, k adet faktör ile en düşük sayıda deney yapmayı sağlar. Bu tasarım $2 \times 2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$ adet gözlem gerektirir. Her faktör için yalnızca 2 seviye gerektiğinden elde edilen yanıtın da doğrusal olacağı beklenir (Montgomery, 2005, s:230)

- **Kesirli Faktöriyel Tasarım**

2^k tasarımındaki faktör sayısının artmasıyla büyüyen deney sayısı, deney yapanların ayırdığı her türlü kaynağı aşmaktadır. Örneğin 2^6 tasarımı 64 adet deney gerektirirken bu tasarımdaki serbestlik derecesi olan 63'ten sadece 6'sı ana faktörlere aitken, 15'i ikili faktör etkileşimlerine, geri kalan 42 serbestlik derecesi 3 faktör ve etkileşimlerine aittir. Eğer yüksek dereceli etkileşimleri ihmal edilebilir ise bir kesiri ile ana faktör etkileşimleri ve bazı düşük seviyeli etkileşimler kesirli faktöriyel tasarımı ile elde edilebilir (Montgomery, 2005, s:282).

- **Latin Kare Tasarımı**

Latin kare tasarımı kare şeklinde düzenlenmiştir ve adını kullanılan latin harflerden almıştır. Latin kare tasarımı ise iki değişkenlik kaynağı bu iki değişkeni bloklamak suretiyle kontrol edilebilmektedir. İki değişken için blok ve grup sayılarının eşit olması gerekir. Bloklanan değişkenlerden biri satır diğeri sütun elemanı olarak alınır. Faktörler de her satır ve sütunda sadece birer kez bulunacak şekilde oluşan matrise atanırlar. Bu durumda gerekli deney elemanı sayısı faktör sayısının karesi kadardır.

Tablo 4. 2 Latin Kare Tasarımı

4X4				5X5					6X6					
A	B	D	C	A	D	B	E	C	A	D	C	E	F	
B	C	A	D	B	A	C	B	E	B	A	E	C	D	
C	D	B	A	C	B	E	D	A	C	E	D	F	B	
D	A	C	B	D	E	A	C	D	D	C	F	B	A	
				E	C	D	A	B	E	B	A	D	E	
									F	F	B	A	C	

Bloklarda rasgele tasarımda varyasyonun sadece bir kaynağı kontrol edilebilir. Deney elemanları deneysel hatanın değişkenliğini düşürecek bir kritere göre gruplaması suretiyle homojen elemanlardan oluşan bloklarda toplanırlar. Bu yüzden bloklar arasındaki değişkenlik deneysel hatadan ayrıştırılmıştır ve her faktör her blokta eşit sayıda görülmektedir. Latin kare tasarımının en önemli avantajı iki

bloklama değişkeninin kullanılabilmesidir. Bu da çoğu kere deneysel hatadaki değişkenlikte iki bloklama değişkeninin ayrı ayrı kullanılmasına göre daha büyük düşümlere yol açar. Bununla birlikte latin kare tasarımının bazı önemli dezavantajları vardır. Bir kere faktör sayısının küçük olduğu durumlarda her bloklama değişkeninin sınıf sayısının faktör sayısına eşit olması zorunluluğundan dolayı deneysel hatanın serbestlik derecesi çok düşük olacaktır. Faktör sayısı büyük olduğunda da deneysel hatanın serbestlik derecesi çok küçük olacaktır. Faktör sayısı büyük olduğunda da deneysel hatanın serbestlik derecesi gereğinden büyük olabilecektir. Deney elemanı sayısının faktör sayısının karesine eşit olması gerektiğinden, faktör sayısının büyümesi uygulamada sorun yaratabilmektedir. Ayrıca bu tasarımda bloklama değişkenleri ile faktörler arasında ya da bloklama değişkenlerinin kendi aralarında etkileşimde olmadıkları varsayımı yapılmaktadır (Bayraktar, 2007, s:123).

- **Greco- Latin Kare Tasarımı**

PxP latin kare tasarımı ve latin kare tasarımındaki her latin harfin yanında bir yunan harfinin bulunduğu bir başka bir latin kare düşünüldüğünde eğer her yunan harfi her latin harfi ile yalnızca bir kere yanyana geliyorsa bu iki latin karenin de ortogonal olduğu söylenebilir ve elde edilen bu tasarıma Greco Latin Kare tasarımı denir. Bu tasarım, 3 adet bloklama yapmak suretiyle, üç adet dışsal kaynaklı değişkenliği kontrol edebilir. Bu tasarım, herbiri p seviyeli dört adet faktörün p^2 kadar denemede incelenmesini sağlar (Satırlar, sütunlar, latin harfler ve yunan harfleri) (Montgomery, 2005, s:143).

Tablo 4. 3 Greco-Latin Kare Tasarımı

	1	2	3	4
1	A α	B β	C γ	D δ
2	B δ	A γ	D β	C α
3	C β	D α	A δ	B γ
4	D γ	C δ	B α	A β

- **Dengeli Tamamlanmamış Blok Tasarımı**

Rassal blok tasarımı kullanan bazı belirli tasarımlarda, bütün deney kombinasyonlarının her blokta yapılması mümkün olmayabilir. Böyle durumlar genellikle deneysel ekipman azlığından, imkanların ya da bloğun fiziksel boyutunun yeterli olmayışından kaynaklanabilir. Bu tarz problemler için her işlemin her blokta yapılmadığı randomize blok tasarımları kullanmak mümkündür, buna da Rassal Tamamlanmamış Blok Tasarımı denir. Eğer her işlem kombinasyonu eşit derecede önemli ise, her bloktaki işlem kombinasyonu dengeli bir şekilde seçilir, yani her işlem kombinasyonu, bir diğeri kadar aynı sayıda kullanılır, buna da Dengeli Tamamlanmamış Blok Tasarımı denir. Örneğin bir kimyasal reaksiyonda katalizör etkisi araştırılmaktadır. Ama her bir yığından alınan örnek sayısı her bir katalizörün reaksiyon süresine etkisinin araştırılacağı kadar çok değildir. Hammaddenin farklı yığınlardan gelmesinin sonucu etkileyeceği düşünülmektedir bu yüzden de bloklanmalıdır ama bu durumda dengeli blok tasarımı kullanılır (Montgomery, 2005, s:145).

- **Rassal Tamamlanmış Blok Tasarımı**

Herhangi bir deney tasarımında gürültü faktörlerinden kaynaklanan değişkenlik sonuçları etkileyebilir. Genellikle gürültü faktörü, yanıt üzerinde etkisi olan ama etkisi araştırmacının ilgi alanında olmayan tasarım faktörleri olarak tanımlanır. Bazen bir gürültü faktörü bilinmez ve kontrol edilemezdir, bilinmeyen bu faktörün etkisiyle deney sırasında ilgilenilen faktörün seviye etkileri bile değiştirilebilmektedir. Rassallık sayesinde bu gizli gürültü faktörlerinin etkisinden kaçınılmaya çalışılmaktadır. Bazı durumlarda ise böyle bir faktörün varlığı bilinmemektedir ancak kontrol edilememektedir. Bu faktörün etkisi en azından ölçülebildiği takdirde kovaryans analizi ile etkisi telafi edilebilir. Değişkenliğin gürültü kaynaklı olduğu bilinir ve bu durumun kontrol edilebilir olduğu durumlarda, bloklama adı verilen teknikle işlemlerin istatistiksel karşılaştırmalarındaki etkisi sistematik olarak ortadan kaldırılabilir. Deneysel hatayı mümkün olan en küçük yapan bu teknik Rassal Tamamlanmış Blok Tasarımıdır. Tamamlanmış

kelimesiyle kast edilen her bloğun her işlemi içerdikidir (Montgomery, 2005, s: 119). Kullanım alanı yalnızca bir deneysel faktör araştırıldığında uygundur. Deneysel birimlerin faktör seviyelerine rasgele olarak atanması ile incelenir, bloklama yoktur (Juran, 1998, s.471).

- **Nested ve Split Plot Tasarımı**

Bazı çok faktörlü tasarımlarda bir faktörün seviyeleri diğer faktörün seviyelerine benzerdir ama aynı değildir. Bu tarz tasarımlara ağ yapılı ya da hiyerarşik tasarım denir. Örneğin bir firma hammaddesini 3 farklı satıcıdan tedarik eder. Firma her tedarikçiden aldığı hammaddenin saflığının aynı olup olmadığını saptamak ister. Her tedarikçiden 4 adet yığın gelmekte ve her yığından 3 örnek alınabilmektedir. Bu, yığınların tedarikçiler altında ağ olarak yapılanmış olduğu, iki basamaklı ağ yapılı tasarımdır (Montgomery, 2005, s: 526).

Sabit Etkiler Modeli “Fixed Effects Model”: Deneysel modelin bütün faktör seviyeleri için çalışılmıştır. Örneğin 3 farklı materyel olduğunda her üçü de modele dahil edilmiştir. Rassal etkiler Modeli “ Random Effects Model”: Deney bütün seviyelerin örneğini içerir. Örneğin üç farklı materyal varsa yalnızca 2 materyel deneyde kullanılır. Karışık Model “Mixed Model”: Hem sabit hem de rasgele etkileri içeren bir modeldir. Tam Rassal Model “Completely Randomized Model”: Hangi deneyin yapılacağı sırasının tamamen rasgele olduğu bir deneysel plandır. Rassal Blok Dizaynı “Randomize Block Dizayn”: Deneysel gözlemlerin bir kritere göre ikiye bölünmesidir (Pyzdek, 2003, s.606).

4.2. TAGUCHI DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI

Taguchi metodu, üründe ve proseste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilmeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan

bir deneysel tasarım metodudur. Bu metot; ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesinde etkili olmasını yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkanı vermektedir. Bunun yanı sıra felsefe olarak, kalitenin tasarım ve proseste sağlanması öngörmektedir. Bu metotta faktör seviyelerinin tespit edilmesinde gözlem yöntemi, sıralama yöntemi, sütun farkları yöntemi, varyans analizi yöntemi ve faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemlerinden birisi uygulanmaktadır (Canyılmaz, Kutay, 2003, s:51).

Taguchi'nin üretim/ kalite sistemini anlamak için Şekil 4.4'te verilen üretim/kalite çemberini referans olarak kullanmak yararlı olacaktır. Benzer bir çember İSO 9004 belgesinde de verilmektedir. Bu çember çevresinde yer alan ve kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetleri, Taguchi iki bölüme ayırmaktadır:

- **Off-Line Kalite Kontrol:** Off- line kalite kontrol, pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen takım çalışmalarıdır.

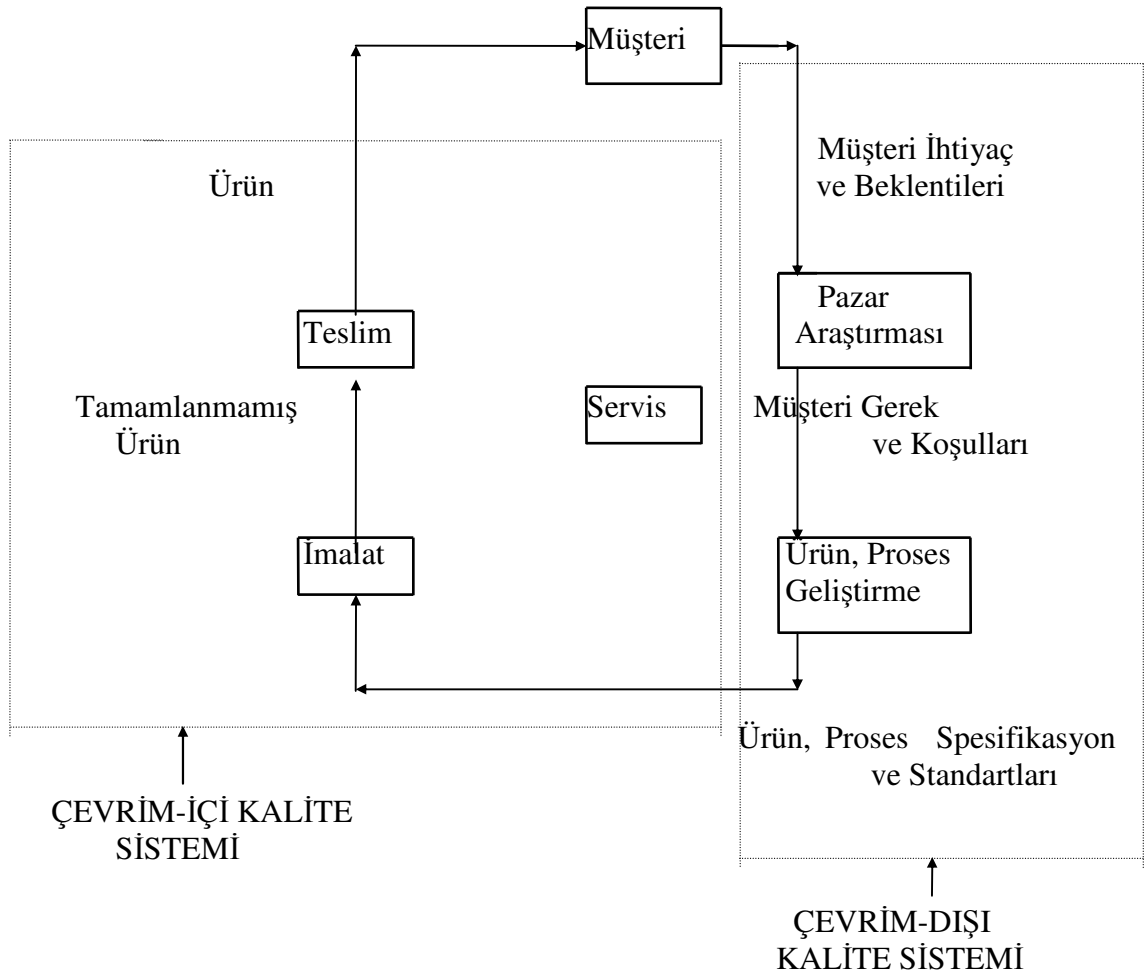
- **On-Line Kalite Kontrol:** On-line kalite kontrol ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetlerindendir. Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde yer almaktadır. Japonlar, "kontrol" kelimesinin olduğundan daha geniş anlamda kullanılmaktadırlar. Örneğin, Japonya'da Toplam Kalite Yönetimine, Toplam Kalite Kontrolü denmektedir. Taguchi, off-line kalite kontrolü,

1. Ürün tasarımı
2. Proses tasarımı

olarak ikiye ayırmaktadır. Kalite sağlama aşaması olarak, hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için, üç kalite aşaması tanımlamaktadır. Bunlar,

1. Sistem tasarımı
2. Parametre tasarımı ve
3. Tolerans tasarımı aşamalarıdır.

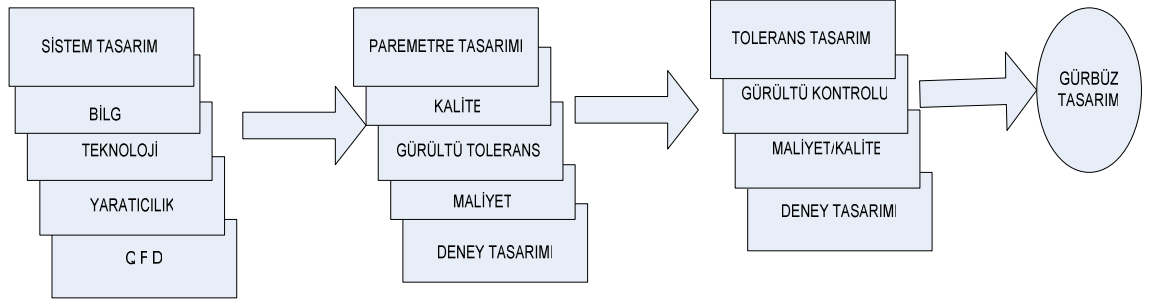
Taguchi'ye göre ürünün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de proses tasarımı için, *parametre tasarımı* aşamasıdır. (Şirvancı, 1997, s:14)



Şekil 4. 4 Üretim Kalite Çemberi

Off line kalite mühendisliği ürünün tasarım ve geliştirme proseslerinin başlangıç aşamalarında gerçekleştirilir. Ürün ya da proses, kullanım, üretim,

malzemeler ve diğer faktörlere karşı gürbüz olacak şekilde tasarlanır (Frigon, Mathews,1997, s: 180).



Şekil 4. 5 Off Line Kalite Mühendisliği

Kalite mühendisliği ürün ve süreç kalitesini iyileştirmek için “istatistiksel deney tasarımı”nın önemi üzerinde durur. İstatistiksel deney tasarımı, organizasyonda kalite geliştirme çalışmalarında kullanılan, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenlerin hedef kalite parametresi veya parametreler üzerindeki etkilerini belirler. Özetle, Taguchi, ürün ve süreç tasarımında deneysel tasarımın önemini vurgulamıştır. Taguchi üç tür tasarım üzerinde durmuştur:

1. **Sistem Tasarımı.** Teknoloji ve mimarlık şeklindeki fonksiyonel tasarımı kapsamaktadır..
2. **Parametre Tasarımı.** Ürün ve süreç parametrelerinin saptamalara duyarlılığını azaltacak şekilde ayarlanmasıdır.
3. **Tolerans Tasarımı.** Hedef etrafındaki kabul edilebilir toleransların belirlenmesidir.

Genichi Taguchi’nin Kalite Mühendisliği alanında geliştirdiği iki kavram daha bulunmaktadır:

1. **Tasarımda Kalite (Quality Function Deployment):** Bu teknik, müşteri ihtiyaçlarını ürün tasarımı ya da hizmet sürecine dönüştürmeyi sağlar. Amaç, müşteri tatminidir. Bazen “kalite evi” olarak da adlandırılır.

2. **Güçlü Tasarımı (Robust Design):** Ürün ve süreç geliştirme sırasında kontrol edilebilen süreç parametreleri (hat hızı, basınç, sıcaklık vs.) için optimal düzey ve ayarların belirlenerek süreç varyasyonunun en aza indirilmesine yönelik yaklaşımdır.

Taguchi'nin kalite felsefesini özetleyecek olursak :

1. Rekabetin giderek arttığı ve pazar koşullarının sürekli değiştiği ortamda sürekli kalite geliştirme ve maliyetleri azaltma önem taşır.
2. Ürün kalitesi iyileştirilirken ortaya çıkan “sosyal maliyet” gözardı edilmemeli ve bu dışsal maliyet minimize edilmelidir.
3. Bir ürünün nihai kalite ve maliyeti, ürünün ve imalat sürecinin mühendislik tasarımıyla belirlenir.

(Çevrimiçi:http://www.canaktan.org/yonetim/toplam_kalite/gurular/taguchi.htm.01.10.2007)

4.2.1. Ürün ve Proses Parametre Tasarımı

Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin, malzeme (çelik, lastik, kağıt, plastik vb.) formulasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi, optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek farklılığı (varyasyonu) asgariye indirerek, ürünün hem imalat hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır.

Proses parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat proses parametreleri (hat hızı gibi çeşitli hızlar, fırın sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıklar, çeşitli basınçlar ve çeşitli süreler) için optimal düzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır. Her iki parametre tasarımında amaç, üründe ve proseste, varyasyon yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün ve proseste varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına robust tasarım

demektedir. Burada robust, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız olan yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses kullanılmaktadır.

Ürün ve proses parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerin belirlenmesini ve optimal ayarların yapılmasını gerektiren çok faktör vardır. Üstelik bu faktörlerin birçoğu birbirleriyle etkileşim durumundadır. Bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin birlikte belirlenmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımıdır. Deney tasarımı aracılığıyla, birçok faktörün ürün üzerindeki etkisini ekonomik olarak (düşük maliyetle) belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemleri, tasarım aşamasında almak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla, Taguchi'nin off-line kalite kontrol sistemi içinde en önemli kalite sağlama yöntemi deney tasarımıdır (Şirvancı, 1997, s:16).

Taguchi Yöntemi, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deney tasarımı yöntemidir. Değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu verir. Orjinal Taguchi tekniğinde ürünün tek bir kalite karakteristiği en iyilenmeye çalışmaktadır. Ancak gerçek hayatta ürün geliştirme aşamalarında çoğu zaman birden çok sayıda yanıt değişkenin eşzamanlı en iyilemesi problemi ile karşı karşıya kalınır. Çok yanıtlı deneylerde yanıt değişkenlerinin tek tek ve diğerlerinden bağımsız bir şekilde incelenmesi sorunlara yol açtığından eş zamanlı en iyilenmesi istenir. İki veya daha fazla kalite karakteristiğini eş zamanlı iyileştirilmesi ile ilgili geliştirilen yaklaşımlarda çoğunlukla farklı kalite karakteristiklerinin farklı önceliklere sahip olması durumunda ağırlıklandırma istenmektedir. Bu işlem uzman kişilerin deneyimlerinden veya çeşitli yöntemlerden yararlanılarak yapılabilmesine rağmen, genellikle birinci yolun tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmada ağırlıklandırma hem uzman görüşleri ile hem de AHP yöntemi ile yapılarak sonuçlar irdelenmiştir (Baynal, Boran, 2006, s:102).

4.2.2. Taguchi'nin Sinyal Gürültü Oranları

Profesör Taguchi deney içindeki değişkenliği azaltmak amacıyla, deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/ gürültü oranı olarak adlandırılan bir kriter geliştirmiştir ve problemin amacına göre farklı sinyal gürültü oranları ile sınama yapmıştır.

Deneylerin sonuçları birden çok koşul içerdiğinden, standart bir analiz olan ortalama sonuçların kullanımı yerine sinyal- gürültü oranının, S/N kullanılması tercih edilir. Bir deneysel tasarımda incelenen ürünün bir faktöre bağlı olarak kalite özelliğindeki değişim istenen etkinin “sinyali” olarak adlandırılır. Ama bir deney gerçekleştirildiğinde tasarıma tabi tutulmamış, sonucu etkileyebilecek olan bir çok dış faktör olabilir. Bu dış faktörler gürültü faktörleri olarak adlandırılır ve çıktı üzerindeki etkilerine “gürültü” adı verilir. Sinyal / Gürültü oranı (S/N) kontrollü bir şekilde araştırılan kalite özelliğinin, kontrol altında olmayan ama sonucu etkileyen dışsal faktörlere (gürültü) karşı duyarlılığını ölçer. Basit olarak tanımlamak gerekirse S/N ortalamanın standart sapmaya oranıdır.

Genel olarak herhangi bir deneyin amacı sonuç için n yüksek sinyal gürültü oranına ulaşmaktır. Yüksek bir sinyal gürültü oranı sinyalin gürültü faktörlerinin rassal etkilerine karşı daha yüksek olduğunu gösterir. Ürün tasarımı ya da proses operasyonu yüksek bir sinyal gürültü oranında kararlıysa her zaman optimum kaliteyi ve minimum varyansı verir. S/N oranı kullanılarak yapılan analizlerin avantajları şunlardır:

- 1) Hedef çerçevesinde en az varyasyona dayanan ve hedefe ortalama en yakın değeri veren seviyelerin, optimum değerlerinin seçimine rehberlik eder.
- 2) Hedef çerçevesindeki varyasyon ve hedef değerden ortalamanın sapmasına dayanan iki set deneysel verinin objektif olarak karşılaştırılabilmesini sağlar.

Bir set gözlemin bir sayıya dönüşmesi iki basamakla yapılır. (İdris v.d, 2002, s: 229)

1. En Küçük – En İyi

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumlarda sinyal/ gürültü oranı şöyle tanımlanır:

$$S/N \text{ Oranı} = - 10 \log (\sum Y^2 / n)$$

2. En Büyük – En İyi

Bu durumda Y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal / gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S/N \text{ Oranı} = - 10 \log (\sum (1/Y^2) / n)$$

3. Hedef Değer - En İyi

Bu tür problemlerde, Y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$S/ N \text{ Oranı} = 10 \log \left(\overline{Y}^2 / S^2 \right)$$

Her üç tip problemde de, amaç S/N oranını maksimize etmektir. Taguchi'ye göre, S/N oranlarının maksimize edilmesi, bir yandan sinyali artırırken, bir yandan da varyasyonu azaltmaktadır (Şirvancı, 1997, s:100)..

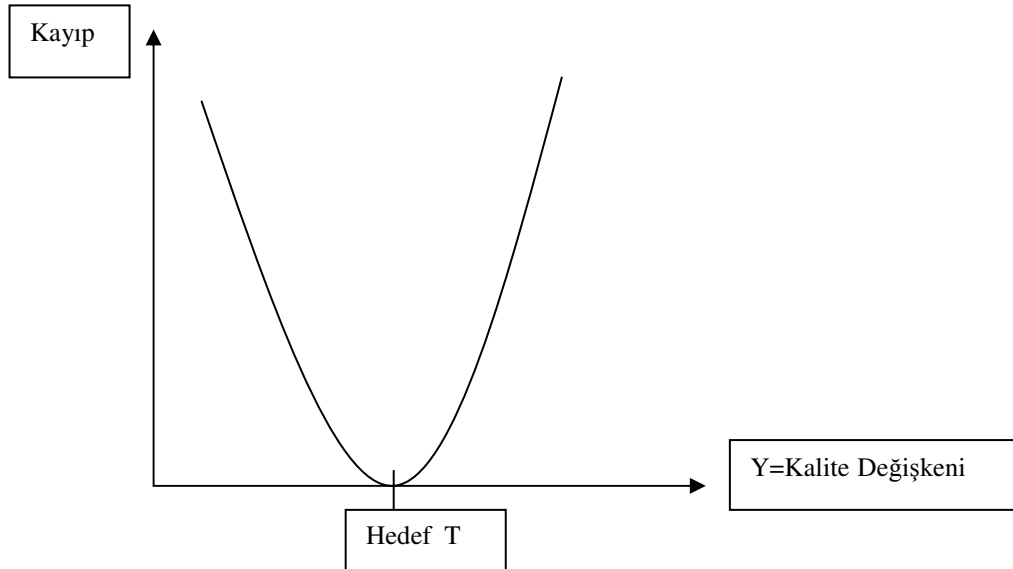
S/N oranlarından proses sonuçlarına etki eden parametreler tespit edilebileceği gibi, proses parametrelerin optimum değerleri de tespit edilebilir. (Kwak, 2005 s.329)

4.2.3. Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu

Ford firmasının 1980'lerdeki bir deneyimi, parça üretiminde hedeften sapma sonucu oluşan varyasyonun, firmaya parasal kayıp olarak döndüğünü göstermektedir. Ford, imal etmekte olduğu otolara şanzıman üretmek üzere iki ayrı firmaya sipariş verir. Tedarikçi firmalardan bir Amerikan firması, diğeri ise Japon Mazda firmasıdır.

Her iki firma da şanzımanları, Ford'un spesifikasyonlarına göre üretilip teslim ederler. Garanti süresi içinde şanzıman sorunlarından kaynaklanan garanti talepleri oluşur. Ford yetkilileri, sorunlu şanzımanları üretici firmaya göre sınıflandırdıklarında, Amerikan firmasının ürettiği grubun sayısal olarak diğerinden birkaç kat fazla olduğunu görürler. Bunun üzerine şanzımanların bazı kritik performans değişkenlerinin olasılık dağılımını hesap ederler. Her iki firmanın da ürettiği şanzımanlar, Ford'un belirlediği spesifikasyon sınırları içerisindedir. Ancak Amerikan firmasının ürettiği şanzımanlarda varyasyon daha fazladır. Bu şanzımanlar, daha sık ve daha erken arıza yaparak firmanın maliyetini artırmaktadır.

Geleneksel kalite kontrolde, parçalar, hedef değerden sapmalarına bakmaksızın, spesifikasyon sınırları içinde olup olmadıklarına göre değerlendirilir. Parçanın değeri sınırların dışındaysa, parça yeniden işleme veya hurdaya sevk edilir; içerideyse kabul edilir. Firma açısından kayıp ya tamdır, ya sıfırdır. Taguchi, bu geleneksel görüşün gerçeği aksettirmediğini düşünerek karesel kayıp fonksiyonu adı verilen fonksiyonu geliştirmiştir. Bu şekilde yatay eksen hedeften sapmanın miktarını, dikey eksen ise parasal kaybı temsil etmektedir. Buna iadeler, garanti talepleri müşterinin tamir masrafları gibi maliyetler dahildir. Hedef değerden sapma arttıkça, sapmanın karesi oranında kayıp artmaktadır (Şirvancı,1997, s:78).



Şekil 4. 6 Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu

Kayıp fonksiyonun denklemi şöyledir.

$$\text{Kayıp} = k (Y-T)^2$$

Denklemde T= Hedef değer, Y= Değişkenin ölçülen değeri, k ise sapmayı para birimine çeviren bir katsayıdır. Kayıp fonksiyonun anlamı çeşitli şekillerde yorumlanabilir. Örneğin kaybın azaltılması için varyasyonun azaltılması gerekmektedir. Diğer yandan, spesifikasyon sınırlarına kıyasla, kayıp fonksiyonu, sürekli geliştirme, yani “kaizen” ilkesini desteklemektedir. Kaybın azaltılması için prosesin sürekli iyileştirilmesi gerekir (Şirvancı,1997, s:78).

4.2.4. Taguchiye Yapılan Eleştiriler

George Box gibi istatistikçiler tarafından yapılan araştırmalar, S/N oranlarının optimal olmadığını göstermiştir. S/G oranlarının uygulanması yerine ortalama Y ve standart sapma S’nin ayrı ayrı analizi önerilmektedir (Şirvancı, 1997, s:100). Taguchi’ye yapılan eleştirilerin temelinde etkileşim kavramına yeterli önemin verilmemesi ve düşük çözömlü tasarımların kullanılması yatmaktadır.

1) Taguchi iki etmenli etkileşimler konusuna çok fazla önem vermemiştir. Bu tip etkileşimlerin etkilerini ortadan kaldırmak için etken düzeylerinin uygun bir şekilde belirlenmesini önermiştir. Etkileşim etkisini ortadan kaldıracak uygun bir tasarıma karar verilmesi ancak ilgilenen sürecin çok iyi tanınması ile mümkün olacaktır. Aksi halde etkileşim etkileri gereksiz yere ihmal edilmiş olacaktır. Taguchi tasarımları genellikle düşük çözömlü tasarımlardır. Düşük çözömlü tasarımlarda etkileşim etkileri ve ana etkiler eşdeştirler. Ayrıca Taguchi felsefesi altında gerçekleştirilen modelleme çalışmalarında kontrol etkenleri ile gürültü etkenleri arasındaki etkileşimler ihmal edilir.

2) Taguchi felsefesinde çaprazlanmış dizim formatı kullanılarak deney tasarlanır. Taguchi az sayıda deneme ile sonuca ulaştığını ve kullandığı tasarımların özellikle sanayi deneyleri için uygun olduğunu belirtir. Deneme maliyetlerinin çok yüksek ve deney sayısının çok olması nedeniyle Taguchi'nin tercih edilmesi gündeme gelebilir. Ancak Taguchi söylendiği gibi az deneme ile sonuca ulaşmaz.

3) Taguchi tarafından önerilen analiz teknikleri arasında en çok eleştirilen sinyal gürültü oranları olmuştur. Tek bir istatistiğin alacağı değerler bakılarak yoruma gidilmesi sakıncalıdır. Sözü geçen bu oranlara alternatif cevap yüzeyleri olmuştur.

5) Sinyal gürültü oranları üzerinden yapılan varyans analizinde bağımlı değişken değerlerini sinyal gürültü oranları oluşturmaktadır. Burada önemli olan husus F testinde kullanılacak uygun hata kareler ortalamasının bulunmasıdır. Bu konuyla ilgili olarak Taguchi tarafından önerilen teknik eleştirilmiştir. Çünkü analiz sonucunda önemsiz çıkması beklenen etkilerin önemli çıkabileceği literatürde tartışılmıştır. Ayrıntılı tartışma ve kaynaklar için Montgomery (1997)'ye bakılabilir.

6) Taguchi yöntemlerine yapılan en önemli eleştirilerden birisi Box (1985) tarafından yapılmıştır. Bu eleştiri ana hatlarıyla şöyledir. Taguchi teknikleri adım adım hedefe yaklaşma ilkesine aykırıdır. Taguchi'nin önerdiği tasarımlar oldukça kısıtlı olup etkileşim kavramıyla yeterince ilgilenmezler. Taguchi tekniklerine alternatif daha etkin ve basit analiz teknikleri literatürde mevcuttur. Sinyal gürültü oranlarının kullanımı üzerine yapılan tartışmalar istatistik çevrelerini ikna edici düzeyde değildir (Köksoy, 2001, s: 42).

4.3. YANIT YÜZEYİ YÖNTEMİ YAKLAŞIMI

Yanıt yüzeyi yöntemi bir grup girdi değişkenleri ile bir yada daha fazla çıktı arasındaki ilişkileri amprik olarak incelenmesinde kullanılan teknikler bütünüdür (Cornell, 1984, s:1).

Yanıt Yüzeyi Yöntemi, (Response Surface Methodology) değişik tipteki endüstriyel süreçlerden geliştiren, iyileştiren ve optimize eden istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bütünüdür. Yanıt Yüzeyi Yönteminin en yaygın uygulamaları, bir kaç girdi değişkeninin (faktörün) bir ürün veya sürecin performans ölçüsü veya kalite karakteristiğini etkilediği durumlardır. Bu performans ölçüsü veya kalite karakteristiği cevap olarak adlandırılmaktadır. Girdi değişkenleri (faktörler), araştırmacı veya uygulayıcı tarafından kontrol altında tutulabilmektedir (Özler, 1997, s:1).

Birçok deneysel program iki amaçla yapılmaktadır: Ölçülebilen çıktı değişkenleri birbiri arasındaki ve çıktıları etkileyeceği düşünülen deneysel faktör(ler) arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve en iyi değeri veren faktörlerin ya da çıktı değerlerinin bulunmasıdır. Örneğin; kimyasal bir prosesin bitmiş ürününün saflığının belirlenmesi, birçok prosesteki etken maddelerin konsantrasyonlarından etkilendiği gibi aynı zamanda reaksiyonun sıcaklığından da etkilenmektedir. Mühendis ürünün en yüksek saflığını sağlayan etken maddelerin spesifik konsantrasyonlarını ve sıcaklık seviyelerini belirlemeye çalışır. Başka bir örnek olarak yüksek kan basıncını indirdiği bilinerek seçilen iki ilaç kombinasyonun, yüksek tansiyon hastalarında bir seri klinik testin uygulandığı varsayıldığında burada amaçlanan, belirli bir zaman aralığında çeşitli hastalara uygulanan, hastaların yüksek kan basıncını en iyi şekilde indiren ilaç kombinasyonlarının bulunmasıdır. Yanıt Yüzeyi Yöntemi çıktının en iyi değerlerini bulmak için gerekli teknikleri kapsar. Eğer çıktıların en iyi değer ve değerlerinin bulunması işlemleri deneyin kaynaklarını aşyorsa yanıt yüzeyi yöntemi en azından bütün sistemin en iyi anlaşılmasını sağlar. Bu teknikler ilk olarak Box ve Wilson tarafından 1951 yılında tanıtılmış, daha sonra 1957 yılında Box ve Hunter, Bradley (1958), Davies (1960) tarafından geliştirilmiştir. Birçok durumda ölçülen yanıt değerlerinin davranışları çıktı ve deneysel faktör setleri arasındaki ilişki deterministik bir şekilde yaklaşık olarak bulunabilir ve faktörlerin en iyi şartları (seviyeler) çıktının optimize edilmesi ile belirlenebilir. Genellikle bu ilişki ya çok komplike ya da bilinmezdir ve amprik

yaklaşım gerekmektedir. Bu yaklaşımdaki uygulanan strateji yüzey yanıt yaklaşımının temelleridir (Cornell, 1984, s:1).

Bir süreçteki girdi değişkenleri ile cevap değişkeni arasındaki ilişkinin yapısı bilindiğinde, girdi değişkenleri seviyeleri, optimum cevap değerini elde edecek şekilde seçilebilir. Ancak cevap ile girdi değişkenleri arasındaki ilişkinin gerçek yapısı bilinmediğinde, girdi değişkenlerinin cevap üzerindeki etkilerinin ampirik olarak bulunması söz konusudur. Diğer bir deyişle, cevap ile girdi değişkenleri arasındaki ilişkiyi temsil eden ampirik bir modelin (genellikle polinomiyal) bulunması söz konusudur. Yanıt yüzeyi yönteminde, bir polinomiyal ile girdi değişkenleri arasındaki uzayda küçük bir bölgede bilinmeyen gerçek ilişkiye yaklaşılabileceği varsayılmaktadır. Bu polinomiyailler ise genellikle birinci ve ikinci derecedendir. Yanıt yüzeyi yöntem biliminde kullanılan teknikler aşağıdaki gibidir.

1. Söz konusu yanıtın ölçülmesini sağlayacak deneylerin tasarlanması yanıt yüzeyi çalışmalarında veri toplama aşamasının planlanması oldukça önemlidir. Bu aşamada deney tasarımlarının özel bir sınıfı olan yanıt yüzeyi tasarımları kullanılmaktadır. Birinci derece modeller için kullanılan yanıt yüzeyi tasarımları birinci derece tasarımlar ve ikinci derece modeller için kullanılan yanıt yüzeyi tasarımları ikinci derece tasarımlar olarak adlandırılmaktadır.
2. 1 maddede seçilen tasarımdan toplanan verilere en iyi uyumu sağlayacak modelin bulunması. Model parametreleri ile ilgili hipotez testleri, uyum yetersizliği testi, artık (residual) analizi, verilere en iyi uyumu sağlayacak modelin bulunmasında kullanılabilir. Ayrıca girdi değişkenleri ve- veya yanıt değişkeni üzerine uygulanan transformasyonlar ile modelin uyumu iyileştirilebilir.

3. Optimum yanıt değerini veren koşulların (optimum faktör seviyelerinin) seçimi: Yanıtın maksimizasyonu (veya minimizasyonu) hedeflendiğinde ve birinci derece modelin yeterli olduğu durumlarda cevabın optimum değeri, genellikle incelenen bölgenin dışındadır. Bu gibi durumlarda yanıtın optimum değerine yaklaşmak için en hızlı artış (veya azalış) yöntemi kullanılabilir. İkinci derece modelin yeterli olduğu durumlarda ise yanıtın optimum değeri incelenen bölgede veya bu bölgenin dışında olabilir. Optimum yanıt değeri incelenen bölgede ise kanonik analiz, bu bölgenin dışında ise yine kanonik analiz ve- veya sırt (ridge) analizi kullanılabilir. Doğrusal olmayan programlama teknikler, incelenen bölge içerisinde, yanıt optimum değerini bulmak amacıyla kullanılabilir (Özler, 1997, s:1).

4.3.1. Regresyon Analizi ve Yanıt Yüzeyi Yönteminin Benzerlikleri

Herhangi bir sistemde değişken miktarları değişebilir ve amaç ölçülebilen bir miktarın(yanıt) davranışlarına etki eden faktörlerin etkilerini tahmin etmekse regresyon analizi geręekleřtirilebilir. Regresyonda veriler bir deneyden elde edilir. Veriler yanıt değişkeni ve onu etkileyen faktörler arasında varolan ilişkinin bir matematik model sayesinde amprik olarak belirlenmesinde kullanılır. Çıktı (yanıt) değişkeni “bağımlı değişken” ya da “yanıt”, değişkeni etkileyen faktör ise “regresyon değişkenleri” olarak adlandırılır. Regresyon analizi fizik, biyoloji, sosyal bilimler, mühendislik gibi biręok alanda araştırma amaçları için çok yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Yanıt yüzeyi yöntemleri veriler üzerinde uygulanan regresyon analizinin sırasında, öncesinde ve sonrasında uygulanan teknikler bütünüdür. Analizden de önce deneyler tasarlanmalıdır, değişkenler seçilmeli ve geręek deney sırasındaki değerleri tasarlanmalıdır.

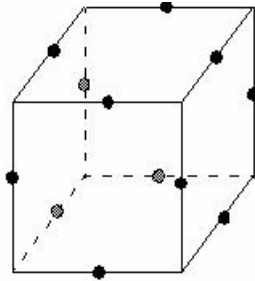
Regresyon analizinden sonra belli optimizasyon teknikleri uygulanır. Böylece RSM konusu, çalışan sitemin daha iyi anlaşılabilmesi için regresyon ve diğer tekniklerin uygulamasını içerir (Cornell, 1984, s:1).

4.3.2. Yanıt Yüzeyi Yöntemi Tasarımları

Yanıt yüzeyi yöntemi tasarımlarından en önemlileri ve en sık kullanılanları Box- Behnken ve Merkezi Kompozit tasarımlarıdır.

4.3.2.1. Box-Behnken Tasarımı

Box- Behnken tasarımı bağımsız kuadratik bir tasarımdır. İçine gizlenmiş faktöriyel ya da kesirli faktöriyel tasarım içermez. Tasarımda deneme noktaları kenarların orta noktaları ve merkezde olmak üzere konumlanır. Bu tasarımlar döndürülebilir ve her faktörün üç seviyesine ihtiyacı vardır. Tasarımların merkezi kompozit tasarıma kıyasla ortogonal bloklama için limitli bir kabiliyeti vardır. (<http://www.itl.nist.gov/div 898/ handbook /pri/ selection/pri 3362.htm>,11/14/2006)



Şekil 4. 7 Üç Faktör İçin Box-Behnken Tasarımı

Bloklanmış ve bloklanmamış Box-Behnken tasarımları oluşturulabilir. Şekil 4.7'de 3 faktörlü Box-Behnken tasarımı gösterilmektedir. Diyagramdaki noktalar deneysel koşulları göstermektedir. Box-Behnken tasarımlar birbiri ardı sıra olmayan deneylerde, yani deneyin yalnızca bir kerede yapılacağı durumlarda kullanılabilir. Bu tasarımlar birinci dereceden ve ikinci dereceden denklemlerin tahminini yapmakta başarılıdır. Box-Behnken tasarımlarının daha az tasarım noktası olmasından dolayı, aynı faktör sayılarında dahi merkezi kompozit tasarımdan daha az maliyetlidir.

Prosesin güvenli çalışma koşulları bilindiğinde yararlı olabilir. Merkezi kompozit tasarımları kübün dışında da noktalar içermektedir. Bu noktalar deneysel ilgi alanını içinde olmayabileceği gibi prosesin güvenli çalışma koşullarının dışına çıkılabileceğinden deneyin yapılması mümkün olmayabilir. Box- Behnken tasarımları faktörlerin arka arkaya yüksek seviyelerinde olmamasını da garanti eder.

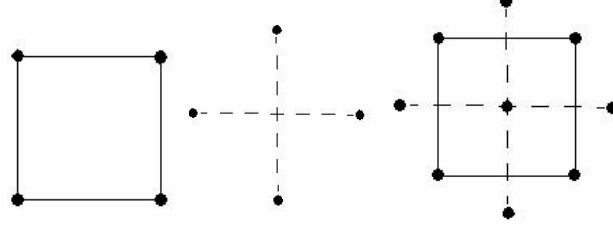
4.3.2.2. Merkezi Kompozit Tasarımlar (CCD)

Box- Wilson merkezi kompozit tasarımı genellikle merkezi kompozit tasarımı olarak adlandırılır ve yapısında gömülü faktöriyel ve kesirli faktöriyel tasarım içeren, merkez noktaları ve bir grup yıldız noktası ile eğimin tahmin edilmesini sağlayan bir tasarımdır. Eğer tasarımın merkez noktasından faktöriyel bir noktaya her faktör için uzaklık ± 1 birim ise tasarımın merkez noktasından bir yıldız noktaya uzaklık $\pm \alpha$ dır ($|\alpha| > 1$). α tasarım için istenen özelliklere ve faktör sayısına bağlıdır. Benzer olarak merkez nokta deneylerinin sayısı da tasarım için istenen özelliklere bağlıdır (http://www.itl.nist.gov/div_898/handbook/pri/selection/pri_3362.htm, 11/14/2006).

Bloklanmış ve bloklanmamış merkezi tasarımlar oluşturulabilir. Merkezi tasarımlar;

- 2^k ya da 2^{k-1} faktöriyel noktalar içerir. (Küp noktaları olarak da bilinir) k, faktör sayısıdır
- Eksenel noktalar (yıldız noktalar olarak da bilinir)

- Merkez noktaları



Şekil 4. 8 Faktör İçin Merkezi Kompozit Tasarımın Ortaya Çkarılışı

Merkezi kompozit tasarımlar birbiri ardı sıra yapılacak deney planları için önerilir. Bu tasarımlar düzgün olarak planlanmış faktöriyel tasarımlardan bilgi sağlayabilirler. Faktöriyel ve merkez noktalar doğrusal modeli oluşturmak için kullanılabilir ancak ikinci dereceden bir yaklaşımın önemini vurgulayacak kanıt sağlayarak katkı sağlarlar. Merkezi ve eksenel noktaların tasarıma eklenmesi ile merkezi kompozit tasarım ikinci dereceden denklem tahminleme konumuna gelebilir. Ortogonal bloklama ve döndürülebilirlik imkanı da tanıyan merkezi kompozit tasarım ikinci derece modeldeki kuadratik terimlerinin tahminini yapabilir. Ortogonal olarak bloklanmış tasarımlar model terimlerinin ve blok etkilerinin bağımsız olarak tahminlenmesini ve regresyon katsayıları arasındaki değişimin minimize edilmesini sağlar. Döndürülebilir tasarımlar, bütün noktaların tasarım merkezinden eşit uzaklıkta olması ile sabit tahmin varyansını sağlamakta, bu da tahmin kalitesini arttırmaktadır.

Döndürülebilirliğin elde edilmesi için α 'nın değeri deney sayısına bağlıdır.

$$\alpha = [\text{Deney Sayısı}]^{1/4}$$

Tam faktöriyel ise :

$$\alpha = [2^k]^{1/4}$$

Tablo 4. 4 Merkezi Kompozit Tasarımlar

Merkezi Kompozit Tasarım Tipi	Terminoloji	Öneriler
Daire ile çevrelenmiş merkezi kompozit tasarım (Circumscribed)	CCC	Merkezi kompozit tasarımın orijinal formlarıdır. Yıldız noktalar α kadar uzaklıkta bulunurlar. Yıldız noktalar her faktör için ekstrem noktaları gösterir. Her faktör için 5 seviyeye ihtiyaç duyarlar.
İçine daire çizilmiş merkezi kompozit tasarım (Inscribed)	CCI	Bu tasarımlar için verilen limitler gerçek limitlerdir ve yıldız noktalarda dahi bu limitler aşılamaz. CCC'nin bir alt tasarımıdır. Bu tasarımda her faktör için 5 seviyeye ihtiyaç duyar.
Merkezi bir yüzde olan merkezi kompozit tasarım (Face Centered)	CCF	Bu tasarımda yıldız noktalar her yüzün merkezindedir ve böylece $\alpha = \pm 1$. Her faktör için 3 seviyeye ihtiyacı vardır.

Tablo 4.5'te α 'nın faktör sayılarına göre, döndürebilirlik için aldığı değerler görülmektedir.

Tablo 4. 5 α 'nın Döndürebilirlik İçin Aldığı Değerler

Faktör Sayısı	Deney Sayısı	α değeri
2	2^2	$2^{2/4}=1.414$
3	2^3	$2^{3/4}=1.682$
4	2^4	$2^{4/4}=2.000$

5	2^{5-1}	$2^{5/4}=2.000$
5	2^5	$2^{5/4}=2.378$
6	2^{6-1}	$2^{5/4}=2.378$
6	2^6	$2^{6/4}=2.378$

Yanıt yüzeyi tasarımları Tablo 4.6 da özetlenmiştir.

Tablo 4. 6 Yanıt Yüzeyi Tasarımlarının Özeti

Tasarım Tipi	Öneri
CCC	CCC tasarımları bütün tasarım alanında yüksek kalite tahminleri yapar ama faktörler için belirlenen skalanın dışında ölçümler gerektirir. Her faktör için 5 seviye gerektirir.
CCI	CCI tasarımları faktör skalası içinde belirlenmiş noktaları kullanır. CCC ile kıyaslandığında yüksek bir tahmin kalitesi vermez. Her faktör için 5 seviye gerektirir.
CCF	CCF tasarımları yüksek kaliteli tahmin yaparlar, faktör skalasının dışında deney gerektirmezler ancak kuadratik katsayıların tahmininde zayıf bir tahmin yaparlar. Her faktör için 3 seviye gerektirir.
Box- Behnken	Bu tasarımlar 3 ve 4 faktör içeren deneylerde merkezi kompozit tasarımdan daha az ölçüm gerektirir. Box-Behnken tasarımı döndürülebilir bir tasarımdır fakat CCI gibi zayıf tahmin kaliteli bölgeleri içerir. Faktörlerin ekstrem değerlerinden kaçınan deney yapanlar için tasarımın köşeleri kullanmayışı avantaj olabilir. Her faktör için 3 seviye gerektirir.

Tablo 4. 7 Merkezi Kompozit ve Box-Behnken Tasarımları İçin Deney Sayıları

Faktör Sayısı	Merkezi Kompozit	Box- Behnken
---------------	------------------	--------------

2	13 (5 merkez noktası)	-
3	20 (6 merkez noktası)	15
4	30 (6 merkez noktası)	27
5	33 (kesirli) ya da 52 tam faktöriyel	46
6	54 (kesirli) ya da 91 tam faktöriyel	54

4.3.3. Yüzey Yanıt Yöntemi Analizi

- **Regresyon Modelinin Anlamlılık Testi**

Regresyon Ortalama Karesi ve ortalama karesi hatasının oranı olan F değeri hesaplanarak ANOVA testi gerçekleştirilir. Bir faktörünün ya da modelin etkisine göre, ve hata terimi varyansına göre olmak üzere F oranı ayrıca varyans oranı olarak da anılır. Bu oran belli bir anlam derecesinde, α , hata teriminin içinde bütün terimlerin olduğu bir durumda modelin anlamlılığını ölçer. İstenen anlamlı bir modeldir (Noordin v.d., 2004, ss:46-58).

Regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bir bağımsız veya birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkilerin bir matematiksel eşitlik ile açıklanması sürecidir. Bağımsız değişken sayısı bir olduğunda basit regresyon, birden fazla olduğunda ise çoklu regresyon söz konusudur. Regresyon analizi üç grupta sınıflandırılabilir:

1- Bağımsız değişken sayısına göre;

- Basit regresyon analizi (Tek bağımsız değişken)
- Çoklu regresyon analizi (Birden çok bağımsız değişken)

2- Fonksiyon tipine göre;

- Doğrusal regresyon analizi
- Doğrusal olmayan (eğrisel) regresyon analizi

3- Verilerin kaynağına göre;

- Ana kütle verileriyle regresyon analizi
- Örnek verileriyle regresyon analizi
- Zaman serilerinde regresyon analizi (Orhunbilge, 2002, s:12).

Varyans analizi iki veya daha fazla ortalama arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı ile ilgili hipotezi test etmek için kullanılır. Varyans analizinin uygulanabilmesi için örneklerin seçildiği anakütlelerin normal dağılması ve varyanslarının eşit olması gerekmektedir. Varyans analizinde bağımlı ve bağımsız değişkenlerden bahsedilir. Bağımsız değişkenlere faktör adı da verilmektedir. Faktörlerin, bağımlı değişkenler üzerinde etkisi araştırılır. Bağımsız değişkenin kategorik, bağımlı değişkenin ise metrik olması gerekmektedir. (Orhunbilge, 1997, s:178)

Tablo 4. 8 Tek Faktör ve Sabit Etkiler Modeli İçin Varyans Analizi Tablosu

$$SS_T = SS_{Muameleler} + SS_E$$

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F ₀
Muameleler arasında	$SS_{Muameleler}$	$a - 1$	$MS_{Muameleler}$	$F_0 = \frac{SS_{Muameleler}}{SS_T}$
Hata (Muameleler içinde)	SS_E	$N - a$	MS_E	
Toplam	SS_T	$N - 1$		

Toplam gözlem sayısı= an=N

a= faktor seviye sayısı

n=muamele içi tekrar sayısı

Tablo 4. 9 İki Faktör ve Sabit Etkiler Modeli İçin Varyans Analizi Tablosu

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F ₀
A muameleleri	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B muameleleri	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Etkileşim	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Hata	SS_E	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Toplam	SS_T	$abn - 1$		

Tablo 4. 10 Üç Faktör ve Sabit Etkiler Modeli İçin Varyans Analizi Tablosu

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F ₀
A muameleleri	SS_A	$a - 1$	MS_A	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B muameleleri	SS_B	$b - 1$	MS_B	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
C muameleleri	SS_C	$c - 1$	MS_C	$F_0 = \frac{MS_C}{MS_E}$
AB	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	MS_{AB}	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	SS_{AC}	$(a - 1)(c - 1)$	MS_{AC}	$F_0 = \frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	SS_{BC}	$(b - 1)(c - 1)$	MS_{BC}	$F_0 = \frac{MS_{BC}}{MS_E}$

ABC	SS_{ABC}	$(a-1)(b-1)(c-1)$	MS_{ABC}	$F_0 = \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
Hata	SS_E	$abc(n-1)$	MS_E	
Toplam	SS_T	$abcn-1$		

- **Model Katsayılarının Anlamlılığını Ölçme Testi**

Bu test geri eliminasyon, ileri ekleme ve adım usulü eliminasyon/ekleme ve yer değiştirme suretiyle katsayıların eklenmesi ya da çıkarılmasıyla model optimizasyonuna temel teşkil eder. P değeri ya da olasılık değerinin, hesaplanmasını da kapsar. Hipotezin yanlışlıkla reddedilmesi riskini taşır. Örneğin Prob.> F değeri F testinde, hiç bir faktör anlamlı olmadığı zaman bölümünü söyler. Belirlenen Prob.> F değeri istenen olasılıkla ya da α seviyesi ile karşılaştırılır. Genelde en düşük seviyeli polinom sistemi tanımlamak için kullanılır.

- **Modelin Uyumu İçin Test**

Tekrar ölçümleri mümkünken, tekrar hatasının anlamlılığını belirleyen test ile modele bağlı hatanın karşılaştırılması yapılabilir. Bu test kalıntıyı, kareler toplamı hatasını ikiye ayırır. Bunlardan bir tanesi tekrarlara dayanan saf hata diğeri de modelin performansına dayanan modelin uyumsuzluğudur. Model uygunsuzluğu için test istatistiği ortalama karesinin model uygunsuzluğunun saf hata ortalama karesine oranıdır. Bu F istatistiği model uygunsuzluğu hatasının anlamlı olup olmadığının ya da istenen anlam seviyesi α 'nın belirlenmesinde kullanılabilir. Anlamsız çıkan model uygunsuzluğu istenir çünkü anlamlı model uygunsuzluğu değişken ve yanıt ilişkisinde katılımlar olabileceğini ve bunun model tarafından hesaba katılmadığı anlaşılır.

Ayrıca modelin deneysel veriyi gerçekten tanımlayıp tanımlamadığının kontrolleri yapılmalıdır. İyi bir modelin yanıtındaki değişimin tümünü açıklaması gerekir. Regresyon katsayısı da bu kriter için bir ölçüdür ve model tarafından hesaplanan değişimin toplam değişime bölünmesi ile hesaplanır. Burada yapılan kontroller farklı katsayıların belirlenmesidir. R^2 bunlardan biridir. R^2 katsayısı 0 ile 1 arasında değer alır. R^2 değeri bire yaklaştıkça gözlenen ve model sonucu bulunan değerler arasındaki ilişkinin iyi olduğu söylenebilir. Buna ek olarak modelin uygunluğu kalıntıların (residual) incelenmesi ile yapılır. Bu kalıntılar gözlenen çıktılar ve tahminlenen çıktılar arasındaki farktır. Çıktıların normal olasılık dağılımları yolu ile ve kalıntıların tahminlenen çıktılara karşı grafikleri (plot) yardımıyla bulunur. Eğer model uygunsa normal olasılık diyagramlarındaki kalıntıların noktaları, düz bir çizgi oluşturmak zorundadırlar. Diğer bir taraftan kalıntıların tahminlenen çıktılara karşı plot diyagramları, belli bir yapıda olmamalı, dağınık olmalıdır (Noordin v.d., 2004, ss:46-58)

Modelin uygunluğunun test edilmesinde bakılacak ilk iki parametre korelasyon katsayısı ve F testidir. H_0 hipotezi F değeri ile test edilir. $H_0: B_j = B_{j0} \quad j = 1, 2, \dots, k$, B_j deneylerin ortalamasıdır. Eğer hesaplanan F tablo değeri, tablodaki F değerinden büyük ise H_0 hipotezi reddedilir. Belli bir güven aralığında bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni tanımlamasında anlamlıdır. Ama bu iki ölçüm, modelin uygunluğunu tanımlamada yeterli değildir. Bir üçüncü ölçüm artıkların analizidir. Değişken ve artıklar arasında bir ilişki olup olmadığına ve artıkların nasıl bir örüntü oluşturduğuna bakılır. İlk iki ölçüm normalite varsayımına dayandığından artık analizi bu varsayımın doğrulanmasına yarayan bir araçtır. Böylece standartlaştırılmış artıklar hesaplanarak artıkların %95 güven ve (+2,-2) aralığına düşmesiyle normalite varsayımı doğrulanır. Bağımlı ve bağımsız değişken arasında fonksiyonel bir ilişki olup olmadığının dördüncü ölçümü ise kısmi korelasyon matrisidir (Abdou, Yien , 1995, s:11,18).

R^2 değeri Anova modeli tarafından saptanan değişkenlik oranıdır. Düzeltilmiş R^2 ise modeldeki faktör sayılarının etkisini inceleyen bir istatistiki değerdir. Regresyon katsayısı R^2 toplam değişimin ne kadarlık kısmının model tarafından açıklandığını

söyler. Gözlenen ve model sonucu bulunan değerler arasındaki ilişkinin iyi olmasının yani R^2 değerinin yüksek olması istenir. Düzeltilmiş Adj R^2 değerinin de yüksek olması bu savı destekler. Faktör sayılarının çok olduğu karmaşık deneylerde faktör sayısının azaltılması ya da artırılması gerektiği konusunda fikir verir. CV değişkenlik katsayısıdır. Çıktı ortalamalarının bir oranı olarak verilerde ve kalıntılardaki açıklanamayan değişkenlikleri ölçen bir katsayıdır. PRESS ise karelerin toplamalarının tahmin hatasını verir. Modelin yeni deneydeki çıktıları ne kadar iyi tahminleyebileceğini söyler. PRESS'in düşük değerleri tercih edilir. (Montgomery, 2005, s: 98)

Eşdeğişim eğrileri katsayılarla bağlı olarak dairesel, eliptik ya da eğer şeklinde olması, maksimum nokta, minimum nokta, artan-azalan tepe koşullarını verebilmektedir. Katsayılarla bağlı olarak eşdeğişim eğrilerinin Yanıt yüzeyinin dairesel olması, değişkenler arası iç etkileşimin ihmal edilebilir olduğunu; elips ya da eğer şeklindeki yüzeyler iç etkileşimlerin önemli olduğunu gösterir. (Khuri,Cornell, 1987, s:15)

- **Model Uygunluğunun Kontrolü**

Model uygunluğunun kontrolünün yapılabilmesi, işlem ortalamaları arasında bir fark olup olmadığının testinin yapılması ve bundan önce de bazı varsayımların sağlanması koşuluyla gerçekleşir. Bu varsayımlar modelin;

$$Y_{ij} = \mu + \lambda_i + \varepsilon_{ij}$$

Şeklinde tanımlanması, hataların sıfır ortalama, sabit ama bilinmeyen bir varyansla bağımsız olarak dağılmasıdır. Ancak bu varsayımların geçerli olduğu durumlarda varyans analizi işlem ortalamalarının aynı olduğu hipotezinin sınanmasında doğru bir test olacaktır. Pratik hayatta bu varsayımlar tam olarak sağlanamazlar. Bu yüzden bu varsayımların geçerliliği kontrol edilmeden bu analize güvenilmemelidir. Bu varsayımların ihlali kalıntıların incelenmesi ile çok kolay

anlaşılabilir. Bu kalıntıların incelenmesi otomatik olarak yapılması gereken varyans analizinin bir parçası olarak düşünülmelidir. Eğer model uygun ise kalıntılar belli bir yapıyı takip etmemelidirler.

- **Normalite Varsayımı**

Normalite varsayımının kontrolü kalıntıların histogramının çizilmesi ile yapılabilir. Eğer hataların $N(0, \sigma^2)$ varsayımı sağlanıyorsa bu çizim merkezi sıfır olan bir normal dağılımdan bir örnek gibi görülecektir. Küçük örneklerde belirgin dalgalanmalar oluşabilir, bu da histogramın şeklini az da olsa değiştirebilirse de normallikten sapma olarak adlandırılmaz ancak normallikten ciddi olarak sapmalara önem verilmeli ve daha detaylı incelemeler yapılmalıdır.

Kalıntıların normal olasılık diyagramları çok yararlı bir prosedürdür. Varyans analizinde kalıntıların kullanılması daha etkindir. Eğer örneğin hata dağılımı normal ise bu diyagram düz bir çizgiyi andıracaktır. Bu düz çizginin incelenmesinde uç değerlerden çok merkezdekilere önem verilecektir (Montgomery, 2005, s: 77).

- **Zaman Sıralamasında Kalıntıların İşaretlenmesi**

Kalıntıların veri toplamanın zaman sıralamasına göre çizilmesi kalıntılar arasında korelasyon olup olmadığının anlaşılmasında fayda sağlar. Kalıntıların negatif ya da pozitif çıkma eğilimi, hataların bağımsızlığı ilkesinin ihlali konusunda bilgi verir. Bu ciddi bir problemdir, düzeltilmesi güçtür ve veri toplanması sırasında bu problemin ortaya çıkması engellenmelidir. Deney süresince deney yapan kişiler ve becerileri değişebilir, ya da çalışan proses bir yöne eğilimli ya da düzensiz hale gelebilir. Bu durum hata varyansının zaman içinde değişmesine neden olur. Bu da kalıntıların bir uça diğerinden daha fazla yayılması ile kendini gösterir.

- **Kalıntıların Model Değerlerine Göre Karşılaştırmalı Diyagramı**

Eğer model doğru ve varsayımlar sağlanmışsa kalıntılar belli bir yapıyı takip etmemelidirler, diğer bir değişkene ve tahmin edilen yanıtına bağlı olmamalıdır. Bunun en basit kontrolü kalıntılarının model değerlerine (fitted values) karşı grafiğinin çizilmesidir. Burada gözlenebilecek en önemli durum, sabit olmayan varyanstır. Bazı durumlarda gözlem değerleri arttıkça gözlemlerin varyansı da artabilir. Bu da ölçüm aletlerinden kaynaklanan bir hatadan kaynaklanabilir. (Montgomery, 2005, s: 78)

BÖLÜM 5. SEZGİSEL ALGORİTMALARLA OPTİMİZASYON

Hemen hemen bütün yöneylem araştırması teknikleri, yapısında yineleme (tekrarlama) bulunduran hesaplama algoritmalarıyla sonuçlandırılır. Bu, problemin yinelemelerle (iterasyon) çözülmekte olduğunu ve her yeni yineleme sonunda çözümün optimuma daha yakın hale getirildiğini ifade etmektedir. Algoritmaların bu yinelemeli yapısı uzun ve sıkıcı hesaplamalara yol açmaktadır. Dolayısı ile, bu algoritmaların bilgisayarlar yardımıyla yapılması zorunlu hale gelmektedir. Bilgisayar kullanımının yöneylem araştırmasındaki modellerin çözümü için gerekli bir araç olması, yuvarlama hataları gibi birtakım hesap zorluklarını da beraberinde getirmektedir. Bu tip hatalar yineleme sayısı arttıkça, daha belirgin hale gelmektedir. Çünkü bilgisayar tüm hesaplamaları tamsayı olmayan aritmetiğin yardımı ile yapmaktadır, dolayısı ile bazı tamsayı değerlerini tam olarak göstermesi mümkün olmamaktadır. Bazı matematiksel modellerin ise, bilinen herhangi bir optimizasyon algoritması ile çözülmesi çok güç ve karmaşık yapıda olabilir. Böyle durumlarda optimum çözümü aramak yerine, sezgisel yöntemler kullanılarak sadece iyi bir çözümü arama yoluna gidilir. Sezgisel yöntemler, normal olarak olsa olsa mantığını uygulayarak probleme iyi çözüm arayan yöntemlerdir. Sezgisel algoritmalar, genellikle optimum tam bulan algoritmalara göre daha hızlı çalışma avantajına sahiptir (Taha, 2000, s:4).

Gerek fen bilimlerinde gerek sosyal bilimlerde ve bu bilim dallarının uygulama alanlarında karşılaşılan birçok problem, doğrusal veya doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak modellenebilmektedir. Uygulamadaki problemlerin büyük bir bölümü doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş birçok teknik söz konusudur. Özellikle değişken sayısına ve veri tiplerine bağlı olarak problemlerin zorluk dereceleri de artabilmektedir. Bu tip problemlerin deterministik yöntemlerle çözümü, hem problemin yapısına bağlı olarak modellemede hem de çözüm sürecinde zorluklar içermektedir. Ya istenilen sonuca ulaşılamamakta ya da kabul edilebilir sınırların dışında sürelerde ulaşılabilir. Bunların üstesinden gelebilmek için

sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Özellikle populasyon temelli sezgiseller çok noktalı arama prosedürleri sayesinde, hızlı bir şekilde sonuç verebilmektedirler. Bunlardan bazıları genetik algoritma (GA), bulanık mantık, karınca kolonisi algoritması, benzetilmiş tavlama (Keskintürk, 2006). Sezgisel algoritmalar optimumluğu garanti etmeden optimum nokta yakınlarında iyi çözümler arayan minimum hesaplama maliyeti ile çözüme ulaşan algoritmalarlardır. Son yıllarda sezgisel algoritmalara yönelik çok fazladır, bunun sebebi klasik yöntemlerin hesaplama zorlukları ve sezgisel algoritmaların yüksek verimlilikte çalışmasıdır (Reeves, 1995, s:6).

Bu yöntemlerin başlıcaları şu şekilde sıralanabilir de her geçen gün gerek yeni yöntemlerin bulunması gerekse eskilerinin geliştirilmesi ile bu sayı artmaktadır

1. Benzetilmiş Tavlama (Simulated Annealing)
2. Tabu Araştırması (Tabu Search)
3. Genetik Algoritmalar
4. Yapay Sinir Ağları
5. Lagrange Yöntemi
6. Karınca Koloni Algoritması
7. Parça Partikül Algoritması (Particle Swarm Optimization)
8. Diferansiyel Gelişim Algoritması

5.1. GENETİK ALGORİTMALAR

Genetik algoritmalar ilk olarak John Holland ve arkadaşlarının Michigan Üniversitesi'ndeki çalışmaları sonucunda ortaya atılmıştır. John Holland'ın bu konudaki kitabının 1975 yılında basılması, genetik algoritmalarla ilgili ilk yayın olmasının yanı sıra, diğer araştırmacıların da bu konuya ilgi duymasını ve bu konuda çalışmaların artmasını sağlamıştır. (Goldberg, 1989, s:1)

Genetik algoritmalar doğal seçim ve genetiğe dayanan optimum noktayı arayan algoritmalarlardır. Bu algoritmalar gücünü, en iyi çözümlerin, yüksek oranda iyi çözüm içeren bölgelerde bulunacağı ve bu bölgelerin çözüm uzayında yapılacak gürbüz örnekleme ile en iyi çözüme ulaşılmasının mümkün olabileceği varsayımından almaktadır. Çalışma prensibinin basit olması ve hesaplama verimliliği Genetik algoritma yaklaşımını popüler kılmaktadır. (Suresh vd., 2002 , s:675)

Genetik algoritmalar stokastik arama ve optimizasyon algoritmalarıdır. Çözüm uzayını bir patika izlemeden araştırıp optimum sonuçlara ulaşabildiği için, çok farklı alanlarda, çok geniş kullanım alanlarına sahiptir (Roverato, Paterlini, 2004, s:323). Bunun gerçekleştirilebilmesi için, kromozomlar yardımı ile yeni düzenler üretir. Genetik algoritmalar, matematiksel fonksiyonların global optimizasyonunu hedefler, çözüme çözüm uzayında birçok noktadan başladığından fonksiyonun lokal minimum ve optimum değerleri ile ilgilenmez. Paralel ve global araştırmaya imkan sağlaması açısından, araştırma uzayı içindeki her nokta taranır. Biyolojik evrimi esas almasıyla prosesin sonunda en iyi kromozoma ulaşmayı amaçlar.

Spesifik bir problem için Genetik algoritmalar çözümle ilgili parametreleri genler halinde bir araya getirerek kromozom olarak kodlar. Daha sonra bu kromozomlar başlangıç popülasyonunu oluşturarak arama uzayının bir kısmını oluşturur. Daha sonra arama uzayı, her bir mümkün çözümün yer aldığı kromozomların varlığı ile çözüm uzayı adını alır. Arama rasgele başlatılır, genlerin kromozom içindeki dizilişleri değiştirilerek yeni nesiller yaratılır ve en iyi çözümün bulunması hedeflenir. En iyilerin seçimi rekabet içeren bir ortamda olur ve belirli bir amaç fonksiyonu ile ölçülür. Toplum düzeyinde bakıldığında, başarılı bireyler arasındaki ortak özelliklerin sonraki nesilde görülme şansının daha fazla olduğu görülür; çünkü, genetik algoritmalar temel olarak başarılı çözümleri çoğaltır. Bu kurama göre genetik algoritmalar, iyi yapı taşlarını ortaya çıkarır, çoğaltır ve birleştirir. Bu işlemler paralel bir şekilde yapılabilir. Genetik algoritmaların ana fikri doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralına dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretmesidir. Bu proses durma kriteri gerçekleştiği yani hedefe ulaşıldığı zaman sona erer (Solar, Parada, Urrutia, 2002, s:1223).

Genetik algoritma (GA), şu ana kadar geliştirilmiş en popüler optimizasyon tekniklerindendir. GA konusunda en temel kaynaklar, prensiplerini ilk defa ortaya koyan Holland (1975), Goldberg (1989) ve Michalewicz (1992)' in eserleridir. Operasyonun ve hesaplamamanın basitliği, genetik algoritma yaklaşımını cazip kılan iki önemli unsurdur.

5.1.1. Genetik Operatörler

Yeniden Üretim (Reproduction): Her bireyi, bir nesilden diğerine aynen kopyalama işlemidir. Uygunluk derecesi yüksek olan kromozomlar üstün nitelikli çocuk üretiminde kullanılmak üzere bu yöntemle çoğalırlar.

Çapraz Değişim (Crossover): İki veya daha fazla kromozomdan (aile'den), yeni bir kromozom (çocuk) meydana getirme işlemidir.

Mutasyon (Mutation): Kromozom yapısı içinde değişiklikler yapma işlemidir. Onluk düzende çalışan kromozomlarda birlerin sıfıra, sıfıra, sıfırların bire dönüşme halidir. Mutasyon işlemi ile yeni uygun çözümler elde edilmeye çalışılır, mutasyon operatörü ile, bir daha elde edilemeyecek sonuçların kaybına karşı koruma sağlanmaktadır (Özçakar, 1998, s:69).

Tablo 5. 1 İki Noktalı Çaprazlama Örneği

1. EBEVEYN	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
2. EBEVEYN	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
1. YAVRU	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1
2. YAVRU	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0

Birçok çaprazlama çeşidi problemin yapısına göre uygulanır. Bunlardan bazıları tek noktalı, iki noktalı ve çok noktalı, düzenli ve karışım çaprazlamadır, tabi çaprazlamalar kodlama çeşitlerine göre farklılaşırlar. Tablo 5.1”de çok yaygın kodlama türlerinden ikili kodlamada iki noktalı çaprazlama örneği ve elde edilen yeni yavrular görülmektedir

Tablo 5. 2 İkili Kodlama Düzeninde Mutasyon.

Mutasyondan önce	1	0	0	1	0	1	<u>1</u>	1	0	0
Mutasyondan sonra	1	0	0	1	0	1	<u>0</u>	1	0	0

Yine ikili kodlamadan örnek verilecek olduğunda Tablo 5.2”de görüldüğü gibi ikili kodlama düzeniyle ifade edilen kromozomlardan oluşan popülasyonlarda mutasyon operatörü, bir genin değerinin (1 veya 0),(0 veya 1) olarak değiştirilmesi şeklinde gerçekleşir.

5.1.2. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensibi

Çözüm uzayındaki olası tüm mümkün çözümlerin kodlanması ile çözüme başlanır. Belirlenen büyüklükte bir çözüm kümesi tesadüfi olarak mümkün çözüm uzayı içerisinde seçilerek, başlangıç popülasyonu oluşturulur. Başlangıç popülasyonundaki her bir kromozomun uygunluk değeri, uygunluk fonksiyonu yardımıyla hesaplanır. Yeni bir popülasyon oluşuncaya kadar, sonraki jenerasyonu oluşturacak kromozomlar, uygunlukları göz önüne alınarak yani olasılık değerine göre rassal olarak seçilirler. Seçilen kromozomlar belli bir olasılıkla çaprazlamaya ya da mutasyona tabi tutulur, böylelikle yeni kromozomlar meydana gelir. Yeni kromozomlardan oluşan yeni popülasyon eski popülasyonun yerini alır. Yeni popülasyondaki tüm kromozomların uygunluk değerleri hesaplanır. Baştan belirlenen jenerasyon sayısı tamamlanmamışsa iterasyonlar tekrarlanır .Elde edilen, çözüme en

yakın uygunluk değerini veren kromozom sonuç değeridir. Bu bilgiler, daha net anlaşılması için şekil 5.1”de zet olarak sunulmuştur (Loh vd., 2001, s:298).

5.1.3. Kodlama

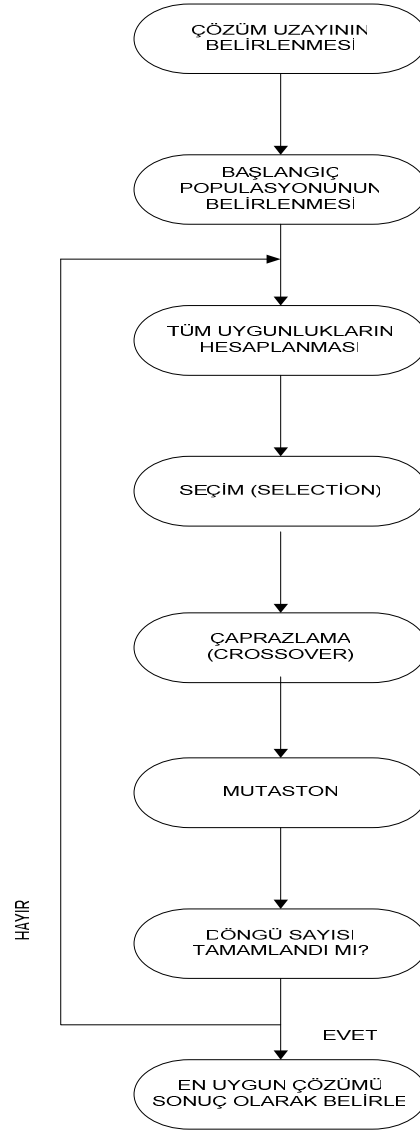
Kodlama, olası çözüm değerlerinin, problem yapısına uyan bir yöntemin kullanılmasıyla kromozomlar şeklinde ifade edilmesi ile gerçekleşir. Kodlama, çözümün kodlanmış kromozomlar yardımı ile yapılmasından dolayı genetik algoritmalarda önemli bir konudur. Birçok kodlama yöntemi olduğu gibi en çok kullanılan ikili kodlamadır. İkili kodlama değerlerin ikili tabanda yazılmış rakamlarla ifade edilmesi ile gerçekleşirler. 1 ve 0 rakamları çözüm değerlerinin kodlanmış şeklini yani kromozomları oluştururlar ve hızlı çalışır. Bir diğer kodlama şekli olan permütasyon kodlamada ise kromozomlar numaralardan meydana gelmektedir ve bu numaralar, problemdeki sıra içerisindeki pozisyonu ifade etmektedir, gerçek değer kodlama ise çözüm değerlerinin doğrudan genetik algoritma içerisinde kullanılmasıdır.

5.1.4. Popülasyon

Belirli bir problemin çözümü için, genler halinde bir araya gelen kromozomlar, arama uzayının bir kısmını oluşturur, bu uzaydan en iyi çözüm için rasgele seçilecek bu kromozomların oluşturduğu bu ilk çözüm setine başlangıç popülasyonu denir (Solar, Parada, Urrutia, 2002, s:1223).

Kullanılacak sayı için bir standart yoktur. Genel olarak önerilen 100-300 aralığında bir büyüklüktür. Popülasyon büyüklüğünün seçiminde yapılan işlemler karmaşıktır ve aramanın derinliğini oluşturur. Toplum bu işlemden sonra tamamen rasgele olabileceği gibi probleme göre özelleşmiş de olabilir. Tamamen rasgele bir toplum genetik algoritmaya tüm problem uzayını arama şansı verir; probleme göre

özelleşme ise işlemi önemli oranda hızlandırabilir. Popülasyonun büyüklüğü de önemli bir faktördür, büyük toplumlar çok işlem gerektirirken küçük olanlar lokal maksimum ya da minimum değerlerine takılabilir. Başarılı bir çözümün küçük bir grupta baskın hale geçmesi çok daha kolaydır. Bu nedenle küçük toplumlar çeşitliliklerini çok çabuk kaybederler.



Şekil 5. 1 Genetik Algoritmaların Çalışma Prensibi

5.1.5. Uygunluk Fonksiyonu

Çözümlerin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan teknik, genetik algoritmanın performansında oldukça etkilidir. Amaç fonksiyonundan elde edilen ham sonuçların kullanımını araştırmanın başlangıcında yeterli olabilir. Ancak araştırma ilerledikçe iyi ile daha iyi çözümler, kötü ile daha kötü çözümler arasındaki farkı ayırt etmek zorlaşır (Karaboğa, 2004, s: 80).

Uygunluk fonksiyonu, kromozomların hedeflenen değere ne kadar yaklaştığını gösterir ve her probleme göre ayrı bir yapısı vardır. Her bir kromozomun temsil ettiği çözüm değerinin uygunluk fonksiyonuyla hesaplanan çözüm değerine uygunluk değeri denmektedir. Uygunluk fonksiyonu GA sürecinde, yeniden belirlenecek olan popülasyonun üyelerini oluşturacak olan adayları belirlemekte kullanılmaktadır. Bundan dolayı çözümü ve çözüm hızını doğrudan etkilemektedir.

Algoritma ilerledikçe en sık görülen sorunlardan biri popülasyonun benzer kromozomlara yaklaşması, bunların birbirinden ve ilk çözümden ayrılmasının zor olmasıdır. Bu durum zayıf kromozomlarla çözüme başlanması ile ve yalnızca bir ya da iki sıra dışı kromozomun olması durumunda ortaya çıkar. Bu da ilk çözümün yakınlarında dolaşılması ve lokal optimuma takılı kalınmasına yol açar (Reeves, 1995, s:168).

5.1.6. Seçim

Seçim, yüksek kaliteli, uygunluğu yüksek bireylerin çözüm kümesinde kalarak sayılarının arttırılmaları, düşük olanların ise çözümden atılması işlemidir. Fonksiyona yöneylem araştırmasında kullanılan amaç fonksiyonu terimi yerine, uygunluk değeri fonksiyonu denmektedir. Bu uygunluk, yani amaç fonksiyonu,

maksimize etmek istenilen kazanç, fayda veya karın ya da minimize edilmesi istenen zarar ya da maliyet gibi birimlerin bir ölçüsü olarak düşünülebilir.

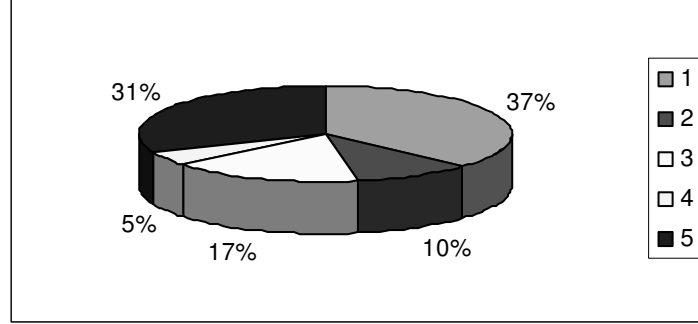
Seçim, çaprazlama, mutasyon ve elitizm yeni popülasyonun eskisinden farkını belirler. Sürekli en iyisini elde etme çabası durma kriteri sağlanana kadar devam ettirilir. Uygunluk değerlerine bağlı olarak kromozomların kopyalanması, uygunluğu yüksek bireylerin yeni jenerasyonda var olmalarını sağlar. En çok kullanılan durma kriteri toplumdaki en iyinin belli bir jenerasyon sayısı boyunca aynı kalması ile belirlenir. Bu durumda en son jenerasyonun en iyi olanı incelenen problemin optimum sonucudur (Raverato, Paterlini, 2004, s: 326).

Eldeki çözüm grubunun içinden başarılı çözümler seçilir. Seçme işleminin temel mantığı, doğadaki gibi başarılı olan çözümlere üstel çoğalma imkanı vermekle açıklanabilir. Bilgisayar ortamında, bellek ve işlem zamanı sınırlı olduğu için, başarılı çözümleri çoğaltmak diğer bireyleri azaltmak anlamına gelir. Bu yolla, çözüm grubunun büyüklüğü sabit tutulabilir. Kullanılan seçme yöntemlerinin amacı, başarılı bireylere üstel çoğalma imkanı vermekle çeşitliliği korumayı en verimli şekilde dengelemektir.

Sıklıkla kullanılan yöntemler arasında rulet tekerleği seçimi, sıralı seçim, turnuva seçimi, kararlı durum (steady state) seçimi ve genel stokastik seçim örnek gösterilebilir. Yardımcı olarak kullanılan elitist seçim ise en başarılı bireylerin bir sonraki çözüm grubuna değiştirilmeden aktarılmasıdır. Bazı uygulamalarda başarılı olduğu görülmüştür. Başarılı bireyler kullanılarak yeni çözüm grubu oluşturulur. Yeni çözüm grubunu oluşturmak için kullanılan işlemciler ‘çaprazlama’ ve mutasyondur. Bu işlemciler de yapılan işleme göre değişse de genel yöntemleri pek farklı değildir.

Kromozomların eşlenmesi kromozomların uygunluk değerlerine göre yapılır. Rulet tekerleği seçimi çözümlerin uygunluk değerlerinin negatif olmamasını gerektirir. Çünkü olasılıklar negatif olursa bu çözümlerin seçilme şansı yoktur.

Çoğunluğunun uygunluk değeri negatif olan bir toplumda yeni nesiller belli noktalara takılıp kalabilir.



Şekil 5. 2 Rulet Tekniği

Yönteme rulet tekerleği denmesinin sebebi tüm kromozomların uygunluk değerleri oranında rulet tekerleğinde yer almalarıdır. Böylece uygunluk değeri büyük olan kromozomların seçilme olasılığı yüksek, uygunluk değeri küçük olan kromozomların seçilme olasılığı düşük olmaktadır.

5.1.7. Genetik Algoritmaların Basit Bir Simulasyonu

$f(x) = x^2$ fonksiyonunun genetik algoritmalar yoluyla maksimize edilmesi bir örnek olarak ele alınmıştır. Çaprazlanma bölgesi ve çaprazlanma eşi ise rasgele seçilmiştir.

Tablo 5. 3 Genetik Algoritmaların Basit Bir Simulasyonu 1

Dizi No	İlk Populasyon	X değeri	f (x)	Seçilme Olasılığı	Beklenen seçim	Rulet Seçimi
1	01101	13	169	0.140	0.580	1
2	11000	24	576	0.490	1.970	2
3	01000	8	64	0.060	0.220	0
4	10011	19	361	0.310	1.230	1
Toplam			1170	1.000	4.000	4
Ortalama			293	0.250	1.000	1
Maksimum			576	0.490	1.970	2

(Goldberg, a.g.e., s.15)

Seçilme olasılığı $\frac{f_i}{\sum f}$, beklenen seçim ise $\frac{f_i}{f_{ort}}$ şeklinde hesaplanır. İlk

popülasyon kolonundaki rakamlar X değerlerinin ikili düzendeki karşılıklarıdır.

Tablo 5. 4 Genetik Algoritmaların Basit Bir Simülasyonu 2

Çiftleşme Havuzu	Eş	Çaprazlanma Bölgesi	Yeni Popülasyon	X Değeri	f (x)
01101	2	4	11000	12	144
11000	1	4	11001	25	625
11000	4	2	11011	27	729
10011	3	2	10000	16	256
Toplam					1754
Ortalama					439
Maksimum					729

(Goldberg, a.g.e., s. 16)

5.1.8. Genetik Algoritmaların Diğer Yöntemlerden Farkları

1. Genetik algoritma parametrelerin kodlarıyla uğraşır.
2. Genetik algoritma bir tek yerden değil, bir grup çözüm içinden arama yapar.
3. Genetik algoritmalar amaç fonksiyonu bilgilerini kullanarak çalışır, fonksiyon türevleri ile ilgilenmez.
4. Genetik algoritmalar deterministik kuralları kullanmaz, olasılık kurallarına göre çalışır (Golberg, 1989, s:7).

5.1.9. Genetik Algoritmaların Kullanım Alanlarına Örnekler

Genetik algoritmalar,

- 1) Doğrusal olmayan tam sayılı programlamada
- 2) Hücresel imalat problemlerinde
- 3) Montaj hattı dengeleme problemlerinde

- 4) Yerleşim düzenlemesi (layout) problemlerinde
- 5) Sıralama problemlerinde
- 6) Çizelgeleme problemlerinde
- 7) Gezgin satıcı probleminde
- 8) Tamir bakım politikasında
- 9) Tahmin yöntemlerinde
- 10) Dağıtım ve transport problemlerinde, vb. alanlarda kullanılması mümkün olan bir tekniktir (Özçakar, 1998, s:69).

5.2. DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI

Diferansiyel gelişim algoritması basit, ama güçlü popülasyon tabanlı bir algoritmadır (Storn, 1997; Kenneth, 1999). Özellikle tamamen düzenlenmiş uzayda tanımlı ve gerçek değerli tasarım parametrelerini içeren fonksiyonları küresel olarak optimize etmek amacıyla kullanılan bir direkt araştırma algoritmasıdır. Gerçek parametrelili optimizasyon, bilimde mühendislikte ve iş ortamlarında karşılaşılan pratik problemlerin önemli ve geniş bir sınıfını oluşturmaktadır. Zor optimizasyon problemleriyle karşılaşıldığında genellikle ilk yapılması gereken probleme özel sezgisel bir yaklaşım tekniği belirlemek olacaktır. Uzman bilgisinin tasarıma ilave edilmesine olanak sağlayan böyle teknikler, gelişime dayalı algoritmalar gibi genel metodlarla karşılaştırıldığında oldukça üstün performans göstermektedirler. Örneğin amaç fonksiyonu doğrusal polinomial formda ise bu problemi çözmek amacıyla geliştirilmiş simpleks metodu, karmarkar algoritması gibi başarılı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler bu tip problemlerde yüzlerce hatta binlerce tasarım değişkeninin bulunması durumunda dahi küresel optimum çözümleri bulabilme kabiliyetine sahiptir. Amaç fonksiyonu doğrusal olmayan bir polinom ve probleme özel bir çözüm yoksa Levenberg- Marquardt, Branch & Bound metodu gibi yöntemlere başvurulmaktadır. Maalesef doğrusal olmama, gürültü, yüksek boyutluluk, çok modluluk sınırlamalar, değişmeme (düz olma) ve türev alınamama gibi özellikler tek başlarına veya birlikte bu tür deterministik metodların

performansını çok olumsuz etkileyecektir. Stokastik algoritmalar gibi gelişime dayalı algoritmalar, bu tür sınırlamaların çoğunun üstesinden gelebilmektedir. Ancak bu tür genel metotlar, probleme özel bilgiyi kullanarak tasarımlarına aktaramazlarsa bunların da performansı nispeten düşmektedir (Karaboğa, 2004, s:170).

Doğrusal olmayan problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş birçok teknik söz konusudur. Özellikle değişken sayısına ve veri tiplerine bağlı olarak problemlerin zorluk dereceleri de artabilmektedir. Bu tip problemlerin deterministik yöntemlerle çözümü, problemin yapısına bağlı olarak hem modellemede hem de çözüm sürecinde zorluklar içerebilmektedir. Bunların üstesinden gelebilmek için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Diferansiyel gelişim algoritması (DGA), özellikle sürekli verilerin söz konusu olduğu problemlerde etkin sonuçlar verebilen, işleyiş ve operatörleri itibariyle genetik algoritmaya dayanan popülasyon temelli sezgisel optimizasyon tekniklerinden biridir (Keskintürk, 2006, s:85).

Diferansiyel gelişim algoritmasının genetik algoritmalarından farkları aşağıda belirtilmiştir:

1. Çaprazlama, diferansiyel operatör ile yapılmaktadır
2. Çaprazlama için seçim rulet çemberi ile yapılmamakta diferansiyel operatöre maruz kalacak operatörler rastgele seçilmektedir.
3. Yaşayacak bireylerin seçimi basitleştirilmiştir. Her kromozom kendisiyle yer değiştirecek bir adaya sahiptir ve yalnızca en kötü olanlar değiştirilir.
4. Mutasyon operatörü kullanılmaz (Hrstka, Kucerova, 2004, ss:237-246).

Optimizasyon işleminin tamamen düzenlenmiş uzay domeninde sınırlandırma bilgisi kendi başına gelişime dayalı algoritmaların performansını artırmak için kullanılabilecek probleme özel önemli bir bilgidir. Gelişime dayalı algoritmaların genel amaçlı nümerik optimizasyon algoritmaları olarak incelenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalara literatürde oldukça sık rastlanmaktadır. Ancak bu tartışmaların çoğu, orijinalinde bu amaç için tasarlanmamış kombinatoriyal tip algoritmalarla elde edilen sonuçlar üzerinedir. Diferansiyel gelişim algoritması

ise ayrıık bir optimizasyon algoritması değil özellikle numerik optimizasyon için geliştirilmiş bir gelişim algoritmasıdır. Bu algoritma yeni ama basit olmayan aynı zamanda da oldukça etkili bir mutasyon işlemi uygulamaktadır. Daha önce tanımlanmış olasılık dağılım fonksiyonuna dayalı olarak çalışan genetik algoritma gibi gelişim tabanlı algoritmaların tersine diferansiyel gelişim algoritması rastgele olarak seçilmiş amaç vektör çiftlerinin farklarına dayalı bir mutasyon işlemi kullanır. Amaç vektör farklarının dağılımı, amaç vektörlerinin kendi dağılımları tarafından belirlenir. Vektörlerin dağılım formu temelde, amaç fonksiyonunun topografisine göstermiş oldukları cevaplara bağlıdır (Karaboğa, 2004, s:170).

Diferansiyel gelişim algoritması doğrusal olmayan sürekli fonksiyonları optimize etmek için kullanılır. Diferansiyel gelişim algoritmasındaki bireyler vektör olarak adlandırılırlar. Diğer popülasyon tabanlı algoritmalar gibi tasarım vektörlerinin stokastik olarak toplanması ile başlar ve buna başlangıç popülasyonu denir. DE yeni bireylerin oluşturulmasında orjinal bir model oluşturur. Eldeki popülasyondan hedefi, donör ve diferansiyel vektörlerini seçmektedir. DE, yeni bir deneme vektörü oluşturarak, mevcut popülasyondan iyi olup olmadığına bakar, iyi olduğu durumlarda hedef vektörle yer değiştirir (Penev, Littlefair, 2005,s:173-193).

Diferansiyel gelişim algoritmasında kullanılan basit mutasyon işlemi algoritmanın performansını geliştirmekte ve onu daha gürbüz yapmaktadır. Bu özelliğin yanı sıra diğer özellikleri için de şunlar söylenebilir. Hızlı, basit, kolayca kullanılabilir ve değiştirilebilir. Etkili küresel optimizasyon kabiliyetli, doğal olarak paralel, kayan nokta formatına bağlı hassasiyet sınırlamalı, matris çarpımları, ve sıralama işlemleri olmadığı için hesaplama maliyeti açısından avantajlı, daha önceden tanımlanmamış herhangi bir olasılık dağılımlı mutasyon kullanmamakta, tamsayı, ayrıık (discrete) ve karışık parametre optimizasyonuna kolaylıkla uyarlanabilir, amaç fonksiyonunun veya sınırlama fonksiyonlarının türevine gerek duymaz, düz yüzeylerde çalışabilir, gürültülü ve zamana bağlı amaç fonksiyonları için kullanılabilir, tek bir koşmada çoklu çözümler üretebilir ve özellikle doğrusal olmayan sınırlamalı optimizasyon problemlerinde etkilidir (Karaboğa, 2004, s:170).

5.2.1. Diferansiyel Gelişim Algoritmasını Temel Adımları

DE algoritması genetik algoritmalara benzer ama daha basittir. DE algoritmasının dört adımı aşağıda sıralanmıştır.

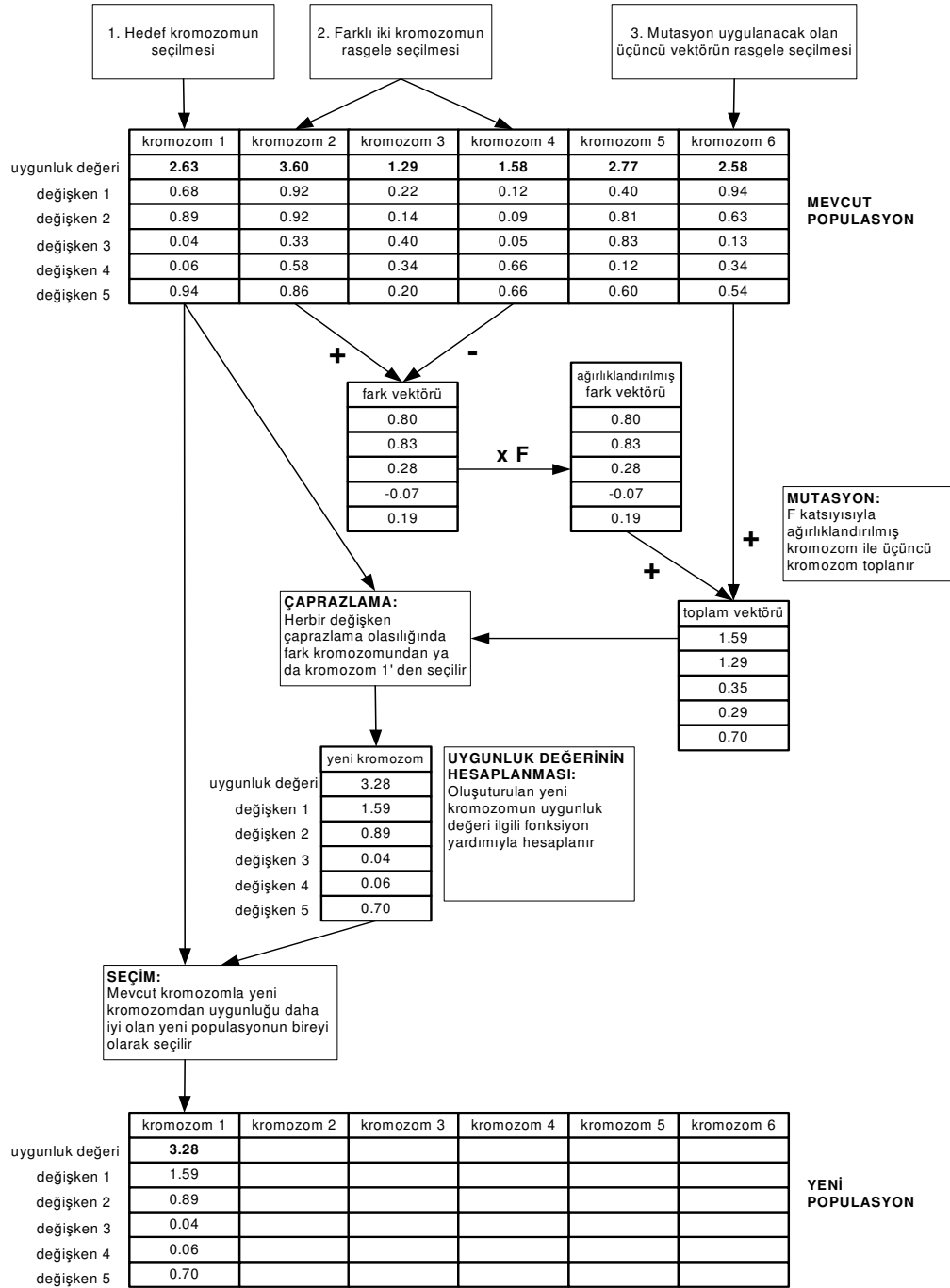
1. Başlangıçta ilk popülasyon oluşturulur ve uygunluk değerleri her birey için saptanır.
2. Popülasyondaki her kromozom için kullanılan bir diferansiyel operatör ile yer değiştirme mümkündür.
3. Her kromozom popülasyondaki kendisiyle yer değiştirecek olan diğer bir kromozomla karşılaştırılmalı ve daha iyiye yer değiştirilmelidir.
4. Adım iki ve üç kriterleri sağlanana kadar adımlar tekrarlanmalıdır (Hrstka, Kucerova, 2004, ss:237-246).

.

Diferansiyel Gelişim Algoritmasının temel adımları Şekil 5.3'te gösterilmektedir.

5.2.1.1. Kodlama

Nümerik optimizasyonu amaçlayan çoğu gelişim algoritmaları nümerik parametreleri kodlamak amacıyla ikili tamsayıları kullanmaktadırlar. Ancak nümerik optimizasyon işlemlerinde tamsayı formatla parametre değerlerinin geniş dinamik sahasını verimli olarak temsil etmek pek mümkün olmamaktadır. Bunun için Gray kodlama gibi değişik kodlama türleri kullanılsa bile, hala bu tür yaklaşımlar geniş dinamik sahayı tanımlama kabiliyetinden yoksun kalmaktadır. Bu yüzden amaç vektörlerini kayan noktalı sayılar kullanılarak kodlama tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Bundan dolayı diferansiyel gelişim algoritması, gerçek parametreleri bilinen kayan noktalı sayılar kullanılarak kodlamakta ve bu parametreler arasındaki işlemleri, standart kayan noktalı aritmetik mantığına göre gerçekleştirmektedir (Karaboğa, 2004, s: 174).



Şekil 5.3 DGA' nın Adımları Kullanılan Fonksiyon

$$f(x)=x_1+x_2+x_3+x_4+x_5 \text{ (Schmidt ve Thierauf, 2005,s:13).}$$

5.2.1.2. Popülasyon Yapısı ve Parametre Sınırları

Diferansiyel gelişim algoritması sabit büyüklükte popülasyon kullanmaktadır. Popülasyon, $NP \times D$ kayan noktalı dizi formunda tanımlanır. Burada NP, popülasyondaki amaç vektörlerinin sayısına ve D bir amaç vektöründeki parametrelerin sayısına karşılık gelmektedir. Gelişim Algoritmasını paralel formda gerçekleştirirken amaç vektörlerinin iki dizisi hafızada tutulur. Birinci dizi mevcut ebeveyn popülasyonu için, diğeri ise yeni vektörleri ihtiva eden gelecek jenerasyonu oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Başlangıç amaç vektörleri iyi tanımlanmış sınırlamalara sahip bir araştırma uzayından uniform dağılıma rastgele elemanlar seçilerek oluşturulur. Pratikte başlangıç parametre sınırları genellikle fiziksel şartlara göre belirlenir. Fiziksel şartlar belirleyici değilse o zaman başlangıç alt ve üst parametre sınırları, küresel optimayı ihtiva eden bölgeleri kapsayacak kadar büyük seçilmelidir. Alt ve üst parametre sınırları başlangıç parametreleri için kullanıldıktan sonra algoritmanın başlangıçta verilen sınırlar ötesinde araştırma yapmasına imkan vermek amacıyla ihmal edilebilir (Karaboğa, 2004, s: 174). Price ve Storn (1997) popülasyon büyüklüğünün problemin boyutlarından 5-20 kere daha büyük olması gerektiğini önermiştir (Mayer vd., 2005, s: 319).

Diferansiyel Gelişim algoritması 3 ya da 4 hesaplama parametresi içerir ve 20 sıra pseudo kod ile programlanması yapılabilir. (Mayer vd., 2005, s: 315)

Bununla birlikte sınırlamalar, özellikle düzgün ya da düzgüne yakın yani değişim göstermeyen yüzeyler ile çalışıldığında sonsuza gidişin engellenmesi için gereklidir. Başlangıçta eğer iyi bir çözüm tespit edilebilmişse veya zaten mevcutsa, algoritma bu nominal çözüm etrafında dağılmış amaç vektörlerinden oluşan popülasyonla araştırmaya başlayabilir. Ancak bu şekilde bir uygulama araştırmayı bölgeselleştireceğinden pek tavsiye edilmez. Hatırlanması gereken önemli bir nokta, başlangıç parametre değerlerinin bir şekilde rastgele dağıtılmasıdır. Çünkü asıl araştırmayı yönlendiren amaç vektörleri arasındaki farklardır. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken uygun olmayan bir amaç vektörü kabul edilmeyip reddedilebilir ve

tekrar üretebilir. Yeni bir parametre değeri, katı bir sınırlamayı aşarsa o zaman parametreye müsaade edilen herhangi bir değeri atamak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunların en basiti, parametreye değer olarak aşmış olduğu sınır değerini atamaktır (Karaboğa, 2004, s: 174).

5.2.1.3. Mutasyon

Mutasyon, bir ya da daha çok vektör parametrelerine genellikle sıfır ortalamalı rasgele değişken ekler. Diğer gelişim algoritmaları gibi Diferansiyel Gelişim algoritması, değişkenlik üretmek için daha önceden tanımlanmış olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanmaz (Gaussian, Fuzzy, Cauchy). Onun yerine Diferansiyel Gelişim algoritması, olması gereken yönde artışlar sağlayabilmek için kendi popülasyonuna güvenir. Mutasyonun gerçekleştirilebilmesi için DE, iki popülasyon vektörünü rasgele olarak seçer farklarını alır ve F faktörü ile çarpılır. F faktörünün 0 ile 2 değerleri arasında olması önerilir (Price, 1997, s:153).

5.2.1.4. Seçim

Geçmişte, rulet tekerleği, oranlama, kraliçe arı, turnuva gibi birçok seçim metotları denenmiştir, pratikte bu seçim yöntemlerinin hepsi işe yarasada diferansiyel gelişim algoritması tamamlanmış seçimi kullanır, bu seçimde her ebeveyn her jenerasyonda mevcuttur (Mayer vd., 2005, s: 320).

5.2.1.5. Çaprazlama

Çaprazlama yapılacak adaylar, popülasyondan rasgele olacak şekilde seçilirler (Price, 1997, s:153). Şekil 5.3'te de görüldüğü gibi, çaprazlama yapılırken, mutasyon sonucu elde edilen fark kromozomu jenerasyondaki yeni bir kromozomla çaprazlanır. Oluşturulacak kromozom için CR olasılığı ile her bir gen fark

kromozomundan elde edilirken, $1-CR$ olasılıkla ise diğer kromozomdan seçilir. Şekil 5.3'te gösterilen örnekte çaprazlama sabiti olan CR , 0.50 olarak alınmışken, mutasyon sabiti F , 0.80 alınmış, popülasyon büyüklüğü olan NP , 6 ve boyut sayısı 5 olarak alınmıştır (Schmidt ve Thierauf, 2005, s: 13).

Literatürde birçok DE algoritmaları tanıtılmıştır. Tezde kullanılan diferansiyel gelişim algoritması, “rand 1 bin” Storn ve Price (1995) algoritmasını takip etmektedir. Diferansiyel gelişim algoritmasının Pseudo kodları şöyledir:

```
Başlangıç parametreleri oluştur
Hedef popülasyon oluştur
Değerlendirme yap
Do
    Mutant popülasyon elde et
    Deneme popülasyonu elde et
    Deneme popülasyonunu değerlendir
    Seçim
While
```

BÖLÜM 6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONUNUN ENDÜSTRİDE UYGULANMASI

Global pazarda, işletmeler, dünyanın hemen her yerinde en iyi üretmenin yollarını aramış, gittikçe zorlaşan şartlarda rekabet edebilmenin yolunu en yüksek kaliteyi elde etmekte bulmuşlardır. Ürünlerin ekonomik ve kaliteli olması günümüzün en önemli ihtiyaçlarından biridir. Endüstride otomasyonun yaygınlaşması ile birlikte talaşlı imalat istenen kalite ve ekonomiye ulaşılması daha kolaylaşmıştır. Bu amaç doğrultusunda, talaşlı imalat proseslerinin çıktı performanslarının tahmini ve bunun mümkün olabilmesi için imalatta güvenilir model ve metotların elde edilmesi gerekmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatla en önemli kalite karakteristiklerinden biridir, minimum seviyede yüzey pürüzlülüğü değerleri ulaşılması gereken bir hedeftir. İyi bir yüzey bitirme ve boyutsal kesinlik için optimum kesme şartlarının seçimi ve tahminlenmesi imalat kalitesinde ve proses planlamada çok önemli rol oynar. Metal kesme işlemlerinde kesme şartlarının belirlenmesinde genelde makine operatörünün tecrübesine güvenilir, ancak iyi ve tecrübeli bir operatörün olması halinde bile optimum değerlerin tespiti zordur.

Proses modelleme ve optimizasyon, imalatla ilgili iki önemli konudur. Yüzey bitirme materyallerin talaşlı imalatla tabi tutulmasında en önemli noktalardan biridir. Bütün yüzey pürüzlülük tahmin modelleri ampiriktir ve laboratuvar deneylerine dayanır. Ayrıca pratikte bütün faktörlerin, tekrar üretebilen sonuçlar elde edilmesi için kontrol altında tutulması çok zordur. Genellikle bu modeller yüzey pürüzlülüğü ve operasyonel parametreler ile iş parçası arasında karmaşık bir ilişki vardır. Tornalama da, yüzey bitirme ilerleme hızı, iş parçası özellikleri, işin zorluğu, sabit olamayan açı, kesme hızı, kesme derinliği, kesici takımın stabil olup olmadığı ve kesme sıvısı kullanılıp kullanılmaması gibi birçok faktörden etkilenir (Suresh, Rao ve Deshmukh, 2002, s:675).

Kesme operasyonlarının çoğu, yağlama ve soğutma etkilerinden dolayı kesme sıvılarına ihtiyaç duyarlar. Ekoloji ve insan sağlığı problemlerinden dolayı imalat endüstrileri, üretim hatlarındaki kesme sıvılarını azaltma yolunda stratejiler üretmektedirler. Kesme sıvılarının büyük miktarlarda kullanımında; tedarik, depolama, dışarıya atım ve tamir bakım konusunda ciddi problemler yaşanmaktadır. Bu konudaki maliyetler üretim maliyetlerinin %7.5- 17'sini oluşturur. Bu maliyet takım maliyetlerinden bile fazladır. Kesme sıvıları maliyetin dışında da ne çevre ne de kullanıcı dostu olarak tanımlanabilir. Kesme sıvısı kullanmadan yapılan talaşlı imalat kesme prosesinin maliyetinin düşmesini sağlayarak ve çevre kirliliğini azaltarak rekabet ortamında hayatta kalabilmenin anahtarlarından birini oluşturur. Kuru talaşlı imlata doğru yöneliş gelecekteki en önemli zorluklardan biri olacaktır (Reddy ve Rao, 2005, s:63)

Tezin uygulanmasında kalıp imalatı konusunda Türkiye'nin ilk kuruluşlarından olan KALEKALIP firması seçilmiştir. Bugün piyasada lider konumunda bulunan firma kalıp imalatında en önemli unsurun "uzun ömür ve en az maliyetle üretim" olduğunu öngörmektedir. Çeşitli plastik enjeksiyon kalıpları, metal form ve kesme kalıpları ile sivil ve savunma sanayi amaçlı fiyktür / aparat üretimini gerçekleştiren KALEKALIP, seri imalatını; sertifikalı ithal malzeme, yüksek hassasiyet, tolerans, CNC operasyonları, CAD-CAM teknolojisi ve dinamik kadrosuyla gerçekleştirmektedir. İlk kez seramik kalıplarının imalatı ile çalışmalarına başlayan KALEKALIP, bugün itibariyle, küp şeker kalıbı, rotorstator kesme kalıbı, bakalit kalıpları ve GE Aerospace firmasının jet motorlarının fiyktür ve aparat üretimleri ile ihracatını da başarıyla devam ettirmektedir.

Uygulama konusu olarak ise KaleKalıp'ta CNC operasyonları sırasında sağlanması gereken en önemli kalite karakteristiklerinden biri olan yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi problemi ele alınmıştır. Bunun için yukarıda sayılan birçok proste kullanılan AISI 4140 malzemesi seçilmiş ve tornalama prosesinde etki eden faktörlerin üçünün modellenmesi ve optimize edilmesi sağlanmıştır. KaleKalıp firmasında tornalama işlemlerinde kesme sıvısı kullanıldığı için Amerika Birleşik Devletleri IUPUI üniversitesinde kesme sıvısı kullanılmadan yaptığım

tornalama işlemi ile elde edilen sonuçlar ve oluşturulan modeller karşılaştırılmıştır. Yapılan modelleme sayesinde gelecekte aynı malzeme ile çalışılması durumunda zaman ve maliyette tasarruf sağlanacaktır .

6.1. UYGULAMA YAPILAN FİRMA “KALEKALIP” HAKKINDA BİLGİ

Ana faaliyetlerini toplam 19.000 m²'lik alanda kurulu Sefaköy – İSTANBUL tesislerinde gerçekleştiren KaleKalıp, sistem entegrasyonu ve alt komple montaj faaliyetlerini ise 3500 m²'lik alanda kurulan Ambarlı – İstanbul tesislerinde yürütmektedir. Hollanda ve Ukrayna' da yer alan tesisler ile birlikte, yurt içi ve yurt dışında toplam 5 tesis faaliyet göstermektedir. Tesisler, çevreye ve insan sağlığına duyarlı olarak ve gizlilik kurallarına uygun şartlar göz önüne alınarak faaliyet göstermektedir.

Bir ülkenin gerçek anlamda sanayileşmesinin ancak yatırım malları üretimi ile mümkün olabileceği prensibinden yola çıkarak, 1969 senesinde Türk Sanayi'nin ihtiyaç duyduğu çeşitli makine ve kalıp imalatını gerçekleştirmek üzere kurulmuş olan KaleKalıp Makine ve Kalıp Sanayi A.Ş. bugün yüzlerce çalışanı, yurt içi ve yurt dışı tesisleri ile Türkiye' nin lider sanayi kuruluşlarından biri haline gelmiştir.

Şirketin vizyonu savunma sistemleri, doğalgaz ekipmanları ve kalıp üretiminde dünyada önde gelen kuruluşlarla yarışmak, teknolojik gelişmelere öncülük yapmak, müşteri beklentilerini aşmak ve nitelikli işgücünü bünyelerinde yaşatmak olarak tanımlanabilir. Misyonu ise, en yüksek kalitede sanayi ve teknoloji ürünleri üreterek çalışan herkese değer katmaktır.

Firma, gaz ekipmanları ve kalıp ekipmanları bölümlerinden oluşmaktadır. Gaz ekipmanları bölümü, domestik ve endüstriyel sayaçlar ile basınç düşürme istasyonları üretimi yaparken; kalıp aparatları bölümü seramik kalıpları, plastik

enjeksiyon ve metal kesme, şekillendirme kalıplarının yanı sıra, yurt içi ve yurt dışı firmalara yönelik küp şeker kalıpları ve çeşitli aparat/fikstürlerin üretimini yapmaktadır.

6.1.1. Teknoloji

Hassas mekanik parça imalatında Türkiye' nin lider firmalarından olan KaleKalıp, sahip olduğu tasarımdan imalata otomasyon sistemlerini, savunma ve havacılık sanayinin hizmetine sunmuştur. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) konusunda donanım olarak, silicon graphics iş istasyonları ve bilgisayarlardan faydalanan KaleKalıp , yazılım olarak da Parametric Technologies Corporation firmasının Pro / Engineer Advanced Design ve Mold Design yazılımları ile Autocad yazılımını kullanmaktadır. Bu yazılım paketleri yardımı ile ortaya çıkan tasarımlar daha sonra yine pro/engineer'in pro manufacturing isimli bilgisayar destekli imalat (CAM) yazılımına oradan da DNC bağlantısı ile CNC talaşlı imalat birimlerine aktarılmakta ve parça el değmeden işlenmektedir.

Her türlü ilk malzemenin fabrikaya girişinden itibaren kendisini içinde bulduğu; kapasite, malzeme, işgücü gibi firmanın ihtiyacı olan her türlü kaynak planlaması, takibi ve raporlanmasının yapıldığı merkezi bir bilgisayar sistemi bulunmaktadır. Savunma ve havacılık bölümü bu sayede daha teklif aşamasında bir parçanın imalatının her türlü simülasyonlarını yapabilmekle süre ve maliyet konusunda sağlıklı verilere ulaşabilmektedir. Globalleşen dünyada üretim hızını artırma, kaliteyi iyileştirmek, maliyetleri düşürmek, ve hizmette rakiplerinin önüne geçebilmek için kurumsal kaynak planlaması (ERP) sistemi uygulanmaktadır.

6.1.2. Kale Kalıp'ın Kilometre Taşları

Firma, kalıp ve aparat konusunda kilometre taşlarından olan küp şeker kalıbı imalatı ile Türkiye Şeker Fabrikaları ihtiyacının yurt içinden tedarik edilmesini

sağlamıştır. 2003 yılında ilk kez doğalgaz sayacının tasarım kabiliyeti kazanılmış olup, yeni ürünlerin tasarımı ve geliştirilmesi yönünde ciddi bir adım atılmıştır. 1997 yılında Alman firması AEROCERT tarafından alınan EN ISO 9001:2000 belgeyle, kaliteden ödün verilmeyeceği bir kez daha ispatlanmıştır. 2002 yılında şirket içi verimliliğin artırılmasına yönelik bir kalite felsefesi olarak uygulamaya geçilen Altı Sigma Projesi ile süreçlerin iyileştirilmesi ve sonucunda da proje bazında karlılığın artırılması hedeflenmiştir.

6.1.3. Şirket İçi Kalite Anlayışı

"Euro-Stinger" projesi ile birlikte modern anlamda kalite yönetimi ile tanışan kalekalıp savunma ve havacılık bölümü, o günden bu yana askeri kalite güvence sistemlerinden MIL-Q-9858'e uygun olarak üretimini sürdürmektedir. İmalat ve test işlemlerinin her aşamasında izlenebilirliğin sağlanabilmesi için askeri kalite sistemleri ile belirlenmiş tüm dökümantasyonun hazırlanmasına özen gösteren savunma ve havacılık bölümü, bu konuda Türkiye'de en eski geçmişe sahip firmalardan biridir. Alt yapımcı kontrolleri ile başlayan kalite sistemi, imal edilen ürünün müşteri tarafından kabulüne kadar her safhada kendini gösterir. Kalekalıp savunma ve havacılık bölümü ayrıca Alman Daimler Benz Aerospace Grubunun sertifikalandırma firması olan " Dasa-Zert" tarafından DIN-ISO 9001 ile üretim belgelenmiştir.

KakeKalıp'ın kalite politikası; müşteri istek ve beklentilerini, ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak, zamanında ve imzalanan sözleşmelere uygun olarak yerine getirmektir. Verimliliği ve kaliteyi artırmak için "sürekli iyileştirme" ve "ilk defada doğru üretim" ilkesiyle hareket etmektedir. Bunu yaparken insan

sağlığına ve çevreye saygılı üretim anlayışı içerisinde ve tüm hedeflerine, çalışanlarının mutluluğunu gözeterek ulaşmayı amaç edinmiştir.

6.1.3.1. Kalite Yetenekleri

Testlerin çeşitliliği ve müşteri isteklerine göre değişen standartlara uygulanabilirliği şirketin en büyük avantajlarından. Genel olarak 4 ana grup altında toplayabilecek olan imkan ve kabiliyetler sırasıyla şöyledir: Boyut Muayene, Mekanik Laboratuvarlar, Kalibrasyon, Tahribatlı / Tahribatsız Muayene. Bu imkan ve kabiliyetler Avrupa STINGER parçalarının kalifikasyon ve seri imalatında, 122 mm.lik ÇNRA lançer sisteminin kalifikasyon ve katile kabul testlerinde, RAPIER güdümlü füzesi parçalarının imalatında, ATACMS projesi kapsamında üretilen parçaların kalifikasyon ve katile kabul testlerinde, araştırma geliştirme çalışmalarında ve diğer endüstri kuruluşlarına ait ekipman ve komponent testlerinde kullanılmış ve kullanılmaktadır.

Kalite Kalıp kalite standartlarını karşılayabilmek için bir çok laboratuara sahiptir. Çevre Koşulları laboratuvarında; Sıcaklık Şartlandırma ve Çevrimi, Sıcaklık ve Nem Testleri ,Vibrasyon Testi ,Tuz Testi (Korozyon), Sıcaklık Şok Testi, Stinger BCU Aktivasyon testi. Metalurji laboratuvarında; Çekme - Basma Testleri (0-250 KN), Çentik Darbe Testi, Malzeme Analizi, Sertlik Testleri (Rockwell, Brinell, Vickers), Azdırma Testleri, Mikro-Sertlik Ölçümleri (Vickers), Mikroyapı Analizleri, Kaplama Kalınlığı Tayini, Sertlik Numune Hazırlama, Infrared Yansıma Ölçümü, Boya Parlaklık Ölçümü, Elektrik İletkenlik Ölçümü yapılmaktadır. Kalibrasyona tabi tutulan aletler; Kumpas, Mikrometre, Yükseklik Ölçer, Tampon Mastarlardır. Tahribatsız Muayene, Manyetik Parçacık Muayenesi, Sıvı Penetrant Muayenesi, Ultrasonik Muayene şeklinde yapılır.

Üretimin tamamında yüksek teknolojiden faydalanan KaleKalıp, yüksek kaliteli hammadde ve deneyimli personeliyle sanayide öncü bir şirket konumundadır. Hassas ölçüm ve denetimlerle kalite kontrolü gerçekleştirilmekte ve üretimde kalite standartları muhafaza edilmektedir. Eldeki onay ve belgeler şöyledir: EN ISO 9001:2000 Belgesi, TSE Belgesi, DVGWV-Almanya Onayı, NMI-Hollanda Onayı, UZB-Özbekistan Onayı, BDS-Bulgaristan Onayı, GHOST-Rusya Onayı, İGDAŞ Onayı, Botaş Onayı, American Welding Society, AQAP 120-Askeri Onay .

6.1.3.2. Altı Sigma Uygulamaları

2002 yılı başından itibaren Altı Sigma Yönetim sistemini uygulayan KaleKalıp ve Kalekim'de bu programla ilgili roller ve sorumluluklar belirlendikten sonra projeler gerçekleştirmiştir. KaleKalıp ve Kalekim'de birer şampiyon, projelerin sorumluluğunu alan 6 kara kuşak ve onlara destek veren 12 yeşil kuşak görev almış, altı aylık süre içerisinde gerçekleştirilen 6 proje sonunda finansal kazanım 1,200,000 doları bulmuştur.

Kale Grubu Altı Sigma uyguladığı projelerde hedefleri yüzde elli aşarak, bu alandaki başarısını da kanıtlamıştır. Kara Kuşak olacak kişi şirkette en az 2-3 yıl tecrübeli, fonksiyonel veya teknik uzmanlar arasından seçilmelidir. Görevi Altı Sigma projelerini yönetmek ve her sene yönetimin karar vereceği oranda bir kazancın elde edilmesini sağlamaktır. Bunun dışında, Altı Sigma ile ilgili, şirket içinde birer uzman olarak, gerektiğinde diğer çalışanları eğitmek ve Altı Sigma'yı tanıtmak da görevleri arasında sayılabilir.

6.2. METODOLOJİ

Bu çalışmada değişik kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü, kesme sıvısı kullanılması ve kesme sıvısı kullanılmaması durumunda olmak üzere iki farklı şartta modellenmiştir. Dünyadaki eğilim kesme sıvısının talaşlı imalatta kullanımını sınırlandırmak yolunda olduğundan kesme sıvısı kullanılmadan yapılan deney sonucu elde edilen model kullanılarak genetik algoritmalar ve differansiyel gelişim algoritması gibi iki farklı sezgisel algoritma ile optimize edilmiştir. Deneyde, Taguchi ve Yanıt YüzeyYöntemine göre planlanmış olarak elde edilen veriler, analiz edilerek, sonuçlar ve yöntemler karşılaştırılmış, yüzey pürüzlülüğü matematiksel modelinin yüzey yanıt yöntemi ile elde edilmesinin daha doğru ve etkili olacağı saptanmıştır.

6.2.1. Matematiksel Formülasyon

Talaşlı işleme proseslerinden biri olan tornalama prosesi için etkili olan faktörlerden, d , f , ve v sırasıyla *kesme derinliği*, *ilerleme hızı* ve *yüzey hızının* modellenmesinde Taguchi Yöntemi ve Yüzey Yanıt Yöntemi tekniklerinden Box-Behnken yöntemi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Birçok yüzey yanıt probleminde yanıt ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki bilinmez. Bu nedenle, yanıt ve bağımsız değişkenler arasında doğru fonksiyonel bir ilişki bulunması için ilk basamak, uygun bir tahmin yapmaktır. Önce birinci dereceden bir çözüm denir. Yüzey pürüzlülüğü ile kesme şartları arasındaki fonksiyonel ilişki şu şekilde gösterilir:

$$Y=f(d, f, v)+\varepsilon$$

“ ε ” gözlenen yanıtla göre 0 ortalama ile normal dağılmış hatadır.

$F(d, f, v) = \eta$ “ η ” yüzey yanıtı olmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü ve diğer bağımsız değişkenler şöyle modellenir:

$$R_a = C d^{k_1} f^{k_2} v^{k_3}$$

C sabit $k_{1,2,3}$ ise parametrelerdir.

Sabitlerin ve üstel değerlerin tahminlemesinin yapılabilmesi için üstel haldeki matematik model logaritmik dönüşüm kullanılarak doğrusal hale getirilir.

$$\ln R_a = \ln C + k_1 \ln d + k_2 \ln f + k_3 \ln v$$

Sabitler ve üstel değerler C, d, f ve v tahminlenir ve eşitliğin birinci derece modeli şu şekilde gösterilebilir:

$$Y'_1 = y - \varepsilon = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$$

Y'_1 birinci derece eşitlik için tahminlenen yanıt ve y logaritmik ölçekte ölçülen yüzey pürüzlülüğüdür. x_0, x_1, x_2, x_3 , kesme derinliği, ilerleme hızı ve yüzey hızının logaritmik olarak dönüştürülmeleridir. ε deneysel hata b değerleri de ilgili parametrelerin tahminleridir.

2. dereceden model şöyledir:

$$Y'_2 = y - \varepsilon = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + b_{23} x_2 x_3 + b_{13} x_1 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2$$

b_0, b_1, b_2, b_3 tahminlenecek parametrelerdir.

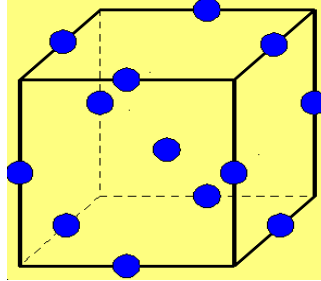
Y'_2 ikinci dereceden denkleme göre tahminlenen yanıttır.

6.3. DENEYSEL DETAYLAR

Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerinin bulunması için dikkatli bir çalışma sürdürülmüştür. İlk olarak Taguchi tasarımı uygulanmıştır ve faktörler hakkında bir ön bilgi edinilmiş, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkanı araştırılmıştır. Yüzey yanıt yöntemi, matematik bir yüzey modeli oluşturmak için kullanılmıştır. Yüzey yanıt metodolojisi matematik ve istatistik tekniklerin toplamından oluşur. Elde edilen modelin öncelikle birinci dereceden olup olmadığı test edilmiş, daha sonra ikinci dereceden uygunluğu araştırılmıştır. Bu teknikler ilgilenilen yanıtın modelleme ve analiz edilme problemlerinde kullanılır. Buna dayanarak ölçülen parametreler kesme hızı, ilerleme hızı, ve kesme derinliğidir.

Deneyler yüzey yanıt tasarımlarından biri olan Box Behnken tasarımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Box Behnken tasarımının kullanılmasının nedeni regresyon modelindeki kuadratik katsayıları etkili bir şekilde tahminlemesidir. Genellikle daha az tasarım noktası içerdiğinden merkezi kompozit tasarıma göre deneylerinin yapılması daha az maliyetlidir. Bütün tasarım noktaları operasyon limitleri arasında kaldığından güvenlidir.

(çevrimiçi <http://www.itl.nist.gov/handbook/> 1/26/2005)



Şekil 6. 1 Box Behnken Tekniği Tasarım Noktaları

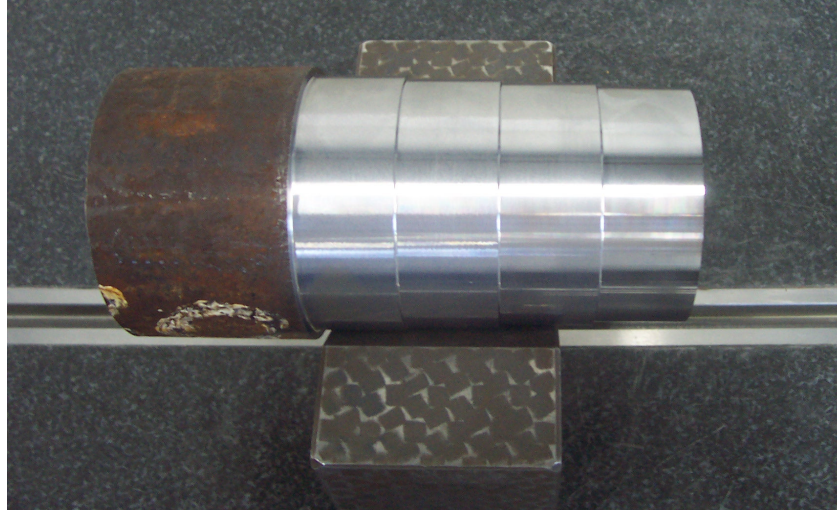
6.3.1. Kesme Sıvısı Kullanılarak Yapılan Deney KaleKalıp Firmasında Uygulama

Deney Kalıpkalıp firmasında Index GS 100 torna makinesi kullanılarak yapılmıştır. Torna makinesinin maksimum işleyeceği çap: 250 mm., maksimum işleyeceği boy: 200 mm, maksimum işleyeceği devir: 2500 rpm dir. Soğutma sıvısı kullanılmıştır.



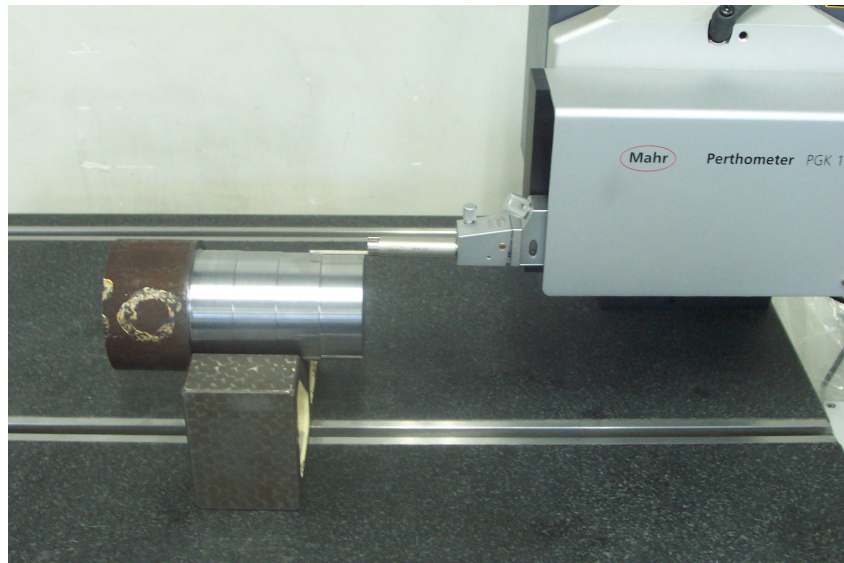
Şekil 6. 2 Kesme Sıvısı Kullanılarak Yapılan Deneyde Kullanılan Torna Tezgahı

Kesici takım olarak Seco VBMT 160408F2HX, iş parçası olarak AISI 4140 iş parçası kullanılmıştır.



Şekil 6. 3 Kesme Sıvısı Kullanılarak Yapılan Deneyde Kullanılan İş Parçası

Yüzey pürüzlülüğü ise Perthometer PGK 120 ile ölçülmüştür. Yüzey yanıt yöntemi sonuçlarının analizi için Minitab 14 paket programı, tasarım olarak Box-Behnken tasarımı kullanılmış, 2 tekrarlı 15 deney yapılmış toplam 45 adet ölçüm değeri yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bütün parametrelerin değiştirilmesi ile elde edilmiştir.



Şekil 6. 4 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

6.3.1.1. Uygulanan Yüzey Yanıt Yöntemi

Deneyde Box-Behnken tasarımı kullanılmıştır. Üç faktörlü ve düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç seviyeli yapılan deneyde ayrıca 3 adet merkez noktası eklenmiştir. 2 tekrarlı olacak şekilde toplam 45 deney yapılmıştır.

Tablo 6. 1 Kesme Sıvısı Kullanılan Deney İçin Faktör Seviyeleri

Seviye	Kesme Hızı (speed)	İlerleme hızı(feed)mm/rev	Kesme Derinliği (Depth of cut)mm
Düşük	250	0.1	1.5
Orta	300	0.2	2
Yüksek	350	0.3	2.5

Minitab istatistik programıyla elde edilen sonuçlara göre veriler analiz edilmiş, başlangıçta elde edilecek modelin birinci dereceden olup olmadığı araştırılmıştır. Birinci dereceden yüzey pürüzlülüğü modeli için tahminlenen regresyon katsayıları ve anova tablosu şöyledir.

Estimated Regression Coefficients for Yuzey Pu

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-1.317	0.278191	-4.733	0.000
Kesme De	0.106	0.073998	1.438	0.158
İlerleme	13.550	0.369991	36.624	0.000
Kesme Hi	0.001	0.000740	0.923	0.361

S = 0.1813 R-Sq = 97.0% R-Sq(adj) = 96.8%

Analysis of Variance for Yuzey Pu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	44.1633	44.1633	14.7211	448.07	0.000
Linear	3	44.1633	44.1633	14.7211	448.07	0.000
Residual Error	41	1.3470	1.3470	0.0329		
Lack-of-Fit	9	1.3326	1.3326	0.1481	328.61	0.000
Pure Error	32	0.0144	0.0144	0.0005		
Total	44	45.5103				

Yüzey pürüzlülüğü için elde edilen model şöyledir

$$R_a = C d^{k_1} f^{k_2} v^{k_3}$$

C sabit $k_{1,2,3}$ ise parametrelerdir. Burada $k_1=0.001$, $k_2= 13.550$, $k_3= 0.106$ ve

C=-1.317 değerleri elde edilmiştir. Bunlar logaritmik dönüşüm sonucu elde edilen doğrusal eşitlikteki katsayılardır. Üstel değerlerin elde edilmesi için, ters logaritmik dönüşüm yapılarak, tersi alınmalıdır.

$$\ln R_a = \ln C + k_1 \ln d + k_2 \ln f + k_3 \ln v$$

Yapılan işlemler sonucunda;

$$k_1: 0.106 \text{-----} e^{0.106} = 1.1118$$

$$k_2: 13.550 \text{-----} e^{13.550} = 766.814$$

$$k_3: 0.01 \text{-----} e^{0.01} = 1.001$$

$$C: -1.317 \text{-----} e^{-1.317} = 3.732$$

$$R_a = 3.732 d^{1.1118} f^{766.814} v^{1.001}$$

şeklinde bir eşitlik elde edilir, ancak kesme derinliği ve kesme hızı olarak gösterilen iki değer istatistiki olarak anlamsız gözükmemektedir. Minitab programının analiz ettiği tablodan verilen P değerleri 0.05 anlamlılık düzeyinde çalıştığından bu değerden büyük çıkmıştır. Regresyon katsayısı 97 % olarak hesaplanmasına rağmen ikinci dereceden uygunluğu araştırılacaktır.

Estimated Regression Coefficients for Yuzey Pu

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-5.846	0.52795	-11.073	0.000
Kesme De	-0.950	0.21837	-4.352	0.000
Ilerleme	1.804	0.87061	2.072	0.046
Kesme Hi	0.045	0.00277	16.311	0.000
Kesme De*Kesme De	0.341	0.04337	7.860	0.000
Ilerleme*Ilerleme	26.390	1.08436	24.337	0.000
Kesme Hi*Kesme Hi	-0.000	0.00000	-16.601	0.000
Kesme De*Ilerleme	0.005	0.20836	0.024	0.981
Kesme De*Kesme Hi	-0.001	0.00042	-2.464	0.019
Ilerleme*Kesme Hi	0.004	0.00208	1.888	0.067

S = 0.03609 R-Sq = 99.9% R-Sq(adj) = 99.9%

Analysis of Variance for Yuzey Pu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	45.4647	45.46472	5.051635	4E+03	0.000
Linear	3	44.1633	0.43709	0.145698	111.86	0.000
Square	3	1.2889	1.28890	0.429632	329.86	0.000
Interaction	3	0.0125	0.01255	0.004182	3.21	0.035
Residual Error	35	0.0456	0.04559	0.001302		
Lack-of-Fit	3	0.0312	0.03117	0.010389	23.06	0.000
Pure Error	32	0.0144	0.01442	0.000451		
Total	44	45.5103				

Regresyon katsıyısının 99.9% olması, kurulan modelde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni iyi tanımladığını göstermektedir. Ancak % 95 güven aralığında kesme derinliği ve ilerleme hızı ekileşimi % 98 değeri ile anlamsız çıkmıştır, o yüzden modelden çıkarılmalıdır. Modelden çıkarılmasıyla analiz tekrarlanacaktır.

Estimated Regression Coefficients for Yuzey Pu

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-5.848	0.51404	-11.376	0.000
Kesme De	-0.949	0.21136	-4.492	0.000
Ilerleme	1.814	0.75371	2.407	0.021
Kesme Hi	0.045	0.00273	16.543	0.000
Kesme De*Kesme De	0.341	0.04277	7.972	0.000
Ilerleme*Ilerleme	26.390	1.06921	24.682	0.000
Kesme Hi*Kesme Hi	-0.000	0.00000	-16.836	0.000
Kesme De*Kesme Hi	-0.001	0.00041	-2.499	0.017
Ilerleme*Kesme Hi	0.004	0.00205	1.914	0.064

S = 0.03559 R-Sq = 99.9% R-Sq(adj) = 99.9%

Analysis of Variance for Yuzey Pu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	8	45.4647	45.46472	5.683090	4E+03	0.000
Linear	3	44.1633	0.44043	0.146811	115.94	0.000
Square	3	1.2889	1.28890	0.429632	339.28	0.000
Interaction	2	0.0125	0.01255	0.006273	4.95	0.013
Residual Error	36	0.0456	0.04559	0.001266		
Lack-of-Fit	4	0.0312	0.03117	0.007792	17.29	0.000
Pure Error	32	0.0144	0.01442	0.000451		
Total	44	45.5103				

Görüldüğü üzere - % 94.9 katsayısı ile kesme derinliği yüzey pürüzlülüğünü, katsayısındaki negatiflik yüzünden negatif olarak etkilemekte, yani kesme derinliği, arttığında yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. İlerleme hızı, pürüzlülüğü en çok etkileyen değişkendir ve ikinci dereceden etkisi ile en fazla etkiyi yapmaktadır.

Gerek çevreye verdiği zarar gerekse işletmeye getirdiği maliyet yüzünden dünyada ve Amerika Birleşik Devletleri’nde kesme sıvılarının kullanılması sınırlandırılmış ve hatta kullanımı büyük ölçüde bırakılmıştır. Bu sebep ile Indiana University Purdue University Indianapolis (IUPUI) da, aynı malzeme kullanılmasıyla kesme işlemleri torna tezgahında kesme sıvısı kullanılmadan yapılmıştır.

6.3.2. Kesme Sıvısı Kullanılmadan Yapılan Deney

Kesme sıvısı kullanılmadan yapılan deneyde iki yöntem kullanılmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Taguchi ve yüzey yanıt yöntemi birbirini tamamlayan sonuçlar verirken, Taguchi yönteminden elde edilen bilgi ön araştırma için uygundur.

Deneyde Clausing Colchester 13-inch flat bed torna makinesi kullanılmıştır. Soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Kesici takım olarak karpit rhomboid kesici takım (insert), iş parçası olarak AISI 4140 iş parçası kullanılmıştır. Kuvvetler Kistler 8257B Dinomometre ile ölçülmüş, Labview yazılımı ile analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ise TR100 profilometre (profilometer) ile yapılmıştır. Yüzey yanıt metodolojisi sonuçlarının analizi için Minitab 14 paket programı kullanılmıştır. 2 tekrarlı 15 deney yapılmış toplam 45 adet ölçüm değeri yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bütün parametrelerin değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Deney KaleKalıpta yapılan plan çerçevesinde Indiana University Purdue University Indianapolis (IUPUI) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

6.3.2.1. Uygulanan Taguchi Tasarımı

Elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi ve bir ön araştırmaya olanak sağlaması amacıyla Taguchi deney tasarımı uygulanmış, 3 faktörün iki seviyeli olarak incelenmesi ile faktörlerin ana etkileri ve faktör etkileşimleri konusunda bilgi

edilmiş, sinyal gürültü oranları ve grafikleri sayesinde optimum faktör seviyeleri araştırılmıştır.

Tablo 6. 2 3 Faktörlü 2 Seviyeli L8 Taguçi Dizayn Matrisi

Standart Sıra	ETKİLER						
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-	-	-	+	+	+	-
2	-	-	+	+	-	-	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	-	+	+	-	-	+	-
5	+	-	-	-	-	+	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	+	+	-	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+	+	+
Kolon no:	1	2	3	4	5	6	7
L8 Dizayn Matrisi							

Tablo 6.3 L8 hesap tablosunda faktörlerin ana etkileri ve etkileşimlerinin değerleri görülmektedir. Kesme hızının (C) en kuvvetli negatif etkili faktör olduğu görülmektedir. Kesme derinliği (A) yüzey pürüzlülüğüne pozitif etki yapmaktadır. Kesme derinliği arttığında yüzey pürüzlülüğü de artacaktır. İlerleme hızının (B) etkisi ise negatif olarak görülmektedir. Kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızının ikili ve üçlü etkileşimlerinin değerleri de tablodan okunabilir. Faktörlerin ana etkileri, birbirleriyle olan etkileşimleri ve üçlü etkileşim istatistik olarak anlamlı çıkmış, R^2 değeri % 99.89, düzeltilmiş R^2 değeri ise % 99.86 değeri elde edilmiştir.

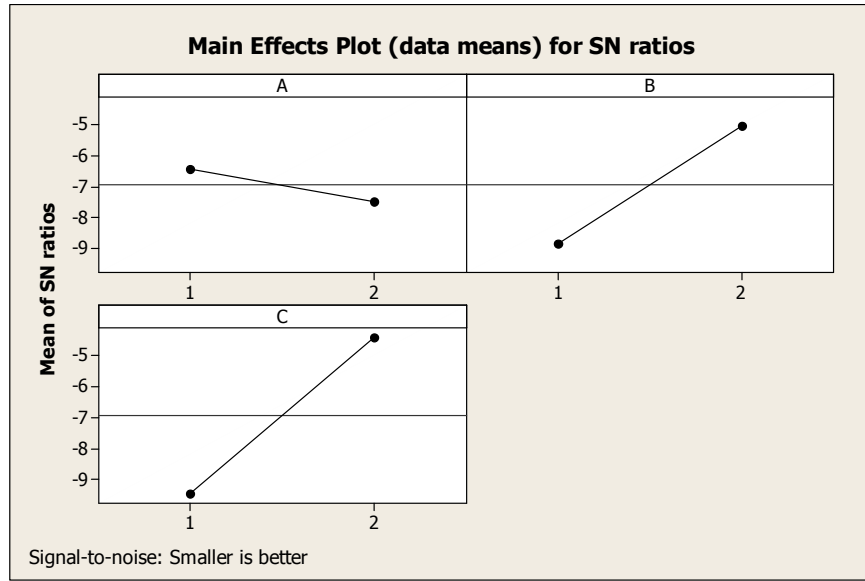
Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	25.9002	25.9002	8.63340	4599.37	0.000
2-Way Interactions	3	8.8595	8.8595	2.95317	1573.28	0.000
3-Way Interactions	1	6.9006	6.9006	6.90061	3676.24	0.000
Residual Error	24	0.0450	0.0450	0.00188		
Pure Error	24	0.0451	0.0451	0.00188		
Total	31	41.7054				

S = 0.0433253 R-Sq = 99.89% R-Sq(adj) = 99.86%

Tablo 6. 3 L 8 Hesap Tablosu

		A		B		C		AB		AC		BC		ABC	
Standart Sıra	Gözlem Değeri	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	3.68	3.68		3.68		3.68			3.68		3.68		3.68	3.68	
2	1.7	1.70		1.70			1.70		1.70	1.70		1.70			1.70
3	1.37	1.37			1.37	1.37		1.37			1.37	1.37			1.37
4	2.25	2.25			2.25		2.25	2.25		2.25			2.25	2.25	
5	4.2		4.20	4.20		4.20		4.20		4.20			4.20		4.20
6	2.23		2.23	2.23			2.23	2.23			2.23	2.23		2.23	
7	3.7		3.70		3.70	3.99			3.70	3.70		3.70		3.70	
8	0.9		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90
Toplam	20.03	9	11	12	8.22	13.2	7.08	10.05	9.98	11.85	8.18	9	11	11.9	8.17
Sayı	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ortalama	2.50375	2.25	2.8	3	2.055	3.31	1.77	2.5125	2.5	2.9625	2.05	2.25	2.76	2.97	2.0425
Etki		0.5075		-0.8975		-1.54		-0.0175		-0.9175		0.5075		-0.9225	
Sıra		5		1		6		2		4		7		3	

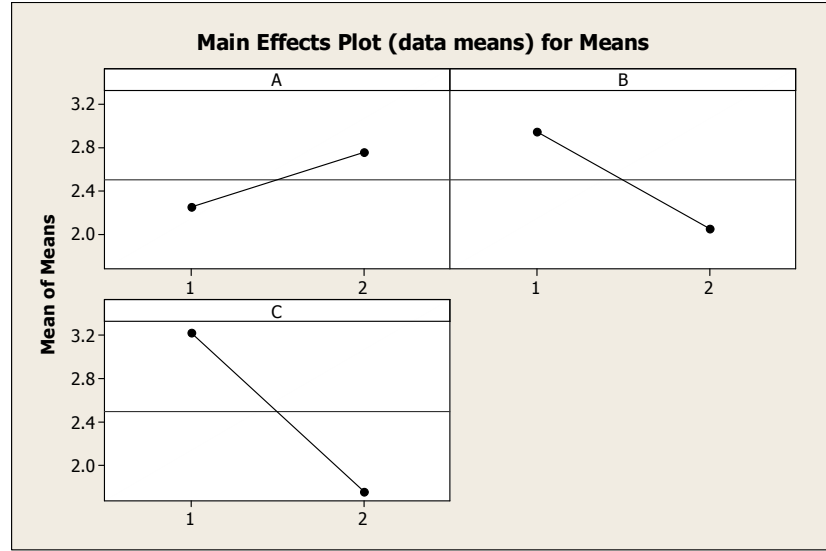


Şekil 6. 5 Sinyal Gürültü Oranları Grafikleri

Sinyal Gürültü oranı olarak en küçük en iyi olarak belirlenmiştir. Grafikten okunduğunda daima maksimum SN değeri seçilmekte, bu da tezde minimum yüzey pürüzlülüğü anlamına gelmektedir. Şekil 6.5’te Kesme Hızı (C)’nin ikinci seviyesinde maksimum sinyal gürültü oranı görülmekte ve bu da C faktörünün ikinci seviyesinde minimum yüzey pürüzlülüğünü elde edildiği anlamına gelmektedir. Bu grafikten kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde azalmanın sağlanacağı sinyal gürültü oranı grafiğinden anlaşılmaktadır.

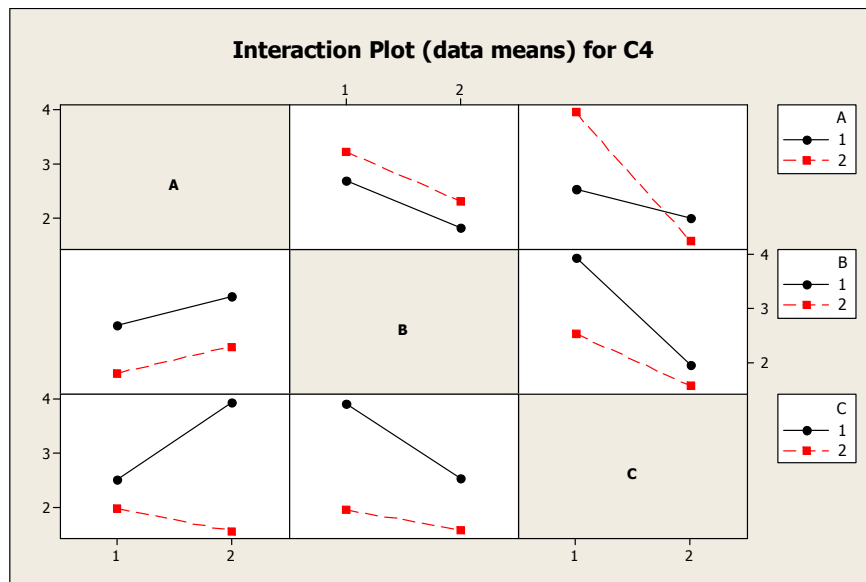
Tablo 6. 4 Gözlem Değerleri

Standart Sıra	A	B	C	Gözlem Değeri Y
1	-	-	-	3.68
2	-	-	+	1.7
3	-	+	-	1.37
4	-	+	+	2.25
5	+	-	-	4.2
6	+	-	+	2.23
7	+	+	-	3.7
8	+	+	+	0.9



Şekil 6. 6 Faktörlerin Ana Etkileri Grafikleri

Ana etkileri Şekil 6.6’da görülen faktörlerin Şekil’ 6.7 de ise birbirleriyle olan etkileşimleri grafik olarak gösterilmiştir. Kesme derinliği (A) ve kesme hızının (C) birbiriyle negatif yönde etkileşimi görülmektedirken ilerleme hızı (B) ve kesme hızı (C) etkileşimi pozitif yöndedir.



Şekil 6. 7 Faktörlerin Birbirleri İle Olan Etkileşimleri

6.3.2.2. Uygulanan Yüzey Yanıt Yöntemi

Box-Behnken tasarımı kullanılmıştır. Üç faktörlü, düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç seviyeli yapılan deneyde ayrıca 3 adet merkez noktası eklenmiştir. 2 tekrarlı olacak şekilde toplam 45 deney yapılmıştır.

Tablo 6. 5 Kesme Sıvısı Kullanılmayan Deneydeki Kesmeyi Etkileyen Faktörlerin Seviyeleri

Seviye	Kesme Hızı (speed)	İlerleme hızı(feed)mm/rev	Kesme Derinliği (Depth of cut)mm
Düşük	250	0.1	1.5
Orta	300	0.2	2
Yüksek	350	0.3	2.5

Minitab istatistik programıyla elde edilen analiz sonuçlarına göre, ilk aşamada, birinci dereceden uygunluk araştırılmıştır. Veriler logaritmik dönüşüme tabi tutularak analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için tahminlenen regresyon katsayıları şöyledir.

Estimated Regression Coefficients for Yuzey Pu

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-3.394	3.0248	-1.122	0.268
Kesme De	0.691	0.3466	1.995	0.053
İlerleme	-0.598	0.1592	-3.758	0.001
Kesme Hi	0.503	0.5272	0.954	0.346

S = 0.4352 R-Sq = 31.7% R-Sq(adj) = 26.7%

Analysis of Variance for Yuzey Pu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	3.6059	3.6059	1.20198	6.35	0.001
Linear	3	3.6059	3.6059	1.20198	6.35	0.001
Residual Error	41	7.7669	7.7669	0.18944		
Lack-of-Fit	9	7.3832	7.3832	0.82035	68.42	0.000
Pure Error	32	0.3837	0.3837	0.01199		
Total	44	11.3728				

$Y = -3.3944 + 0.6914X_1 - 0.5983X_2 + 0.5032X_3$ olarak birinci dereceden denklem elde edilir.

Yüzey pürüzlülüğünün modellenmesinde elde edilen model şöyledir:

$$R_a = C d^{k_1} f^{k_2} v^{k_3}$$

C sabit $k_{1,2,3}$ ise parametrelerdir. Burada $k_1=0.001$, $k_2= 13.550$, $k_3= 0.106$ ve $C=1.317$ değerleri elde edilmiştir. Bunlar logaritmik dönüşüm sonucu elde edilen doğrusal eşitikteki katsayılarıdır. Üstel değerlerin elde edilmesi için, ters logaritmik dönüşüm yapılarak tersi alınmalıdır.

$$\ln R_a = \ln C + k_1 \ln d + k_2 \ln f + k_3 \ln v$$

$$k_1: 0.6914 \text{-----} e^{0.6914} = 1.997$$

$$k_2: -0.5983 \text{-----} e^{-0.5983} = 0.55$$

$$k_3: 0.5032 \text{-----} e^{0.5032} = 0.605$$

$$C: -3.3944 \text{-----} e^{-3.3944} = 0.034$$

$$R_a = 0.034 d^{1.997} f^{0.55} v^{0.605}$$

Birinci dereceden denklemde kesme hızının, istatistiki olarak anlamsız olduğu görülmektedir. Minitab çıktısından görüldüğü gibi, kesme hızı için P değeri 0.268 çıkmıştır ve 0.05 anlamlılık düzeyinden büyüktür. Kesme hızı üç ana faktörden biri olduğundan elimine edilemez. Ayrıca modelin deneysel veriyi gerçekten tanımlayıp tanımlamadığının kontrolleri yapılmalıdır. R^2 katsayısı 0 ile 1 arasında değer alır. İstatistiki hesaplamalar sonucu birinci dereceden denklemin R^2 değeri 31.7% ve düzeltilmiş R^2 değerleri düşük çıktığından, birinci dereceden model geçersizdir, modelin ikinci dereceden olup olmadığı test edilir.

Estimated Regression Coefficients for Yuzey Pu

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	557.4	49.6896	11.218	0.000
Kesme De	49.7	5.5105	9.025	0.000
Ilerleme	5.0	2.5586	1.965	0.057
Kesme Hi	-201.1	17.3819	-11.571	0.000
Kesme De*Kesme De	6.4	0.6694	9.611	0.000
Ilerleme*Ilerleme	0.8	0.1547	5.235	0.000
Kesme Hi*Kesme Hi	18.2	1.5259	11.951	0.000
Kesme De*Ilerleme	0.6	0.2872	2.210	0.034
Kesme De*Kesme Hi	-9.9	0.9519	-10.399	0.000
Ilerleme*Kesme Hi	-0.6	0.4370	-1.277	0.210

S = 0.1425 R-Sq = 93.8% R-Sq(adj) = 92.1%

Analysis of Variance for Yuzey Pu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	10.6622	10.6622	1.18469	58.36	0.000
Linear	3	3.6059	4.6113	1.53708	75.71	0.000
Square	3	4.7259	4.7279	1.57598	77.63	0.000
Interaction	3	2.3305	2.3305	0.77682	38.26	0.000
Residual Error	35	0.7105	0.7105	0.02030		
Lack-of-Fit	3	0.3269	0.3269	0.10896	9.09	0.000
Pure Error	32	0.3837	0.3837	0.01199		
Total	44	11.3728				

İkinci dereceden oluşturulan bu modelde uygunluk değeri yüksek çıkmasına rağmen ilerleme hızı ve kesme hızı faktörlerin etkileşimleri % 95 güven sınırında, 0.2 değeriyle, anlamsız çıkmıştır, modelden çıkarılarak tekrar analiz edilir.

Estimated Regression Coefficients for Yuzey Pu

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	552.2	49.9506	11.054	0.000
Kesme De	49.6	5.5578	8.927	0.000
Ilerleme	1.8	0.5925	3.116	0.004
Kesme Hi	-200.2	17.5184	-11.428	0.000
Kesme De*Kesme De	6.4	0.6752	9.541	0.000
Ilerleme*Ilerleme	0.8	0.1561	5.190	0.000
Kesme Hi*Kesme Hi	18.2	1.5392	11.847	0.000
Kesme De*Ilerleme	0.6	0.2897	2.198	0.034
Kesme De*Kesme Hi	-9.9	0.9601	-10.290	0.000

S = 0.1437 R-Sq = 93.5% R-Sq(adj) = 92.0%

Analysis of Variance for Yuzey Pu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	8	10.6291	10.6291	1.32864	64.32	0.000
Linear	3	3.6059	4.7108	1.57025	76.01	0.000
Square	3	4.7259	4.7327	1.57757	76.37	0.000
Interaction	2	2.2973	2.2973	1.14867	55.61	0.000
Residual Error	36	0.7437	0.7437	0.02066		
Lack-of-Fit	4	0.3600	0.3600	0.09000	7.51	0.000
Pure Error	32	0.3837	0.3837	0.01199		
Total	44	11.3728				

İlerleme hızı ve Kesme hızı faktörlerinin etkileşimlerin modelden çıkarılması ile elde edilen model uygundur ve bütün faktörler, faktörlerin ikinci dereceden etkisi ve faktörlerin birbirleriyle etkileşimleri anlamlıdır. İkinci dereceden model şu şekilde oluşturulmuştur:

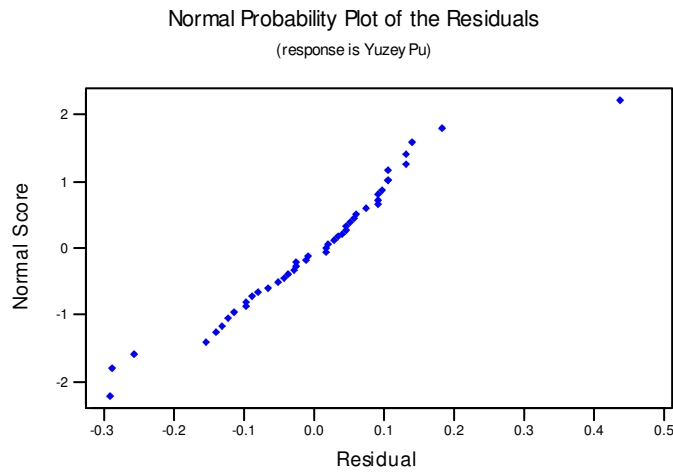
$$\text{Min } Y = 552.2 + 49.6X_1 + 1.8X_2 - 200.2X_3 + 6.4X_1^2 + 0.8X_2^2 + 18.2X_3^2 + 0.6X_1X_2 - 9.9X_1X_3$$

$$0.405465 < X_1 < 0.916291$$

$$-2.30259 < X_2 < -1.60944$$

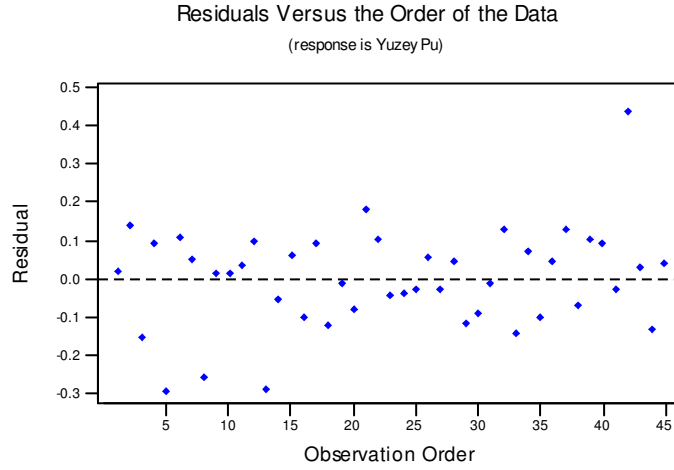
$$5.52146 < X_3 < 5.85793$$

Burada Y, yüzey pürüzlülüğü yanıt değerinin logaritmik skaladaki değeridir. X_1 , X_2 , X_3 ve kısıtlar kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızı değerlerinin logaritmik olarak dönüştürülmüş halidir. Elde edilen modelde bütün bağımsız değişkenler anlamlıdır ve bağımlı değişkeni %93.5 oranında tanımlamaktadır. İstenilen model elde edildiğinden optimizasyon aşamasına geçilebilmektedir. Optimizasyon diferansiyel gelişim algoritması ile yapılacak sonuçlar genetik algoritma sonuçları ile karşılaştırılacaktır.



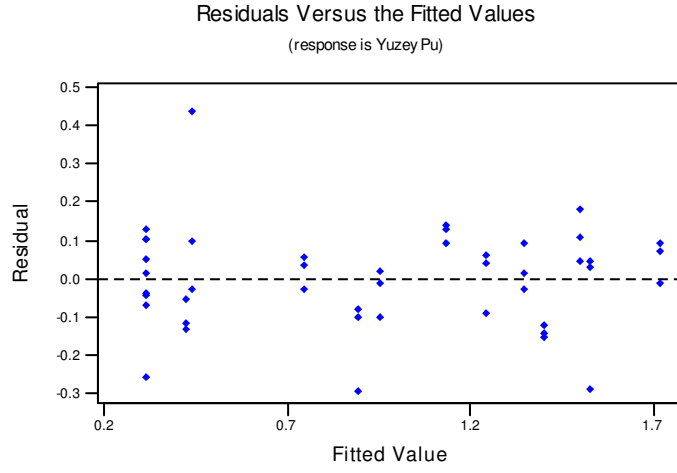
Şekil 6. 8 Kalıntıların Normal Olasılık Dağılımı

Şekil 6.8'deki grafik ile normallik varsayımının kontrolü kalıntılar yardımıyla yapılmıştır. Bu kalıntılar, gözlenen çıktılar ve tahminlenen çıktılar arasındaki farktır. Kalıntıların normal olasılık diyagramlarının kullanılması çok yararlı bir prosedürdür. Bu grafikte de görüldüğü gibi bu diyagram düz bir çizgiyi andırmaktadır ve hata dağılımı normaldir.



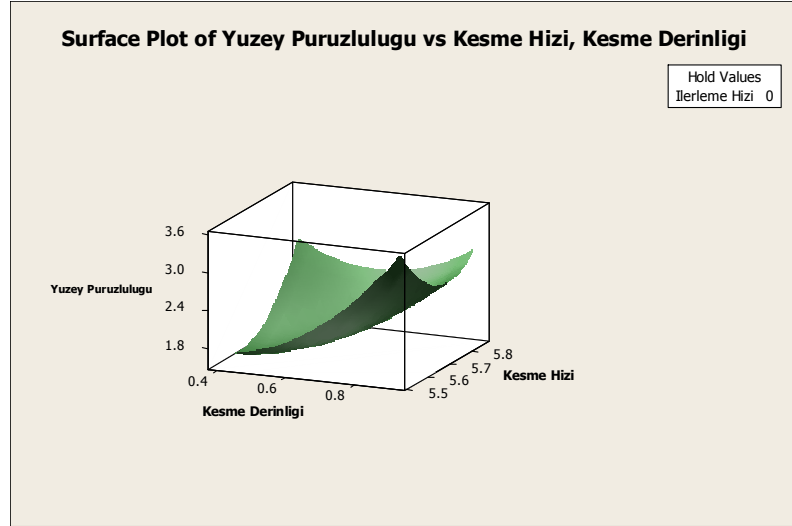
Şekil 6. 9 Kalıntıların Veri Toplama Sırasına Göre Çizimi

Kalıntıların veri toplamanın zaman sıralamasına göre çizilmesiyle kalıntılar arasında korelasyon olup olmadığının anlaşılmasında fayda sağlanmıştır. Kalıntılarda negatif ya da pozitif çıkma eğilimi görülmemektedir ve hataların bağımsızlığı ilkesinin ihlali ve hata varyansının zaman içinde değişmesi söz konusu değildir.



Şekil 6. 10 Kalıntıların Model Değerlerine Karşı Grafiği

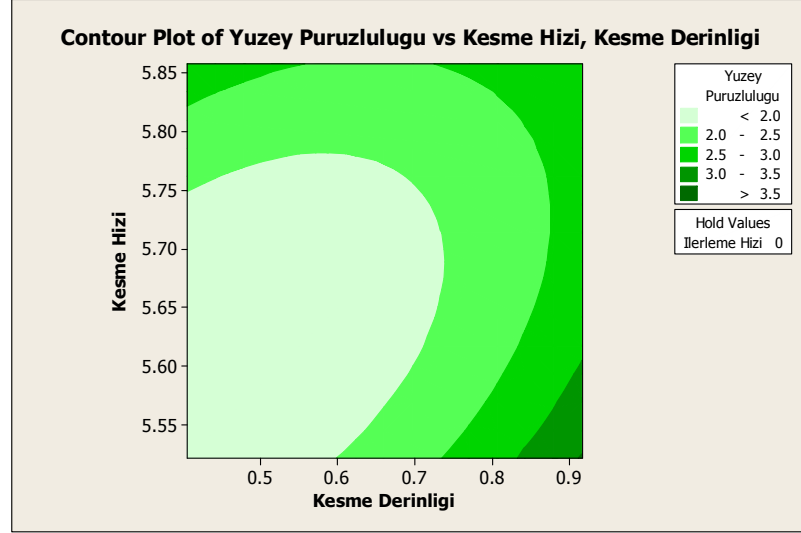
Kalıntıların model değerlerine karşı grafiğini olan Şekil 6.10'da görüldüğü gibi kalıntılar belli bir yapıyı takip etmemekte, diğer bir değişkene ve tahmin edilen yanıtına bağlı olmamaktadır. Bu grafikten, modelin doğru olduğu ve varsayımların sağlandığı anlaşılmaktadır.



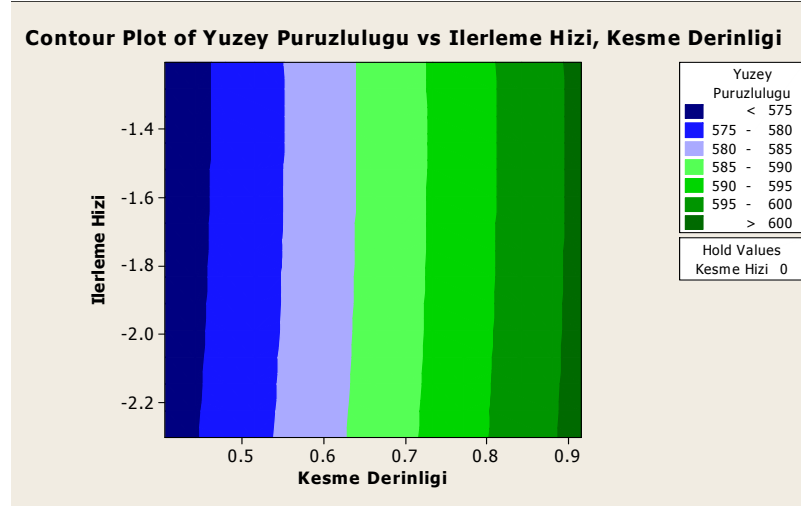
Şekil 6. 11 Kesme Hızı ve Kesme Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Yüzey Grafiği

Kesme hızı ve kesme derinliği arasındaki negatif yönlü etkileşim eliptik görünümü ile şekil 6.12 kontür grafiğinden de anlaşılabileceği gibi, şekil 6.11 yüzey

grafiğinden de net olarak görülmektedir. Örneğin, kesme hızının en düşük, kesme derinliğinin en yüksek olduğu noktalarda yüzey pürüzlülüğü maksimum değerdedir.

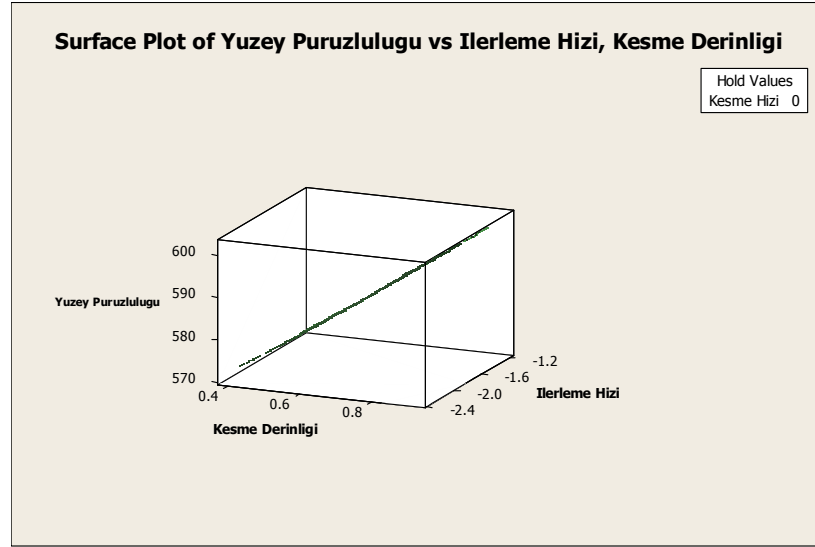


Şekil 6. 12 Kesme Hızı ve Kesme Derinliğininin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Kontür Grafiği



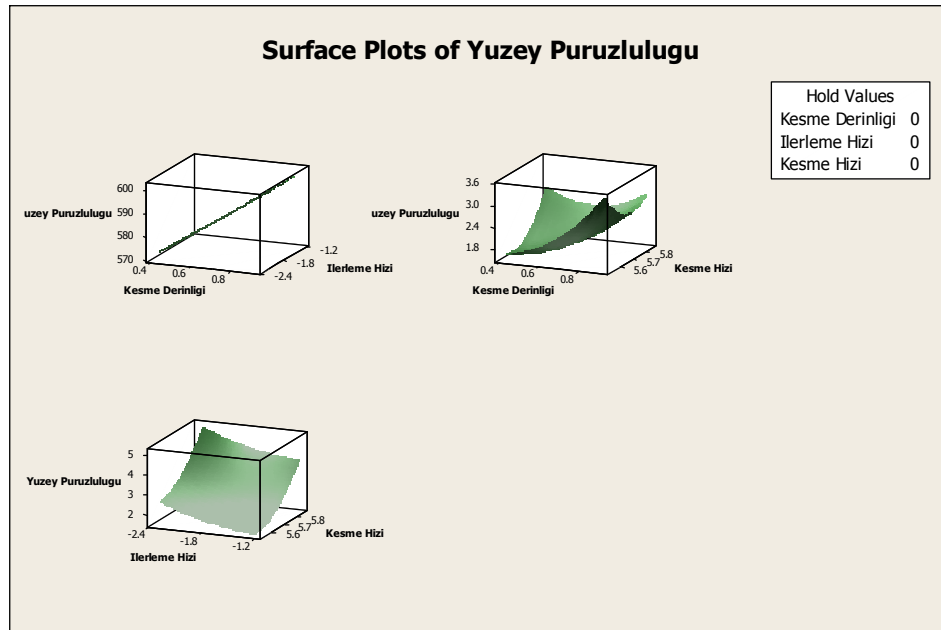
Şekil 6. 13 İlerleme Hızı ve Kesme Derinliğininin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Kontür Grafiği

Şekil 6.14’de ilerleme hızı ve kesme derinliği arasındaki etkileşim görülmektedir. Elde edilen modelden de anlaşılabileceği gibi, 0.6 değeri ile az denecek bir etkileşime sahiptir.



Şekil 6. 14 İlerme Hızı ve Kesme Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Yüzey Grafiği

Şekil 6.17 de bütün faktörlerin birbirleriyle etkileşiminin toplu halde gösterimi verilmektedir. Grafikleri gösterilen ve uygunluğu kanıtlanan modelin optimizasyonu sezgisel algoritmalar kullanılması ile gerçekleştirilecektir. Sezgisel algoritmaların kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmakta, klasik yöntemlerin kullanımı hesaplama güçlüğü ve gerektirdiği uzun süreler yüzünden, terkedilmeye mahkumdur.



Şekil 6. 15 Kesme Faktörlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Yüzey Grafikleri

6.3.2.3. Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Optimizasyon

Diferansiyel gelişim algoritması (DGA), özellikle sürekli verilerin söz konusu olduğu problemlerde etkin sonuçlar verebilen, işleyiş ve operatörleri itibariyle genetik algortmaya dayanan popülasyon temelli sezgisel optimizasyon tekniklerinden biridir. Algoritmanın kodları Matlab 7.0 programında yazılmıştır.

Diferansiyel Gelişim Algoritması Parametreleri:

F değerleri = 1

NP: Popülasyon Büyüklüğü = 10

Gmax: İterasyon Sayısı = 1000

CR: Çaprazlama oranı= 0.8

$$\text{Min } Y=552.2 + 49.6X_1+1.8X_2-200.2X_3+6.4X_1^2+0.8X_2^2+18.2X_3^2+0.6X_1X_2-9.9X_1X_3$$

Burada Y, yüzey pürüzlülüğü yanıt değerinin logaritmik skaladaki değeridir. X_1 , X_2 , X_3 kesme derinliği, ilerleme hızı ve yüzey hızı değerlerinin logaritmik olarak dönüştürülmüş halidir.

$$0.405465 < X_1 < 0.916291$$

$$-2.30259 < X_2 < -1.60944$$

$$5.52146 < X_3 < 5.85793$$

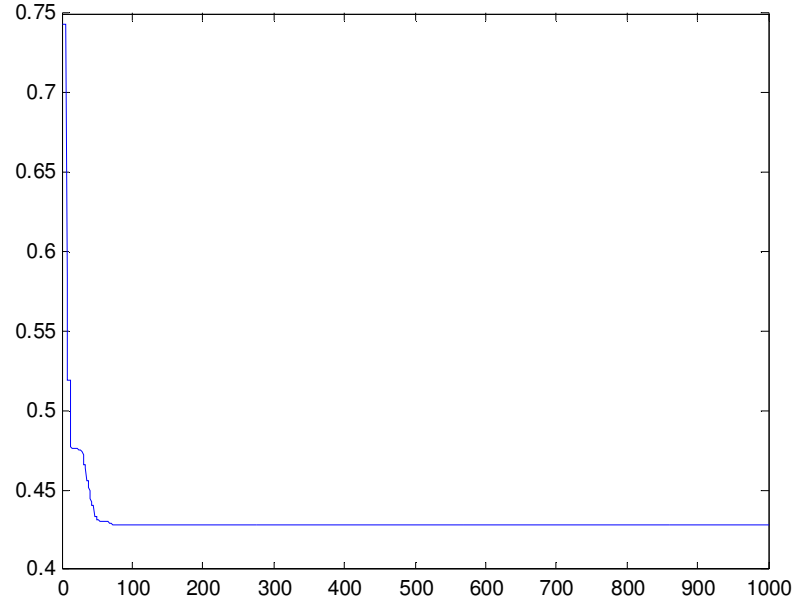
Elde edilen model Diferansiyel Gelişim Algoritması ile optimize edildiğinde şu sonuçlar elde edilir:

$$X_1: 0.5743 \text{ -----} e^{0.5743} = 1.7759$$

$$X_2: -1.6094 \text{ -----} e^{-1.6094} = 0.2$$

$$X_3: 5.6560 \text{ -----} e^{5.6560} = 286.002$$

$$R_{\min} = -0.8479 = e^{-0.8479} = 0.4283$$

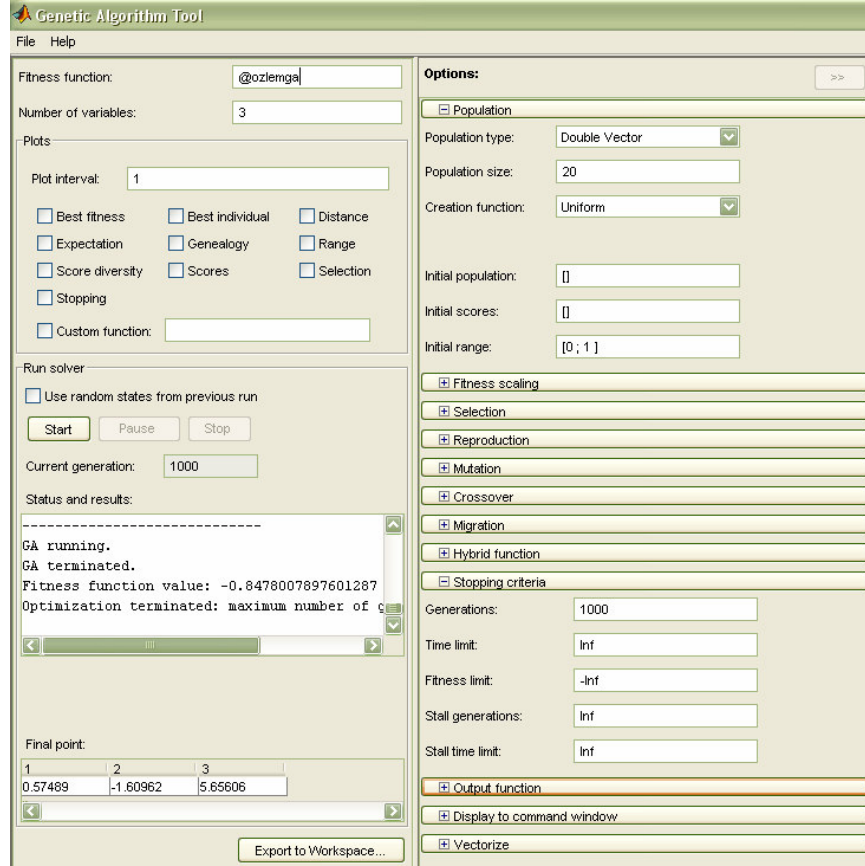


Şekil 6.16 DGA ile İterasyonlar Boyunca Uygunluk Fonksiyonunun Değeri

Diferansiyel gelişim algoritması yapılan optimizasyon sonucu, kesme parametreleri olan kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızı değerleri sırasıyla 1.7759, 0.2, 286.002 değerlerinde çalışıldığında yüzey pürüzlülüğünün 0.4283 elde edileceği görülmektedir. Şeki 6.16'da ise yüzey pürüzlülüğünün optimum değeri 0.75 değerlerinden düşmeye başlamış, 100 kadar iterasyonun ardından 0.4283 değerlerinde minimum ve kararlı hale gelmiştir. Elde edilen sonucun karşılaştırılması amacı ile bir de genetik algoritmalar ile optimizasyon yapılacaktır.

6.3.2.4. Genetik Algoritma ile Optimizasyon

Elde edilen modelin genetik algoritmalarla optimizasyonun yapılması için Matlab 7.0 programının GA Tool fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 6. 17 Matlab Programı Genetik Algoritma Modülünün Ekran Görüntüsü

$$X_1: 0.57489 \text{ -----} e^{0.57489} = 1.7769$$

$$X_2: -1.60962 \text{ -----} e^{-1.60962} = 0.200$$

$$X_3: 5.65606 \text{ -----} e^{5.65606} = 286.02$$

$$R_{\min} = -0.8478 = e^{-0.8478} = 0.4284$$

Burada $R_{\min}$, yüzey pürüzlülüğü yanıt değeridir. X_1 , X_2 , X_3 kesme derinliği, ilerleme hızı ve yüzey hızı değerlerinin logaritmik olarak dönüştürülmüş halidir.

Kullanılan parametreler:

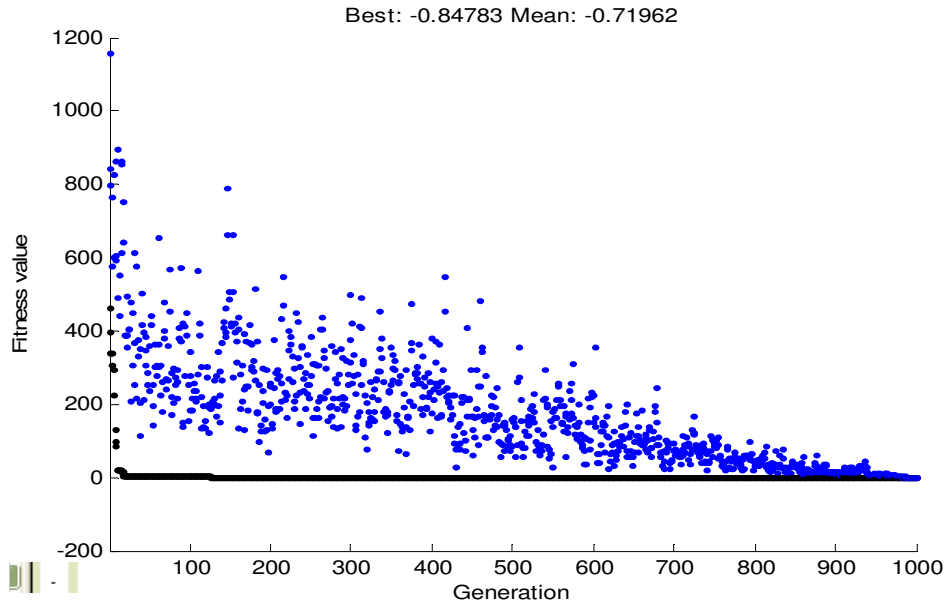
Kullanılan popülasyon büyüklüğü: 20

Jenerasyon sayısı: 1000

Kullanılan fonksiyon: Uniform

Çaprazlama: Tek noktalı

Şekil 6.18’de jenerasyon boyunca uygunluk fonksiyonunun aldığı değerler ve ilerleyen jenerasyon sayısı ile optimum değere yaklaşması görülmektedir.



Şekil 6. 18 GA ile İterasyonlar Boyunca Uygunluk Fonksiyonunun Değeri

Genetik Algoritmalar ile yapılan optimizasyon sonucu, kesme parametreleri olan kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızı değerleri sırasıyla 1.7769, 0.2, 286.02 değerlerinde çalışıldığında yüzey pürüzlülüğünün 0.4284 elde edileceği görülmektedir. Elde edilen 0. 4284 değeri ile diferansiyel gelişim algoritmasının elde ettiği sonuçlara çok yakın sonuçlar bulunmuştur. Şekil 6.16 ve 6.18 karşılaştırılmasıyla anlaşılabileceği gibi genetik algoritmalarda bininci iterasyona yaklaşırken sistem kararlı hale gelmiş ve optimum sonuca ulaşılmış, aynı değer diferansiyel algoritmalarda yediyüz rakamıyla sınırlı kalmıştır. Diferansiyel algoritmalar bu problemde çok daha az iterasyon yapılmasıyla optimum sonucu bulmuştur.

SONUÇ

Herhangi bir kesme işleminde mümkün olan en düşük maliyetin elde edilmesi işleme maliyeti analizi açısından çok kritiktir. Herhangi bir kesme operasyonunun doğru analizinin yapılması, birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin analizleri, ana etkileri ve birbirleriyle olan etkileşimleri deney tasarımı yöntemlerinin kullanılmasıyla yapılmıştır. Talaş kaldırma ekonomik bir etkinliktir, zaman ve maliyet arasında bir uzlaşma sağlanması esastır. Deney tasarımı ile tasarlanan deneyler sayesinde zaman ve maliyet açısından tasarruf yapılarak, elde edilen modellerin optimize edilmesi sayesinde firmanın gelecek işlemlerinde de işgücü ve malzemedan tasarruf yapması sağlanmıştır. Bir talaş kaldırma işleminde amaç, minimum maliyette veya minimum zamanda maksimum üretim miktarı olduğuna göre kesme şartları buna göre seçilmelidir. Yüksek hız ve ilerleme miktarında sık sık takım değişikliği gerekeceğinden maliyetler yüksek olacak, düşük hızlar ve ilerlemede, maliyet, uzun işleme zamanı için işçi ve tezgah kullanımı maliyeti nedeniyle yüksek olacak ve istenilen yüzey kalitesi elde edilmeye kadar belirli bir bitirme yüzeyi iyileştirilmeye çalışılacaktır. Bu yüzden optimum kesme şartlarının kullanımı zamanın en verimli kullanılmasını sağlayacak, maliyeti düşürecektir.

Talaşlı imalatta, talaşlı işleme şartlarının deney tasarımı yöntemlerinden yüzey yanıt yöntemi ile elde edilen model, bilgisayar destekli proses planlama ve bilgisayar destekli imalatta da kullanılabilmesi açısından işletme için çok önemlidir. Çeşitli talaşlı işlemlere tabi tutulan sıkı tolerans aralıklarıyla üretilen yüksek kaliteli malların üretim planlama aşamalarında ve takım tezgahlarının otomasyon kontrolünde talaşlı işleme şartlarının rolü büyüktür. Talaşlı imalat parametrelerinin modellenmesi ve optimize edilmesi yalnızca talaşlı imalat ekonomisinin getireceği faydayı artırmamakta, ayrıca ürün kalitesini de büyük ölçüde artırmakta, zaman ve maliyet kalemlerindeki düşüş ile üretim miktarına da büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Dünyada talaşlı imalatta kesme sıvılarının kullanılması sınırlandırılmakta, çevreye olumsuz etkileri ve yüksek maliyeti nedeniyle terk edilmektedir. Tez çalışmasında kesme sıvılarının kullanılması ve kesme sıvılarının

kullanılmaması durumunda kesme şartlarının torlama prosesinde yüzey pürüzlülüğüne etkileri karşılaştırılmıştır. Çalışma Aisi 4140 malzemesinin karpit kesici takımlarının kesme sıvısı kullanılması ve kullanılmaması durumunda incelenmesi açısından yenidir, bu amaçla yapılan bir çalışma yapılan literatür çalışmasında daha önce rastlanmamıştır.

Karşılaştırma yapılan bir başka konu ise deney tasarımı yöntemlerinden Taguchi ve Yüzey Yanıt Yönteminin torna tezgahında kesme şartlarının modellenmesindeki etkinlikleridir. Taguchi yöntemi, endüstrideki yaygın kullanımı ve diğer deney tasarım metotlarına kıyasla kullanım kolaylığı yüzünden tezde yer verilmiştir. Yüzey yanıt yöntemi ise daha karmaşık istatistik ve matematik bilgisi gerektiren bir yöntemdir. Her ikisinin de kullanım amaçları ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Uygulanan Taguchi deney tasarımı ile iki seviyeli üç faktörün ana etkileri ve birbirleriyle olan etkileşimleri hakkında yalnızca 8 deney yapılması ile bilgi edinebilmektedir. Taguchi deney tasarımı analizinde, “en küçük en iyi” sinyal gürültü oranı ile en düşük yüzey pürüzlülüğünü veren kesme şartları bulunmuştur. Sinyal gürültü oranlarının grafikleri ile de kesme faktörleri ve birbiriyle olan etkileşimleri ile ilgili fikir alınabilmektedir. Taguchi tasarımları genellikle düşük çözümlü tasarımlardır. Düşük çözümlü tasarımlarda etkileşim etkileri ve ana etkiler eşdeştirler. Bu sebeplerden dolayı Taguchi tasarımının faktörler için planlama aşamasında belirlenen seviyeler için optimum noktanın araştırılmasında kullanılmıştır. Taguchi analizinde yalnızca anaova analizi ve sinyal gürültü analizi kullanılmaktadır. Taguchi analizi ile faktörlerin yanıt değişkenine birinci dereceden etkileri saptanabilirken ikinci dereceden ve daha fazla dereceli etkileri hakkında bilgi alınamamakta dolayısı ile geçerli bir model elde edilememektedir.

Uygulamada kullanılan yanıt yüzeyi tasarımlarından Box Behnken için 15 deney gerekmektedir. Taguchi deney tasarımına göre neredeyse 2 katı deney gerektirmesine rağmen, aradaki bu fark regresyon analizi ve yanıt yüzey grafiklerinin elde edilebilmesi için kullanılmaktadır. Bu sayede sadece faktörlerin ana etkileri değil, birbirleriyle olan etkileşimleri de elde edilmekte, doğrusal olmayan modeller elde edilebilmektedir. Bu modeller ve çizilen yanıt yüzeyleri sayesinde ilgilenilen

sistem hakkında bilgi edinilebilmektedir. Yanıt yüzey tasarımları ile yalnızca belirlenen seviyelerde değil, bu seviyelerin alt ve üst seviyeleri arasındaki herhangi bir noktada bulunan optimum noktaların seçilmesi de mümkün olacaktır. Box Behnken tasarımı, tasarım küpü düşünülecek olduğunda küpün uç noktalarında değer içermemekte böylece tasarım faktörlerin alabileceği uç noktalar yerine daha makul noktalar ile deney yapılmasını sağlayarak, hem fiziksel hem de ekonomik açıdan zor olan bölgelerde çalışılmasını önlemektedir.

Talaşlı imalatta tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü minimize eden kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı faktörlerinin optimum değerlerinin tespit edilmesinde sezgisel algoritmalarından diferansiyel gelişim algoritması ve genetik algoritmalar kullanılmıştır. Sezgisel algoritmalar klasik optimizasyon yöntemlerine göre daha kolay ve çabuk çözüm sağlamaktadır. Diferansiyel gelişim algoritması, genetik algoritmalarından esinlenerek geliştirilmiş bir algoritma olmasına rağmen, sürekli verilerin optimizasyonunda daha iyi çalışır. Bu durum yapılan çalışmada da kendini göstermiştir. Genetik algoritmalar yediyüz iterasyon civarında kararlı hale gelip optimum sonuca ulaşırken, bu durum diferansiyel gelişim algoritması ile yapılan optimizasyonda yüz iterasyon civarındadır. Yapılan uygulamada diferansiyel gelişim algoritması için popülasyon büyüklüğü on iken genetik algoritmada yirmidir. Buna rağmen diferansiyel gelişim algoritması optimum sonuca daha hızlı ulaşmıştır. Bu da diferansiyel gelişim algoritmasının sürekli verilerde, genetik algoritmalara ne kadar iyi bir alternatif olduğunu ispatlamaktadır. Ayrıca kullanılan diferansiyel gelişim algoritmasının, yüzey yanıt yöntemi işbirliği ile elde edilen modeli optimizasyonu, literatür araştırmasında karşılaşılmayan, alanında ilk olan bir çalışmadır.

Prosesi etkileyen 3 önemli faktör olan kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızının optimize edilmek istenen kalite karakteristiği olan yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri incelenmiştir. Prosese etki eden faktörlerin incelenmesinde her faktörün tek tek etkisinin yanı sıra faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve ikinci dereceden etkileri de ortaya konulmuştur. Kesme hızı, talaşlı imalat yöntemlerinin hepsinde olduğu gibi tornalama proseslerinde de en önemli faktörlerden biridir. Kesme sıvısı

kullanılarak yapılan deneylerde olduğu gibi kesme sıvısı kullanılmadan yapılan deneylerde de kesme hızı faktörünün yüzey pürüzlülüğüne etkisi, istatistik olarak anlamlı çıkmıştır. Tornalama işleminde kesme sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde kesme hızının ikinci dereceden etkisi saptanmamış, yalnızca birinci dereceden pozitif bir etki saptanmıştır. Kesme sıvısı kullanılmadan yapılan tornalama deneylerinde, kesme hızı faktörünün yüzey pürüzlülüğüne negatif etkisi ile en önemli etkiyi yapmış olduğu tespit edilmiştir. Bu negatifliğin anlamı, yüksek kesme hızlarında düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edileceğidir. Kesme hızının ikinci dereceden etkisi ve kesme derinliği ile olan etkileşimi de anlamlı ve önemli etkilerdendir. Etkileşimler yüzey grafiklerinde de net olarak görülebilmektedir. Kesme hızının yüksek, kesme derinliğinin düşük olduğu noktalarda yüksek yüzey pürüzlülük değeri elde edilirken, pürüzlülük değeri kesme hızının düşük kesme derinliğinin yüksek olduğu değerlerde de artmaktadır. Elde edilen modelden de anlaşılabileceği gibi kesme derinliği ve kesme hızı arasındaki etkileşim kayda değerdir. İlerleme hızı ve kesme hızı arasındaki etkileşim yüzey grafiklerinde görülebilsede bu etkileşim anlamlı çıkmadığı için modelden çıkarılmıştır.

Kesme sıvısı kullanılması ile yapılan tornalama işleminde ilerleme hızının birinci dereceden ve ikinci dereceden etkisi önemli ve pozitif çıkmıştır. Kesme hızı ile olan etkileşimi olsa da yok denecek kadar azdır ihmal edilebilir. Kesme sıvısı kullanılmadan yapılan deneylerde ise ilerleme hızının etkisi diğer ana faktörlere kıyasla azdır. İlerleme hızının birinci ve ikinci dereceden etkileri modelde anlamlı çıkmışsa da, modeldeki yüzey pürüzlülüğüne en az etkiyi yapan faktördür. Etkileşim yüzey grafiklerinde de görüldüğü gibi kesme hızı ile etkileşimi vardır. Yüksek ilerleme hızlarında ve düşük kesme hızında düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiş olsa dahi, modelde anlamlı çıkmadığı için modelden çıkarılmıştır.

Kesme sıvısı kullanılarak yapılan deneyde kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi negatif çıkmıştır yani artan kesme derinliklerinde yüzey pürüzlülük değerleri azalır. Kesme derinliğinin kesme hızıyla etkileşimi ise yok denecek kadar azdır. Kesme sıvısı kullanılmadan yapılan tornalama deneyinde ise kesme derinliğinin pozitif yönde etkisi çok kuvvetlidir. Kesme derinliğinin ilerleme

hızı ve kesme hızı ile etkileşimleri mevcuttur. Kesme hızının yüksek kesme derinliğinin düşük olduğu noktalarda, yüksek yüzey pürüzlülük değeri elde edilirken, pürüzlülük değeri kesme hızının düşük kesme derinliğinin yüksek olduğu değerlerde de artmaktadır. Elde edilen modelden de anlaşılacağı gibi kesme derinliği ve kesme hızı arasındaki etkileşim kayda değerdir. Kesme derinliği ve ilerleme hızı arasındaki etkileşim neredeyse doğrusaldır.

Her iki deneyde de Aisi 4140 malzemesi kullanılmasına rağmen, kesme sıvısı kullanılması ve kullanılmaması hallerinde farklı modeller elde edilmiştir. Farklı modeller elde edilmesinde kesme sıvıları faktörünün yanı sıra, kullanılan torna tezgahının modeli, durumu hatta tezgahın durduğu zeminin dahi etkisi vardır. Kesme sıvıları kullanımının dünyada azaltılmasına doğru gidişatın gerek çevre gerek maliyete olan zararlı etkilerinin getirdiği haklı sebeplerle, kesme sıvısı kullanılmadan yapılan deneyde elde edilen model optimize edilmiştir. Kesme sıvısı kullanımı ve kullanılmamasının elde edilecek modele ve dolayısı ile optimum kesme şartlarına etkisinin incelenmesi yenidir. Türkiye’de talaşlı imalat atölyelerinde kesme sıvısı kullanılmaması söz konusu bile edilemezken, KaleKalıp gibi talaşlı imalatın önemli yer tuttuğu fabrikalar için önemli bir maliyet kalemi olduğundan, bu çalışma konuya ışık tutacaktır.

Kesme şartlarının optimizasyonuna tez kapsamında verilen önem yeterince fazladır. En yeni sezgisel algoritmalarından Diferansiyel Gelişim Algoritmasının, deney tasarımı yöntemleri birlikte kullanımı yapılan literatür araştırmasına göre ülkemizde bir ilktir. Deney tasarımı tekniklerinin kullanımının da yine yapılan araştırmalar sonucu sınırlı olduğu görülmüştür. Özellikle yüzey yanıt yöntemleri ile yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu tez çalışması literatüre talaşlı imalatla yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi için, Box Behnken yönteminin endüstride sıkça kullanılan Taguchi yöntemi ile karşılaştırılması ile de bir katkı sağlamaktadır.

Gelecekte optimum kesme şartlarının kullanılması ve kullanılmaması durumlarında maliyet hesaplamaları ve ayrıca kesme sıvılarının kullanımının işletmeye ve çevreye getirdiği maliyetlerle ilgili çalışmalarının yapılması, literatüre katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Abdou, G.,
J .Yien : “Analysis of Force Patterns and Tool Life in Milling Operations”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 10, 1995, s.11-18.
- Akkurt, Mustafa : **Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları (CNC) ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat (CAD-CAM) Sistemleri**, İstanbul, Birsen Yayınevi, 1996.
- Altın, A.,
H.Gökkaya,
M. Nalbant : “İşleme Parametrelerinden Kesme Hızının İnconel 718 Süper Alaşımın İşlenebilirliğine Etkisi”, **Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der.**, 21, 3, 2006, s.581-586.
- Akkurt, Mustafa : **Kalite Kontrol: Excel Destekli**, İstanbul, Birsen Yayınevi, 2002.
- Altıntaş, Yusuf : **Manufacturing Automation**, Vancouver, Cambridge University Press, 2000.
- Aytimur, Selçuk : **Kalite Sistem Dökümantasyonu**, İstanbul, Kalder Yayınları, 1997.
- Baynal, Kasım,
Sema Boran : “Taguchi Yöntemi’nin Çok Yanıtlı Problemlerde AHP ile Kullanımı ve Kayıp/Uygun Olmayan Verilerin Değerlendirilmesi”, **YA/EM 2006 Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği – XXVI. Ulusal Kongresi**, 3-5 Temmuz 2006, Kocaeli, 2006.
- Bayraktar, Erkan : **Üretim ve Hizmet Süreçlerinin Yönetimi**, İstanbul, Çağlayan Kitabevi, 2007.
- Besterfield, Dale H. : **Quality Control**, Ohio, Prentice Hall Inc., 1998.

- Berger, Paul, D., : **Experimental Design with Applications in Management**
Robert E. Maurer **Engineering and Sciences**, Duxbury, Thomson Learning,
2002.
- Canyılmaz, E., : “Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir
F. Kutay Yaklaşım” **Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık**
Fakültesi Dergisi, Cilt 18, No.3, 2003, s.51-63
- Cerit, Münir : **Makina Mühendisliği El Kitabı Üretim Ve Tasarım**,
Ankara, Makina Mühendisliği Odası Yayınları, 1996.
- Chang, I., : “Computer Vision Based Non-Contact Surface Roughness
Shing Ravathur, Assessment Using Wavelet Transform and Response Surface
S.Jayakumar Methodology”, **Quality Engineering**, 17, 2005, s.435-451.
- Chen, Quinghu, : “Surface Roughness Evaluation By Using Wavelets Analysis”,
Shunian Yang, **Precesion Engineering**, 1999, s.209-212.
Zhu Li
- Cornell, John.A : **How to Apply Response Surface Methodology**, American
Society of Quality Control, Milwaukee, Wisconsin, 1984.
- Coşkun, Can Aktan : “ Genichi Taguchi ve Kalite Mühendisliği”, (Çevrimiçi)
http://www.canaktan.org/yonetim/toplam_kalite/gurular/taguchi.htm, 01.10.2007
- Çetin, Canan, : **Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi**,
Besim Akın, İstanbul, Beta Basım A.Ş., 2001.
Vedat Erol

- Çömlekçi, Necla : **Deney Tasarımı İlke ve Teknikleri**, İstanbul, Alfa, 2003.
- Danilevsky, V. : **İmalat Mühendisliği**, Çev. Emin Bahadır Kantaroğlu, Ankara, Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:121, 1987.
- Dinçel, Muhammed : “CNC Takım Tezgahları” Makine Mühendisi Makaleler” (Çevrimiçi), <http://www.makinamuhendisi.com>, 10.06.2006
- Doğruer, Mete: : **Üretim Organizasyonu ve Yönetimi**, İstanbul, Alfa Yayınevi, 2005.
- Dowey, S. J., : “Taguchi and TQM Quality Issues for Surface Engineered applications”, **Surface and Coatings Technology**, 110, 1998.
- A. Matthews
- El-Mounayri, : “Enhanced Modeling and Optimization of Milling using Hybrid Technique”, **Transactions of the CSME**, Vol.26, Hazim, No.2, 2002, s.179.
- Mohamed Gadallah, H. Jorge Briceno
- Natrella, Marry : **NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods**, (Çevrimiçi), <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/> 1/26/2005.
- Erzurumlu, T., : “Comparison of Response Surface Model With Neural Network in Determining the Surface Quality of Moulded Parts”, **Materials & Design**, 28, 2007, s.459-465.
- H.Öktem
- Evans, James R., : **The Management and Control of Quality**, New York US., William M. Lindsay West Publishing Company, 1989.

- Feigenbaum, A.,V. : **Total Quality Control**, Singapore, McGraw-Hill, 1991.
- Feng, C.X. (Jack) : “An Experimental Study of The Impact of Turning Parameters on Surface Roughness”, **Proceedings of the 2001 Industrial Research Conference**, Institute of Industrial Engineers, 2001, s.2036.
- Feng, C.X. (Jack) : “Development of Emprical Models for Surface Prediction in
X. Wang Finish Turning”, **Advanced Manufacturing Technology**, 20, 2002, s.348-356.
- Feng, C.X. (Jack) : “Surface Roughness Predictive Modelling: Neural Networks
X. Wang Versus Regression”, **IIE Tansactions on Design and Manufacturing**, 2002 .
- Flood, Robert L. : **Beyond TQM**, London, John Wiley & Sons, 1993.
- Frigon, Normand L. : **Practical Guide to Experimental Design**, Newyork US, John
David Mathews Wiley&Sons Inc.,1997.
- Gitlow, Howard, : **Quality Management**, Homewood IL. US., Irwin Inc., 1995.
Alan Oppenheim,
Rosa Oppenheim
- Goldberg, D.E. : **Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning**, Redwood City Mass. US., Addison Wesley Publishing Company, 1989.

- Gökkaya, Hasan : “Kaplamaşız Sementit Karbür Kesici Takım ve Kesme
Gökhay Sur, Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel
Hakan Dilipak olarak İncelenmesi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 2006, 12, 1, s.59-64.
- Gürsakal, Nemci : **Altı Sigma** , Bursa, Vipaş, 2003.
Ayşe Oğuzlar
- Hrstka, Andrej, : “Improvements of Real Coded Genetic Algorithms Based On
Anna Kucerova Differential Operators Preventing Premature Convergence”,
Advances in Engineering Software, 35, 2004, s. 237-246.
- Holland, J. H., : **Adaptation in Natural and Artificial Systems: an
Introductory Analysis with Applications to Biology,
Control and Artificial Intelligence**, MI. US., University of
Michigan Press, 1975.
- Idris, A., : “Optimization of Cellulose Acetate Hollow Fiber Reverse
A. F.İsmail, Osmosis Membrane Production Using Taguchi Method”,
M. Y.Noordin, **Journal of Membrane Science**, 205, 2002, s. 223-237.
S. J.Shilton
- Juran, Joseph M., : **Juran’s Quality Handbook**, New York, US, McGraw-Hill, 5.
A. Blanton Godfrey Edition, 1998.
- Josso, Bruno, : “Wavelet strategy for surface roughness analysis and
David, R. Burton characterisation”, **Computer Methods in applied mechanics
and engineering**, 191, 2001, s.829-842.

- Karaboğa, Derviş : **Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları**, İstanbul, Atlas Yayın Dağıtım, 2004.
- Kenneth, Price V. : “Differantial Evolution vs. the Functions of the 2nd ICEO”, **IEEE International Conference Evolutionary Computation**, 13-16 April 1997, Indianapolis, IN, USA, s.153-157.
- Keskintürk, Timur : “Diferansiyel Gelişim Algoritması”, **İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, Sayı: 9, 2006, s.85-99.
- Khuri A. I., J. A.Cornell : **Response Surfaces: Designs and Analysis**, New York, Marcel Dekker, 1987.
- Kim, Byungwhan, Suk Woo Kim : “Wavelet Uniformity of Plasma- Processed Surface Roughness”, **Surface Engineering Surface Instrumentation and Vacuum Technology**, 81, 2007, s.649-655.
- Kobu, Bülent : **Endüstriyel Kalite Kontrolü**, İstanbul, İşletme İktisadi Enstitüsü Yayınları, 1987.
- Kobu, Bülent : **Üretim Yönetimi**, İstanbul, İşletme İktisadi Enstitüsü Yayınları, 1998.
- Kopac, J. : “Influence of Cutting Material and Coating Ontool Quality and Tool Life”, **Journal of Material Processing Technology**, 78, 1998, s.95-103

- Kwak, J. S. : “Application of Taguchi and Response Surface Methodologies for Geometric Error in Surface Grinding Process”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 45, 2005, s. 327-334.
- Loh, Sang Teck : “A Genetic Algorithm for Sequential Part Assignment for PCB Assembly”, **Computers and Industrial Engineering**, 40, 2001, s.293-307.
 Bukkapatnam,
 T. S. Satish,
 Deborah Medeiros,
 Hongkyu Kwon
- Mayer, D.G, : “Differential Evolution-an Easy and Efficient Evolutionary
 B. P. Kinghorn, Algorithm For Model Optimization”, **Agricultural Systems**,
 A.A. Archer 83, 2005, s.315-328.
- Michalewicz, Z. : **Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs**, US., Springer & Verlag, 1992.
- Montgomery, : **Design and Analysis of Experiments**, 6th. Edition, Danvers,
 Douglas C. MA, John Willey & Sons, Inc., 2005.
- Montgomery, : “The Use of Statistical Process Control and Design of
 Douglas C., Experiments in Product and Process Improvement”, **III Transactions**; Nov 1992; 24, 5; ABI/INFORM Global.
- Montgomery, : **Design and Analysis of Experiments**, 5th Edition, Danvers,
 Douglas C. MA, John Willey & Sons, Inc., 1997.

- Noordin, M.Y.,
V.C.Venkatesh,
S. Sharif,
S. Elting,
A.Abdullah : “Application of Response Surface Methodology in Describing the Performance of Coated Carbide Tools When Turning AISI 1045 steel”, **Journal of Materials Processing Technology**, 145, 2004, s.46-58.
- Orhunbilge, Neyran : **Örnekleme Yöntemleri ve Hipotez Testleri**, İstanbul, İ.Ü. Basım ve Yayınevi Müdürlüğü, 1997.
- Orhunbilge, Neyran : **Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi**, İstanbul, İ.Ü. Basım ve Yayınevi Müdürlüğü, 2002.
- Öktem, H., T.
Erzurumlu,
H.Kurtaran : “Application of Response Surface Methodology in the Optimization of Cutting Conditions for Surface Roughness”, **Journal of Materials Technology**, 170, 2005, s.11-16.
- Özçakar, Necdet : “Genetik Algoritmalar”, **İşletme Fakültesi Dergisi**, Cilt 27, Sayı 1, Nisan 1998.
- Özdemir, Gültekin : “Tasarımla Gelen Kalite”, **YA/EM 2006 Yöneylem Araştırması/ Endüstri Mühendisliği – XXVI. Ulusal Kongresi**, 3-5 Temmuz 2006, Kocaeli, s.249.
- Özler, Cenk : **“Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacı ile Kullanılması Üzerine Bir Araştırma”**, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilimdalı, 1997.
- Paul, D.,
Robert Berger,
E. Maurer : **Experimental Design With Applications In Management Engineering and Sciences**, Duxbury, 2002.

- Penev, Kalin, : “Free Search-a Comparative Analysis” **Information Sciences** ,
Guy Littlefair 172, 2005, s.173-193.
- Pyzdek, Thomas : **Six Sigma Handbook**, New York, US, Mc Graw Hill, 2003.
- Reddy, N., : “A Genetic Algorithmic Aproach For Optimization Of Surface
Suresh Kumar, Roughness Prediction Model In Dry Machining”, **Machine
and Science and Technology**, 9, 2005, s.63-84.
Rao P.
Venkateswara
- Reddy, N., : “Selection of Optimum Tool Geometry and Cutting Conditions
Suresh Kumar, Using Surface Roughness Prediction Model For End Milling”
Rao P. **International Journal Of Advanced Manufacturing
Technology**, 26, 2005, s.1202-1210.
Venkateswara
- Reeves, Collin R. : **Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems**,
US, McGrawHill Book Company, 1995, s.6.
- Roverato, Alberto, : “Technological Modelling For Graphical Models: An
Sandra Paterlini Approach Based On Genetic Algorithms”, **Computational
Statistics and Data Analysis**, 47, 2004, s.323-327.
- Schmidt, H. : “A Combined Heuristic Optimization Technique”, **Advances
in Engineering Software**, 36, 2005, s. 11-19.
G. Thierauf
- Sharma, P., : “Process Parameter Selection For Strontium Ferrite Magnets
A.Verma, Using Taguchi L9 Orthogonal Design”, **Journal of Materials
Processing Technology**, 2005, 168, s. 147-151.
R. K.Sidhu,
O.P.Pandey

- Solar, Mauricio,
Victor Parada,
Rodrigo Urrutia : “A Parallel Genetic Algorithm To Solve The Set Covering Problem”, **Computers and Operations Research**, 29, 2002, s.1221-1235.
- Storn, R.,
K. Price : “Differential Evolution a Simple And Efficient Adaptive Scheme For Global Optimization Over Continuous Spaces”, **Technical Report**, TR 95 012, ICSI,1995.
- Summers, Donna
C.S. : **Quality**, Ohio, Prentice Hall Inc., 2000.
- Suresh, P.V.S.,
Venkateswara P.
Rao,
S.G.Deshmukh : “A Genetic Algorithmic Approach For Optimization of Surface Roughness Prediction Model”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 42, 2002, s.675–680
- Şahin, Yusuf : **Talaş Kaldırma Prensipleri 1**, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- Şahin, Yusuf : **Talaş Kaldırma Prensipleri 2**, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2001.
- Şahin, Yusuf,
A. Riza Motorcu : “Surface Roughness Model For Machining Mild Steel With Coated Carbide Tool”, **Materials and Design**, 26, 2005, s.321-326.

- Şirvancı, Mete : **Kalite İçin Deney Tasarımı: Taguchi Yaklaşımı**, İstanbul, Literatür Yayıncılık, 1997.
- Taptık, Yılmaz, Özgül Keleş : **Kalite Savaş Araçları**, İstanbul, Kalder Yayınları, No:23, 1998.
- Taha, Hamdi : **Yöneylem Araştırması**, Çev: Alp Baray, Şakir Esnaf, İstanbul, Literatür Yayıncılık, 2000.
- Taraman, Khalil S., Brian K. Lambert : “Application Of Response Surface Methodology to The Selection Of Machining Variables”, **AIIE Transactions**, June 1972, vol 4, issue 2, s. 111-115.
- Tosun, Nihat, Gül Tosun : “Minimum Yüzey Pürüzlülüğü Koşulu İçin Delme Parametrelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu” **F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 16(2), 2004, 301-309.
- Yamak, Oygur : **Üretim Yönetimi**, İstanbul, Alfa Yayınevi, 1993.
- Yurci, Mehmet Emin : **Talaşsız Şekil Verme**, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayım Merkezi, İstanbul, 2003.
- Zhang, J.Z., C. J. Chen, E. D. Kirby : “Surface Roughness Optimization In An End-Milling Operation Using The Taguchi Design Method”, **Journal of Materials Processing Technology**, 2007, 184, s.233-239.

Zuperl, Uros, Francis Cus : “Optimization Of Cutting Conditions During Cutting By Using Neural Networks”, **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, Volume 19, Issues 1-2, February- April, 2003, s. 189-199.

(Çevrim içi), <http://www.kalekalip.com.tr>, 04.10.2007.

EKLER

EK 1 Kesme Sivisi Kullanılan Deney

Observation	C10	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	0.445	0.435	0.018	0.010	0.31
2	0.447	0.464	0.018	-0.017	-0.56
3	3.144	3.106	0.018	0.038	1.21
4	3.242	3.214	0.018	0.028	0.90
5	1.481	1.513	0.018	-0.032	-1.03
6	1.605	1.633	0.018	-0.028	-0.89
7	1.697	1.671	0.018	0.026	0.83
8	1.733	1.688	0.018	0.045	1.44
9	0.716	0.662	0.018	0.054	1.72
10	3.398	3.372	0.018	0.026	0.84
11	0.731	0.768	0.018	-0.037	-1.19
12	3.432	3.479	0.018	-0.047	-1.50
13	1.671	1.721	0.012	-0.050	-1.47
14	1.710	1.721	0.012	-0.011	-0.33
15	1.742	1.721	0.012	0.021	0.61
16	0.435	0.435	0.018	-0.000	-0.01
17	0.448	0.464	0.018	-0.016	-0.53
18	3.119	3.106	0.018	0.013	0.41
19	3.193	3.214	0.018	-0.021	-0.67
20	1.464	1.513	0.018	-0.049	-1.58
21	1.609	1.633	0.018	-0.024	-0.77
22	1.700	1.671	0.018	0.029	0.93
23	1.751	1.688	0.018	0.063	2.01R
24	0.706	0.662	0.018	0.044	1.40
25	3.381	3.372	0.018	0.009	0.29
26	0.733	0.768	0.018	-0.035	-1.13
27	3.409	3.479	0.018	-0.070	-2.23R
28	1.697	1.721	0.012	-0.024	-0.71
29	1.731	1.721	0.012	0.010	0.29
30	1.762	1.721	0.012	0.041	1.20
31	0.435	0.435	0.018	-0.000	-0.01
32	0.450	0.464	0.018	-0.014	-0.46
33	3.104	3.106	0.018	-0.002	-0.07
34	3.198	3.214	0.018	-0.016	-0.51
35	1.464	1.513	0.018	-0.049	-1.58
36	1.611	1.633	0.018	-0.022	-0.70
37	1.690	1.671	0.018	0.019	0.61
38	1.711	1.688	0.018	0.023	0.73
39	0.687	0.662	0.018	0.025	0.79

40	3.419	3.372	0.018	0.047	1.51
41	0.758	0.768	0.018	-0.010	-0.33
42	3.473	3.479	0.018	-0.006	-0.18
43	1.692	1.721	0.012	-0.029	-0.86
44	1.735	1.721	0.012	0.014	0.41
45	1.750	1.721	0.012	0.029	0.85

EK 2 Birinci Dereceden Kesme Sıvılı

Observation	C10	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	0.445	0.422	0.059	0.023	0.13
2	0.447	0.490	0.059	-0.043	-0.25
3	3.144	3.132	0.059	0.012	0.07
4	3.242	3.201	0.059	0.041	0.24
5	1.481	1.724	0.059	-0.243	-1.42
6	1.605	1.792	0.059	-0.187	-1.09
7	1.697	1.830	0.059	-0.133	-0.78
8	1.733	1.899	0.059	-0.166	-0.97
9	0.716	0.403	0.059	0.313	1.83
10	3.398	3.113	0.059	0.285	1.66
11	0.731	0.509	0.059	0.222	1.29
12	3.432	3.220	0.059	0.212	1.24
13	1.671	1.811	0.027	-0.140	-0.78
14	1.710	1.811	0.027	-0.101	-0.57
15	1.742	1.811	0.027	-0.069	-0.39
16	0.435	0.422	0.059	0.013	0.08
17	0.448	0.490	0.059	-0.042	-0.25
18	3.119	3.132	0.059	-0.013	-0.08
19	3.193	3.201	0.059	-0.008	-0.04
20	1.464	1.724	0.059	-0.260	-1.52
21	1.609	1.792	0.059	-0.183	-1.07
22	1.700	1.830	0.059	-0.130	-0.76
23	1.751	1.899	0.059	-0.148	-0.86
24	0.706	0.403	0.059	0.303	1.77
25	3.381	3.113	0.059	0.268	1.56
26	0.733	0.509	0.059	0.224	1.30
27	3.409	3.220	0.059	0.189	1.11
28	1.697	1.811	0.027	-0.114	-0.64
29	1.731	1.811	0.027	-0.080	-0.45
30	1.762	1.811	0.027	-0.049	-0.28
31	0.435	0.422	0.059	0.013	0.08
32	0.450	0.490	0.059	-0.040	-0.24
33	3.104	3.132	0.059	-0.028	-0.16

34	3.198	3.201	0.059	-0.003	-0.01
35	1.464	1.724	0.059	-0.260	-1.52
36	1.611	1.792	0.059	-0.181	-1.06
37	1.690	1.830	0.059	-0.140	-0.82
38	1.711	1.899	0.059	-0.188	-1.09
39	0.687	0.403	0.059	0.284	1.66
40	3.419	3.113	0.059	0.306	1.78
41	0.758	0.509	0.059	0.249	1.45
42	3.473	3.220	0.059	0.253	1.48
43	1.692	1.811	0.027	-0.119	-0.67
44	1.735	1.811	0.027	-0.076	-0.43
45	1.750	1.811	0.027	-0.061	-0.34

EK 3 Kesme Sıvılı Etkileşim Çıkarılmış Hali

Observation	C10	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	0.445	0.435	0.018	0.010	0.31
2	0.447	0.464	0.018	-0.017	-0.57
3	3.144	3.106	0.018	0.038	1.23
4	3.242	3.214	0.018	0.028	0.91
5	1.481	1.513	0.018	-0.032	-1.05
6	1.605	1.633	0.018	-0.028	-0.91
7	1.697	1.671	0.018	0.026	0.84
8	1.733	1.688	0.018	0.045	1.46
9	0.716	0.662	0.015	0.054	1.66
10	3.398	3.372	0.015	0.026	0.80
11	0.731	0.768	0.015	-0.037	-1.15
12	3.432	3.479	0.015	-0.047	-1.43
13	1.671	1.721	0.012	-0.050	-1.49
14	1.710	1.721	0.012	-0.011	-0.33
15	1.742	1.721	0.012	0.021	0.62
16	0.435	0.435	0.018	-0.000	-0.01
17	0.448	0.464	0.018	-0.016	-0.53
18	3.119	3.106	0.018	0.013	0.42
19	3.193	3.214	0.018	-0.021	-0.68
20	1.464	1.513	0.018	-0.049	-1.60
21	1.609	1.633	0.018	-0.024	-0.78
22	1.700	1.671	0.018	0.029	0.94
23	1.751	1.688	0.018	0.063	2.04R
24	0.706	0.662	0.015	0.044	1.35

25	3.381	3.372	0.015	0.009	0.27
26	0.733	0.768	0.015	-0.035	-1.09
27	3.409	3.479	0.015	-0.070	-2.14R
28	1.697	1.721	0.012	-0.024	-0.72
29	1.731	1.721	0.012	0.010	0.29
30	1.762	1.721	0.012	0.041	1.22
31	0.435	0.435	0.018	-0.000	-0.01
32	0.450	0.464	0.018	-0.014	-0.47
33	3.104	3.106	0.018	-0.002	-0.07
34	3.198	3.214	0.018	-0.016	-0.52
35	1.464	1.513	0.018	-0.049	-1.60
36	1.611	1.633	0.018	-0.022	-0.71
37	1.690	1.671	0.018	0.019	0.62
38	1.711	1.688	0.018	0.023	0.74
39	0.687	0.662	0.015	0.025	0.77
40	3.419	3.372	0.015	0.047	1.44
41	0.758	0.768	0.015	-0.010	-0.32
42	3.473	3.479	0.015	-0.006	-0.17
43	1.692	1.721	0.012	-0.029	-0.87
44	1.735	1.721	0.012	0.014	0.41
45	1.750	1.721	0.012	0.029	0.86

Ek 4 Kesme Sıvısız Deney Birinci Dereceden

Obs	StdOrder	C7	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	1	0.967	0.829	0.131	0.138	0.33
2	2	1.270	1.150	0.136	0.120	0.29
3	3	1.244	1.487	0.144	-0.243	-0.59
4	4	1.812	0.980	0.141	0.831	2.02 R
5	5	0.599	0.753	0.132	-0.154	-0.37
6	6	1.605	1.410	0.145	0.195	0.48
7	7	0.358	0.918	0.066	-0.560	-1.30
8	8	0.049	0.918	0.066	-0.869	-2.02 R
9	9	0.322	0.918	0.066	-0.596	-1.38
10	10	1.364	1.241	0.150	0.123	0.30
11	11	0.775	0.583	0.136	0.191	0.46
12	12	0.531	0.476	0.137	0.054	0.13
13	13	1.235	0.796	0.143	0.439	1.07
14	14	0.365	0.627	0.147	-0.262	-0.64
15	15	1.303	1.134	0.151	0.169	0.41
16	16	0.850	0.829	0.131	0.021	0.05

17	17	1.221	1.150	0.136	0.071	0.17
18	18	1.275	1.487	0.144	-0.211	-0.51
19	19	1.710	0.980	0.141	0.730	1.77
20	20	0.811	0.753	0.132	0.058	0.14
21	21	1.681	1.410	0.145	0.271	0.66
22	22	0.412	0.918	0.066	-0.506	-1.18
23	23	0.262	0.918	0.066	-0.655	-1.52
24	24	0.270	0.918	0.066	-0.648	-1.51
25	25	1.322	1.241	0.150	0.081	0.20
26	26	0.798	0.583	0.136	0.214	0.52
27	27	0.405	0.476	0.137	-0.071	-0.17
28	28	1.571	0.796	0.143	0.774	1.88
29	29	0.300	0.627	0.147	-0.327	-0.80
30	30	1.154	1.134	0.151	0.020	0.05
31	31	0.936	0.829	0.131	0.107	0.26
32	32	1.261	1.150	0.136	0.112	0.27
33	33	1.258	1.487	0.144	-0.228	-0.56
34	34	1.793	0.980	0.141	0.813	1.97
35	35	0.793	0.753	0.132	0.040	0.10
36	36	1.543	1.410	0.145	0.133	0.32
37	37	0.438	0.918	0.066	-0.479	-1.11
38	38	0.239	0.918	0.066	-0.679	-1.58
39	39	0.412	0.918	0.066	-0.506	-1.18
40	40	1.440	1.241	0.150	0.199	0.49
41	41	0.713	0.583	0.136	0.130	0.31
42	42	0.871	0.476	0.137	0.395	0.96
43	43	1.552	0.796	0.143	0.755	1.84
44	44	0.285	0.627	0.147	-0.342	-0.83
45	45	1.281	1.134	0.151	0.147	0.36

EK 5 Kesme Sıvısız Deney Etkileşim Çıkarılmış

Obs	StdOrder	C7	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	1	0.967	0.949	0.067	0.018	0.14
2	2	1.270	1.130	0.070	0.140	1.11
3	3	1.244	1.400	0.073	-0.156	-1.26
4	4	1.812	1.720	0.071	0.092	0.73
5	5	0.599	0.893	0.059	-0.294	-2.24 R
6	6	1.605	1.500	0.059	0.106	0.81
7	7	0.358	0.307	0.048	0.051	0.37
8	8	0.049	0.307	0.048	-0.258	-1.91

9	9	0.322	0.307	0.048	0.015	0.11
10	10	1.364	1.348	0.059	0.016	0.12
11	11	0.775	0.741	0.059	0.034	0.26
12	12	0.531	0.434	0.070	0.097	0.77
13	13	1.235	1.525	0.072	-0.289	-2.33 R
14	14	0.365	0.417	0.074	-0.052	-0.42
15	15	1.303	1.242	0.076	0.061	0.50
16	16	0.850	0.949	0.067	-0.099	-0.78
17	17	1.221	1.130	0.070	0.091	0.72
18	18	1.275	1.400	0.073	-0.125	-1.01
19	19	1.710	1.720	0.071	-0.010	-0.08
20	20	0.811	0.893	0.059	-0.082	-0.62
21	21	1.681	1.500	0.059	0.181	1.38
22	22	0.412	0.307	0.048	0.105	0.78
23	23	0.262	0.307	0.048	-0.045	-0.33
24	24	0.270	0.307	0.048	-0.037	-0.27
25	25	1.322	1.348	0.059	-0.026	-0.20
26	26	0.798	0.741	0.059	0.057	0.43
27	27	0.405	0.434	0.070	-0.028	-0.23
28	28	1.571	1.525	0.072	0.046	0.37
29	29	0.300	0.417	0.074	-0.116	-0.95
30	30	1.154	1.242	0.076	-0.089	-0.73
31	31	0.936	0.949	0.067	-0.013	-0.10
32	32	1.261	1.130	0.070	0.131	1.04
33	33	1.258	1.400	0.073	-0.142	-1.14
34	34	1.793	1.720	0.071	0.073	0.59
35	35	0.793	0.893	0.059	-0.100	-0.76
36	36	1.543	1.500	0.059	0.044	0.33
37	37	0.438	0.307	0.048	0.131	0.97
38	38	0.239	0.307	0.048	-0.068	-0.50
39	39	0.412	0.307	0.048	0.105	0.78
40	40	1.440	1.348	0.059	0.092	0.70
41	41	0.713	0.741	0.059	-0.028	-0.21
42	42	0.871	0.434	0.070	0.437	3.48 R
43	43	1.552	1.525	0.072	0.027	0.22
44	44	0.285	0.417	0.074	-0.131	-1.07
45	45	1.281	1.242	0.076	0.039	0.32

EK 6 Kesme Sıvısı Kullanılarak Yapılan Deney İçin Gerekli G Kodları

1. DENEME:

T2 D32

G0 X110 Z20

M4=26 M4=33

M4=4 S4=250

G0 X10 Z3

G1 X-0.5 Z0 F 0.12

X 67.2

X 68 Z-0.4

G1 Z-25 F 0.1

X 70 S4= 350

Z-50 F 0.1

X72 S4=250

Z-75 F 0.3

X 74 S4=350

Z-100 F 0.3

X80 F 0.3

G0 Z10

G0 X150 Z20

M30

2. DENEME:

T2 D32

G0 X110 Z20

M4=26 M4=33

M4=4 S4=250

G0 X10 Z3
 G1 X-0.5 Z0 F 0.12
 X 65.2
 X 66 Z-0.4
 G1 Z-25 F 0.2
 X 70 S4= 350
 Z-50 F 0.1
 X72 S4=250
 Z-75 F 0.3
 X 74 S4=350
 Z-100 F 0.3
 X80 F 0.3
 G0 Z10
 G0 X150 Z20
 M30

EK 7 Koşumların Sıralanması Yanıt Yüzeyi Yöntemi

Run	A	B	C
1	-	-	0
2	+	-	0
3	-	+	0
4	+	+	0
5	-	0	-
6	+	0	-
7	-	0	+
8	+	0	+
9	0	-	-
10	0	+	-
11	0	-	+
12	0	+	+
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

EK 8 Genetik Algoritmelerde Kullanılan Kodlar

```
function scores = ozlemga(x)
    scores = (552.2+49.6*x(1)+1.8*x(2)-
200.2*x(3)+6.4*x(1)^2+0.8*x(2)^2+18.2*x(3)^2+0.6*x(1)*x(2)-9.9*x(1)*x(3));
    if x(1)<0.40565
        scores=scores+999*abs(0.40565-x(1));
    elseif x(1)>0.916291
        scores=scores+999*abs(0.916291-x(1));
    elseif x(2)<-2.30259
        scores=scores+999*abs(-2.30259-x(2));
    elseif x(2)>-1.60944
        scores=scores+999*abs(-1.60944-x(2));
    elseif x(3)<5.52146
        scores=scores+999*abs(5.52146-x(3));
    elseif x(3)>5.85793
        scores=scores+999*abs(5.85793-x(3));
    end
end
```

ÖZGEÇMİŞ

1977' de İstanbul'da doğdu. İlkokulu Yeşilköy Arif Şenel İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1995'te girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Kimya Bölümü'nden 2000 yılı şubat ayında mezun oldu. Üniversiteden mezun olur olmaz İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Yüksek Lisans Programı'na başladı. 2000 yılı aralık ayında İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Üretim Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlayana kadar, Bilim İlaç Kalite Kontrol Laboratuvarı'nda Analist olarak çalıştı. 2003 yılında yüksek lisans programını başarıyla tamamlamasıyla aynı bölümün doktora programına başladı. Doktora tezinin araştırmaları sırasında Indiana University Purdue University Indianapolis (IUPUI) Makine ve İmalat Bölümü'nde ziyaretçi araştırmacı olarak çalışmalar yaptı.

Halen İ.Ü İşletme Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışan Özlem Akçay KASAPOĞLU evlidir.