

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
SAYISAL YÖNTEMLER BİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**ÜRETİM PARAMETRELERİNİN GÜÇLÜ
TASARIMI VE BİR GIDA İŞLETMESİNDE
UYGULANMASI**

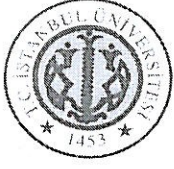
Özlem HASGÜL

2502050242

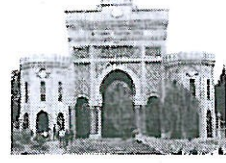
Tez Danışmanı

Prof. Dr. Neyran ORHUNBİLGE

İSTANBUL 2010



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MÜDÜRLÜĞÜ



TEZ ONAYI

Enstitümüz SAYISAL YÖNTEMLER Bilim Dalında 2502050242 numaralı ÖZLEM HASGÜL'ün hazırladığı “ÜRETİM PARAMETRELERİNİN GÜÇLÜ TASARIMI VE BİR GIDA İŞLETMESİNDE UYGULANMASI” konulu YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZİ ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Öğretim Yönetmeliği'nin 28.Maddesi 14.06.2010 Pazartesi günü saat: 11.00'de yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin*kabulü*.....'ne* OYBİRLİĞİ /OYÇOKLUĞUYLA karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	KANAATI(*)	İMZA
PROF.DR.NEYRAN ORHUNBİLGE	Kabul	
PROF.DR.İBRAHİM DOĞAN	Kabul	
DOÇ.DR.NECDER ÖZÇAKAR	Kabul	
DOÇ.DR.ALP BARAY	Kabul	
DOÇ.DR.ERGÜN EROĞLU	Kabul	

ÖZ

ÜRETİM PARAMETRELERİNİN GÜÇLÜ TASARIMI VE BİR GIDA İŞLETMESİNDE UYGULANMASI

Özlem HASGÜL

İşletme Anabilim Dalı
Sayısal Yöntemler Bilim Dalı- Doktora
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Neyran ORHUNBİLGE
Haziran-2010

Bu çalışmada bir gıda işletmesinde üretim kalitesinin arttırılmasını sağlamak için üretim parametrelerinin uygun düzeylerinin bulunması amaçlanmıştır. Üretim kalitesinin geliştirilmesinde kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin etkilerine karşı güçlü tasarımın sağlanması için deney tasarımı yöntemlerinden Taguchi parametre tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Uygulamada hazır gıda ürünlerinin mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık kalite karakteristiklerinin en iyi değerlerinin belirlenmesi için çok yanıtli eniyileme problemi çözümü araştırılmış ve her üç kalite karakteristiğinin eşzamanlı en iyilenmesi çekicilik fonksiyonu kullanılmıyyla gerçekleştirilmiştir. Çekicilik fonksiyonunun en yüksek değerinin bulunmasında doğrusal olmayan programlama modeli kurulmuş ve Nelder-Mead simpleks arama algoritması ile çözüm elde edilmiştir. Elde edilen çözüme bağlı olarak Adana Kebap ve Nugget Köfte hazır gıda ürünleri için en uygun üretim parametreleri düzeyleri önerisinde bulunulmuştur.

ABSTRACT

ROBUST DESIGN FOR PRODUCTION PARAMETERS AND AN APPLICATION FOR FOOD PRODUCTION COMPANY

Özlem HASGÜL

Supervisor: Prof. Dr. Neyran ORHUNBİLGE

June-2010

The purpose of this study is to find the appropriate level of process parameters to improve the quality in a food production company. To improve the quality of production to the effects of uncontrollable noise variables is intended to ensure a robust design and Taguchi approach is used. In this study; consisting of microbiological load, central temperature and weight quality characteristics of the multi-response optimization problem solution is investigated for the food manufacturing company. In addition, desirability function is used for the simultaneous optimization for each of the three quality characteristics. The highest value of desirability functions have been obtained with the non-linear programming model and Nelder-Mead simplex search algorithms.

ÖNSÖZ

Değerli öneri ve eleştirileriyle bu çalışmayı yönlendiren, çalışmayı gerçekleştirmemde önemli katkıları bulunan danışmanım Sayın Prof. Dr. Neyran ORHUNBİLGE'ye, doktora tez çalışmasının başlangıcında ve ilerlemesinde değerli yönlendirme ve önerilerde bulunan hocam Sayın Prof. Dr. Yılmaz TULUNAY'a, uygulamanın gerçekleştirilmesi için işletmede her türlü desteği gösteren çalışma ekibine, bana destek olan tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma, öğrenim hayatım boyunca verdiği destek ile hep yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
KISALTMALAR LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1
BÖLÜM 1	5
DENEY TASARIMI	5
1. ENİYİLEME PROBLEMİNDE DENEY TASARIMI	5
1.1 DENEY TASARIMI	5
1.2 ÜRÜN VE SÜREÇ PARAMETRELERİNİN ENİYİLENMESİ	7
1.2.1 DeneY Tasarımı İle İlgili Çalışmaların Tarihsel Gelişimi	9
1.2.2 DeneY Tasarımında Tekrarlı Yapı	12
1.2.3 DeneY Tasarımı İlkeleri	13
1.2.3.1 Rassallık	14
1.2.3.2 Tekrarlama	14
1.2.3.3 Bloklama	14
1.2.3.4 Deneysel Yanılgının Denetlenmesi	15
1.2.4 DeneY Duyarlılığının Artırılması	15
1.3 BİR KEREDE BİR FAKTÖR DENEY TASARIMI	15
1.4 TAM FAKTÖRİYEL DENEY TASARIMI	19
1.4.1 İki Faktörlü Faktöriyel Tasarımlar	22
1.4.1.1 Hipotez Testleri ve Varyans Analizi	24
1.4.1.2 Model Yeterliliğinin Kontrolü	28
1.4.2 Faktöriyel Tasarımların Genel Modeli	32

1.4.3	2 ^k Faktörlü Faktöriyel Tasarımlar	34
1.5	KESİRLİ FAKTÖRİYEL DENEY TASARIMI	40
1.6	Yanıt Yüzeyi Yöntemi	44
1.6.1	Yanıt Yüzeyi Modelleri.....	46
1.6.2	Yanıt Yüzeyi Modellerinin Sıralı Yapısı	49
1.7	TAGUCHİ PARAMETRE TASARIMI	51
BÖLÜM 2	.....	53
GÜÇLÜ TASARIM	.....	53
2.	ÜRÜN YA DA SÜREÇ ENİYİLEMEDE GÜÇLÜ TASARIM	53
2.1	GÜÇLÜ TASARIM İLE ÜRÜN VE SÜREÇ TASARIMI.....	53
2.1.1	Güçlü Tasarımın Gelişimi	55
2.1.2	Güçlü Tasarım ve Kalite Mühendisliği	56
2.1.3	Kalite Karakteristiği	59
2.1.4	Gürültü Kavramı	64
2.1.5	Değişkenlik ve Kalite Kontrol Faaliyetleri	67
2.1.6	Çevrimdışı ve Çevrimiçi Kalite Kontrol Faaliyetleri.....	73
2.1.7	Mühendislik Tasarım Problemi.....	76
2.1.7.1	Sistem Tasarımı	77
2.1.7.2	Parametre Tasarımı	78
2.1.7.3	Tolerans Tasarımı.....	79
2.2	TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE TASARIM.....	80
2.2.1	Taguchi Yöntemi Uygulama Alanları.....	80
2.2.2	Taguchi Felsefesi	82
2.2.3	Kalite Maliyetleri	84
2.2.3.1	Kalite Kaybı Maliyeti.....	85
2.2.3.2	Kalite Kayıp Fonksiyonu	88

2.3	PARAMETRE TASARIMI	94
2.3.1	Ürün ve Süreç Tasarımında En iyileme	94
2.3.2	Taguchi Yönteminde Parametre Tasarımı	96
2.3.3	Parametre Tasarımı Modeli.....	97
2.3.4	Ortogonal Dizinler	101
2.3.4.1	İki Düzeyli Ortogonal Dizinlerin Özellikleri	102
2.3.4.2	Üç Düzeyli Ortogonal Dizinlerin Özellikleri	105
2.3.5	Deney Planının Seçimi ve Serbestlik Derecesi	107
2.3.6	Etkileşim Sütunlarının Belirlenmesi	111
2.3.6.1	Üçgen Tablolar	111
2.3.6.2	Doğrusal Grafikler.....	114
2.3.7	Ortogonal Dizinlerin Değiştirilmesi.....	117
2.3.7.1	Kukla Düzey Yöntemi.....	118
2.3.7.2	Sütun Birleştirme Yöntemi.....	119
2.3.7.3	Faktör Birleştirme Yöntemi	120
2.3.8	Kalite Karakteristiğinin Analizi	122
2.3.8.1	Sayısal Tanımlamalar	122
2.3.8.2	Performans Ölçüsü ve Performans İstatistiği Analizi	123
2.3.8.3	İki Aşamalı En İyileme	130
BÖLÜM 3		133
GÜÇLÜ TASARIMDA ÇOK YANITLI ENİYİLEME.....		133
3.	ÇOK YANITLI ENİYİLEME	133
3.1	ÇOK YANITLI PROBLEMLER	133
3.2	ÇEKİCİLİK FONKSİYONU.....	136
3.2.1	Tek Taraflı Dönüşümler	138
3.2.2	Çift Taraflı Dönüşümler	140
3.2.3	Çekicilik Fonksiyonunun En İyilenmesi.....	142

3.3 NELDER-MEAD SİMPEKS ENİYİLEME YÖNTEMİ	144
3.3.1 Simpleks En İyileme Yöntemi	144
3.3.2 Nelder-Mead Simpleks Arama Algoritması.....	145
3.4 TAGUCHİ GÜÇLÜ TASARIMINDA ÇEKİCİLİK FONKSİYONU.....	149
3.5 ÇOK YANITLI GÜÇLÜ TASARIM UYGULAMA ADIMLARI.....	151
3.5.1 Deneyin Planlanması.....	152
3.5.1.1 Ana Amacın Belirlenmesi ve Ekibin Kurulması.....	152
3.5.1.2 Kalite Karakteristiğinin Tanımlanması	153
3.5.1.3 Faktörlerin ve Düzeylerinin Belirlenmesi	154
3.5.1.4 Deney Stratejisinin Belirlenmesi.....	156
3.5.2 Deneyin Tasarlanması	157
3.5.2.1 Serbestlik Derecesinin Hesaplanması	158
3.5.2.2 Ortogonal Dizinin Seçimi.....	158
3.5.2.3 Faktörlerin Sütunlara Atanması	158
3.5.3 Deneyin Yönetilmesi.....	159
3.5.3.1 Hazırlık ve Koordinasyon	159
3.5.3.2 Deneylerin Yapılması.....	159
3.5.4 Sonuçların Analiz Edilmesi.....	159
3.5.4.1 Ortalama Analizi	160
3.5.4.2 Grafik Analizi.....	160
3.5.4.3 Varyans Analizi.....	161
3.5.4.4 Deney Sonuçlarının Çok Yanıtlı Çözümlemesi	164
3.5.4.5 En Uygun Düzeylerin Önerilmesi	165
3.5.4.6 Doğrulama Deneylerinin Yapılması.....	165
BÖLÜM 4	166
GÜÇLÜ TASARIMIN HAZIR GIDA ÜRÜNÜNE UYGULANMASI.....	166
4. ARAŞTIRMANIN TANITIMI.....	166

4.1	ARAŞTIRMANIN AMACI.....	166
4.1.1	İşletmenin Tanıtımı	166
4.1.2	İleri İşlem Sürecinin Tanıtımı	167
4.2	GÜÇLÜ TASARIM UYGULAMA ADIMLARI	169
4.2.1	Deneyin Planlanması.....	169
4.2.1.1	Ana Amacın Belirlenmesi ve Ekibin Kurulması.....	169
4.2.1.2	Kalite Karakteristiklerinin Tanımlanması	170
4.2.1.3	Faktörlerin ve Düzeylerinin Belirlenmesi	176
4.2.1.4	Deney Stratejisinin Belirlenmesi.....	179
4.2.2	Deneyin Tasarlanması.....	179
4.2.2.1	Serbestlik Derecesinin Hesaplanması	179
4.2.2.2	Ortogonal Dizin Seçimi.....	180
4.2.2.3	Faktörlerin Sütunlara Atanması	180
4.2.3	Deneyin Yönetilmesi.....	182
4.2.3.1	Hazırlık ve Koordinasyon	182
4.2.3.2	Deneylerin Yapılması.....	182
4.2.4	Sonuçların Analiz Edilmesi.....	183
4.2.4.1	No: 22 Ürününe İlişkin Analizler.....	184
4.2.4.1.1	Mikrobiyolojik Yükün İncelenmesi.....	184
4.2.4.1.2	Merkez Sıcaklığının İncelenmesi (MS).....	188
4.2.4.1.3	Ağırlıkların İncelenmesi	192
4.2.4.2	No:41 Ürününe İlişkin Analizler.....	195
4.2.4.2.1	Mikrobiyolojik Yükün İncelenmesi (MY).....	195
4.2.4.2.2	Merkez Sıcaklığının İncelenmesi (MS).....	198
4.2.4.2.3	Ağırlıkların İncelenmesi (AG).....	201
4.2.4.3	Tek Yanıtlı En Uygun Düzeylerin Önerilmesi.....	205
4.2.5	Deney Sonuçlarının Çok Yanıtlı Çözümlemesi	205
4.2.5.1	No: 22 Ürünü Çok Yanıtlı Analiz	206
4.2.5.1.1	En Uygun Düzeylerin Önerilmesi	207
4.2.5.1.2	Doğrulama Deneylerinin Yapılması	209
4.2.5.2	No: 41 Ürünü Çok Yanıtlı Analiz	210
4.2.5.2.1	En Uygun Düzeylerin Önerilmesi	211
4.2.5.2.2	Doğrulama Deneylerinin Yapılması	212

SONUÇ	214
KAYNAKÇA	218
KİTAPLAR	218
MAKALELER	222
DİĞER KAYNAKLAR	228
İNTERNET KAYNAKLARI	232
EKLER	233
Ek1 Amerikan Tedarikçiler Enstitüsü'nün Taguchi Yöntemi Kullanan Müşterileri	233
Ek 2 Standart Ortogonal Dizin ve Grafiklere Örnekler	234
Ek 3 No: 22 Ürünü İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü	242
Ek 4 No: 41 Ürünü İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü	251
ÖZGEÇMİŞ	260

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1-1 Sistem ya da Sürecin Genel Modeli.....	8
Şekil 1-2 Bilginin Elde Edilmesinde Tekrarlı Yapı	13
Şekil 1-3 Bir Kerede Bir Faktör Deney Tasarımı	18
Şekil 1-4 İki Faktörlü Faktöriyel Deney	20
Şekil 1-5 Etkileşimli İki Faktörlü Faktöriyel Deney	21
Şekil 1-6 Faktöriyel Deney Etkileşim Grafikleri	22
Şekil 1-7 2^2 Faktöriyel Tasarım	35
Şekil 1-8 2^3 Faktöriyel Tasarımlar	37
Şekil 1-9 2^3 Faktöriyel Tasarımlarda Ana Etkiler ve Etkileşimler.....	39
Şekil 2-1 Nicel Kalite Karakteristiği.....	61
Şekil 2-2 Nitel Kalite Karakteristiği.....	62
Şekil 2-3 Dinamik Sıcaklık Kontrol Sistemi.....	63
Şekil 2-4 Gürültü Faktörlerinin Etkisi.....	65
Şekil 2-5 Kim Daha İyi Nişancı?	68
Şekil 2-6 Çevrimiçi ve Çevrimdışı Kalite Kontrolü.....	74
Şekil 2-7 Geleneksel Kayıp Fonksiyonu ve Kalite Kayıp Fonksiyonu.....	89
Şekil 2-8 Kayıp Fonksiyonları Arasındaki Fark	90
Şekil 2-9 Tek Taraflı Karakteristiklerin Kayıp Fonksiyonları	93
Şekil 2-10 Bir Ürün veya Sürece İlişkin Blok Diyagram: P Diyagramı	94
Şekil 2-11 Taguchi'nin Parametre Tasarımı Deney Örneği.....	100
Şekil 2-12 L_8 'in İki Standart Doğrusal Grafiği	116
Şekil 2-13 L_8 'in için Doğrusal Grafik Değişimi.....	117
Şekil 2-14 İki Aşamalı En İyileme	131
Şekil 3-1 Genel Çekicilik Değerinin Elde Edilişi	138
Şekil 3-2 Tek taraflı Dönüşüm	140
Şekil 3-3 Çift Taraflı Dönüşüm.....	141
Şekil 3-4 Değişik s ve t Değerleri İçin Dönüşüm	142
Şekil 3-5 Nelder-Mead Algoritması İlerleyişi.....	146
Şekil 3-6 Nelder-Mead Algoritması Adımları	149
Şekil 3-7 Çok Yanıtlı Güçlü Tasarım Uygulama Aşamaları.....	151
Şekil 3-8 Grafik Analizinde Etkileşim Grafiği	161
Şekil 4-1 Form Hattı Akış Diyagramı	168

Şekil 4-2 Buharla Pişirme Bölümü.....	171
Şekil 4-3 Toplam Canlı Mikroorganizma Sayımı	174
Şekil 4-4 Toplam Mikrobiyolojik Yük Kalite Kaybı.....	175
Şekil 4-5 Merkez Sıcaklığı Kalite Kaybı	175
Şekil 4-6 Ürün Ağırlığı Kalite Kaybı.....	176
Şekil 4-7 Üretim Süreci P Diyagramı	177
Şekil 4-8 $L_8(2^7)$ Üçgen Grafiği	181
Şekil 4-9 No: 22 İçin MY Etki Grafiği	185
Şekil 4-10 No: 22 İçin MY Etkileşim Grafiği.....	186
Şekil 4-11 No: 22 İçin MS Etki Grafiği	190
Şekil 4-12 No: 22 İçin MS Etkileşim Grafiği	190
Şekil 4-13 No: 22 İçin AG Etki Grafiği	193
Şekil 4-14 No: 22 İçin AG Etkileşim Grafiği	193
Şekil 4-15 No: 41 İçin MY Etki Grafiği	196
Şekil 4-16 No: 41 İçin MY Etkileşim Grafiği.....	197
Şekil 4-17 No: 41 İçin MS Etki Grafiği	199
Şekil 4-18 No: 41 İçin MS Etkileşim Grafiği	200
Şekil 4-19 No: 41 İçin AG Etki Grafiği	203
Şekil 4-20 No: 41 İçin AG Etkileşim Grafiği	203
Şekil 4-21 No: 22 Rampa Grafikleri	208
Şekil 4-22 No: 22 Çekicilik Değerleri Grafiği.....	208
Şekil 4-23 No: 41 Rampa Grafikleri	212
Şekil 4-24 No: 41 Çekicilik Değerleri Grafiği.....	212

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1-1 Bir Kerede Bir Faktör Deney Tasarımı	16
Tablo 1-2 İki Faktörlü Faktöriyel Deney	20
Tablo 1-3 İki Faktörlü Faktöriyel Tasarımların Genel Düzeni	23
Tablo 1-4 Varyans Analizi Notasyonları	26
Tablo 1-5 İki Faktörlü Sabit Etkili Düzenle Varyans Analizi Tablosu	28
Tablo 1-6 Varyans Analizi Sonuç Tablosu	33
Tablo 1-7 2^2 Tasarımda Etkilerin İşaretleri	36
Tablo 1-8 2^3 Tasarımlarda Etkilerin İşaretleri	39
Tablo 1-9 2^3 Faktöriyel Tasarımlar İçin Artı ve Eksi İşaretler	42
Tablo 2-1 Süreç İzlemeye ve Değişime Yönelik Yöntemler	70
Tablo 2-2 Üretim Aşamalarında Gerçekleştirilen Faaliyetler	72
Tablo 2-3 Taguchi Yöntemi Uygulama Örnekleri	81
Tablo 2-4 Taguchi'nin Parametre Tasarım Deneyi Modeli	99
Tablo 2-5 $L_4(2^3)$ Ortogonal Dizini	103
Tablo 2-6 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini	104
Tablo 2-7 Taguchi $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini	104
Tablo 2-8 $L_9(3^4)$ Ortogonal Dizini	105
Tablo 2-9 $L_{27}(3^{13})$ Ortogonal Dizini	106
Tablo 2-10 Deney Düzenleri İçin Deneme Sayıları	109
Tablo 2-11 Standart Ortogonal Dizimler İçin Temel Bilgiler	110
Tablo 2-12 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini	111
Tablo 2-13 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizinine İlişkin Etkileşim Tablosu	112
Tablo 2-14 $L_{27}(3^{13})$ İçin Üçgen Tablo	113
Tablo 2-15 $L_9(3^4)_U$ İçin Üçgen Tablo	113
Tablo 2-16 L_9 İçin Kukla Düzey Atanması	119
Tablo 2-17 L_8 Dizininde 4 Düzeyli Sütun Oluşturma	120
Tablo 2-18 L_9 Ortogonal Dizininde Birleşik Faktör Kullanımı	121
Tablo 2-19 <i>SN</i> Oranları	129
Tablo 4-1 Kontrol Edilebilir Faktörler ve Gürültü Faktörleri	176
Tablo 4-2 Faktör ve Düzeyler	179
Tablo 4-3 Serbestlik Derecesinin Belirlenmesi	180

Tablo 4-4 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini Etkileşim Tablosu.....	181
Tablo 4-5 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini	181
Tablo 4-6 Deneme Düzenine Göre Faktör Düzeyleri	182
Tablo 4-7 Ölçüm Sırası ve Tekrar Düzeni	183
Tablo 4-8 No: 22 İçin MY Ölçüm Değerleri.....	184
Tablo 4-9 No: 22 İçin MY Yanıt Tablosu.....	185
Tablo 4-10 No: 22 İçin MY Varyans Analizi	187
Tablo 4-11 No: 22 İçin MS Ölçüm Değerleri	189
Tablo 4-12 No: 22 İçin MS Yanıt Tablosu	189
Tablo 4-13 No: 22 İçin MS Varyans Analizi	191
Tablo 4-14 No: 22 İçin AG Ölçüm Değerleri	192
Tablo 4-15 No: 22 İçin AG Yanıt Tablosu	192
Tablo 4-16 No: 22 İçin AG Varyans Analizi	194
Tablo 4-17 No: 41 için MY Ölçüm Değerleri.....	195
Tablo 4-18 No: 41 İçin MY Yanıt Tablosu.....	196
Tablo 4-19 No: 41 İçin MY Varyans Analizi	197
Tablo 4-20 No: 41 MS Ölçüm Değerleri	198
Tablo 4-21 No: 41 İçin MS Yanıt Tablosu	199
Tablo 4-22 No: 41 İçin MS Varyans Analizi	200
Tablo 4-23 No: 41 İçin AG Ölçüm Değerleri	202
Tablo 4-24 No: 41 İçin AG Yanıt Tablosu	202
Tablo 4-25 No: 41 İçin AG Varyans Analizi	204
Tablo 4-26 Düzey Öneri Tablosu.....	205
Tablo 4-27 Kısıtlayıcılar Tablosu	207
Tablo 4-28 No:22 Çok Yanıtlı Çözüm Değerleri.....	207
Tablo 4-29 No:22 Doğrulama Deneyleri Sonuçları	209
Tablo 4-30 No:22 Doğrulama Deneyleri İçin Karşılaştırmalar	209
Tablo 4-31 Düzey Öneri Tablosu.....	211
Tablo 4-32 No:22 Çok Yanıtlı Çözüm Değerleri.....	211
Tablo 4-33 No:41 Doğrulama Deneyleri Sonuçları	213
Tablo 4-34 No:22 Doğrulama Deneyleri İçin Karşılaştırmalar	213

KISALTMALAR LİSTESİ

AG: Ağırlık

ANOVA: Varyans Analizi

ANOM: Ortalama Analizi

ASS: Alt Spesifikasyon Sınırı

DOE: Deneş Tasarımı (Design of Experiment)

df.: Serbestlik Derecesi (Degrees of Freedom)

f_{OA} : Ortogonal Dizin Serbestlik Derecesi

KO_{HATA} : Hata Kareler Ortalaması

ISO: International Organization for Standardization

KO: Kareler Ortalaması

KT: Kareler Toplamı

L(y): Kalite Kaybı

MS: Merkez Sıcaklığı

MY: Mikrobiyolojik Yük

PTYA: Planlama, Tasarlama, Yönetme ve Analiz Etme Çevrimi

SN: Sinyal/Gürültü Oranı (Signal Noise)

TKY: Toplam Kalite Yönetimi

YYY: Yanıt Yüzeyi Yöntemi

ÜSS: Üst Spesifikasyon Sınırı

VİF: Varyans Artış Faktörleri

GİRİŞ

İşletmelerde ürünün tasarım ve geliştirilme aşamasında üretim parametrelerinin uygun düzeylerinin belirlenmesi ele alınması gereken önemli problemlerden biridir. Bu tür problemlerin çözümü için yapılan çalışmalar hedef değerde üretimin sağlanması ve kalite kaybının önlenmesi için önemlidir. Bu çalışmaların içinde yer alan deney tasarımı, en uygun kalite karakteristiğinin en düşük maliyetle sağlanması için kullanılan yöntemlerdendir. Deney tasarımı ile ürün ya da süreci etkileyen faktörlerin farklı düzeyleri kontrollü bir şekilde değiştirilmekte ve deneme kombinasyonları sonucunda uygun düzeylerin bulunması sağlanmaktadır.

Deney tasarımı çalışması ile üretimin hedef değerde olması ve değişkenliğin azaltılması yaklaşımı güçlü tasarım olarak adlandırılır. Güçlü tasarım kavramı Taguchi ile tanınmıştır. Taguchi, güçlü tasarımı gerçekleştirmeye yönelik olarak kalite kaybının önleme amacı ile kalite mühendisliği düşünce biçimini ve Taguchi parametre tasarımı yöntemini geliştirmiştir. Kalite mühendisliği kavramı ürünlerin müşteri beklentilerine uygun şekilde üretimi için tasarım ve geliştirme aşamalarında kalite kaybına yönelik önlemlerin alınmasını vurgulamaktadır. Kalite mühendisliği bakış açısına göre kalite kaybının önlenmesi, ürünün hedef değerde ve kontrol edilemeyen çevresel faktörlerden yani değişkenlik kaynaklarından etkilenmeyecek şekilde üretimi sağlanır. Güçlü tasarım ile ürün ya da sürecin değişkenlik kaynakları yok edilemese bile bu kaynaklara karşı duyarsız olmasını sağlayacak üretim parametreleri belirlenmektedir.

Taguchi parametre tasarımı yöntemi, güçlü tasarımı gerçekleştirmek amacıyla deneylerin daha kısa zamanda ve daha düşük maliyetle yapılması için geleneksel yöntemlere göre daha az sayıda denemeyi içeren ortogonal dizinlerin kullanılmasını önermektedir. Deneylerde ele alınan kalite karakteristiğinin özelliğine göre kalite kaybının düşürülmesini sağlayacak tasarımların yapılmasını vurgulamaktadır. Ayrıca hedef değerde üretimin ve üretimdeki değişkenliğin aynı anda değerlendirilebilmesi için SN (sinyal/ gürültü) ölçütünün değerlendirilmesinin gerektiğini öne sürmektedir.

Bu çalışmada entegre tesisleri bulunan bir beyaz et üretim işletmesinin çok tüketilen ileri işlem ürünlerinin kalitesinin arttırılması için üretim parametrelerinin

uygun düzeylerinin güçlü tasarım ile belirlenmesi hedeflenmiştir. İşletmede ele alınan problem şekillendirilmiş ürünlerin besin değerini ve duyuşsal özelliklerini koruyacak şekilde bozulma süresini uzatmaktır. Ürünlerin bozulmaya karşı dayanıklılığının sağlanması için buharla pişirme fırınında mikrobiyolojik yükünün en düşük düzeye getirileceğı şekilde pişirilmesi bunun yanında uygun merkez sıcaklığı ve ağırlık değerlerinin de elde edilmesi gerekmektedir. Problemin çözümü için işletmede yüksek oranda üretilen Nugget Köfte ve Adana Kebap şekillendirilmiş ürünlerinin buharlı fırında pişirme aşamasındaki uygun üretim parametre değerlerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde en iyileme problemlerinin çözümünde deney tasarımının kullanımına ilişkin bilgiler verilmektedir. Deney tasarımı kavramı ele alınmakta, ilkeleri araştırılmakta ve deney tasarımı türleri incelenmektedir. Deney tasarımı yöntemleri içinde kalite kaybının azaltılmasına yönelik parametre tasarımı modeli sunduğı ve deney maliyetlerinin düşürülmesinde başarılı uygulama örnekleri bulunduğu için Taguchi parametre tasarımı yöntemi tercih edilmiştir. Taguchi yöntemi kalite kaybının azaltılması ve güçlü tasarımın gerçekleştirilmesi için hedef değerde üretimin yapılmasına odaklanırken aynı zamanda değışkenliğin azaltılmasını da hedeflemektedir.

İkinci bölümünde ise güçlü tasarım ile ürün ve süreç tasarımının nasıl geliştirileceğı incelenmiş, Taguchi parametre tasarımı yöntemi ile güçlü tasarım kavramının ayrıntılı açıklaması yapılmıştır. Taguchi parametre tasarımı modelinde üretim sistemini etkileyen değışkenler kontrol edilebilir faktörler ve kontrol edilemeyen faktörler (gürültü faktörleri) olarak adlandırılmaktadır. Kontrol edilebilen faktörler üretim parametrelerinden oluşmaktadır. Kontrol edilemeyen faktörler; denetlenmesi zor olan nem, toz, titreşim vb. kalite bozucu etkilerdir. Taguchi parametre tasarımı ile güçlü tasarımın sağlanmasındaki asıl amaç kontrol edilemeyen faktörlerin varlığına rağmen en uygun kontrol edilebilir faktör düzeyleri ile yapılacak üretimde kalite kaybını en düşük düzeye indirmektir. Taguchi parametre tasarımında deneylerin yapılma düzeni ortogonal dizinlere göre belirlenmektedir. Ortogonal dizinlerin kullanımı ile faktör düzeylerindeki değışimin ortalama etkisi *SN* performans ölçütünün ele alınmasıyla analiz edilebilmektedir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde güçlü tasarımın çok yanıtli eniyileme probleminin çözümünde nasıl kullanılabilceği ele alınmaktadır. Tek yanıtli problemlerin en iyilenmesinde kullanılan regresyon doğrularına ilişkin fonksiyonların, çekicilik fonksiyonu olarak adlandırılan tek bir fonksiyonda birleştirilmesiyle nasıl çözülebileceği gösterilmekte ve bunun yanında çekicilik fonksiyonunun en büyük noktasının bulunması amacıyla kullanılan ceza fonksiyonu yaklaşımı ve kurulan kısıtsız doğrusal olmayan programlama modeli açıklanmaktadır. Problemin çözümü için gradyan bilgisi gerektirmediği, geometrik yaklaşımla çözüm sunduğu ve deney tasarımına uygun bilgisayar programlarında kullanılabilceği için seçilen Nelder-Mead simpleks arama algoritması tanıtılmıştır. Ayrıca çok yanıtli güçlü tasarım probleminin çözümü için izlenecek adımlar detaylı olarak verilmiştir. Bu adımlar PTYA: Planlama, Tasarlama, Yönetme ve Analiz Etme çevrimi olarak açıklanmaktadır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, uygulamanın yapıldığı şletmede Nugget köfte ve Adana kebab ürünlerinin mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık kalite karakteristiklerinin en iyi değerlerini elde etmek için kontrol edilebilen faktörlerin en uygun düzeylerinin bulunması amaçlanmıştır. Kontrol edilebilen faktörler; buharlı fırın için pişirme sıcaklığı, pişirme süresi ve fan hızıdır. Her bir faktör için düşük ve yüksek olmak üzere iki düzey incelenmiştir. Üç faktörlü iki düzeyli deneylerin gerçekleştirilmesi için L_8 ortogonal dizini kullanılmış ve buradaki kombinasyonlara uygun rassal deney sıraları ile üç tekrarlı ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonuçları ortalama ve grafik analizleriyle değerlendirilmış faktör düzeylerinin kullanımı için önerilerde bulunulmuştur. Varyans analizi ile kalite karakteristikleri için etkili faktörler belirlenmiş ve regresyon modeli kurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre kalite karakteristiklerinin en iyi değerlerinin sağlanması için farklı üretim parametrelerinin kullanımı önerilmıştir. Önerilen düzeylerin farklılığından oluşan sorunun çözümü için uygulama çok yanıtli eniyileme problemine dönüştürölmüş ve kalite karakteristiklerin eşzamanlı değerlendirilmesi sağlanmıştır. Çok yanıtli en iyileme probleminin çözümünde mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık kalite karakteristiği için elde edilen regresyon modelleri çekicilik fonksiyonu olarak adlandırılan tek bir fonksiyona dönüştürölmüştür. Doğrusal

olmayan modelin Nelder-Mead simpleks arama algoritmasıyla çözümleri gerçekleştirilmiş ve en iyi yanıt değerlerini veren üretim parametre düzeyleri belirlenmiştir. Sonuç bölümünde yapılan çalışmada dikkate alınan konular vurgulanmış, uygulama sonrasında elde edilen bulgular yorumlanmış ve bu çalışma ile sağlanabileceği düşünülen katkılar belirtilmiştir.

BÖLÜM 1

DENEY TASARIMI

1. ENİYİLEME PROBLEMİNDE DENEY TASARIMI

1.1 DENEY TASARIMI

Tasarlanmış gözlemler, anlamlı veri elde etmek için düzenlenen ve “deney” adı verilen süreç sonunda elde edilen gözlemlerdir. Söz konusu gözlemler istatistikte “deneysel veri” olarak nitelenir (Çömlekçi, 2003: 7). Deney, süreç ya da sistemdeki girdi değişkenlerinde amaca yönelik olarak değişiklik yapılan böylece yanıt değişkeninde gözlemlenebilen değişikliklerin tanımlandığı test veya testler serisidir (Montgomery, 2001: 1).

İstatistikte deney, yeni çıkarımlar elde etmek, önceki sonuçları doğrulamak veya reddetmek için planlanmış bir iş olarak algılanabilir. Gerçekleştirilen deney belirli bir üretim sürecinin değiştirilmesinin önerilmesi konusunda idari bir karara ulaşılmada yardımcı olacaktır (Çömlekçi, 2003: 7).

Deneyler yardımı ile girdi değişkenlerinin ve düzeylerinin bilinçli şekilde belirlenmesi, konunun teknik çerçevesinin iyi tanınması, mantıklı bir bilimsel yaklaşım ve bunlara ilave olarak uygun yöntemin kullanılması hedefsiz bir çalışmaktan çok daha fazla fayda sağlar (Savaşkan, 2003: 38). En iyi sonucun alınması için de yapılan deneyin doğruluğu; deneyi yapılacak konunun özelliğine, deneysel gereçlerin değişkenliğine, deneyde kullanılan deney birimlerinin sayısına ve deney yapılan yerin özelliğine dikkat edilmesiyle sağlanmalıdır (Ayaydın, 1988: 1).

İstatistikçi için deney, bir örneklemin evrenden seçilmesinde kullanılan kurallar kümesidir. Burada sözü edilen kurallar kümesi deney tasarımını ifade etmektedir. Deney tasarımı, bağımlı değişkendeki değişkenliğin nedeni olarak ele alınan bağımsız değişkenlerin etkilerinin ölçülmesi işlemini yürütmek için kullanılan yöntemdir. Deney tasarımı ayrıca, değişik koşullarda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni nasıl etkilediklerini araştırmak için gerekli tasarımları hazırlayan ve çözümlenmelerini veren istatistik dalıdır (Çömlekçi, 2003: 7).

Deney tasarımı, yapılacak en uygun deneyleri istatistik tekniklerin de kullanımıyla belirli bir matematik modele uygun hale getirmeye yarayan; deneylerin planlanması, elde edilen verilerin analizi ve analizlerden sonuçlar çıkarma aşamalarının gerçekleştirildiği yöntem bilgisi ve teknikler bütünüdür (Erdoğan, 2007: 52; Frey ve Li, 2004: 2).

Amacı ne şekilde etkileyeceği araştırılan değişkenlere faktör (etken, parametre) adı verilmekte, bu faktörlerin farklı ayarları düzey (seviye, level) olarak adlandırılmaktadır (Scheaffer ve McClave, 1995: 645). Deney tasarımı yöntemleri, bir ya da birden çok faktör ve düzeyi kontrollü bir şekilde değiştirilerek deneme kombinasyonları (treatment combinations) oluşturulmakta ve yapılan bu değişikliklerin elde edilmesi amaçlanan sonuç üzerindeki etkileri gözlemlenmektedir. Deney tasarımı yöntemlerini kullanmanın en büyük faydası, organize bir yaklaşım sağlamasıdır. Böylece deneysel problemlere yaklaşım, hem basit hem de karmaşık sistemler için kolaylaşmaktadır. Bu yöntemler sayesinde, deneysel amaçlar tanımlandıktan sonra, duruma en uygun tasarım yöntemi belirlenebilir ve belirlenen amaçlar doğrultusunda yapılması gerekli olan deneyler planlı bir şekilde gerçekleştirilebilir (Erdoğan, 2007: 52).

Ayrıca tüm araştırma-geliştirme faaliyetlerinde kullanılabilen, kaliteyi artıran, maliyetleri düşüren, sonuçların güvenilirliğini sağlamlaştıran, tüm diğer kalite kontrol yöntemlerini destekleyen ve tamamlayan bir süreçtir. Uygulamada getirdiği avantajlar performans ve kalitenin artırılması, kaynakların verimli kullanılması, araştırma-geliştirme faaliyetlerinin hızlandırılması ve ürün veya sürecin kalite özelliklerini belirleyen değerlerin kontrol edilemeyen veya edilmesi zor faktörlere (etken, parametre, değişken) karşı daha az duyarlı duruma getirilmesidir (Savaşkan, Taptık ve Ürgen, 2004: 119).

Endüstriyel koşullar, ekonomi ve zaman etkenleri göz önüne alındığında uygulanacak deneyleri en verimli şekilde gerçekleştirebilmek ve elde edilen sonuçları doğru yorumlayabilmek için deney tasarımı yöntemlerinin kullanılması son derece etkili ve verimli bir yaklaşımdır. Sınırlı kaynaklarla çalışıldığında, yapılan her deneyden en fazla bilgiyi elde etmek çok önemlidir. Çünkü iyi tasarlanmış deneyler, gelişigüzel veya plansız deneylere göre daha fazla bilgi üretirler (Aytaç vd., 2008: 3).

Deney tasarımı incelenecek ürün veya süreç için performans göstergeleri tanımlanmakta ve ardından da bu göstergelerin değişimi incelenmektedir. Bunun için de, kalite karakteristikleri olarak adlandırılan ve uzunluk, genişlik, dayanıklılık, sıcaklık vb. gibi ölçülebilen özellikler dikkate alınmaktadır. Ayrıca, hedeflenen performansı elde etmek ve performanstaki değişkenliği en aza indirmek için; malzemenin cinsi, şekli, tedarikçisi gibi özelliklerden hangilerinin dikkate alınacağı belirlenmektedir (Baray ve Sarı, 2006: 39).

1.2 ÜRÜN VE SÜREÇ PARAMETRELERİNİN ENİYİLENMESİ

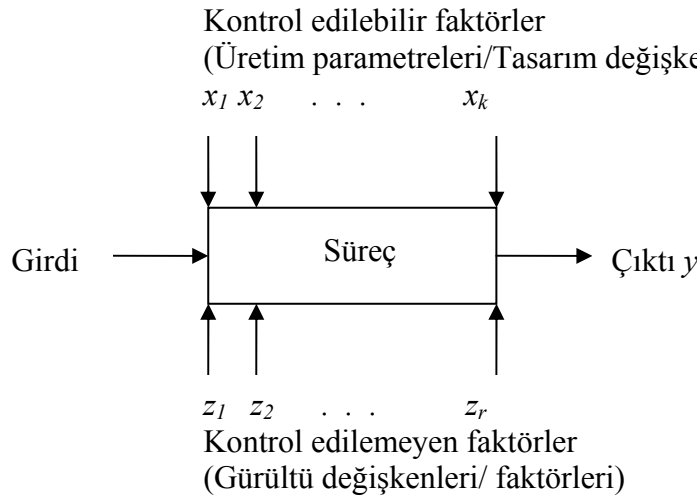
Birden fazla faktör ve her faktörün de birden fazla düzeyinin söz konusu olduğu bir problemin en uygun değerlerinin bulunması çalışmasına “çok düzeyli, çok değişkenli iyileme problemi” denir. Çoklu düzeyin anlamı her bir parametrenin farklı derecelerinin değerlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Çoklu değişken birden fazla üretim parametresinin yani faktörün dikkate alındığı anlamına gelmektedir. En iyileme, probleme en iyi çözümü bulma amacını sağlamaktır ve bu durumda en rekabetçi çözüm aranmaktadır. Var olan en iyileme teknikleri her parametre içindeki ve parametreler arasındaki ilişkilerin bilindiği ve matematik olarak ifade edilebildiği problemlerin çözümünde kullanılabilir. Ancak ilişkilerin bazılarının örneğin beşeri faktörle ilgili olanlar gibi niteliksel olduğu durumlarda en iyileme problemleriyle uğraşmak son derece zor olabilir (Baynal, 2003: 183).

Bir ürün veya sürece ilişkin en uygun üretim parametre değerlerinin bulunması işletmeler için önemli bir en iyileme problemidir. Ürün ya da süreç kalitesinin geliştirilmesi amacıyla ele alınan üretim parametrelerinin sağlanması için yapılan çalışmalar arasında deney tasarımı önemli bir yer tutmaktadır. Burada deney tasarımı, ürün veya sürece ilişkin kalite karakteristiklerini etkileyen faktörlerin ve en uygun değerlerinin belirlenmesinde sonuca ulaşmayı sağlayan bir araç olmaktadır. Yapılan deney tasarımı çalışmaları ile en uygun parametre değerlerine sahip ürün veya sürecin elde edilmesinin yanı sıra çalışmaların en kısa zamanda ve en düşük maliyette tamamlanması da amaçlanmaktadır. Deney tasarımı çalışmaları da bu amaçları sağlamaya yönelik olarak en uygun tasarım modelinin belirlendiği bir süreç olarak değerlendirilmektedir.

Bu yaklaşıma dayanarak yapılan deneyler sisteme sorulan soru, deney sonuçları da sistemin verdiği yanıt olarak algılanabilir. Kritik nokta ise doğru cevabı alabilmek için doğru sorunun sorulmasıdır (Savaşkan, Taptık ve Ürgen, 2004: 118). Bu nedenle doğru soruların sorulabilmesini sağlamak ve sistem performansının değerlendirilebilmesi için deney tasarımı kullanılmaktadır.

Sistem; insan, makine, malzeme, yöntem, donanım ve diğer kaynakların girdi olarak kombine edildiği ve bir ya da daha fazla yanıt değişkeni (response variable) ile ifade edilen çıktıya (y) dönüşüm sürecidir. Bu değişkenlerin bazıları, x_1, x_2, \dots, x_k olarak gösterilen ve istenilen bir hedef değere göre ayarlanabilen kontrol edilebilir faktörlerdir (controllable factors, parametre, tasarım faktörleri, değişken). Buna karşın; z_1, z_2, \dots, z_r değişkenleri kontrolü zor olan ya da kontrol edilemeyen faktörler yani gürültü faktörleridir (uncontrollable factors, noise factors). Burada k , kontrol edilebilir faktör sayısı, r ise kontrol edilemeyen faktör sayısı olduğunda sistem performansını etkileyen $p=k+r$ faktör bulunmaktadır (Montgomery, 1999: 159).

Şekil 1-1 bir sistemin girdi-çıkıtı doğasını/niteliğini tanımlamaktadır. Burada amaç, sistem yanıtının sahip olduğu kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisine karar vermektir. Ancak, faktörleri iki kategoriye bölmek için kesin bir sınıflandırma sistemi mevcut değildir. Bunun için kontrolün fiziksel ve ekonomik uygunluğu göz önüne alınmalıdır (Kolarik, 1995: 437). Aşağıdaki şekilde bir sistem ya da sürecin modeli verilmektedir (Montgomery, 2001: 2):



Şekil 1-1 Sistem ya da Sürecin Genel Modeli

Böyle bir sistemde asıl amaç istenilen çıktı değerlerini elde etmeye yönelik olarak kontrol edilemeyen faktörlerin olumsuz sonuçlarından etkilenmeyecek şekilde en uygun kontrol edilebilir faktör ve düzeylerini belirlemektir.

Burada kontrol edilemeyen faktörler ve üretim performansı arasındaki matematik ilişki çoğu zaman çok karmaşık olmakta ya da bilinmemektedir. Gerekli özelliklerin sağlanması için de deneysel yaklaşım yoluna gidilmektedir (Andersson, 1997: 76). Bir ürün veya sistem tasarımı için bu nedenle yapılacak deneyin amaçları;

- Çıktı değişkeni y üzerindeki en etkili faktörlerin belirlenmesi,
- En etkili x 'ler kümesinin belirlenmesiyle y 'nin arzulanan ortalama değere yaklaşması,
- En etkili x 'ler kümesinin belirlenmesiyle y 'nin değişkenliğinin azaltılması,
- En etkili x 'ler kümesinin belirlenmesiyle kontrol edilemeyen z_1, z_2, \dots, z_r değişkenlerinin etkisinin azaltılması şeklinde sıralanabilir (Montgomery, 2001: 2).

Tasarlanan deneyler için bu amaçlara yönelik olarak yürütülen faaliyetler önem kazanmaktadır. Yeni bir sürecin tasarlanmasında ya da var olan bir sürecin performansının artırılmasında mühendislik tasarım faaliyetleri ve var olan bir ürünün geliştirilmesi, özelliklerinin ya da görünümünün değiştirilmesi gibi amaçlar için deney tasarımı büyük önem taşımaktadır (Montgomery, 1999: 160).

1.2.1 Deney Tasarımı İle İlgili Çalışmaların Tarihsel Gelişimi

Deney tasarımı konusunun ele alındığı çalışmalar incelendiğinde 16–17. yüzyılda Francis Bacon (1581–1626)'un bu konudaki çalışmaları dikkati çekmektedir. Araştırmacıların ancak doğru planlanmış deneylerle faktörlerin etkilerini çözümleyebileceklerini savunan Bacon'un “Experimentum Cruis” adlı eserinde deneyde sadece bir faktör örneğin A faktörü değiştirildiğinde, diğer faktörler ve şartlar aynı kaldığında gözlem değerlerindeki farklılıkların nedeninin A faktörü olduğuna dair açıklama bulunmaktadır. Daha sonra uygulanan “bir kerede bir faktör”

yöntemi 20. Yüzyıla kadar değişmez deney tasarımı olarak kalmıştır (İzgiz, 2001: 11).

Deney planlaması ile ilgili çalışmalara 1840 yılında Elzas'ta Boussingault tarafından gübre denemelerinde de yer verilmiş ve daha sonra İngiltere'de Rothamsted araştırma istasyonunda (Rothamsted Agricultural Field Research Station) Lawes ve Gilbert tarafından ilk tekrarlanmasız tarla deneyleri düzenlenmiştir. Almanya'da deney planlaması yönteminin kurucularından biri olan E.A. Mitscherlich'in düzenlediği deneylerde tekrarlamaya rastlanmaktadır. 1860 yılında Almanya'da Carouven tarafından ve 1870 yılında Maerker tarafından da deney düzenlerinde tekrarlanma kullanılmıştır.

1907 yılında Rodewold ve Quante tarla deneylerinin değerlendirilmesinde hata olasılığı hesaplarının kullanılması üzerine dikkati çekmişlerdir. Rodewald'ın öğrencisi olan E.A. Mitscherlich daha sonraki yıllarda deney yönteminde hata olasılığı hesaplarının kullanılmasında öncü olmuştur. Birkaç matematikçinin direnmesine karşın tarımsal deneylerin aritmetik ortalama ve ortalama hata üzerinden değerlendirilmesi Mitscherlich'in çalışmaları sonucu olmuştur (Ayaydın, 1988: 3).

“Bir kerede bir faktör” deney tasarımı yaklaşımı ancak 1920'lerde Rothamsted'te görevli istatistikçi Sir Ronald Alymer Fisher (1890–1962) tarafından değiştirilmiştir. R. A. Fisher modern matematik odaklı istatistiğin kurucusudur. Ürünlerinin verimliliğini geliştirme çalışmalarını yürütürken, deney tasarımı temel prensiplerini bulmuş ve varyans analizi (Analysis of Variance/ ANOVA) olarak adlandırılan veri analiz yöntemiyle bütünleştirmiştir. 1925 yılında “Statistical Methods for Research Workers” başlıklı eseri yayımlamış ve 1935 yılında deney düzenlemesi ve bu konunun temelini oluşturan varyans analizi konusunu içeren “The Design of Experiments” başlıklı bir kitap yayımlamıştır. R. A. Fisher faktöriyel deney tasarımı veya kesirli faktöriyel tasarım adı verilen modern deney planlarının ilk uygulayıcısıdır. Bugün bile çoklu faktöriyel varyans analizi, ortogonal polinomlar yardımı ile değerlendirme yöntemleri, tam ve kesirli faktöriyel deney planları gibi genellikle kullanılan yöntemler R. A. Fisher'in eserlerinde yer almaktadır (Ayaydın, 1988: 3; Phadke, 1989: 3; İzgiz, 2001: 11).

R.A. Fisher'in çalışmaları ile birlikte Yates de faktöriyel tasarımlarla ilgili çok önemli katkılarda bulunmuştur. Yates'e göre faktöriyel tasarımların kullanımı deneysel kaynakların daha etkin bir şekilde kullanımını sağlayacaktır (Yates, 1935: 182). Kesirli faktöriyel deney tasarımlarında uygun kesrin seçimi için ilk sistematik yaklaşım Finney (1945) tarafından geliştirilmiş, bu alanda Placket ve Burman'ın (1946) da katkıları olmuş ve Rao (1947) tarafından da kesirli ortogonal dizinlerle ilgili yeni düzenlemeler yapılmıştır. Uygulamalar başlangıçta yaygın olarak tarım ve biyolojiyle ilgiliyken daha sonra endüstri alanında olmuştur (Cox ve Reid, 2000: 14; Park, 1996: 64). Shirley Insitute'de görevli ve R. A. Fisher ile birlikte deney tasarımı konusunda çalışan Tippet, ham pamuk dönüşüm sürecinde yüksek kaliteyi sağlamak ve değişkenliği azaltmak için çalışmalara başlamıştır. Tippet'in tekstil endüstrisindeki ilk yayını 1929 yılında yayımlanmıştır. Tippet faktöriyel ve kesirli faktöriyel tasarımların üretim ve mühendislik problemlerinde ilk uygulayıcısı olmuştur (Bisgaard, 1991: 3). İkinci Dünya Savaşından sonra deney tasarımı uygulayıcıları kimyasal süreçlerin ilk olarak geliştiği Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulamalar yapmışlardır (Antony ve Capon, 1998: 335).

Deney tasarımına felsefe ve uygulama açısından çok önemli katkıları sağlayan bir diğer isim de Wisconsin Üniversitesi üyelerinden olan İngiliz istatistikçi Dr. George E.P. Box'tur. Box, EVOP (Evolutionary Operations) ve Yanıt Yüzeyi Yöntemini (RSM, Response Surface Methodology) (1951) geliştirmiştir. Box ve Wilson (1951), Box ve Hunter (1957) yanıt yüzeyi yöntemiyle ilgili olarak, Box ve Draper (1969) EVOP yöntemi üzerinde yayınlarda bulunmuşlardır. Ayrıca deney tasarımının teorisi, uygulamaları ve bununla ilgili olan yanıt yüzeyi yöntemi için literatür, istatistikle ilgili pek çok araştırmacı tarafından da geliştirilmiştir. Örnek olarak Box, Hunter ve Hunter (1978), Box ve Draper (1987), John (1971), Kempthorne (1952), Hicks ve Raghavarao'un yayınları verilebilir (Phadke, 1989: 3, Grand ve Leavenworth, 1996: 353; Park, 1996: 64).

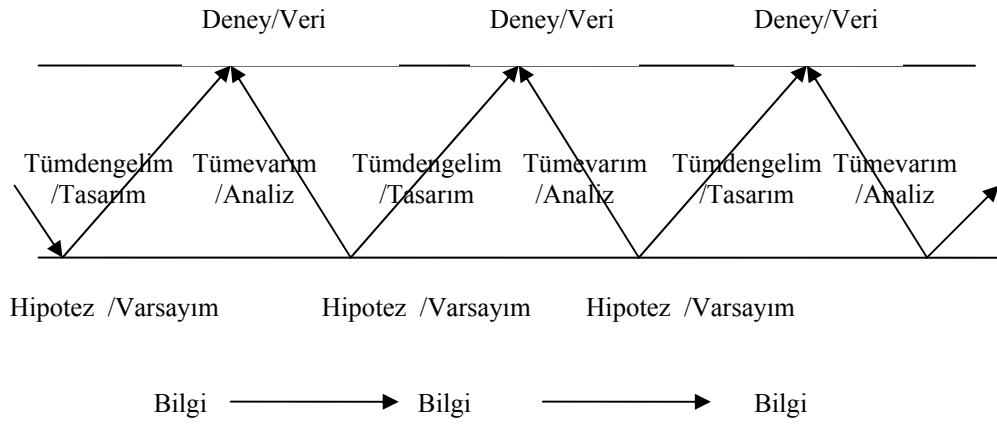
1970 ve 1980'li yıllarda, kullanılan geleneksel deney tasarımı yöntemlerinin endüstriyel deneylerde uygulanması için bazı sınırlılıkları farkedilmiştir. Aynı zamanda veri analiz araçları kolayca anlaşılammakta ve istatistik F testi her zaman etkin olamamaktadır. Geliştirilen kesirli faktöriyel tasarımların yerleşimleri zor

kullanımlıdır. Bu nedenle güçlü tasarım bu yöntemlere yeni bir boyut eklemiştir. Güçlü tasarımın ana kavramlarını Taguchi (1986) geliştirmiş ve “parametre tasarımı” olarak adlandırmıştır (Park, 1996: 65). Güçlü tasarım mühendislik kararlarını almada değişkenlere ilişkin gereksinim duyulan bilgilerin sağlanması için deneylerin planlanmasında istatistik deney tasarımından pek çok düşünce içermektedir (Phadke, 1989: 3).

Japon Mühendis Genichi Taguchi'nin ürün karakteristiğinde değişkenliğin azaltılması ile ilgili düşünceleri 1940'larda kendi ülkesinde biliniyorken, 1979'da İngilizce olarak yayınlanana kadar, uluslararası alanda dikkat çekmemiştir. Taguchi'nin düşüncesi Taguchi ve Wu tarafından İngilizce olarak yayımlandıktan sonra pek çok çalışma bunu izlemiştir. Hunter (1985) ve Kacker'in (1985) yayınları Taguchi'nin düşüncesinin özünü anlaşılabilir ve kapsamlı bir biçimde açıklamaktadır. 1980'lerin sonunda ve 1990'ların başında Taguchi tarafından sunulan istatistik yöntemlerin uygunluğu tartışılmıştır. Leon (1987), Box (1988), Shainin ve Shainin (1988), Welch (1989), Shomaker (1991), Box ve Jones (1992), Nair (1998), Lucas (1994) ve Grize (1995)'nin çalışmaları bunlara örnek olarak verilebilir (Arvidson ve Jeremy, 2007: 2).

1.2.2 Deney Tasarımında Tekrarlı Yapı

Bilimsel araştırmalar bir öğrenme süreci içermektedirler. İstatistik yöntemlerin amacı da öğrenme sürecini mümkün olduğunca etkili hale getirmektir. Şekil 1-2'de deney tasarımı çalışmalarına ilişkin öğrenme sürecinin ilerleme aşamaları gösterilmektedir (Box, Hunter ve Hunter; 1978: 2).



Şekil 1-2 Bilginin Elde Edilmesinde Tekrarlı Yapı

Öğrenme sürecindeki ilk hipotez verilerin karşılaştırılmasıyla gerekli kesin sonuçların çıkarıldığı tümdengelim (deduction) sürecini yönlendirir. Burada, ilgilenilen bazı belirli yanıtları etkileyebilecek önemli faktörlerin hangilerinin olduğunun belirlenmesi için bir hipotez ile tasarım oluşturulur. Burada tasarım ile kastedilen test edilecek deneyin sentezini, tahmin etmeyi ve varsayım modelinin geliştirilmesini içermektedir. Aynı zamanda tasarım faktörlerin gerçekten güçlü ve önemli olduğunun doğrulanmasında ve önemsiz faktörlerin göz ardı edilmesinde uygun çözümler sunmaktadır. Daha sonra deney gerçekleştirilir ve veriler toplanır. Eğer sonuçlar uyumsuzluk ve çelişki içeriyorsa hipotezin değiştirilmesi için süreç tümevarım/analiz (induction) olarak ilerlemektedir. Analiz sonuçları yeni tasarı için hipotez kurmada ve varsayımlarda bulunmada yol gösterici olmaktadır. Bu aşamaların tekrarlı bir biçimde ilerleyişiyle yöntembilgisi (knowledge) elde edilmekte ve sürece ilişkin yeni buluşlar gerçekleştirilmektedir (Box, Hunter ve Hunter, 1978: 2; Khuri ve Cornell, 1996: 16; Box ve Draper, 1987: 9).

1.2.3 Deney Tasarımı İlkeleri

Her deneysel araştırma probleminin çözümü için, uygun bir deney düzeninin seçimi için bazı varsayımların yerine getirilmesi gerekir ve deneysel çalışmanın isteklerini karşılayabilen en basit düzen seçilmelidir (Uysal, 2002: 1). Modern deney tasarımında sağlanması gereken varsayımlar aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmaktadır:

1.2.3.1 Rassallık

Modern deney tasarımının en önemli özelliklerinden biri olan rassallaştırma R.A. Fisher tarafından geliştirilmiş bir kavramdır (Çömlekçi, 2003: 22). Rassallaştırma yapıldığında denemelerin deney birimlerine atanması ve uygulanacak olan denemelerin sırası rassal olarak (rastgele) belirlenir. İstatistik yöntemlerde gözlemlerin veya hataların bağımsız rassal değişkenler olduğu varsayılır. Rassallaştırma genellikle bu varsayımı geçerli kılar. Rassallaştırmanın amacı, sıralamadan kaynaklanacak yanlılığa ve sistematikliğe engel olmaktır (Erbaş ve Olmuş, 2006: 8).

1.2.3.2 Tekrarlama

Tekrarlama bir faktör/düzyey kombinasyonunun (muamele, treatment) bir deneyde birden fazla yer almasıdır. Deneylerle tekrarlama ile değişkenliğin belirlenmesi sağlanmaktadır (Çömlekçi, 2003: 23). Tekrarlama ile hassasiyet ölçülmekte ve deneyin doğruluğu artırılmaktadır. Bazı deneylerde hassasiyetin ayrıca ölçülmesi mümkün olmayabilir ve bu ölçüm değeri tekrarlama ile elde edilebilmektedir. Tekrarlama ile ayrıca büyük ölçüm hataları saptanabilir ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerinin dengelenmesine ilişkin sapmayı düşürecek bir araç olarak ta geliştirilebilir (Natrella, 1974: 27–3).

1.2.3.3 Bloklama

Deneyin uygulanması aşamasında maliyet kısıtları ya da fiziksel nedenlerden dolayı rassallaştırmanın gerçekleştirilemediği durumlarda karşılaşıldığında bloklama (block, pair) uygulanmaktadır. Deney rassallaştırılmayan faktörün farklı düzeylerine göre bloklara ayrılmakta ve bu blok deneysel materyalin bir bütün olarak ele alınmasına göre daha homojen olmaktadır. Analizler yapılırken deneme karşılaştırmalarını bu bloklarla sınırlı tutmak, daha kesin sonuçları elde etmeyi de sağlayabilecektir. Örnek olarak elimizde yeterli sayıda bulunmayan bir malzeme faktör olarak ele alınırsa malzeme belirlenen düzey sayısına göre bölümlendirilebilir ve bir düzey ile denemeler yapıldıktan sonra diğer düzeyler ile denemelere devam edilebilir (Box, Hunter ve Hunter, 1978: 102; Barrantine, 1999: 7).

1.2.3.4 Deneysel Yanılığının Denetlenmesi

Deney materyalinin çok önemli bir özelliği değişkenliğidir. Deneysel yanılığı aynı faktör/düzeý kombinasyonunun uygulandığı deney birimlerinin gözlem değerlerinin değişkenliğinin ortalama ölçüsüdür. Belirtilen değerkenlik iki nedenden kaynaklanmaktadır. Nedenlerden ilki aynı kombinasyonun uygulandığı deney materyalindeki doğal olarak var olan değerkenliktir. İkinci değerkenlik nedeni ise deneyin fiziksel olarak yürütülmesi sırasında operatör, malzeme, donanım ve benzeri unsurlarda farklılığın bulunmasıdır. Bu iki değerkenliğin göreli büyüklüğu araştırma alanının özelliğine göre farklıdır (Çömlekçi, 2003: 26).

1.2.4 Deney Duyarlılığının Artırılması

Düzenlenen bir deneyin duyarlılığının artırılması için; deney yönteminin seçimi, deney genişliğinin artırılması ve deney düzeninin gerektiğinde düzeltilmesi gibi dikkat edilmesi gereken noktalar bulunmaktadır. Deney yönteminin seçimi deneyin duyarlılığını artırmada çok önemli bir etkindir. Uygun yöntemin belirlendiği bir deney için standart koşullar sağlanmalıdır. Ayrıca; deneyi gerçekleştiren ekip üyelerinin dikkatli olması, iyi malzeme ve hassas ölçüm araçlarının kullanılması ve dış çevrenin kontrol edilmesi de çok önemlidir. Deney duyarlılığını artırmada diğer bir etken, deney genişliği yani deney hacminin büyütülmesidir (Ayaydın, 1988: 24). Örnek sayısı ne kadar fazla ise faktörün etkisi için güvenilirlik bölgesi o kadar dar olacaktır. Bu durum belirlenmiş bir olasılık ile gerçek etkinini bulunduğu bölgenin küçüleceği anlamını taşımaktadır (İzgiz, 2001: 106).

Deney duyarlılığı artırılırken deney sayısının büyümesi ile artacak maliyet ve zaman kaybı da göz önüne alınmalıdır. Deney duyarlılığını azaltmayacak bir plan yapılması ve maliyet ile zaman kaybını önlemek için de uygun yöntemin seçilmesi, deneyi yürütecek ekip açısından büyük önem kazanmaktadır.

1.3 BİR KEREDE BİR FAKTÖR DENEY TASARIMI

Klasik deney tasarımı yaklaşımlarına bakıldığında en kolay ve sık uygulanan yöntem her bir deneyde tek bir faktörün bulunduğu düzeýi değerştirerek ürün veya süreç performansındaki değerimi gözlemektir. En zor olanı ise, birçok faktörün ürün

performansını etkilediği bir ortamda hepsini birden kontrol altında tutarak etkilerini ve etkileşimlerini (interaction) değerlendirmeye çalışmaktır (Savaşkan, 2003: 40).

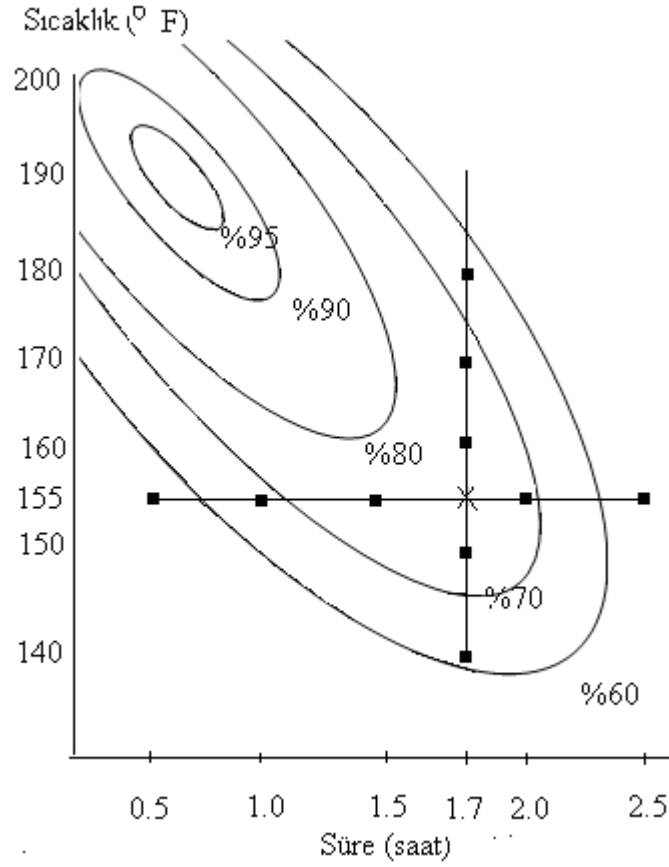
Bir kerede bir faktör deney tasarımında (OFAT, one-factor-at a time) faktör sayısının 1 fazlası kadar deney yapılması yeterlidir. Diğer faktörler birinci düzeyde sabit tutularak 1. faktörün her iki düzeyi denenir. Hangi düzey daha olumlu sonuç verirse faktör o düzeyde sabit tutular ve diğer faktörlerin denenmesine geçilir. Daha sonra da işlem tüm faktörler tamamlanıncaya kadar sürdürülür (Canbulut ve Öztop, 2006: 428).

Örnek olarak iki düzeyli yedi faktörün bulunduğu bir çalışma ele alındığında elde edilecek tasarım tablosu Tablo 1-1’de verildiği gibi oluşturulmaktadır. Deney tam sekiz deneme kombinasyonundan oluşmaktadır. Her bir sütun bir faktöre karşılık gelmekte ve her bir satır da bir denemeyi ifade etmektedir. Yapılacak her bir deneme için kalite karakteristiği ölçülmekte ve yanıt değeri olarak değerlendirilmektedir. İlk kombinasyonda tüm faktörlerin birinci düzeyi bulunmaktadır. Elde edilen yanıt değeri R_1 olarak kaydedilir. İkinci kombinasyonda da diğer faktörlerin birinci düzeyi sabit tutulurken A faktörünün ikinci düzeyi kullanılmaktadır. Buradan elde edilen sonuç da R_2 olarak kaydedilmektedir. Bu iki sonuç karşılaştırıldığında ve A faktörüne ilişkin en uygun düzey bulunmaktadır. Tabloda ikinci düzeye ilişkin elde edilen sonucun daha olumlu olduğu varsayılmıştır. Benzer şekilde diğer faktörlerin de en iyi düzeyleri bulunmaya çalışılmaktadır (Fowlkes ve Creveling, 1995: 127):

Tablo 1-1 Bir Kerede Bir Faktör Deney Tasarımı

Deneme	A	B	C	D	E	F	G	Düzye karşılaştırma
1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	1	1	1	1	1	1	A_1 ve A_2
3	2	2	1	1	1	1	1	B_1 ve B_2
4	2	2	2	1	1	1	1	C_1 ve C_2
5	2	2	2	2	1	1	1	D_1 ve D_2
6	2	2	2	2	2	1	1	E_1 ve E_2
7	2	2	2	2	2	2	1	F_1 ve F_2
8	2	2	2	2	2	2	2	G_1 ve G_2

İkinci bir örnek olarak kimyasal bir ürüne ilişkin en iyi üretim değerlerinin belirlenmesi için çıktı değişkeni olan süreç verimliliğini etkilediği düşünülen “İşlem sıcaklığı” ve “Reaksiyon süresi” faktörlerinin ele alındığı problemde, bu faktörlerin en uygun düzey değerleri bulunmaya çalışılmaktadır. Bir kerede bir faktör inceleneceği zaman önce “Sıcaklık” faktörü sabit bir değer olarak ele alınır, sadece “Süre” faktörünün etkisini ölçmek amacı ile bu faktörün çeşitli düzeylerinde ölçüm yapılır ve “Süre” faktörünün çıktı değeri üzerindeki etkisi hakkında bir değerlendirme yapılabilir. “Sıcaklık” faktörünün o an ayarlanmış olan değeri 155⁰F iken (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5) “Süre” düzeyleri için denemeler yapıldığında en iyi sonucun 1.7 saat sürede gerçekleştiği belirlenmiştir. “Sıcaklık” faktörünün optimize edilmesi için “Süre” faktörü bu düzeyde sabitlenmiş ve (140, 150, 160, 170, 180) ⁰F sıcaklık değeri ile denemeler yapılmıştır. Elde edilen iyi sonuç %75 başarılı olmuştur ve 155 ⁰F ile 1.7 saat üretimi önermektedir. Aşağıda verilmekte olan Şekil 1-3’te sabit verimlilik değerleri ile noktalar arasındaki bağlantı görülebilmektedir. Buradaki hatlar kontur (contour) olarak adlandırılmakta ve %60, %70, %80, %90 ve %95 verimlilik alanlarını göstermektedir. “Sıcaklık” ve “Süre” fonksiyonlarına ilişkin kontur çizimleri ve deney noktaları incelendiğinde %60, %70, %80 verimlilik derecelerinden en çok %80 verimliliği sağlayacak faktör düzeylerinin belirlenebildiği görülebilmektedir (Box, Hunter ve Hunter, 1978: 512; Hines ve Montgomery, 1990: 392; Montgomery, 2005: 558):



Şekil 1-3 Bir Kerede Bir Faktör Deney Tasarımı

Yukarıda verilmekte olan Şekil 1-3'te verilen şekilde görüldüğü gibi bu örnekte bir kerede bir faktör yöntemi en uygun faktör değerlerinden uzak değerler önermiştir. En iyi sonuç önerilen noktaya göre daha düşük “Süre” ve daha yüksek “Sıcaklık” değerleriyle elde edilebilecektir. Burada bir kerede bir faktör yönteminin başarısızlığa uğramasının nedeni “Süre” ve “Sıcaklık” faktörleri arasındaki etkileşimin değerlendirilmemesidir (Montgomery, 2005: 558).

Bir kerede bir faktör deney tasarımının en önemli dezavantajı faktörler arasındaki olası etkileşimleri dikkate almamasıdır. Etkileşimin bulunduğu örneklerde bu yöntem zayıf sonuçlar vermekte ve istatistik yaklaşımı temel alan diğer tasarımlara göre daha az etkin olmaktadır (Montgomery, 2001: 4).

1.4 TAM FAKTÖRİYEL DENEY TASARIMI

Bir kerede bir faktör yöntemi 20. Yüzyıla kadar değişmez deney tasarımı olarak kullanılmış olmakla birlikte özellikle biyoloji, tıp ve teknoloji problemlerinin çözümünde faktörlerin karşılıklı etkileşimleri konusunda çok az bir açıklama yapmasından dolayı yetersiz kalabilmektedir. Buna karşın R. A. Fisher'in geliştirdiği çok faktöriyeli deney tasarımlarının (çok etkenli deneyler, tam eşlendirmeli deney/factorial design) faktörlerin birbirleriyle etkileşmeleri durumunda aynı işlem yoğunluğunda çok daha doğru sonuçlar sağladığı düşünülmüştür (İzgiz, 2001: 11).

Bu tasarımlarda faktörler ve düzeylerine ilişkin tüm olası kombinasyonların tam denemesi ve tekrarı yapılır. Böylece, a sayıda düzeye sahip A faktörü ve b sayıda düzeye sahip B faktörünün axb olası kombinasyonlarının tümü ile çalışma yapılır (Montgomery, 2005: 557). Örnek olarak üç faktörlü bir $2 \times 3 \times 5$ faktöriyel tasarımı $2 \times 3 \times 5 = 30$ deneme gerektirirken, $2 \times 2 \times 2$ faktöriyel tasarımı da $2^3 = 8$ deneme gerektirir (Box, Hunter ve Hunter, 1978: 306).

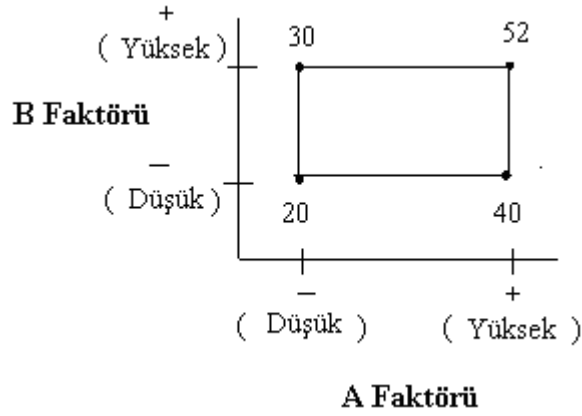
Bir faktörün etkisi, faktör düzeylerindeki bir değişikliğin yanıt üzerindeki meydana getirdiği değişimdir. Bu durum genellikle ana etki (main effect) olarak tanımlanır (Montgomery, 2001: 170). Faktör etkilerinin analiz edilmesi için de deneysel (ampirik/ empirical) matematik model geliştirilmiştir. Bu yöntem ortalama analizi (ANOM, Analysis of Means) olarak adlandırılmaktadır (Fowlkes ve Creveling, 1993: 127).

Faktöriyel deneylerde ana etkinin tahmini için faktörleri A ve B olarak tanımlanan bir örnek dikkate alındığında deneydeki A ve B faktörüne ilişkin düzeyler “Düşük” ve “Yüksek” olarak adlandırılmakta ve “-” ve “+” olarak ifade edilmektedir. A ve B faktörünün A yüksek (+), A düşük (-), B yüksek (+), B düşük (-) düzeylerine ilişkin değerler Tablo 1-2’de gösterilmektedir. Bu tabloda yer alan değerler ilgili faktör ve düzeylerine karşın elde edilen yanıt değerlerine karşılık gelmektedir. Örneğin “20” değeri A faktörünün düşük (-) düzeyi ile B faktörünün düşük (-) düzeyinin kullanımıyla elde edilen yanıt değerini göstermektedir:

Tablo 1-2 İki Faktörlü Faktöriyel Deney

A Faktörü	B Faktörü	
	B düşük	B yüksek
A düşük	20	30
A yüksek	40	52

Bu tablodaki değerlerin grafik gösterimi de Şekil 1-4'te verilmektedir. İlgili faktör düzeylerine ilişkin elde edilen yanıt değerleri köşelerde yer almaktadır (Montgomery, 2001: 170).



Şekil 1-4 İki Faktörlü Faktöriyel Deney

A faktörünün ana etkisi için; A'nın "düşük" düzeyinin yanıt ortalaması ile A'nın "yüksek" düzeyinin yanıt ortalaması arasındaki fark alınır;

$$A = \frac{40 + 52}{2} - \frac{20 + 30}{2} = 21$$

A'nın "düşük" düzeyinden "yüksek" düzeyine geçişteki artışın ortalama yanıt üzerindeki etkisi "21" olarak belirlenmiştir. Benzer olarak B faktörünün etkisi de hesaplanabilir:

$$B = \frac{30 + 52}{2} - \frac{20 + 40}{2} = 11$$

Eğer bir faktör ikiden daha fazla düzeye sahipse, yukarıda verilen hesaplama yönteminde dönüşüm yapılır. Bu bölümde verilen örnek 2^2 Faktöriyel tasarıma ilişkin olup kullanılan formülasyonlar ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bazı deneylerde, bir faktörün bir düzeyi dikkate alındığında diğer faktörün yanıt değişkeni üzerinde etkisinin farkı, diğer düzeyleri için oluşan farktan daha fazla ya da daha az olabilmektedir. Bu durumda, faktörler arasında etkileşim bulunmaktadır (Montgomery, 2001: 170). Bir faktörün yanıt değişkenine olan etkisi diğer faktörün hangi değerde bulunduğuna bağlı ise iki faktör arasında etkileşim olduğu görülmektedir (Şirvancı, 1007: 23).

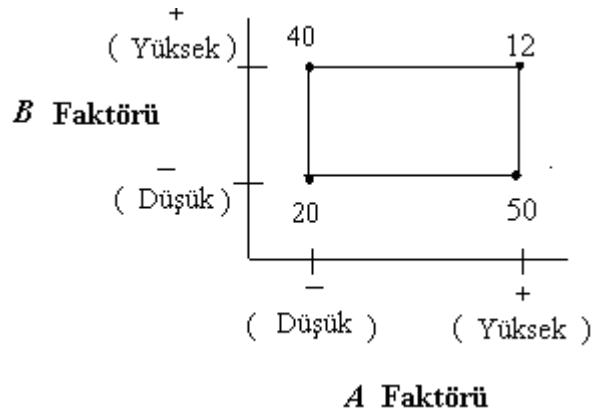
Aşağıda verilen iki faktörlü faktöriyel deney örneği dikkate alınacak olursa, B 'nin "düşük" düzeyinin yani $B(-)$ 'nin dikkate alındığı durumda A 'nın etkisi;

$$A=50-20=30,$$

B 'nin "yüksek" düzeyinin yani $B(+)$ 'nin dikkate alındığı durumda A 'nın etkisi:

$$A=12-40=-28 \text{ olmaktadır.}$$

Bu örneğe ilişkin çizim Şekil 1-5'te verilmektedir.

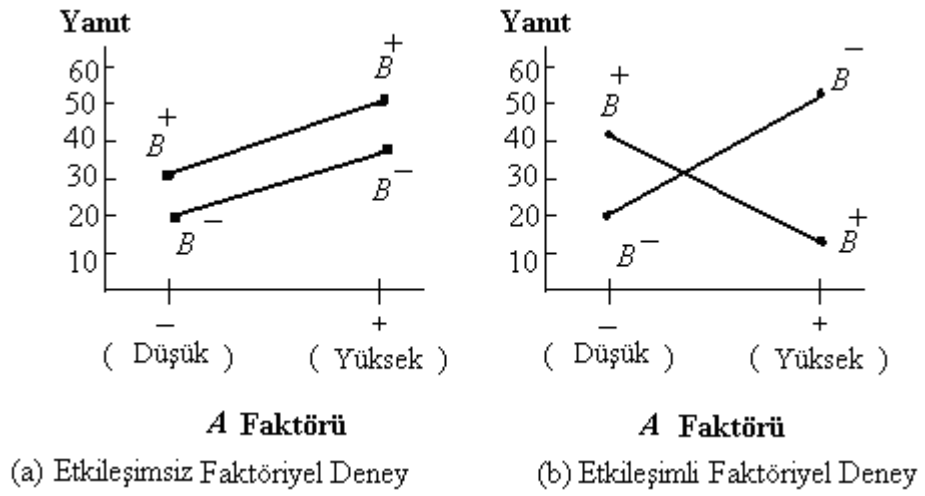


Şekil 1-5 Etkileşimli İki Faktörlü Faktöriyel Deney

Burada A faktörünün etkisi, B faktörünün seçilen düzeyine bağlıdır yani A ve B arasında etkileşim bulunmaktadır. AB etkileşiminin deney etkisinin büyüklüğü, A faktörünün iki düzeyine ilişkin elde edilen etki farklarının ortalamasıdır. Şekil 1-5'te verilen örnek için AB etkileşiminin tahmini ortalama etkisi aşağıda verildiği şekilde hesaplanabilmektedir (Montgomery, 2001: 171):

$$AB = \frac{(-28 - 30)}{2} = -29$$

Etkileşimlere ilişkin verilen örneklerin grafik üzerindeki görünümü Şekil 1-6'da verilmektedir. Şeklin (a) bölümünde görüldüğü gibi $B(-)$ ve $B(+)$ hatları yaklaşık olarak paraleldir. Bu durum A ve B faktörleri arasında etkileşimin olmadığını göstermektedir. Grafiğin (b) bölümünde ise $B(-)$ ve $B(+)$ hatları paralel değildir. Bu durum A ve B faktörleri arasında etkileşim olduğunu göstermektedir. Bu grafikler etkileşimlerin anlamlı bir şekilde yorumlanmasında ve raporların kolay anlaşılmasında yardımcı olmaktadır (Montgomery, 2001: 171).



Şekil 1-6 Faktöriyel Deney Etkileşim Grafikleri

1.4.1 İki Faktörlü Faktöriyel Tasarımlar

A ve B olarak adlandırılan iki faktör ele alındığında; a , A 'nın düzey sayısı ve b , B 'nin düzey sayısı iken, deney n kez tekrarlandığında elde edilecek sonuçlar Tablo 1-3'te gösterilmektedir. Burada ij 'nci hücredeki k 'nıncı tekrar y_{ijk} olarak tanımlanmaktadır. Verilerin toplanmasında abn sayıda gözlem rassal sıra ile gerçekleştirilir. Böylece iki faktörlü tasarım tam rassallaştırılmış tasarım (completely randomized design) gerçekleştirilmiş olur ve her iki faktörün de sabit etkili (fixed effects) olduğu varsayılır (Montgomery, 2005: 560):

Tablo 1-3 İki Faktörlü Faktöriyel Tasarımların Genel Düzeni

		B Faktörü			
		1	2	...	b
A Faktörü	1	$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \dots, y_{12n}$	...	$y_{1b1}, y_{1b2}, \dots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \dots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \dots, y_{22n}$	...	$y_{2b1}, y_{2b2}, \dots, y_{2bn}$

	a	$y_{a11}, y_{a12}, \dots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \dots, y_{a2n}$	...	$y_{ab1}, y_{ab2}, \dots, y_{abn}$

Eğer yapılacak deneyde her bir deneme için kullanılacak faktörleri ve düzeyleri araştırmacı belirleyebiliyorsa deney sabit etkili olmaktadır. Buna karşın, bloklanan değişkenler ya da denemelerde kullanılan düzeyler tam olarak araştırmacının kontrolünde değilse rassal etkili (random effects) deney gerçekleştirilmiş olur (Lapin, 1990: 577).

n tekrarlı ($n > 1$) ve iki faktörlü faktöriyel deneylerin rassal bir düzende doğrusal modeli denklem (1-1)'de verilmekte olan eşitlik ile tanımlanmaktadır (Montgomery, 2001: 177; Erbaş ve Olmuş, 2006: 157):

$$y_{ijk} = \mu_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1-1)$$

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij}$$

Modelde;

Y_{ijk} : k . tekrarda, A faktörünün i . düzeyinde ve B faktörünün j . düzeyindeki gözlem değeri,

μ : genel ortalama,

α_i : A faktörünün i . düzeyinin etkisi,

β_j : B faktörünün j . düzeyinin etkisi,

$(\alpha\beta)_{ij}$: A ve B arasındaki etkileşimin etkisi,

Burada y_{ijk} , ortalaması $E(Y_{ijk}) = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij}$ ve varyansı σ_ε^2 olan normal dağılıma sahiptir. ε_{ijk} , sıfır ortalama ve σ^2 varyanslı normal dağılıma sahip rassal hata bileşenidir. $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ ile gösterilir. Modeldeki bu özelliklerin sağlanıp sağlanmadığı izleyen başlıklarda açıklanan model yeterliliğinin kontrolü ile araştırılmaktadır.

1.4.1.1 Hipotez Testleri ve Varyans Analizi

Anakütle parametreleri hakkında bir varsayımın belirli bir anlamlılık düzeyinde ($\alpha=1$ -güven düzeyi) geçerliliğinin örnek istatistiklerinden hareketle araştırılmasına Hipotez testleri adı verilmektedir. Hipotez testlerinin yapılmasında; hipotezlerin yazılması, anlamlılık düzeyinin belirlenmesi, örnek değerlerinden hareketle F değerinin belirlenmesi ve karar alınması aşamaları izlenmektedir (Orhunbilge, 2000: 131).

İki faktörlü faktöriyel tasarımlarda A faktörünün ana etkisi, B faktörünün ana etkisi ve AB etkileşiminin etkisini araştırmak üzere hipotez kurulmaktadır.

Bu hipotezler (Orhunbilge, 2000: 195; Montgomery, 2001: 171; Erbaş ve Olmuş, 2006: 157):

1. Birinci faktörün (A) etkisini araştırmak için:

H_0 : Sütun ortalamaları birbirine eşittir.

H_1 : Sütun ortalamalarından en az biri farklıdır.

Ya da;

$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$

H_1 : En az bir α_i sıfırdan farklıdır.

2. İkinci faktörün (B) etkisini araştırmak için:

H_0 : Sütun ortalamaları birbirine eşittir.

H_1 : Sütun ortalamalarından en az biri farklıdır.

Ya da;

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

H_1 : En az bir β_j sıfırdan farklıdır.

3. Her iki faktör (AB) arasında bağlantı olup olmadığının saptanması için:

H_0 : İki faktörün etkileşimi ortalamayı etkilememektedir.

H_1 : İki faktörün etkileşimi ortalamayı etkilemektedir.

Ya da;

$$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ tüm } i, j \text{ 'ler için.}$$

H_1 : En az bir $(\alpha\beta)_{ij}$ sıfırdan farklıdır.

Bu hipotezlerin test edilmesi için varyans analizi yapılmakta ve F değerleri hesaplanmaktadır.

Hipotez testlerinde F istatistiğinin kullanılma nedeni faktör sayısının ikiden fazla olması durumunda bir çok kombinasyonu gerektiren t testlerinin uygulanma zorluğudur. Bu zorlukları gören R.A. Fisher Varyans Analizi yöntemini geliştirmiştir (Uysal, 2002: 28). F istatistiği F örnekleme dağılımının bir terimidir ve iki parametrelili bir dağılım olan F dağılımı R. A. Fisher tarafından hesaplandığı için soyadının baş harfi ile gösterilmektedir (Çömlekçi, 2003: 55).

Aşağıda verilen notasyonlardan hareketle değişkenlikler hesaplanarak F değerleri elde edilir (Orhunbilge, 2000: 195; Montgomery, 2005: 561; Erbaş ve Olmuş, 2006: 157):

$\bar{y}_{i.}$: A faktörünün i . düzeyindeki gözlemlerin ortalaması

$\bar{y}_{.j}$: B faktörünün j . düzeyindeki gözlemlerin ortalaması

\bar{y}_{ij} : A faktörünün i . ve B faktörünün j . düzeyindeki gözlemlerin ortalaması

\bar{y} Genel ortalama iken,

$$\begin{aligned}
 y_{i..} &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} & \bar{y}_{i..} &= \frac{y_{i..}}{bn} & i=1,2,\dots,a \\
 y_{.j.} &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ijk} & \bar{y}_{.j.} &= \frac{y_{.j.}}{an} & j=1,2,\dots,b \\
 y_{ij.} &= \sum_{k=1}^n y_{ijk} & \bar{y}_{ij.} &= \frac{y_{ij.}}{n} \\
 \bar{y} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} & & & (1-2)
 \end{aligned}$$

Olmaktadır.

Bu değerlerin hesaplanmasında kullanılacak notasyonlar Tablo 1-4'te verilmektedir (Orhunbilge, 2000: 195; Montgomery, 2001: 171):

Tablo 1-4 Varyans Analizi Notasyonları

Birinci Faktör (A)	İkinci Faktör (B)				Satır Toplamları	Satır Ortalamaları
	1	2	3	b		
1	\bar{y}_{11}	\bar{y}_{12}	\bar{y}_{13}	\bar{y}_{1b}	$\sum y_{1j}$	\bar{y}_1
2	\bar{y}_{21}	\bar{y}_{22}	\bar{y}_{23}	\bar{y}_{2b}	$\sum y_{2j}$	\bar{y}_2
3	\bar{y}_{31}	\bar{y}_{32}	\bar{y}_{33}	\bar{y}_{3b}	$\sum y_{3j}$	\bar{y}_3
.
.
a	\bar{y}_{a1}	\bar{y}_{a2}	\bar{y}_{a3}	\bar{y}_{ab}	$\sum y_{aj}$	\bar{y}_a
Sütun Toplamları	$\sum y_{i1}$	$\sum y_{i2}$	$\sum y_{i3}$	$\sum y_{ib}$	$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^a \bar{y}_i}{a} = \frac{\sum_{j=1}^b \bar{y}_j}{b}$	
Sütun Ortalamaları	\bar{y}_1	\bar{y}_2	\bar{y}_3	... \bar{y}_b		

Genel kareler toplamı, değişkenliğin dört kaynağını gösterecek şekilde ayrıştırılacaktır. Bu değişkenlik kaynakları A faktörüne ilişkin değişkenlik (satırlar arası değişkenlik), B faktörüne ilişkin değişkenlik (sütunlar arası değişkenlik), AB faktörleri arasındaki etkileşimin etkisine ilişkin değişkenlik (etkileşimle açıklanan değişkenlik), hata terimi değişkenliğidir (Açıklanamayan değişkenlik). Genel kareler

toplamı aşağıda verildiği gibi ayrıştırılmaktadır (Montgomery, 2005: 561; Erbaş ve Olmuş, 2006: 157):

$$SS_T = KT_{GENEL} = \bar{y} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y}_{...})^2 = bn \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2 + an \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2 + n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{...})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y}_{ij.})^2$$

Ya da sembolik olarak;

$$KT_{GENEL} = KT_A + KT_B + KT_{AB} + KT_{HATA} = (SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E) \quad (1-3)$$

şeklinde gösterilmektedir.

Bu bileşenler denklem (1-4)'te verilmekte olan formüller ile kolay bir şekilde hesaplanabilmektedir:

$$KT_{GENEL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$KT_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i..}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$KT_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$KT_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij.}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} - KT_A - KT_B$$

$$KT_{HATA} = KT_{GENEL} - KT_A - KT_B - KT_{AB} \quad (1-4)$$

Toplam serbestlik derecesi ise :

$$abn-1 = (a-1) + (b-1) + (a-1)(b-1) + ab(n-1) \quad (1-5)$$

şeklinde,

Karelerin ortalamaları da;

$$KO_A = KT_A / (a-1),$$

$$KO_B = KT_B / (b-1),$$

$$KO_{AB} = KT_{AB} / (a-1)(b-1),$$

$$KO_{HATA} = KT_{HATA} / ab(n-1) \quad (1-6)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Değişkenlik kaynaklarının kareler toplamı değerlerinin ilgili serbestlik derecesine bölünmesiyle kareler ortalaması (varyans) değerleri elde edilir. Kareler ortalaması değerlerinin açıklanamayan kısmın kareler ortalaması değerine bölünmesiyle F değerleri hesaplanır ve hipotezler test edilir.

Bu aşamada F tablo değerleri ya da bilgisayar programı sonuçlarında yer alan p (probability) değerleri ile karşılaştırma yapıp karar alınabilir (Orhunbilge, 2000: 180):

$F_{\text{tablo}} < F$ ise H_0 red, $F_{\text{tablo}} \geq F$ ise H_0 kabul edilir.

Eğer p değeri < “anlamlılık düzeyi” ise H_0 red, p değeri \geq “anlamlılık düzeyi” ise H_0 kabul olmaktadır.

Bu hesaplamaların ve notasyonların kullanımıyla oluşturulan iki faktörlü sabit etkili model için varyans analizi tablosu Tablo 1-5’te verilmektedir (Orhunbilge, 2000: 195; Erbaş ve Olmuş, 2006: 157):

Tablo 1-5 İki Faktörlü Sabit Etkili Düzende Varyans Analizi Tablosu

Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı KT	Serbestlik Derecesi sd	Kareler Ortalaması (Varyans) KO	Test İstatistikleri (F)
Satırlararası (A)	KT_A	$a-1$	KO_A	KO_A / KO_{HATA}
Sütunlararası (B)	KT_B	$b-1$	KO_B	KO_B / KO_{HATA}
Etkileşim (AB)	KT_{AB}	$(a-1)(b-1)$	KO_{AB}	KO_{AB} / KO_{HATA}
(Açıklanamayan) Hata	KT_{HATA}	$ab(n-1)$	KO_{HATA}	
Toplam	KT_{GENEL}	$abn-1$		

1.4.1.2 Model Yeterliliğinin Kontrolü

Varyans Analizi sonuçlarına göre yorum yapılmasında önce kurulan modelin yeterliliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontrollerde öncelikli tanı aracı (diagnostic tool) artık analizidir (kalıntı analizi, residual analysis). İki faktörlü

faktöriyel modelde artıklar denklem (1-7)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır. (Montgomery, 2001: 185):

$$e_{ijk} = y_{ijk} - \hat{y}_{ijk} \quad (1-7)$$

Burada tahmin değeri $\hat{y}_{ijk} = \bar{y}_{ij}$. (i . satır, j . sütundaki gözlemlerin ortalaması) olmaktadır. Bu nedenle eşitlik üzerinde denklem (1-8)'te verilmekte olan dönüşüm yapılmaktadır:

$$e_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{ij} \quad (1-8)$$

Bu nedenle i . satır, j . sütun k . tekrardaki artık değeri, bu ölçümde elde edilen değer ile her bir gözlem değerinin ortalaması arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Model yeterlilik testleri artık değerlerinin kullanıldığı grafik analizleri (plotting) ya da her bir varsayım için geliştirilen formal testlerle yapılabilmektedir (Montgomery, 2001: 77):

Normallik Varsayımının Kontrolü:

Normallik varsayımının kontrolü için artıkların histogramı çizilebilmektedir. Eğer $N(0, \sigma^2)$ varsayımı karşılanıyorsa grafik 0 merkezli normal dağılım örneğine benzeyecektir. Ancak az sayıda örnek ile çalışılıyorsa dalgalanmalar oluşabilecektir. Artıkların normal dağılımına ilişkin kullanılacak bir diğer grafik ise normal olasılık grafiğidir. Normal olasılık grafiği artıkların kümülatif dağılımının normal olasılık kağıdı üzerindeki grafiğidir. Eğer hatalar normal dağılıyor ise grafik düz bir hat şeklinde görülmektedir (Montgomery, 2001: 77).

Normallikten sapma olup olmadığının araştırılmasında ayrıca; momentlere dayanan asimetri ve basıklık ölçüleri belirlenebilmekte (Normal dağılım için $\alpha_3=0$ ve $\alpha_4=3$ olmalıdır), Anderson–Darling, Kolmogorov Simirnov, Ki-Kare uygunluk testleri gibi testler de kullanılabilir (Orhunbilge, 2002: 252).

Normal olasılık grafiği üzerinde bir artık diğerlerinden çok uzak görünüyorsa bu artıklar uç değer (aykırı nokta, sapan, outlier) olarak adlandırılmaktadır. Bir ya da daha fazla uç değer bulunması varyans analizinde sapmalara yol açabilmektedir.

Bu nedenle hesaplama, kodlama ve kopyalama hatalarına karşı dikkatli olunması gerekir (Montgomery, 2001: 78).

Uç değerlerin belirlenmesi için bazı istatistik prosedürler geliştirilmiştir. Standardize ve studentize edilmiş artık değerleri (standardized residuals, studentized residuals) de bu amaçla kullanılabilir. Buna göre denklem (1-7)'de verilen artıklar,

$$\begin{aligned} e &= y - \hat{y} \\ &= y - X'(X'X)^{-1} X' y \\ &= (1 - H)y \end{aligned} \quad (1-9)$$

biçiminde yazılabilir. Burada H önkestim matrisidir (hat matrix). Denklem (1-9)'da $y = X\beta + \varepsilon$ değeri yerine yazılırsa, artıklar;

$$\begin{aligned} e &= (1 - H)(X\beta + \varepsilon) \\ &= X\beta - X'(X'X)^{-1} X'X\beta + \varepsilon + H\varepsilon \\ &= (1 - H)\varepsilon \end{aligned} \quad (1-10)$$

olarak elde edilir. Denklem (1-10)'daki ifade, $i=1, \dots, n$ olmak üzere,

$$e_i = \varepsilon_i - \sum_{j=1}^n h_{ij} \varepsilon_j \quad (1-11)$$

biçiminde yazılabilir. Denklem (1-11)'den artıklar ve hatalar arasında H önkestim matrisine bağlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Artıklar hataların gerçekleşen ya da gözlenen değerleri olarak düşünülebilir. Bu nedenle hatalar için varsayımlara ilişkin bozulmalar artıklar yardımıyla incelenebilmektedir. Artıkların da hatalar gibi ortalaması sıfırdır. Buna karşın hatalar eşit varyansa sahip olsalar da artıkların varyansı farklı olabilir. Artıkların varyansının değişiklik göstermesi sorunu artıkların standartlaştırılmasıyla giderilmeye çalışılır. Standartlaştırılmış hatalar r_i ile gösterilirse,

$$r_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma} \sqrt{(1 - h_{ii})}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1-12)$$

şeklinde ifade edilir. Bu artıklara içsel standartlaştırılmış artıklar (internally standardized residuals) da denmektedir. Denklem (1-12)'de $e_i = y_i - \hat{y}_i$ olup $V(e_i) = \hat{\sigma}^2(1 - h_{ii})$ 'dir $\hat{\sigma}\sqrt{(1 - h_{ii})}$, e_i 'nin standart sapmasıdır. Denklem (1-12)'de n tane gözlemden elde edilen hata varyansı kestirimi, $\hat{\sigma}^2$ yerine i . gözlem çıkarıldıktan sonra elde edilen hata varyansı kestirimi $\hat{\sigma}_{-i}$ kullanılarak bulunan standartlaştırılmış artıklar r_i^* ile gösterildiğinde,

$$r_i^* = \frac{e_i}{\hat{\sigma}_{-i}\sqrt{(1 - h_{ii})}}, \quad (1-13)$$

olarak elde edilir. r_i^* uç değerleri ortaya çıkarmak için kullanılan farklı bir yaklaşımdır. r_i^* artıklarına dışsal standartlaştırılmış artıklar (externally standardized residuals) da denir. Denklem (1-12) ve (1-13)'teki artıklara terminolojide kolaylık sağlamak için studentize artıklar denmektedir. n , büyük olduğunda bu artıkların yaklaşık olarak standart normal dağılıma yakın bir dağılım gösterdiği varsayılır ve bunun sonucu olarak bu artıkların genellikle $[-3; 3]$ sınırları arasında olması beklenir. Artıklara ilişkin grafiğik incelendiği zaman bu sınırların dışında kalan gözlemler uç nokta olarak kabul edilmektedir (Türkan, 2008: 18-20).

Bağımsızlık Varsayımının Kontrolü:

Artıklar arasında korelasyon olup olmadığının belirlenmesi için artıkların zaman sırasına bağlı olarak elde edilen grafiği kullanılmaktadır. Artıkların ard arda yoğun bir şekilde pozitif ya da negatif olarak oluşması pozitif korelasyonun belirtisi olabilmektedir. Bu durum da bağımsızlık varsayımının sağlanmadığını göstermektedir. Deneylerin yapılmasında rassal sıranın izlenmesi bu problemin oluşmasının engellenmesine yardımcı olabilecek bir yaklaşımdır (Montgomery, 2001: 79).

Eşit Varyanslılık Varsayımının Kontrolü:

Bağımsız değişkenin değerlerinin tümü için hata varyanslarının eşit olması şartına eşit varyanslılık (homoscedasticity) adı verilmektedir. Hata varyanslarının farklı olması ise ilişki analizinde istenmeyen bir durumdur ve farklı varyanslılık (heteroscedasticity) olarak adlandırılmaktadır. Bu varsayımdan sapma olup

olmadığını sınamak için yatay ekseninde bağımlı değişkenin tahmini değeri veya bağımsız değişken, dikey ekseninde ise standardize hataları gösterilerek serpilme diyagramı çizilir. Standardize hatalar 0 etrafında simetrik bir dağılım gösterdiğinde eşit varyanslılık söz konusudur. Grafiklerin incelenmesinin yanı sıra mutlak hatalarla bağımsız değişken arasında sıra korelasyonu hesaplanması ya da Goldfield Quandt incelemesi, Bartlett ve Glesyer testlerini de yapılabilmektedir (Orhunbilge, 2002: 230).

1.4.2 Faktöriyel Tasarımların Genel Modeli

İki faktörlü faktöriyel tasarımlar, a düzeyli A faktörü, b düzeyli B faktörü, c düzeyli C faktörü gibi genelleştirilip genişletilebilmektedir. Genel olarak tam deneylerde $abc\dots n$ toplam gözlem için n tekrar yapılır. Modelde olası etkileşimler bulunuyorsa, hataya ilişkin kareler toplamını hesaplamak için $n \geq 2$ olmalıdır.

Deneydeki tüm faktörler sabitse, ana etki ve etkileşimler için hipotez kurulması kolay olmaktadır. Sabit etkili model için her bir ana etkinin ve etkileşimin kareler ortalaması, ilgili etkileşim veya ana etkinin kareler toplamının serbestlik derecesine bölünmesiyle elde edilir. Daha sonra da kareler ortalaması, hata kareleri toplamına bölünmekte ve test istatistiği değeri elde edilmektedir.

Üç faktörlü varyans analizi modeli denklem (1-14)'de verilmektedir (Erbaş ve Olmuş, 2006: 169; Montgomery, 2001: 194):

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{l(ijk)} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (1-14)$$

Üç faktörlü düzende kareler toplamları:

$$KT_{GENEL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (1-15)$$

$$KT_A = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn}$$

$$KT_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b y_{.j.}^2 - \frac{y^2}{abcn}$$

$$KT_C = \frac{1}{abn} \sum_{k=1}^c y_{.k.}^2 - \frac{y^2}{abcn}$$

$$KT_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij.}^2 - \frac{y^2}{abcn} - KT_A - KT_B$$

$$KT_{AC} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y_{i.k.}^2 - \frac{y^2}{abcn} - KT_A - KT_C$$

$$KT_{BC} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{.jk.}^2 - \frac{y^2}{abcn} - KT_B - KT_C$$

$$KT_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk.}^2 - \frac{y^2}{abcn} - KT_A - KT_B - KT_C - KT_{AB} - KT_{AC} - KT_{BC}$$

$$KT_{HATA} = KT_{GENEL} - KT_A - KT_B - KT_C - KT_{AB} - KT_{AC} - KT_{BC} - KT_{ABC}$$

şeklinde hesaplanır. Üç faktörlü sabit etkili düzen için varyans analizi sonuç tablosu aşağıda verilmektedir (Erbaş ve Olmuş, 2006: 169; Montgomery, 2001: 194):

Tablo 1-6 Varyans Analizi Sonuç Tablosu

Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı KT	Serbestlik Derecesi sd	Kareler Ortalaması (Varyans) KO	Test İstatistikleri (F)
A	KT_A	$a-1$	KO_A	KO_A / KO_{HATA}
B	KT_B	$b-1$	KO_B	KO_B / KO_{HATA}
C	KT_C	$c-1$	KO_c	KO_C / KO_{HATA}
AB	KT_{AB}	$(a-1)(b-1)$	KO_{AB}	KO_{AB} / KO_{HATA}
AC	KT_{AC}	$(a-1)(c-1)$	KO_{AC}	KO_{AC} / KO_{HATA}
BC	KT_{BC}	$(b-1)(c-1)$	KO_{BC}	KO_{BC} / KO_{HATA}
ABC	KT_{ABC}	$(a-1)(b-1)(c-1)$	KO_{ABC}	KO_{ABC} / KO_{HATA}
Hata	KT_{HATA}	$abc(n-1)$	KO_{HATA}	
Toplam	KT_{GENEL}	$abcn-1$		

1.4.3 2^k Faktörlü Faktöriyel Tasarımlar

Faktöriyel tasarımların özel tipleri süreç geliştirmede yararlı araçlardır. Bu faktöriyel tasarımlardan biri iki düzeyli k faktörlü faktöriyel tasarımlardır. Tasarımın her bir tekrarı 2^k defa gerçekleştirildiğinden dolayı bu şekilde adlandırılmaktadır. Diğer tasarımlara temel oluşturacak düzeyde basitleştirilmiş tasarımlardır. Burada her bir faktör 2 düzey içermektedir. Bu düzeyler, ısının iki uç değeri, basıncın iki uç değeri, iki zaman değeri, iki makine vb. olabilir. Yalnız iki düzeyi içeren durum önemsiz gibi görünse de en az iki nedenden dolayı çok yararlıdır. Bu nedenlerden birincisi daha karışık düzeylerin tartışılmasında yararlı olacak gösterim ve kavramları tanıtmak, ikincisi de uygulamada gerçekten var olan ana etki ve etkileşimlerin ne olduğunu açıklamaktır (Montgomery, 2001: 219; Hicks, 1985: 94).

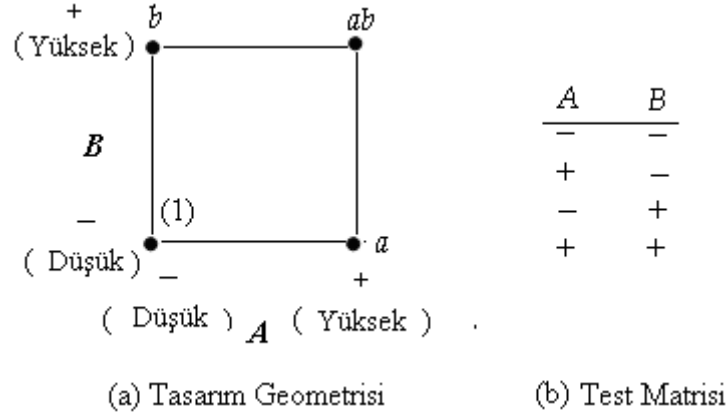
2^2 Faktöriyel Tasarımlar

2^k tasarımların en basit tipi, iki düzeyli A ve B gibi iki faktörün bulunduğu 2^2 faktöriyel tasarımlardır. Bu $2 \times 2 = 2^2$ çok etkenli ve tam rassal olarak düşünülecek bir düzendir. Genelleme yapabilmek için A faktörü “Sıcaklık”, B faktörü “Süre” olarak düşünüldüğünde tam rassal düzen için model:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1-16)$$

olacaktır. Burada $i=1, 2$ ve $j=1, 2$ 'dir (Hicks, 1985: 94).

Bu tür tasarımlarda düzeyler genellikle “düşük” (–) ve “yüksek” (+) olarak tanımlanır. Bu tasarımlar geometrik olarak Şekil 1-7'nin (a) kısmında görüldüğü gibi $2^2=4$ denemeye karşılık bir karenin köşeleri olarak gösterilir. Ayrıca şeklin (b) bölümünde görüldüğü gibi matris olarak da düzenlenebilir. Karedeki her bir köşe, A ve B faktörlerinin kullanılan düzeylerine bağlı olarak test matrisinde (–) ve (+) ile ifade edilmektedir (Montgomery, 2001: 219):



Şekil 1-7 2^2 Faktöriyel Tasarım

Diğer bir gösterim şeklinde ise, her bir denemede küçük harfler kullanılmaktadır. Eğer denemede bir faktörün yüksek düzeyi yer almışsa o faktör için harf kullanılır. Eğer faktörün düşük düzeyi yer almışsa faktöre ait harf kullanılmaz. Bu notasyon 2^k tasarım için de kullanılmaktadır (Montgomery, 2001: 219).

2^2 tasarım için ana etkiler, A ve B şeklinde gösterilen iki faktörü ifade etmekte ve etkileşim ise, AB şeklinde gösterilmektedir. Faktör etkilerinin belirlenmesi için de hesaplamalar yapılmaktadır. Örnek olarak A faktörünün etkisinin tahmini istendiğinde karenin sağ tarafındaki değerler ortalamasından karenin sol tarafındaki değerlerin ortalaması çıkarılmaktadır (Montgomery, 2005: 568):

$$A = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} = \frac{a + ab}{2n} - \frac{b + (1)}{2n} = \frac{1}{2n} [a + ab - b - (1)] \quad (1-17)$$

Benzer olarak B faktörü ve AB etkileşiminin etkisi de tahmin edilir:

$$B = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{b + ab}{2n} - \frac{a + (1)}{2n} = \frac{1}{2n} [b + ab - a - (1)] \quad (1-18)$$

$$AB = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{ab + (1)}{2n} - \frac{a + b}{2n} = \frac{1}{2n} [ab + (1) - a - b] \quad (1-19)$$

Burada elde edilen bu bağıntılar, doğrusal bağıntı (kontrast, contrast) olarak adlandırılmaktadır. Örnek olarak A bağıntısı aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$Bağıntı_A = a + ab - b - (1)$$

Bu eşitliklerde bağıntı katsayıları her zaman ya +1 ya da -1 olmaktadır. Faktöriyel etkileri + ve - işaretleriyle Tablo 1-7’de verilmektedir (Montgomery, 2005: 569):

Tablo 1-7 2^2 Tasarımda Etkilerin İşaretleri

Deneme		Faktöriyel Etki			
		<i>I</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>AB</i>
1	(1)	+	-	-	+
2	<i>a</i>	+	+	-	-
3	<i>b</i>	+	-	+	-
4	<i>ab</i>	+	+	+	+

Bu tablodan yararlanarak kareler toplamı;

$$KT = \frac{(\text{bağıntı})^2}{n \sum (\text{bağıntı katsayısı})^2} \quad (1-20)$$

şeklinde, *A*, *B* ve *AB* için de denklem (1-21)’de verildiği şekilde hesaplanabilmektedir (Montgomery, 2005: 569):

$$KT_A = \frac{[a + ab - b - (1)]^2}{4n}$$

$$KT_B = \frac{[b + ab - a - (1)]^2}{4n}$$

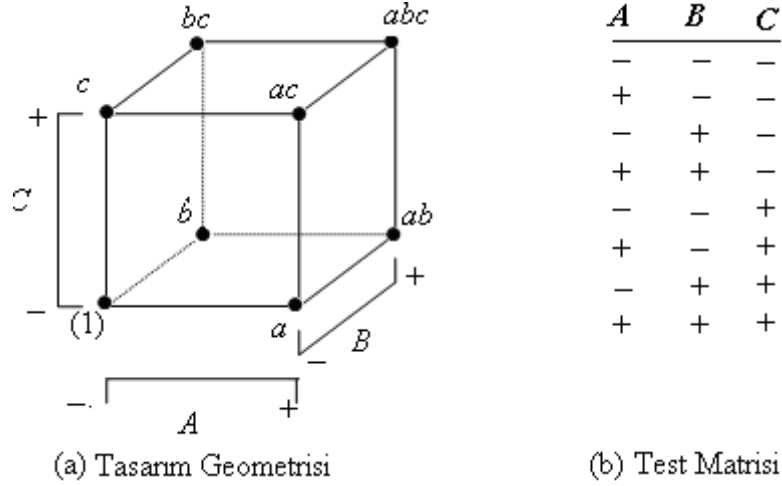
$$KT_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{4n} \quad (1-21)$$

$4n-1$ serbestlik dereceli KT_{GENEL} ve $4(n-1)$ serbestlik dereceli KT_{HATA} ’nın da hesaplanmasıyla varyans analizi yapılır.

$k \geq 3$ iken 2^k Faktöriyel Tasarımlar

İki düzeyli iki faktörlü faktöriyel tasarımların genişletilmesiyle daha fazla faktörle çalışılabilir. $k=3$ olduğunda her bir faktöründe de iki düzeyi varsa bu tasarım 2^3 faktöriyel tasarımı olup 8 faktör-düzyer kombinasyonuna sahiptir. Tasarım geometrik olarak küp ile gösterilir ve 8 deneme kübün köşelerinde yer almaktadır.

Aşağıda verilmekte olan Şekil 1-8’de bu geometrik yapı incelenebilir (Montgomery, 2005: 574):



Şekil 1-8 2^3 Faktöriyel Tasarımlar

Bu tasarım *A*, *B*, *C* olmak üzere üç ana etkinin, *AB*, *AC*, *BC* iki faktör etkileşimlerinin ve *ABC* üç faktör etkileşiminin tahminine olanak sağlamaktadır. Model denklem (1-22)’de verildiği şekilde ifade edilmektedir:

$$y = \mu + A + B + C + AB + AC + BC + ABC + \varepsilon \quad (1-22)$$

Burada da μ : genel ortalama ε , $\varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ ile gösterilen rassal hata bileşenidir.

A faktörünün ana etkisinin tahmini için önce kübün sağ tarafındaki değerlerin yani “yüksek” düzeyine ilişkin değerlerin ortalaması alınır ve sol taraftaki değerlerin ortalaması bundan çıkarılır (Montgomery, 2005: 576):

$$A = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} = \frac{1}{4n} [a + ab + ac + abc - b - c - bc - (1)] \quad (1-23)$$

Benzer olarak *B* ve *C* faktörlerinin etkisi de tahmin edilmektedir:

$$B = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - a - c - ac - (1)] \quad (1-24)$$

$$C = \bar{y}_{C^+} - \bar{y}_{C^-} = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - a - b - ab - (1)] \quad (1-25)$$

AB etkileşiminin tahmininde *C* faktörünün “yüksek” ve “düşük” düzeylerine ilişkin elde edilen değerlerin ortalamalarının farkı değerlendirilmektedir.

C faktörü “düşük” düzeyi ele alınırken:

$$AB (C^-) = \frac{1}{2n} [ab - b] - \frac{1}{2n} [a - (1)] \quad (1-26)$$

C faktörü “yüksek” düzeyi ele alınırken:

$$AB (C^+) = \frac{1}{2n} [abc - bc] - \frac{1}{2n} [ac - c] \quad (1-27)$$

AB etkileşiminin etkisi bu iki bileşenin ortalaması ile (kübün köşegen yüzeylerinin dikkate alınması ile) denklem (1-28)'de verildiği şekilde tahmin edilmektedir.

$$AB = \frac{1}{4n} [ab + (1) + abc + c - b - a - bc - ac] \quad (1-28)$$

Benzer şekilde *AC* ve *BC* etkileşimleri denklem (1-29) ve (1-30)'da verildiği şekilde tahmin edilmektedir:

$$AC = \frac{1}{4n} [ac + (1) + abc + b - a - c - ab - bc] \quad (1-29)$$

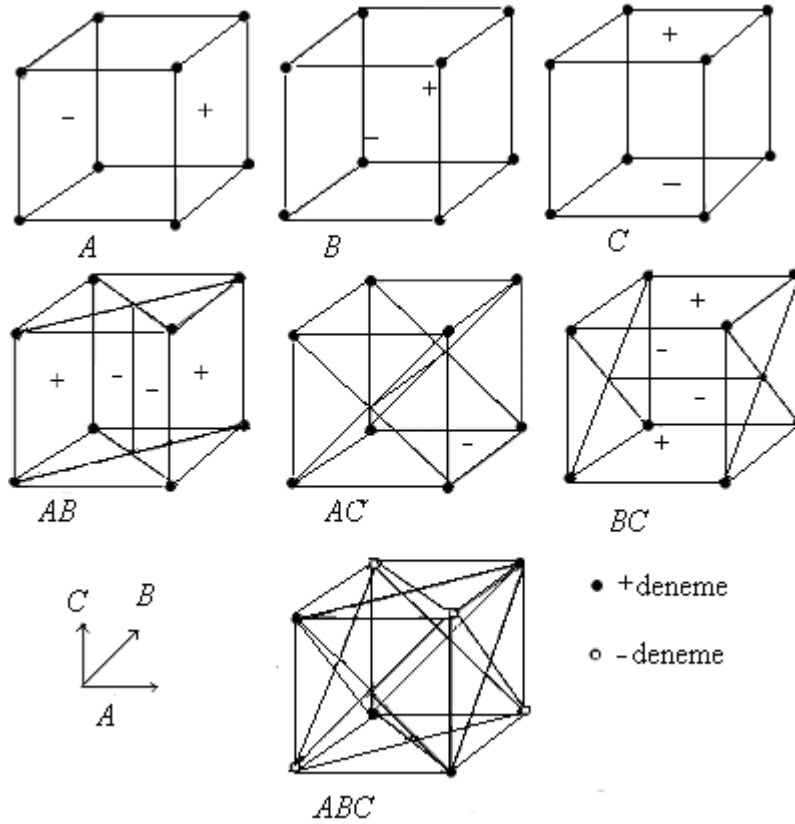
$$AB = \frac{1}{4n} [bc + (1) + abc + a - b - c - ab - ac] \quad (1-30)$$

ABC etkisi ise *C* faktörünün iki düzeyinin ortalamasının *AB* etkileşimi ortalama farkı ile tahmin edilmektedir.

$$ABC = \frac{1}{4n} \{ [abc - bc] - [ac - c] - [ab - b] - [a - (1)] \}$$

$$ABC = \frac{1}{4n} [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)] \quad (1-31)$$

Ana etkiler ve etkileşimler için elde edilen bu bağıntıları gösteren grafik Şekil 1-9'da verilmektedir (Box, Hunter ve Hunter, 1978: 312; Montgomery, 2001: 229):



Şekil 1-9 2³ Faktöriyel Tasarımlarda Ana Etkiler ve Etkileşimler

Bu bağıntılar sekiz faktör–düzey kombinasyonunu oluşturmakta ve 2³ faktöriyel için Tablo 1-8’de verilen (-), (+) işaretlerden oluşmaktadır. Burada sütundaki (+) işareti “yüksek” düzeyin, (-) işareti de “düşük” düzeyin kullanılacağını göstermektedir.

Tablo 1-8 2³ Tasarımlarda Etkilerin İşaretleri

Deneme Kombinasyonu	Faktöriyel Etki							
	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
(1)	+	-	-	+	-	+	+	-
a	+	+	-	-	-	-	+	+
b	+	-	+	-	-	+	-	+
ab	+	+	+	+	-	-	-	-
c	+	-	-	+	+	-	-	+
ac	+	+	-	-	+	+	-	-
bc	+	-	+	-	+	-	+	-
abc	+	+	+	+	+	+	+	+

Tablo aynı zamanda aşağıdaki özellikleri de içermektedir (Box, Hunter ve Hunter, 1978: 383; Hines ve Montgomery, 423: 1990; Montgomery, 2005: 577):

1. Herhangi bir sütunun elemanlarının karesi tüm elemanları (+) olan özdeşlik (kimlik, identity) sütununu vermektedir. Özdeşlik sütunu I harfiyle gösterilir. Örnek olarak $1 \times 1 = 1^2 = I$, $2^2 = I$, $3^2 = I$, $4^2 = I$ verilebilir,

2. I özdeşlik sütunu haricinde her bir sütun eşit sayıda (+) ve (-) işareti içermektedir,

3. Herhangi iki sütundaki işaretlerin çarpımlarının toplamı sıfırdır. Bu da ortogonal olma özelliğini sağlamaktadır,

4. Herhangi bir sütunun I sütunu ile çarpımı değişikliğe yol açmaz,

5. Herhangi iki sütunun çarpımı tablodaki başka bir sütuna karşılık gelmektedir. Örnek olarak; $A \times B = AB$, $AB \times ABC = A^2 B^2 C = C$ verilebilir.

Bağıntıların da hesaplanması sonucu, etkilerin kareler toplamı denklem (1-32)'de verilmekte olan formülle elde edilmektedir (Montgomery, 2005: 577):

$$KT = \frac{(\text{bağıntı})^2}{n \cdot 2^2} \quad (1-32)$$

1.5 KESİRLİ FAKTÖRİYEL DENEY TASARIMI

Tam faktöriyel deney tasarımında tasarım uzayının bütün köşelerinin değerlendirilmesi ile tasarım probleminin en iyi çözümünün bulunacağı kanıtlanmaktadır. Ancak faktör ve düzey sayısı arttıkça çalışmanın yapılması güçleşmektedir (Çelik, 1996: 16). Çok faktörlü bir deneyde incelenen faktör sayısı arttıkça, her bir faktör kombinasyon sayısı da hızla artmaktadır. Örneğin 2 düzeyli 10 faktörün bulunduğu bir deney için 2^{10} deney düzeni 1024 denemeyi, eğer bu faktörler 3 düzeyli olursa 3^{10} deney düzeni 59049 denemeyi gerektirmektedir (Anderson R. L., 1956: 78).

Faktör sayısının çok olduğu durumlarda ana etkiler ve önemli etkileşimlerin belirlenmesi için olası deneme kombinasyonlarının kesri kullanılabilir (Finney, 1974: 95).

Bir deneyin yalnız bir kısmı uygulandığı zaman elde edilen düzene kesirli faktöriyel tasarım (parçalanmış deneme düzeni, fractional replication) denilmektedir.

Bu faktöriyel düzenler kalite kontrolü ve ürün geliştirme başta olmak üzere endüstride sıkça kullanılırlar. Bu yöntemin avantajı zaman ve maliyetten tasarruf sağlaması, dezavantajı ise her bir ana etki ve etkileşim etkisinin bir veya daha fazla sayıdaki diğer etki ve etkileşim etkileri ile karışmasıdır. Bu nedenle etkiler ayrı olarak tahmin edilememektedir (Erbaş ve Olmuş, 2006: 372).

Bazı durumlarda gözlemlerin 1/2, 1/4, 1/8, 1/3, 1/9 vb. kesirlerinden problem için gerekli bilgi elde edilebilmektedir. Bir kesirli tekrarın uygulanmasında bloklardaki deneme kombinasyonlarının sayısı deney maliyetlerinin dikkate alınmasıyla belirlenir. Gerek görülürse ekonomik koşullara göre yapılması gereken deney sayısı deneyin 1/2, 1/4 ya da 1/9 gibi kesirli tekrarları dikkate alınarak belirlenebilir. 1/2 ve 1/3 kesirli tekrarda bir tanımlayıcı bağıntı gerekirken 1/4 ve 1/9 için iki tanımlayıcı bağıntı gerekecektir. Kesirli tekrar azaldıkça tanımlayıcı bağıntı sayısı artacaktır (Kaya, 1996: 21).

2^k Deney Düzeninin Yarı Kesri

İki düzeyli üç faktörün dikkate alındığı tam faktöriyel tasarım ile $2^3=8$ deneme kombinasyonu yapılması gerekmektedir. Ancak zaman, maliyet ve diğer etkenler nedeniyle deney sayısı azaltılarak yarı kesir çalışması ile 8 yerine 4 deneme yapılabilir. Bu düzen 4 deneme kombinasyonu içermekte ve 2^3 yarı tekrarı 2^{3-1} düzeni olarak da adlandırılmaktadır. Genel olarak, 2^k 'nin bir kesirli tekrarı 2^{k-p} sayıda deneme kombinasyonunu içermekte ve $1/2^p$ kesirli tekrarı olarak da adlandırılmaktadır (Erbaş ve Olmuş, 2006: 372).

2^{3-1} düzeni ABC sütununun işaretlerinin dikkate alındığı deneme kombinasyonlarıyla oluşturulmaktadır. Bu nedenle bu özel kesir ABC jeneratör (generator) olarak adlandırılır. Özdeşlik sütunu I 'da jeneratör sütunu ile daima aynı işarettedir ve bu durum $I=ABC$ tasarımın tanımlayıcı bağıntısıdır (defining relation, defining contrast). Tanımlayıcı bağıntı kesirli tekrarlar ile tahmin edilemeyen bir faktöre karşılık gelmekte ve tanımlayıcı bağıntı dışındaki diğer faktörler başka bir faktör ile eşdeğer (eş adlar/ aliases) olabilmektedir (Montgomery, 2001: 304; Miller vd., 1990: 481).

ABC sütununun işaretlerinin dikkate alındığı sekiz deneme kombinasyonunda a , b , c ve abc (+) işaretli olduğundan ana kesri oluşturmakta (principal fraction) ve geriye kalan ab , ac , bc ve (1) ise (-) işaretli olduğundan diğer kesri (alternate fraction) oluşturmaktadır.

2^{3-1} deneme kombinasyonu ana etkilerin tahmini için üç serbestlik derecesi içermektedir. A , B , C ana etkilerinin tahmininde doğrusal kombinasyonlar oluşturulması için Tablo 1-9'dan yararlanılabilir (Montgomery, 2001: 304):

Tablo 1-9 2^3 Faktöriyel Tasarımlar İçin Artı ve Eksi İşaretler

Deneme Kombinasyonu	Faktöriyel Etki							
	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
a	+	+	-	-	-	-	+	+
b	+	-	+	-	-	+	-	+
c	+	-	-	+	+	-	-	+
abc	+	+	+	+	+	+	+	+
ab	+	+	+	+	-	-	-	-
ac	+	+	-	-	+	+	-	-
bc	+	-	+	-	+	-	+	-
(1)	+	-	-	+	-	+	+	-

Burada ana etkilerin tahmini elde edilmek istendiğinde bağıntılar:

$$A = \frac{1}{2}[a - b - c + abc] \quad (1-33)$$

$$B = \frac{1}{2}[a - b - c + abc]$$

$$C = \frac{1}{2}[a - b - c + abc]$$

İki faktörlü etkileşimlere ilişkin bağıntılar:

$$BC = \frac{1}{2}[a - b - c + abc] \quad (1-34)$$

$$AC = \frac{1}{2}[a - b - c + abc]$$

$$AB = \frac{1}{2}[a - b - c + abc] \text{ olmaktadır (Montgomery, 2005: 596).}$$

A ve BC , B ve AC , C ve AB 'nin hesaplanmasında kullanılan doğrusal kombinasyonlar eşit olduğu için elde edilen sonuçlarda $A=BC$, $B=AC$, $C=AB$ olacaktır. Bu nedenle A , B , C faktörlerinin etkileri tahmin edilirken, aslında $A+BC$, $B+AC$, $C+AB$ etkileri araştırılmaktadır. İki veya daha fazla etki bu özelliğe sahip ise bunlar eşdeştirler. Ele alınan örnekte A ve BC , B ve AC , C ve AB eşdeştirler.

Burada $AB=C$ eşdeşlik yapısı dikkate alındığında ABC etkileşiminin de ($ABC=1=I$) olduğu görülebilmektedir.

Herhangi bir sütun tanımlayıcı bağıntı ile çarpıldığı zaman eşdeş sütun elde edilmektedir. Örneğin, $A.I=A.ABC=A^2BC$ olmaktadır. Burada A sütununun karesi I 'ya karşılık geldiğinden $A=BC$ olmaktadır. Benzer olarak $B.I=B.ABC$ olduğundan ve $B=AB^2C=AC$ ve $C=C.ABC=ABC^2=AB$ elde edilir.

Diğer kesir için ise $I=-ABC$ tanımlayıcı bağıntısı kullanılmakta ve A , B , C faktörlerinin etkileri tahmin edilirken de $A-BC$, $B-AC$, $C-AB$ etkileri araştırılmaktadır (Montgomery, 2001: 305; Finney, 1974: 97).

Deneysel çözüm kavramı ise, bir deneyde oluşan eşdeşlerin durumuna göre kesirli faktörlü deney tasarımında deneylerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Çözüm düzeyleri aşağıda verildiği şekilde özetlenebilmektedir (Canbulut ve Öztop, 2006: 434):

Çözüm 1: Ana etkiler 2 faktörlü etkileşimlerle eşitlenebilirler,

Çözüm 2: Ana etkiler 3 faktörlü etkileşimlerle veya 2 faktörlü etkileşimler birbirleriyle eşitlenebilirler,

Çözüm 3: Ana etkiler 4 faktörlü etkileşimler ile veya 2 faktörlü etkileşimler 3 faktörlü etkileşimler ile eşitlenebilirler,

Çözüm 4: Bütün faktör ve etkileşimler aynı sütunlarda yer alırlar.

1.6 Yanıt Yüzeyi Yöntemi

Kesirli faktöriyel deney tasarımı uygulamaları, 3 düzeyli faktörler arasındaki bileşik etkilerin çok karmaşık olması nedeniyle genellikle 2 düzeyli faktöriyel tasarımlarla sınırlı kalmaktadır. Faktörlerin iki düzeyli olduğu deney tasarımı çalışmalarında bir faktörün doğrusal etkisi belirlendiği için merkez noktası tekrarlı tasarımlarla ya da Yanıt Yüzeyi Yöntemleriyle (YYY, Cevap Yüzeyi Yöntemleri, Response Surface Methods, RSM) eğrisel ilişkiler tahmin edilmeye çalışılmaktadır (Çelik, 1996: 17).

Yanıt yüzeyi yöntemleri ürün ya da süreci en iyilemek ve geliştirmek için kullanılan istatistik ve matematik bir yöntemdir. Bu yöntem 1950'li yıllarda Box tarafından geliştirilmiş ve daha sonraları da pek çok kez başarılı şekilde uygulanmıştır (Menon vd., 2002: 314).

Ürün ya da süreç geliştirme ve kalitenin iyileştirilmesi işlemlerinde yapılan ve yapılması gereken birçok araştırmada sürecin çıktısı ile açıklayıcı değişkenler arasında ilişkinin olduğu modeller incelenmektedir. Bu tür durumlarda kullanılan istatistik yöntemlere Yanıt yüzeyi yöntemleri adı verilmektedir. Yanıt yüzeyi yöntemlerinde öncelikli olarak model kurulmakta, yani yanıt değişkeni ile açıklayıcı değişkenler arasındaki ilişkiye uygun bir matematik model geliştirilmektedir. Daha sonra cevabı en büyük (ya da en küçük) yapacak şekilde açıklayıcı değişkenler için ayarlama yapılmakta yani en iyi nokta bulunmaya çalışılmaktadır. Yanıt yüzeyi yöntemlerinde amaca ulaşılabilmesi için doğru yapılan bir deney tasarımı sonunda elde edilen yanıt yüzeyinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir (Kadılar ve Muluk, 2002: 11).

Yanıt yüzeyi yöntemi aşamaları aşağıda maddeler halinde özetlenmektedir:

1. İstenilen yanıtın yeterli ve güvenilir ölçümlerini veren bir dizi deneyin tasarlanması,
2. Model parametreleri göz önüne alınarak oluşturulan uygun hipotez testleri aracılığıyla 1. adımdaki tasarımdan toplanan verilere en iyi uyan matematik modelin belirlenmesi,

3. Deneydeki faktörlerin en iyi değerlerinin belirlenmesiyle yanıt için en büyük veya en küçük değerin üretilmesi (Khuri ve Cornell, 1996: 3).

Yanıt yüzeyi yöntemi uygulamasında ilk adım yanıt değişkeni üzerinde önemli olduğu düşünülen her faktör için düzeylerin tanımlanmasıdır. Faktör ve düzey sayısının dikkate alınmasıyla belirlenen düzenine göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen veriler çoklu regresyon analizi ile incelenmektedir. Daha sonra yanıt fonksiyonu yani çıktılar, bilinmeyen model parametrelerinin bir öngörüsü olarak değerlendirilmekte ve modelin uygunluğunun kontrol edilip belirli terimlerin modelden çıkarılıp çıkarılmayacağı belirlenmesi için de testler yapılmaktadır. Modelin kurulmasında öncelikle birinci dereceden modeller denenmektedir. Birinci dereceden model uygun değilse tasarımın ikinci dereceden modele uygun olup olmadığı araştırılmaktadır. Modelin uygunluğu sağlanırsa, yanıt yüzeyi çizilmekte ve en iyi faktör düzeyleri belirlenmektedir (Baynal, 2003: 103).

Faktörlerin en iyi düzey değerlerinin bulunması için kullanılan kontur ve yanıt yüzeyi çizimleri oldukça etkili sonuçlar sunmaktadır. Kontur çizimleri; diğer değişkenler sabit tutularak, iki değişkenin oluşturduğu eksen sisteminde sabit yanıtı gösteren konturlardan oluşmuş, genellikle iki boyutlu grafiklerdir. Grafiklerin incelenmesinde konturların sadece tahmini sonuçları yansıttığı ve üzerindeki her noktanın standart bir hata içerdiği dikkate alınmalıdır. Yanıt yüzeyi yönteminde kullanılan bir diğer önemli gösterim yolu da yanıt yüzeyi çizimidir. Yanıt yüzeyi çizimi, x ve y eksenlerini iki tasarım faktörünün oluşturduğu üç boyutlu bir grafikdir ve yanıt değişkeninin aldığı değerler bir yüzeyi oluşturacak şekilde kesintisiz olarak z ekseninde gösterilir (Sarı, 2005: 47).

Yanıt yüzeyi yönteminin pek çok uygulamada etkin olduğu hesaplanmış olsa da aşağıda verilmekte olan sınırlamalara sahiptir (Baynal, 2003: 103):

- Oluşturulan yerel (lokal) model, en iyiyi araştırmak için eğimi (gradyent) hesapladığında yerel bölgedeki veriyi kullanmaktadır. Bu nedenle farklı bir bölgeye geçildiğinde eski bilgi geçersiz olmaktadır,
- Doğrusal bölgede her bir çalışma noktasındaki eğimi değerlendirmek için genellikle tam faktöriyel tasarım 2^k kullanılır; burada k , en iyilenmekte olan

değişkenlerin sayısıdır. Faktör sayısı attığında yapılması gereken deney sayısı da hızlı bir artış göstermektedir,

- Doğrusal olmayan bölgede ise genellikle çok sayıda deney gerektiren ayrıntılı tasarımlar yapılması gerekmektedir.

1.6.1 Yanıt Yüzeyi Modelleri

Yanıt yüzeyi yönteminde ürün verimliliği, maliyet gibi bir ya da daha fazla sayısal yanıt değeri ile sıcaklık, nem, Ph gibi kontrol edilebilen faktörler arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilmek istenmektedir. Eğer sadece η ile gösterilen bir yanıt değişkeniyle ilgileniliyorsa ve k değişken söz konusuysa bu ilişki denklem (1-32)'de verildiği şekilde ifade edilebilmektedir (Box ve Hunter, 1958: 139):

$$\eta = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p) \quad (1-35)$$

Burada $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ kontrol edilebilir parametreleri oluşturmakta iken, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ bilinmeyen parametrelerdir. Eğer bilinmeyen parametreler yanıt değeri için gerçekleşen ölçüm hataları ya da sistem veya sürecin doğasında olan ve gürültü olarak adlandırılan değişkenlik kaynakları olarak ifade edilirse bu fonksiyon,

$$\eta = f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) + \varepsilon \quad (1-36)$$

olarak ta gösterilebilmektedir (Myers ve Montgomery, 2002: 3). Genel olarak ε sıfır ortalama ve σ^2 varyansı olan normal dağılan istatistik hata olarak ele alınmaktadır.

Yanıt yüzeyi yönteminin ana amaçları bu modelde yer alan (Box ve Hunter, 1958: 139);

1. En iyi η değerini verecek olan $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ değişken koşullarının belirlenmesi,
2. Optimum işletim koşullarının yakınındaki (neighborhood) yanıt fonksiyonunun karakteristiklerinin bilinmesi ve böylece hem maliyet gibi koşullar değiştiğinde yanıtın nasıl değiştirileceğinin görülebilmesi hem de sürecin kontrol edilmesi için en iyi yolun bulunmasıdır.

Yanıt değişkeni “y” ile ifade edildiğinde ve ε 'nin ortalaması sıfır ise,

$$E(y) \equiv \eta = E[f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)] + E(\varepsilon) \quad (1-37)$$

$$= f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k) \text{ olmaktadır.}$$

Burada verilen eşitlikteki $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ değişkenleri santigrat (0 C), gram gibi doğal ölçüm birimleri ile ifade edildikleri için doğal değişkenler olarak adlandırılmaktadır. Çoğu Yanıt yüzeyi yöntemi çalışmasında doğal değişkenler x_1, x_2, \dots, x_k olarak gösterilen sıfır ortalamalı ve eşit standart sapması olan değişkenlere dönüştürülmektedir (Myers ve Montgomery, 2002: 3).

Eğer süreç verimliliğinin en iyi değerinin elde edilmek istendiği “İşlem sıcaklığı (x_1)” ve “Reaksiyon süresi (x_2)” faktörlerinin ele alındığı kimyasal işlem problemi¹ ele alınacak olursa, süreç verimliliği fonksiyonu denklem (1-38)’de verildiği şekilde ifade edilebilir (Montgomery, 2005: 612):

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \quad (1-38)$$

Burada yanıtla ilişkin beklenen değer ise “yanıt yüzeyi” (response surface) olarak ifade edilmekte ve denklem (1-39)’da verildiği gibi gösterilmektedir (Montgomery, 2005: 612):

$$E(y) = f(x_1, x_2) \quad (1-39)$$

Bu kodlanmış değişkenlerle genelleştirilmiş yanıt fonksiyonu ise denklem (1-40)’da verildiği şekilde ifade edilebilir (Myers ve Montgomery, 2002: 3):

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (1-40)$$

Bu eşitlikte verilmekte olan ilişki; $k=1$ olduğunda bir yüzey, $k>2$ olduğunda da bir hiper yüzey ile temsil edilmektedir. Birçok yanıt yüzeyi probleminde yanıt ile girdi değişkenleri arasındaki ilişkinin gerçek yapısı bilinemediğinden, gerçek fonksiyonel ilişki için bir yaklaşımın (genellikle polinomial) bulunması söz konusu olmaktadır. Genellikle de girdi değişkeni uzayının küçük bir bölgesinde düşük

¹ “Bir Kerde Bir Faktör Deney Tasarımı” başlığında ele alınan kimyasal süreç örneği

dereceli yaklaşım polinomiyalleri kullanılmaktadır. Yanıt, girdi değişkenlerinin doğrusal bir fonksiyonu ile yeterli derece temsil edilebiliyorsa, yaklaşım fonksiyonu birinci dereceden bir modeldir (first order model) (Özler, 1997: 8):

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (1-41)$$

İki bağımsız değişkenin bulunduğu örnek için birinci dereceden model denklem (1-39)'da verildiği şekilde gösterilebilmektedir (Myers ve Montgomery, 2002: 4):

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (1-42)$$

Buradaki model ayrıca ana etkiler modeli olarak da ifade edilebilmektedir. Çünkü iki değişkenin sadece ana etkilerini içermektedir. Bu değişkenler arasında etkileşim bulunuyorsa modele eklenir (Myers ve Montgomery, 2002: 4):

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (1-43)$$

Etkileşimin eklendiği model yanıt fonksiyona eğrisel bir yapı kazandırmaktadır. Eğer sistemde eğrisel bir ilişki varsa birinci dereceden model genellikle yeterli olamamaktadır. Bu durumda daha yüksek dereceden örneğin ikinci dereceden bir polinomialin kurulması söz konusudur bu modele de ikinci dereceden model (second order model) denmekte ve denklem (1-44)'te verildiği gibi tanımlanmaktadır. (Myers ve Montgomery, 2002: 4-8).

$$\eta = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i < j} \sum_{=2}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (1-44)$$

Bir polinomial genellikle x_1, x_2, \dots, x_k olarak kodlanan girdi değişkenleri olan x 'lerin çarpım, kuvvet ve doğrusal bileşimlerinin oluşturduğu bir fonksiyondur. Eğer bir terim x 'in j 'ninci çarpımını içeriyorsa j . dereceden (order) terim şeklinde adlandırılmakta ve polinomial da en yüksek dereceli terim d ise polinomial da “ d 'inci dereceden polinomial” olarak ifade edilmektedir. d 'inci dereceden polinomialler de Taylor serilerinin genişletilmesiyle oluşturulabilmektedir (Box ve Draper, 2007: 18).

Pek çok Yanıt yüzeyi yöntemi probleminde bu polinomiyal yaklaşımları kullanılmaktadır. Doğru fonksiyonun tanımlanması için kullanılan bu yaklaşımlar bağımsız değişkenlere ilişkin tüm değerlerin bulunduğu uzayda değil göreceli olarak küçük bir bölgede denenmektedir. Polinomiyal yaklaşımların parametrelerinin tahmininde ise en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır. Model hatasının kareler toplamını minimize ederek eşitliklerdeki β değerlerinin tahmini yapılmaktadır (Montgomery, 2005: 613).

1.6.2 Yanıt Yüzeyi Modellerinin Sıralı Yapısı

Yanıt yüzeyi yönteminin çoğu uygulaması sıralı bir yapıya sahiptir. Bu çalışmalarda ilk önce yanıt yüzeyine ilişkin faktörler belirlenmektedir. Bu faktörlerin bir kısmı önemli değişkenler iken bir kısmı ise çok fazla öneme sahip olmamaktadır. Çok önemli olmayan bu faktörlerin elenmesi çalışmalarına da eleme tasarımları (screening design) denmektedir. Bu faktörlerin elenmesiyle yapılması gereken deney sayısı da önemli ölçüde azalacak ve daha etkili sonuçlar alınacaktır. Bu eleme tasarımları yanıt yüzeyi yönteminde sıfıncı aşama olarak adlandırılmaktadır (Myers ve Montgomery, 2002: 10).

Önemli faktörlerin belirlenmesinden sonra yanıt yüzeyi çalışmalarının birinci evresi başlatılmaktadır. Bu evrede araştırmacının amacı, mevcut girdi değişkenlerinin o anki düzeylerinin, yanıtın optimum değerinin yakınlarında mı yoksa mevcut sürecin optimumdan uzak bir bölgede mi gerçekleştiğini bulmaktır (current operating conditions). Girdi değişkenlerinin mevcut düzeyleri optimum yanıt değerinden uzak ise, araştırmacının süreci optimuma yaklaştırmak için süreç değişkenlerinde düzeltme yapması gereklidir. Yöntemin bu aşamasında, yanıtın optimum düzeyinin bulunduğu bölgeye yaklaşmak için birinci derece model ve en iyileme tekniklerinden en hızlı artış (en hızlı tırmanış, steepest ascent) yöntemi kullanılmaktadır (Özler, 1997: 10):

En hızlı artış yönteminde yanıt değerindeki en büyük artış yönünde en hızlı artışı sağlayacak yol üzerinde ilerlemeyi sağlayan bir prosedür kullanılmaktadır. Eğer en küçükleme sağlanmak isteniyorsa bu prosedür en hızlı iniş (steepest descent) olarak ilerlemektedir. Buna uygun birinci derece model:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i \quad (1-45)$$

şeklinde gösterilmektedir. \hat{y} tahmini için paralel düz hatlardan oluşan konturlar kullanılmaktadır. Uygun yüzey konturlarını dik olarak kesen bir hat boyunca ilgilenilen bölgenin merkezine doğru ilerleme sağlanmaktadır. Bu yol üzerinde ilerlerken atılacak adımların büyüklüğü ise sürece ilişkin bilgi ve deneyimler ile belirlenebilmektedir (Montgomery, 2005: 614).

Eğer süreç en hızlı artış yöntemi ile optimuma yakın bir bölgede gerçekleşiyorsa ya da deneyimlere bağlı olarak optimuma yakın bölgede bulunduğu düşünülüyorsa, çalışmanın ikinci evresine geçilmektedir. Bu noktada araştırmacı genellikle girdi değişkenleri uzayında küçük bir bölgede gerçek yanıt fonksiyonuna yeterli yaklaşımı sağlayacak bir model elde etmek isteyecektir. Gerçek yanıt yüzeyi genellikle optimum civarında eğrisellik göstereceği için ikinci derecede model (ya da daha yüksek dereceli polinomial) kullanılabilir. Bu modelin parametrelerinin tahminlenebilmesi için de ikinci derece bir tasarımın kullanılması uygun olacaktır (Özler, 1997: 11).

β değerlerinin en küçük kareler yöntemi ile elde edilecek tahmini değerleri $\hat{\beta}$ olduğunda burada kullanılacak model denklem (1-46)'da verildiği şekilde gibi tanımlanmaktadır (Montgomery, 2005: 616):

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_j x_j + \sum_{j=1}^k \hat{\beta}_{jj} x_j^2 + \sum_{i < j} \sum_{i=2}^k \hat{\beta}_{ij} x_i x_j \quad (1-46)$$

İkinci derece modelde bağımlı değişkenin en büyük ya da en küçük değerini aldığı nokta “durağan nokta” olarak adlandırılır. Bu nokta elipsler şeklinde gösterilen sistemin merkezinde yer almaktadır. Bazı durumlarda ise merkezde yer alan durağan nokta ne en büyük ne de en küçük değeri gösterir. Bu durumda “eyer noktası” (saddle point) olarak adlandırılır. 3 boyutlu grafikler (yanıt yüzeyi ve kontur grafikleri) bu noktaların belirlenmesinde yardımcı olurlar (Kul, 2004: 35).

1.7 TAGUCHİ PARAMETRE TASARIMI

Tam faktöriyel tasarımlar çoklu faktörleri içeren deneylerde olası tüm kombinasyonları araştırıp tanımlarken, Kesirli faktöriyel tasarımlar tüm olası kombinasyonların sadece belirli kesirlerini almaktadır. Bu yaklaşımlar yaygın bir şekilde kullanılıyor olsa da bir takım sınırları bulunmaktadır. Eğer çok fazla faktör ile çalışılırsa maliyet ve zaman yönünden etkin olmamaktadırlar. Taguchi parametre tasarımı yaklaşımı (Taguchi yöntemi) kesirli faktöriyel tasarımları standartlaştırıp basitleştirerek bu sınırların üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır (Yang, Teo, Fuss, 2007: 3251).

Taguchi yöntemi ile incelenen faktörlerin tüm farklı düzeylerinin kombinasyonundan oluşan tam faktöriyel deney tasarımı yaklaşımına göre çok daha az sayıda deney ile (1/3 oranında deney sayısı ile), aynı hatta daha yüksek kalitede sonuçların edilmesi ve en iyilemenin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Varyans analizi ve performans ölçütü olarak kullanılan sinyal/gürültü oranı ile her faktörün etkisi incelenmekte ve en iyi sonucun alınması için uygun faktör düzeyleri belirlenebilmektedir. Ayrıca uygulanan istatistik yöntemler sayesinde sonuçlar matematik bakış açısı ile güvence altına alınmaktadır (Savaşkan, 2003: 6).

Taguchi parametre tasarımı ile Taguchi öncesinde kullanılan yaklaşım arasındaki en önemli farklardan bir diğeri ise Taguchi'nin süreç değişkenliğinin azaltılması ve süreç değişkenliğine neden olan faktörlerin deney tasarımına dahil edilmesi gerekliliği üzerine yoğunlaşmasıdır. Süreç değişkenliğine neden olan faktörler gürültü faktörleri olarak adlandırılmakta ve gürültü faktörleri (noise factors) etkisi ve değişkenliğin azaltılması yaklaşımı güçlü tarım olarak ifade edilmektedir. Taguchi'den önce gürültü faktörlerinin kullanılmasını bazı yazarlar önermiş olsa bile Taguchi'nin bu önerilerin değişkenliğin azaltılmasında kullanımı ile ilgili fikirleri orijinaldir ve çok büyük etkiye sahiptir (Özler, 1997: 163, 169).

Taguchi'nin deneysel tasarıma yaklaşımının önemi, istatistikçiler tarafından geniş bir şekilde tartışılmıştır. Yorumcuların çoğu, Taguchi'nin kayıp fonksiyonu kavramının gerçek bir desteği ifade ettiği görüşünde birleşmektedirler. Ayrıca ürünün tasarımı sırasında elde edilecek bilgilerin büyük bir değere sahip olduğu

şeklinde genel bir fikir birliğibulunmaktadır. Taguchi, bu konuya göstermiş olduğu özen nedeniyle, geniş bir şekilde takdir toplamıştır (Baynal, 3003: 105).

Bölüm 2’de Taguchi parametre tasarım yöntemine ve güçlü tasarıma ilişkin ayrıntılı açıklama yapılmaktadır.

BÖLÜM 2

GÜÇLÜ TASARIM

2. ÜRÜN YA DA SÜREÇ ENİYİLEMEDE GÜÇLÜ TASARIM

2.1 GÜÇLÜ TASARIM İLE ÜRÜN VE SÜREÇ TASARIMI

Deney tasarımı ürün ya da süreç tasarımında en iyilemeyi sağlamak için etkin bir şekilde kullanılan araçlardandır ve güçlü tasarım bu amacı gerçekleştirmeye yönelik geliştirilen bir yaklaşımdır. Güçlü kavramı (robust, gürbüz, sağlam, dayanıklı, kunt) ürün veya sürecin yeniden tasarımı ve kaliteyi bozucu etkilere karşı dayanıklılığını açıklamak üzere kullanılmakta ve iki ayrı şekilde ifade edilebilmektedir (Peace, 1993: 5):

Güçlü Ürün: Ürünün kontrol edilemeyen üretim etkilerindeki değişikliklerden en az etkilenebileceği şekilde tasarlanması ve tutarlı olarak performans gösterebilmesidir.

Güçlü Süreç: Sürecin kontrol edilemeyen üretim etkilerindeki değişikliklerden en az etkilenecek şekilde tutarlı bir şekilde üretim yapabilmesidir.

Burada güçlü, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin; nem, toz, ısı, titreşim gibi çevre koşullarına, kullanılan malzemedeki farklılıklara ve müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır (Şirvancı, 1997: 15). Bir ürün veya süreç, değişkenlik kaynakları yok edilemese de değişkenlik kaynaklarının etkilerine karşı duyarsızsa güçlü tasarlanmıştır (Fowlkes ve Creveling, 1995: 5).

Güçlü tasarım düşüncesi, Japon kalite uzmanı Taguchi ile istatistikçilerin dikkatini çekmiştir. Taguchi'nin güçlü tasarım problemine ilişkin formülasyonu, gürültü faktörlerinden kaynaklanan beklenen kaybı minimize etme amacıyla kontrol faktörlerinin uygun düzeylerinin seçilmesidir (Shomaker, Tsui ve Wu, 1991: 415).

Güçlü tasarım, tüm ürün ve süreç tasarımcılarının yüz yüze kaldığı aşağıda verilmekte olan sorular için istatistik deney tasarımına yeni bir boyut eklemiştir:

1. Müşterinin kullanımı sırasında ürünün fonksiyonundaki değişkenlik ekonomik olarak nasıl azaltılır?

2. Laboratuvar deneylerinde optimal olarak bulunan değerlerin üretim anında ve müşterinin kullanımı sırasında geçerli olacağına kanıtlanması nasıl sağlanır?

Bu ilgi alanları için istatistik deney tasarımının matematik formu olarak güçlü tasarım kullanılabilir. Güçlü tasarım, yukarıdaki soruların yanıtlanmasıyla ürün tasarımı faaliyetlerinde verimliliği artırmak için değerli bir araçtır (Phadke, 1989: 3).

Güçlü tasarım ile gerçekleştirilmesi gereken iki önemli aşama söz konusudur (Phadke, 1989: 6):

1. Kalitenin tasarım ve geliştirme aşamasında ölçülmesi: Ürün performansında özel bir tasarım parametresinin değiştirilmesinin etkisini değerlendirerek kalite göstergelerinin yönetilmesi,

2. Tasarım parametreleri hakkında istenilen bilginin elde edilebilmesi için etkili deneyler yapılması: Tasarım parametreleri hakkında istenilen bilginin elde edilmesi ile üretim ve müşterinin ürünü kullanması aşamalarında değişiklikten kaçınılması ve bu bilginin en az zaman ve maliyetle elde edilmesi.

Güçlü tasarım, başka bir deyişle ürün ve süreçteki performans değişkenliğini (varyasyon, hedef değerden farklılık, yani kalitesizlik) azaltma yaklaşımıdır. Taguchi değişkenliği azaltmak için hem ürünün hedeften uzaklaşmasından kaynaklanan değişkenliği hem de ürünlerin birbirinden farklı olmasından kaynaklanan değişkenliği azaltmayı amaçlamaktadır. Ürünlerin ve üretim süreçlerinin değişkenlik nedenleri, kontrol edilebilen ve kontrolü zor olan faktörler tarafından etkilenmesidir. Kontrolü zor olan faktörlere çevre etkileri, metal özellikleri ve yaşlanma örnek verilebilir. Güçlü tasarım düşüncesi, kolay kontrol faktörlerinin (tasarım parametreleri, *C*, control factors, design parameters) düzeylerini seçerek zor kontrol faktörlerinin (gürültü faktörü, *N*, noise factors) etkilerini minimize etmektir. Böylece ürün ya da süreç gürültü faktörlerine karşı güçlü kılınmaktadır (Shomaker, Tsui ve Wu, 1991: 415; Roy, 1990: 22). Bu kavramlar ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.1.1 Güçlü Tasarımın Gelişimi

2. Dünya savaşından sonra Japonya yeniden yapılanma sürecinde iken iyi kalitede ağır metal, donanım ve mühendislik konusunda şiddetli bir kıtlık yaşanmıştır. Bu şartlar altında kalitenin sürekli olarak geliştirilmesi ve yüksek kaliteli ürünlerin üretilmesi için zorlayıcı bir durum oluşmuştur. Taguchi de bu durum için bir yöntem geliştirmiştir (Phadke, 1989: 2).

Taguchi, 1949 yılında Japon Nippon Telefon ve Telgraf şirketinin iletişim laboratuvarı ulusal işletim sistemini geliştirmek için bir proje üstlenmiştir. Taguchi'ye bu laboratuvarın Araştırma Geliştirme bölümünde mühendislik becerilerini ve gelişen yöntemleri deney tasarımında en verimli şekilde uygulaması için verimlilik konusunda sorumluluk verilmiştir. Böylece, Taguchi Kalite Mühendisliği'nin temelleri burada atılmıştır. Süreç gelişiminin gerçekleştiği yaklaşık 45 yıllık zaman diliminde de Taguchi yöntemi tüm dünya endüstri topluluklarından ve akademik topluluklardan büyük övgü almış ve saygı görmüştür. Taguchi endüstriye olan katkılarından dolayı 4 kez Deming ödülü almış ve Japon endüstrisinin verimliliğine sağladığı katkılardan dolayı Japon İmparatoru, tarafından ödüllendirmiştir (Kağnıcıoğlu, 1998: 39).

Taguchi yöntemi Amerika Birleşik Devletleri'nde 1980'li yıllarda ilk olarak R. N. Kacker'ın yayınları ile tanınmıştır. Daha sonraları Taguchi'nin kalite kaybı ve parametre tasarımı konularında deney tasarımı uygulamalarını da içeren pek çok kitabı Japonca'dan İngilizce'ye çevrilmiştir (Chang vd, 1994: 212). Taguchi parametre tasarım yöntemi ve felsefesi, kalite mühendisleri ile istatistikçilerin ilgisini çekmiş ve bu yöntemler AT&T Bell Laboratories, Ford Motor Company, Xerox ve Amerika'da daha birçok endüstri kuruluşlarında yaygın bir şekilde uygulanmıştır. Bu yöntemlere duyulan ilgi, araştırmacıların parametre tasarımı ile istatistik yöntemlerin bütünleştirilmesi konusunda çalışmalarını üzerinde etkili olmuştur (Özler, 1997: 161). Çok sayıda endüstri lideri, teknoloji tarihçileri ve kalite uzmanları 20. yüzyılın sonlarında mühendislik ve ürün kalitesinin geliştirilmesi sürecindeki ilerleme için çok önemli katkılarından dolayı Taguchi'ye saygı duymaktadır (Fowlkes ve Creveling, 1995: 13).

Güçlü tasarım yöntemi, elektronik, otomotiv, fotoğrafçılık ve pek çok farklı endüstri alanında hızlı endüstriyel büyümenin önemli bir aracı olmuş ve Japonya'nın bu endüstri alanlarında uluslararası pazarların hükmedicisi olmasını sağlamıştır. Güçlü tasarım felsefesi sadece mühendislik alanlarındaki uygulamalarla sınırlı kalmamıştır. Yokoyama ve Taguchi (1975) aynı zamanda işletmelerde kar planlama, bankalardaki nakit akımında en iyileme, idari politikaların oluşturulması gibi uygulamaları da göstermişlerdir (Phadke, 1989: 3, 9).

Batı endüstrisinin 1980'lerde tanıştığı bu yöntemin en önemli özelliklerini açıklayan ilk makale Kacker (1985) tarafından kaleme alınmıştır. İzleyen yıllarda Taguchi yönteminin çeşitli yönlerini inceleyen ve eleştiren çok sayıda makale, araştırmacılar tarafından bilimin ve teknolojinin hizmetine sunulmuştur (Çelik, 1993: 89). Taguchi parametre tasarımını konu alan bir panelde ortaya atılan görüşler Nair (1992)'de ayrıntılı olarak verilmektedir (Nair, 1992: 127).

Taguchi'nin güçlü tasarım felsefesinin yayılmasıyla birlikte klasik deney tasarımı yöntemleri de güçlü en iyileme için uyarlanmıştır. Ancak Taguchi yöntemiyle istatistik yöntemler arasında bazı önemli farklar bulunmaktadır. Örneğin Taguchi yönteminde performans ölçütü olarak sinyal/gürültü oranları ve tasarım modeli olarak ortogonal dizinler kullanılmaktadır. Onun yerine klasik yöntemlerde genellikle ortalama ve yayılım etkisinin modellenmesi yaklaşımı vurgulanmakta, kontrol ve gürültü faktörleri için oluşturulan tek dizin ile deney gerçekleştirilmektedir (Frey ve Lii, 2004: 4).

2.1.2 Güçlü Tasarım ve Kalite Mühendisliği

Güçlü tasarım, bir ürün ya da sürecin kalitesinin sayısal tanımının yapılmasını gerektirmektedir. Bu durum, çalışma ekibi için bir tasarımın en iyi şekilde yapılandırılması ve farklı kavramların karşılaştırılması olanağını sağlamaktadır. Düşük maliyet, yüksek güvenilirlik, tutarlı performans, kalitenin belirlenmesinde en önemli bileşenlerdir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 5). Bir ürünün üretimindeki şartları karşılayabilme gücü onun kalitesini belirlemektedir. Ürünün satılabilirliği ile kalitesi arasında da çok yakın ilişki bulunmaktadır (Tulunay, 1978: 208).

Kalite kavramı üzerinde tarihsel süreç içerisinde birçok kişi çeşitli yorumlar getirerek bu kavramın geliştirilmesinde önemli katkılarda bulunmuşlardır. Bu katkılar ve kalite tanımlamaları aşağıda özetlenmektedir (Özdemir, 2006: 251, Burnak, 1997: 2):

Walter A. Shewhart, istatistik kalite kontrolünün en önemli ismi sayılmaktadır. Shewhart kontrol diyagramları, istatistik süreç kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır. En önemli eseri “Economic Control of Quality of Manufactured Product” ilk kez 1931 yılında yayımlanmıştır,

Joseph M. Juran, kalite yönetiminin ortaya çıkışında ve yayılmasında önemli rol oynamıştır. “Juran’s Quality Handbook” en önemli eseridir. “Quality Control Handbook” isimli yayınında da kalite politika ve amaçlarına, kalite yönetimine ilişkin başlıklara yer vermiştir (Juran, 1974: 3–1). Juran’ın kalite tanımı da ürünün kullanıma uygunluğu (fitnes of use) şeklindedir,

W. Edwards Deming’in sürekli gelişme için önerdiği 14 kural işletmelerde Toplam Kalite Yönetimi (TKY) uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle Japonya’da kalite anlayışının yerleşmesinde büyük katkıları olmuştur,

Armand V. Feigenbaum Toplam Kalite Kontrolü kavramının gelişmesinde büyük rol oynamıştır. Kalitenin dinamik olduğunu ve müşteri memnuniyetinin ön planda olması gerektiğini savunmuştur,

Philip B. Crosby, kaliteyi gereksinimlere uygunluk derecesi olarak tanımlamış ve kalitenin ölçülebilir olması gerektiğini savunmuştur,

Kauro Ishikawa kalite kontrolünü en ekonomik, en kullanışlı ve tüketiciyi her zaman memnun eden kaliteli bir ürünü tasarlamak, geliştirmek, üretmek ve bakımını yapmak olarak tanımlamıştır (Ishikawa, 1997: 46),

Taguchi, kalite mühendisliği kavramını geliştirmiş, ürün kalitesinin deney tasarımı çalışmaları ile geliştirilebileceğini savunmuş ve bunun için bir yöntem sunmuştur. Bir ürünün kalitesinin, belirlenen hedef değerinde üretilmemesi durumunda oluşan sapmanın toplumda yarattığı kayıp ile ifade edilebileceğini belirtmiştir (Taguchi, Chowdhury ve Wu, 2005: 128).

Kalite ile ilişkili diğer tanımlamalar aşağıda verilmektedir (Park, 1996: 10):

Kalite yönetimi, müşteri memnuniyetini sağlamak için, üst yönetimin liderliğinde işletmenin tüm üyelerinin katılımıyla kalite politikası, kalite kontrol, kalite geliştirme ve kalite güvencesi ile birlikte yerine getirilen geniş kapsamlı bir yönetim fonksiyonudur,

Kalite politikası (Quality policy), geniş kapsamlı kalite yönlendirmesi ve üst yönetimin kaliteyi (as regard quality) ele aldığı operasyonel felsefedir,

Kalite kontrol (Quality control), kalite gereksinimlerinin yerine getirilmesi için yapılan faaliyetler ve kullanılan operasyonel yöntemlerdir,

Kalite geliştirme (Quality improvement), ürün tasarımı ve üretimi aşamalarında kalite etkinliğini artırma faaliyetleridir,

Kalite güvencesi (Quality assurance), bir ürün ya da sürece ilişkin, müşteri memnuniyetini karşılamada yeterli güvence sağlamak için planlama yapmak ve sistematik faaliyetleri yürütmektir,

Kalite mühendisliği müşteri gereksinimleri için üretim ve ürün/süreç tasarımına odaklanmıştır ve aşağıda verilen eşitlik ile ifade edilebilir:

Kalite mühendisliği= Kalite kontrol+ kalite geliştirme+ kalite güvencesi

Kalite yönetimi ise kalite mühendisliği ve kalite politikasının toplamı şeklinde tanımlanabilir.

Yukarıdaki tanımlamalardan hareketle kalite üzerinde söz sahibi kişilerin genel olarak “kalite yönetimi” kavramı üzerinde çalıştıkları söylenebilmektedir. Bir işletmede kalite konusunda önemli çalışmaların yapılabilmesi için öncelikle üst yönetimin desteğinin alınmasından hareketle Kalite Güvence Sistemi ve Toplam Kalite Yönetimi çalışmalarını geliştirmişlerdir. Bugün dünyada kalite ile ilgili en yaygın uygulanan çalışma olan TKY'nin temel amacı, müşteri memnuniyetini sağlayacak şekilde, bir işletmenin ürettiği mal ve/veya hizmetlerin sürekli olarak gelişimini temin için çeşitli araç ve süreçlerin kullanılmasıdır. Yani doğrudan ilgili mal ya da hizmet üzerinde yoğunlaşmak yerine bu mal ya da hizmetin üretildiği sürecin iyileşmesi hedeflenerek mal veya hizmetin kaliteli olacağı

vurgulanmaktadır. Bu konuda birçok makale ve kitap yazılmış, eğitim programları düzenlemiştir. İşletmeler TKY'nin tam olarak uygulandığını kanıtlamak amacıyla ISO'nun (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)" yayımladığı, kalite yönetim standardı olan ISO 9000'i ve devamında da özel kalite güvence standartları olan ISO 9001 serisini uygulamaya koymaktadırlar. Böylece üretilen bir ürünün kendisini değil, üretimin yapıldığı sistemin kalitesini vurgulamaktadırlar. Buna karşın kötü bir şekilde tasarlanmış bir ürünün üretildiği sistem ne kadar kaliteli olursa olsun bu ürün üzerinde tasarım geliştirilmediği sürece kalite düzeyi kolay kolay artırılamaz. Bu nedenle TKY'nin tek başına ürün kalitesinin güvencesi olması beklenmemeli ve kalitenin tasarımıyla da geliştirilmesi gereklidir (Özdemir, 2006: 250).

2.1.3 Kalite Karakteristiği

Kalitenin geliştirilebilmesi için deney tasarımı yöntemlerinin uygulanması sıkça kullanılan ve doğru uygulandığında süreçler hakkında önemli bilgilerin edinilmesini sağlayan etkin yaklaşımlardandır. Ancak, bu deneylerdeki başarının anahtarı birçok istatistik bilginin odaklandığı tasarım ve analizin yanı sıra deneyin uygun bir şekilde yürütülmesidir. Bunun için ele alınan problemin formülasyonuna ve araştırılacak kalite karakteristiğinin (performans karakteristiği/ quality characteristic) seçimine daha fazla zaman ve çaba harcanmalıdır. Aynı zamanda kalite karakteristiğinin nasıl ölçüleceği, hangi faktörlerin bu karakteristik üzerinde etkili olduğunun belirlenmesi de önem kazanmaktadır (Baynal, 2003: 56).

Bir ürünün fonksiyonunu en iyi şekilde yerine getirebilmesi, kalite karakteristiğinin sağlanmasına bağlıdır. İyi bir otomobil ele alındığında gerçek kalite karakteristikleri ya da tüketicilerin isteyebileceği nitelikler şunları içerebilir: iyi tasarım, kolay kullanım, rahat gitme, iyi hızlanma, yüksek hızda kararlılık, dayanıklılık, arıza olasılığının az olması, kolay tamir ve emniyet. Bu nedenle bir otomobil üreticisi bu isteklere cevap veren bir otomobil yapmak için çaba harcamalıdır. Ayrıca, gerçek kalite karakteristikleri her zaman tüketicilerin anlayabileceği bir dille ifade edilmelidir. Gerçek kalite karakteristikleri belirlenirken de bir takım sorular yanıtlanmalıdır. "Kolay kullanım" sözüyle ne denilmek istenmektedir? Nasıl ölçülebilir? Sayısal değerlerle nasıl değiştirilebilir? Bir arabanın her parçasındaki hata payları kullanım tarzını nasıl etkiler? Hata paylarını

nasıl belirleyebiliriz? Hangi hammaddeler kullanılacaktır? Hammaddelerin fiyatlarını nasıl belirleyebiliriz? (Ishikawa, 1997: 50).

Otomobil örneğinde de görüldüğü gibi bir ürünün farklı özellikleri üzerine odaklanan birden fazla kalite karakteristiği olabilmektedir. Bu nedenle tüketici gereksinimlerini karşılayan birincil kalite karakteristikleri bir ürünün performans karakteristikleri olarak bilinmektedir. Pek çok çalışmada bu kavram genel ifade olan kalite karakteristiği ile ifade edilebilmektedir.

Ele alınan birincil kalite karakteristiğinin ideal değeri hedef değer olarak adlandırılmaktadır. Yüksek kaliteli bir ürün, ekonomik ömrü süresince farklı çalışma koşulları altında bile fonksiyonunu daima hedef değer civarında yerine getirmelidir. Örneğin, TV'deki resmin netliği kalite karakteristiği olarak ele alınırsa, farklı hava koşullarında görüntüsü değişen TV'nin düşük kaliteli olduğu söylenebilir (Çelik, 1993: 29).

Kalite karakteristiklerinin ölçümünde başarılı karar vermek için başarının ve başarısızlığın çok boyutlu bir şekilde değerlendirilebildiği gerçekçi ölçütlerin kullanılması gerekmektedir. Örnek olarak “hataları önlemek”, “üretim artışını hızlandırmak” yerine “hatalı üretimlerin arasındaki süreyi artırmak” şeklinde daha gerçekçi ve ölçülmesi kolay amaçların belirlenmesi gerekmektedir. Kalite karakteristikleri ölçümde kullanılan verilerin yapısına göre üç kategoriye ayrılmaktadır (Peace, 1993: 46):

Nicel karakteristikler (Measurable characteristics),

Nitel karakteristikler (Attribute characteristics),

Dinamik karakteristikler (Dynamic characteristics).

Nicel Karakteristikler:

Nicel karakteristikler “hedef en iyidir (Nominal The Best, NTB)”, “daha küçük daha iyidir (Smaller The Better, STB)” ve “daha büyük daha iyidir (Larger The Better, LTB)” olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Hedef en iyidir tipindeki karakteristikler, sayısal bir amaç ya da hedef değerini içermektedirler. Örnek olarak ağırlık, uzunluk, genişlik, yoğunluk, pH, basınç, alan, hacim, verilebilir. Daha küçük

daha iyidir tipindeki karakteristikler ise genellikle sıfır değerinin elde edilmesinin istendiği durumlarda kullanılır. Buna örnek ise; bozulma sayısı, güç kaybı, ısı kaybı, erişim süresi, yanıt süresi, artık miktarı, gürültü verilebilir. Daha büyük daha iyidir tipindeki karakteristikler ise tam tersi olarak, mümkün olan en yüksek değere ulaşmayı hedefleyen durumlar için kullanılır. Güç, korozyona dayanıklılık, hatalı üretimler arası geçen süre, erime noktası, çekme gücü bu tür karakteristiklere örnek olarak verilebilir.

Şekil 2-1’de nitel karakteristiklere uygun bir grafik görölmektedir. Burada x sürekli değişkeninin söz konusu olduğu bu örnekte kalite karakteristiği kesintisiz bir şekilde eğrisel olarak artış göstermektedir. Buradaki ilişki farklı örneklerde değişik şekiller alabilir (Creveling ve Slutsky, 2003, 5):



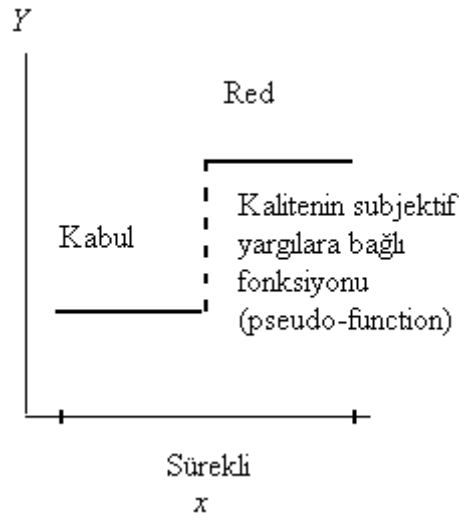
Şekil 2-1 Nicel Kalite Karakteristiği

Nitel Karakteristikler:

Nitel karakteristikler sürekli bir ölçekte ölçülemezler ve sonuçların gruplandığı sınıflardan oluşmaktadırlar. Nitel karakteristiklerde kabul/ red (go/ no go), başarılı/ başarısız (go or pass/ fail) şeklinde sınıflamalar yapılmaktadır ve nicel karakteristiklere göre daha fazla örnek gerektirmektedir. Örneğin kalite karakteristiğinin ürünün bir özelliğine bağlı olarak “kabul” ve “red” şeklinde değerlendirildiği varsayalım. Bu şekilde bir ürün kontrol edildiğinde “kabul” olarak

nitelenebiliyorsa, paketlenir, “red” olarak sınıflanıyorsa yeniden işlenir veya düzeltilir (Peace, 1993: 48).

Kabul/Red olarak sınıflandırılan nicel karakteristiklere uygun bir grafik Şekil 2-2’de görülmektedir. Sürekli bir x değişkeninin söz konusu olduğu bu örnekte kalite karakteristiği kesintili bir şekilde artış göstermekte ve kesintili bir fonksiyonla ifade edilmektedir. Buradaki ilişki farklı örneklerde değişik şekiller alabilir (Creveling ve Slutsky, 2003, 5):



Şekil 2-2 Nitel Kalite Karakteristiği

Dinamik Karakteristikler:

Dinamik karakteristikler diğer karakteristiklere göre daha karmaşıktır. Dinamik bir sistem bir işaret veya girdi sonucunda istenen çıktının elde edilebilme süreci olarak tanımlanır. Dinamik karakteristikler, girdiden enerji transferi yoluyla sonuca götüren bir süreç ile tanımlanabilmektedir ve bu karakteristiklere örnek olarak oda sıcaklığının kontrol edilmesi verilebilir. Termostat (sistem) belli sıcaklık aralıklarına (girdi işareti) ayarlanabilir. Sonuç olarak oda sıcaklığı (çıkıtı) odadaki kişi sayısı ve dış sıcaklık gibi dış etkenler ile birlikte termostat ayarlamalarının kombine sonucuyla belirlenir. Dinamik sıcaklık kontrol sistemine ilişkin görünüm Şekil 2-3’te verilmektedir (Peace, 1993: 50).



Şekil 2-3 Dinamik Sıcaklık Kontrol Sistemi

Dinamik karakteristik örneği için ayrıca “ölçüm” sisteminde “doğru değer” girdisi, “ölçülen değer” çıktısı, “iletişim” sisteminde “gönderilen sinyal” girdisi ve “iletilen sinyal” çıktısı verilebilmektedir (Peace, 1993: 50).

Kalite karakteristiğinin seçiminde aşağıda verilen aşamaların izlenmesi önerilmektedir (Phadke, 1989: 135):

- Ürün ya da sürece ilişkin ideal girdi-çıkı ilişkisinin (ideal fonksiyonun, enerji transferinin) tanımlanması gereklidir.
- Kalite karakteristiği mümkün olduğunca nicel karakteristikli sürekli değişken olarak seçilmelidir. Eğer yanıt değişkeni “Açık-Kapalı” olarak kesikli bir şekilde ifade ediliyorsa bir eşik değerinin kullanımıyla kalite karakteristiği ölçülebilmektedir.
- Kalite karakteristiği monoton (monotonic) olmalıdır. Yani, her bir kontrol faktörünün düzeyi değiştiğinde kalite karakteristiği tutarlı bir yön izlemelidir. Faktörlerin arasında etkileşim olduğunda monotonluk bozulabilmektedir. Bazı durumlarda deneyler yürütülmeden önce kalite karakteristiğinin monotonluğunu yargılamak zor olmaktadır. Böyle durumlarda monotonluğa karar vermek için onaylama deneyleri yapılmalıdır.
- Kalite karakteristiğinin kolay ölçülebilir olmasına çalışılmalıdır. Kalite karakteristiğinin seçiminde uygun ölçüm tekniğinin kullanılabilmesi önemli rol oynamaktadır.
- Kalite karakteristiğinin girdi-çıkı ilişkisini ya da ideal fonksiyonun tamamını kapsadığından (tam/ complete) emin olunmalıdır.
- Karmaşık ürünler uygun sayıda modüle bölünmelidir. Her bir modül ayrı olarak optimize edilmeli ve modüller daha sonra

birleştirilmelidir. Özel bir modül optimize edilirken diğer modüllerden kaynaklanan değişkenlik gürültü faktörü olarak değerlendirilmelidir. Bu şekilde tüm sistem düzgün bir şekilde bütünleştirilebilecektir.

2.1.4 Gürültü Kavramı

Taguchi'ye göre gürültü faktörleri ürünün fonksiyonel karakteristiklerinde değişkenlik yaratan ve kontrol edilemeyen ya da kontrol edilmesi yüksek maliyetli olan faktörlerdir. (Baynal, 2003: 133).

Güçlü tasarım uygulayıcıları gürültüyü tanımlamaya çalışarak sadece müşteriye satış sürecine kadar başarılı olarak nitelenebilecek bir ürün üretmeyi değil, ürünün kullanımı süresince hedef değerden (target value) sapmanın azaltılmasını sağlamaya çalışmaktadırlar. Bunun gerçekleştirilmesi için, deney tasarımını düzenleyecek ekibin tüm gürültü tiplerinin göz önüne alınmasında dikkatli olması gerekmektedir. Ayrıca ürünün planlanan ömrü boyunca sorunsuz kullanılabilmesi için tasarım sırasında gürültü tiplerinin fiziksel olarak nasıl etkileşimde bulunacakları araştırılmalıdır. Eğer deney tasarımı ekibi, bilinen gürültü kümesini deneysel olarak değerlendiremezse, tasarım doğal olarak zayıf olacak ve büyük olasılıkla süreç için faydalı sonuç elde edilemeyecektir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 4).

Ürün tasarımı sürecinin geliştirilmesi için değişkenliğin dikkate alınmasıyla hedeflenen performansın sağlanması ve sürdürülmesi için ilk önce gürültünün doğası anlaşılmalıdır. 3 tip gürültü faktörü bulunmaktadır. Bunlar (Fowlkes ve Creveling, 1995: 3):

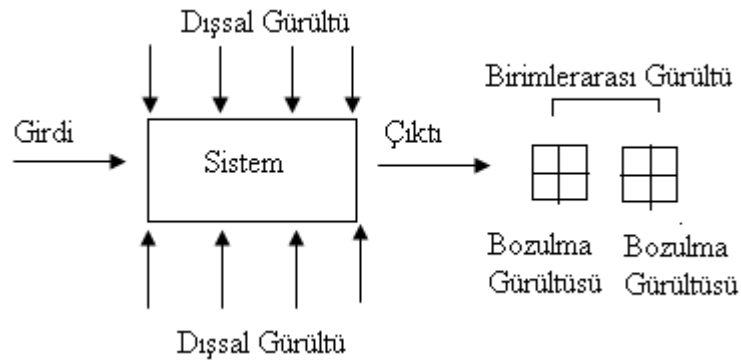
1. Dışsal (External/ Outer noise) gürültü faktörleri,
2. Birimler arası (Unit to unit/ Between product noise) gürültü faktörleri,
3. Bozulma (Deterioration) gürültü faktörleridir.

Dışsal gürültü faktörleri ürününün dışından gelen değişkenlik kaynaklarıdır. Bir ürünün üretim ve kullanım aşamasında etkilendiği sıcaklık, toz, titreşim, nem ve

maruz kaldığı yükler bunlardan bazılarıdır (Menon vd., 2002: 313; Phadke, 1989: 23).

Birimler arası gürültü faktörleri, (ürünler arası gürültü faktörleri) herhangi iki parçanın tamamen aynı üretilmemesinin sonucudur. Değişkenlik, birimden birime, operatörden operatöre, vardiyadan vardiyaya, makineden makineye vb. oluşan farktan kaynaklanabilir. Üretim süreci ve materyaller ürün bileşenlerindeki birimden birime değişkenliğin en büyük kaynağıdır. Sürecin heterojen olması ve sürecin kayması (process drift) bu bağlamdaki değişkenliğin ortak kaynaklarıdır. Bu tür gürültü faktörlerine örnek olarak bir ürünün kalınlığında ya da ağırlığında üründen ürüne görülen farklılık verilebilir.

Bozulma gürültüleri sık sık iç gürültü (internal/ inner noise) faktörleri olarak da adlandırılır. Çünkü ürün ya da süreçteki bazı içsel değişiklikleri içerir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 3). Bir ürün satıldığında tüm fonksiyonel karakteristikleri hedef değerini sağlayabilir. Buna karşın zaman geçtikçe ürün performansını bozacak şekilde bazı bileşenlerin değerleri değişebilir (Phadke, 1989: 23). Ampul telindeki kütle kaybı, bir evin boyasının kötü havadan dolayı aşınması bozulma gürültüleri için örnek olarak gösterilebilir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 3). Bir sistemdeki gürültü faktörlerinin etkisi Şekil 2-4'te verilmektedir (Peace, 1993: 76):



Şekil 2-4 Gürültü Faktörlerinin Etkisi

Buzdolabı örneği ele alınırsa;

- Dışsal gürültü: Kapısının açılıp kapanma sayısı, yiyeceklerin buzdolabına konulma sıcaklığı, buzdolabında tutulan yiyecek miktarı, ortam sıcaklığındaki değişim ve voltaj değişimi,
- Birimler arası gürültü: Kapının sıkı kapanıp kapanmaması, buzdolabındaki soğutucu akışkanın miktarı,
- Bozulma gürültüsü: Soğutucu sızıntısı, kompresör bölümlerinin mekanik yıpranması örnek gürültü bileşenleri olarak verilebilmektedir (Phadke, 1989: 23).

Ürünler aynı anda bu üç tür gürültüye de duyarlı olabilir. Ürün ya da sürecin tasarım kalitesi, bozulma ve dışsal gürültü faktörlerinden dolayı oluşan fonksiyonel değişkenliklerin daha az olmasını sağlar. Üretim kalitesi ise, birimler arasında daha az fonksiyonel değişkenlik oluşmasını sağlar ve hedefe yaklaşır (Baynal, 2003: 134).

Deney tasarımı çalışmasını geliştirecek olan ekip tasarımın performansı için gürültü etkilerini mümkün olduğunca azaltmayı hedeflemektedir. Değişkenliği azaltmanın iki yolu vardır:

1. Gürültünün gerçek kaynağını azaltmak,
2. Ürünün gürültü kaynağına duyarlılığını azaltmak.

Gürültü faktörlerinin gerçek kaynağını azaltmaya çalışmak genellikle yüksek maliyetli olabilmekte ve zaman gerektirebilmektedir. Çünkü bazı gürültü faktörleri kontrol edilemez ve bazılarının da kontrolü çok zor ve maliyetlidir. O nedenle değişkenliği azaltmak ve ürünün güçlü olmasını sağlamak için gürültü kaynağına duyarlılığın azaltılması yoluna gidilmektedir. Bu durumda; gürültü kaynakları azaltılamasa da değişkenlik kaynağının etkilerine karşı duyarsız ise, ürünün ya da sürecin güçlü olduğu söylenebilir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 5).

Bu gürültü faktörleri dikkate alındığında güçlü tasarımda aşağıdaki amaçlar gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır (Baynal, 2003: 80):

- Ürün ve süreçleri çevresel değişikliklere karşı duyarsız yapmak,
- Ürün ve süreçleri üretim değişikliklerine veya eksikliklerine karşı duyarsız yapmak,
- Ürünleri bozulmalara karşı duyarsız yapmak,
- Ürünleri birimler arası değişkenliğe karşı duyarsız yapmak.

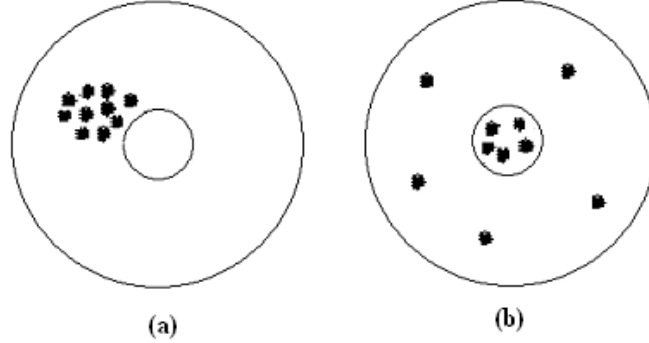
Kalite kontrol sisteminin amacı, bir ürünün bütün gürültü faktörlerinin dikkate alınması ile güçlü üretimini sağlayacak şekilde tasarlanmasıdır. Kalite kontrol çabaları ürün ya da süreç tasarımıyla başlayıp (çevrimdışı kalite kontrol), üretim işlemleri boyunca devam etmelidir (çevrimiçi kalite kontrol) (Park, 1996: 6).

2.1.5 Değişkenlik ve Kalite Kontrol Faaliyetleri

Üretilen her ürün veya ürünü oluşturan parçaların ölçü ile ifade edilen özellikleri yani kalite karakteristikleri her zaman bir miktar değişkenlik göstermektedir. Kalite uzmanlarından Deming'e göre bu değişkenliğin %2'si özel nedenlerden (olağan dışı), %98'i sistemden yani genel nedenlerden (olağan nedenler) kaynaklanmaktadır. Belirlenen spesifikasyonların dışındaki hammaddeler, deneyimsiz işçi, makine ve ekipmanlardaki bozukluklar vb. örnekler özel değişim nedenleri olup bunlar mevcut sistemdeki yapıdan değil, makine, malzeme, insan vb. faktörlerden kaynaklanabilmektedirler. Bunların ne zaman ortaya çıkacağı tahmin edilemese de sistemde çalışan kişiler tarafından belirlenebilir ve giderilebilirler. Buna karşın genel değişim nedenleri sistemde kalmaktadır. Sistemin süreçlerinde yer alan değişkenlerden kaynaklanan nedenler, genel değişim nedenleri olmaktadır. İş yapanın fiziksel ve duygusal değişimleri, ortamın nemlilik yüzdesi, makine duruşları genel nedenlere örnek olarak verilebilmektedir. Deming, özel nedenlerden kaynaklanan kalite problemlerinin belirlenip giderilmesi için Shewhart'ın geliştirdiği istatistik süreç kontrolü şemalarının uygulanmasını önermiş, olağan nedenlerden kaynaklanan değişkenliğin bir sistem problemi olduğunu ve azaltılmasının da üretim sisteminin iyileştirilmesine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Diğer yandan kalitesizliğin ya da müşteri memnuniyetsizliğinin temelinde sözü edilen bu değişkenlik yatmaktadır. Bu nedenle kaynağına bakılmaksızın değişkenliği azaltmak, olabilirse kaldırmak gereklidir (Çetin vd, 2001: 186; Çelik ve Burnak, 1994: 9; Şirvancı, 1997: 76).

Taguchi, üretim sürecindeki değişkenliği gidermenin önemli bir problem olduğunu belirtmek için daha önce başkalarının da kullanmış olduğu “Kim daha iyi nişancı?” örneğini vermiştir. Bu örnekte her iki nişancı da 10’ar atış yapmaktadır. Şekil 2-5’te görüldüğü gibi, nişancı (b)’nin ortalama pozisyonu hesaplanırsa, ortalamasının hedefte ya da ortalamaya çok yakın olduğu görülecektir. Buna karşın nişancı (a)’nın ortalaması hedeften çok uzak olmasına rağmen atışları daha tutarlıdır. Her iki nişancı için değişkenlik hesaplandığında (a)’nın değerinin daha düşük olduğu görülecektir. (a)’nın atışlarını bir ayarla düzeltebilmek mümkün iken, (b)’yi iyi bir atıcı yapabilmek için çok çalışmak gerekecektir (Taguchi G. ve Clausing Don, 1990: 68, Şirvancı, 1997: 77).



Şekil 2-5 Kim Daha İyi Nişancı?

İlgilenilen karakteristiklerde oluşan bu tür değişkenliğin sistematik olarak azaltılması için kalite geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Kalite geliştirme amacıyla kullanılan yöntemler Taguchi yöntemleri gibi tasarım kalitesini geliştirmeye yönelik üretim öncesi (çevrimdışı) ve kabul örnekleme ile istatistik süreç kontrolü gibi üretim kalitesini geliştirmeye yönelik üretim aşaması yöntemleri (çevrimiçi) olmak üzere iki ayrı aşamada yürütülmektedir. Üretim aşaması kalite geliştirme yöntemleri özel nedenlerden kaynaklanan değişkenliği, üretim öncesi kalite geliştirme yöntemleri de sistemden kaynaklanan değişkenliği azaltmaya yönelik uygulanmaktadır (Çelik ve Burnak, 1994: 9).

Baynal'a (2003: 55) göre bir ürünün kalitesi, tasarım, uygunluk ve kullanım kalitesi olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Ürünün performansındaki değişkenlik bu üç aşamadan kaynaklanabilmekte; değişkenlikleri azaltmak için, ürün geliştirilirken bu üç konunun dikkate alınması gerekmektedir.

Tasarım kalitesi istenilen özelliklerin ürün tasarımında yer alması, uygunluk kalitesi ise gerçekleşen üretimin tasarımda belirlenen özelliklere uyması şeklinde tanımlanmaktadır. Tasarım boyutu gereksinimlere ve tercihlere bağlı iken uygunluk kalitesi ölçülebilir nitelikteki bir karakteristiktir. Uygunluk kalitesini değerlendirmede nominal (hedef) değer ve tolerans olmak üzere iki gösterge kullanılmaktadır. Nominal değer, hedeflenen değerdir. Örneğin bir civatanın belirlenmiş olan boyutları nominal değerleridir. Ya da bir sürecin tutulması gereken sıcaklığı onun nominal sıcaklığıdır. Bir ürünün üretilmesinde kabul edilebilen en küçük değer alt spesifikasyon sınırı (ASS) ve en yüksek değer de üst spesifikasyon sınırı (ÜSS) olmakta bu değerlerin arasında kalan aralık ise tolerans olarak adlandırılmaktadır. Gerek nominal değer gerek tolerans için en ekonomik şekilde yapılmasını sağlayacak ölçülerle belirlenmektedir. Tolerans sınırlarının daraltılması, ürünü üretmenin maliyetini artıracak, genişletilmesi ise üretimde sorunlara neden olacak ve ürünün kısa bir kullanım süresi içinde hizmet dışı kalmasına neden olabilecektir (Kavrakoğlu, 1998: 12).

Bugüne kadar kullanılan kalite kontrol tekniklerinin çoğu uygunluk kalitesinin geliştirilmesinde üretim sürecini kontrol altında tutmaya odaklanmaktadır. Ancak; ürün tasarlandıktan sonra üretilirken yada müşteri kullanımı sırasında uygunluk sınırlarının dışına çıkabilmektedir. Çünkü süreç ne kadar duyarlı ayarlanırsa ayarlanırsa yanlış tasarım nedeniyle süreçte oluşabilecek temel bozukluklar giderilemez. Buna karşın, ürün ve süreç tasarımının geliştirilmesiyle hem üretim hem de süreç kusurlarını azaltmak mümkündür. Ürün ve süreç tasarımı aşamalarında uygulanacak kalite kontrolü ile tasarımın üretilebilirliği ile güvenilirliği geliştirilebilmekte, ürünün kullanım maliyetleri azaltılabilmektedir. Ürün ve süreç tasarımı ve geliştirmeye yönelik yöntemler ile maliyet artırmadan üretim kusurlarında düşmenin sağlanması mümkün olacaktır (Baynal, 2003: 25).

Kalite karakteristiği değerinin en iyilenmesi için performans değişkenliği mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Bunu başarabilmek için aşağıdaki bilgilerin edinilmesi gerekmektedir (Brajkovic, 1998: 726):

- Karakteristikler üzerinde etkili parametrelerin etkisi,
- Performans değişkenliğinde etkili parametrelerin etkisi,
- Performans değişkenliğinin düzeltilmesi için mümkün olan aşamalar,
- Performans değişkenliğini en küçüklemeyi sağlayacak yöntem ve kriterler,
- En iyi kalite performansının sağlanması için değişkenliğin nasıl azaltılacağı,
- Performans değişkenliğinin kaynakları (kontrol edilebilir ve kontrolü zor olan faktörler).

Aşağıda verilmekte olan Tablo 2-1’de geleneksel olarak sürecin izlenmesinde kullanılan yöntemler ile ürün ya da sürecin değiştirilmesine yönelik kullanılan yöntemler karşılaştırılmıştır (Goh, 2001: 392):

Tablo 2-1 Süreç İzlemeye ve Değişime Yönelik Yöntemler

	İzleme	Değişim
Yöntem Doğası	Pasif	Aktif
Motivasyon	Mevcut durumun bakımı	Gelişime yönelik
Oryantasyon	Konunun durumunu anlamak	Konunun durumunu geliştirmek
Operasyon	Yeni operasyonel hedefler yoktur	Daha iyi hedefler ve sonuçlar
Amaç	Kalite kaybını önlemek	En iyilemeyi sağlamak
Uygulanabilirlik	Süreç izleme	ürün ve süreç en iyilenmesi
Konu	Var olan sistemler	Var olan ve yeni sistemler
Felsefe	Problemlerin oluşmasından kaçınmak	Problemlerin elimine edilmesi ve üstesinden gelinmesi
Düzenleme	evrimii (On-line)	evrimdışı (Off-line)
Araçlar	İstatistik süreç kontrolü	Deney tasarımı

Kalitenin geliştirilmesi için ürün ya da süreçteki değişkenlik kaynaklarının azaltılmaya çalışması önemli bir yer tutmaktadır. İstatistik süreç kontrolünün uygulanmasında değişkenliği azaltmak için genellikle toleransların sıkıştırılması yaklaşımına gidilmekte ancak bu yaklaşım maliyetlerin artmasına neden olabilmektedir. Buna karşın deney tasarımı çalışmaları ile bu maliyete katlanılmadan da değişkenliğin azaltılması sağlanabilmektedir. Taguchi parametre tasarımı ile uygun tasarım parametrelerinin seçimi sağlanıp; üretim süreci, çevre, bileşen, malzeme gibi kaynaklardan gelen değişkenlik nedenlerine karşı güçlü ve duyarsız ürün üretilmektedir (Hafeez vd., 2002: 898).

Phadke (1989: 35) bir ürün için yaşam çevriminin dört aşamadan oluştuğunu belirtmiştir. Buna göre ürünün yaşam çevrimi boyunca geçirilen aşamalar:

1. Ürün tasarımı (Araştırma-Geliştirme, Research and Development, R&D)
2. Süreç tasarımı (Production Engineering)
3. Üretim
4. Müşterinin ürünü kullanması olmaktadır.

Bir ürünün yaşam ömrü bu çevrimin de dikkate alınacağı bir şekilde yaşam ömrünün başı, normal dönemi ve sonu olarak dikkate alınırsa, birimden birime gürültü faktörleri genellikle bu yaşam çevriminin ilk dönemlerinde yani üretim aşaması sırasında ve hemen sonrasında izleme yöntemiyle ortaya çıkarılmaktadır. Hedef değerden uzaklaşmış bu ürünlerin elenmesi sonucu başarısızlık oranında düşme sağlanmaktadır. Dışsal ve bozulma gürültü faktörlerinin neden olduğu başarısızlık ise özellikle yaşam ömrü sonunda müşteri kullanımı sırasında birikimli bir şekilde ortaya çıkmakta ve servis hizmetini gerektirmektedir. Eğer güçlü tasarım tüm bu gürültü türlerine karşı duyarlılığı azaltabilecek bir tasarım oluşturursa başarısızlık oranı çok düşecektir. Güçlü tasarım teorik olarak ürün geliştirme sürecinin tüm aşamalarında uygulanabilir olmakla beraber özellikle tasarım sürecinin erken aşamalarında yapılacak çalışmalar daha fazla esnekliğe izin verecek ve daha fazla maliyet düşüşünü sağlayacaktır (Menon vd., 2007: 314).

Phadke'nin (1989) Taguchi'nin 1978 yılında sunduğu bir çalışmadan uyarlayarak hazırladığı üretim aşamalarına ilişkin gerçekleştirilen kalite kontrol faaliyetleri Tablo2-2'de verilmektedir (Phadke, 1989: 35):

Tablo 2-2 Üretim Aşamalarında Gerçekleştirilen Faaliyetler

Üretim Aşamaları	Kalite Kontrol Faaliyetleri	Gürültü Faktörlerinin Etkilerini Azaltma Yeteneği			Açıklama
		Dışsal	Birimden Birime	Bozulma	
Ürün Tasarımı	Sistem Tasarımı	Evet	Evet	Evet	Tüm gürültü faktörlerine karşı duyarlılığı azaltmak için yeniliği içermektedir.
	Parametre Tasarımı	Evet	Evet	Evet	Tüm gürültü faktörlerine karşı duyarlılığı azaltmak için en önemli basamaktır. Güçlü tasarım yöntemini kullanır.
	Tolerans Tasarımı	Evet	Evet	Evet	Ürün için, işletim ve üretim çevresinin materyallerin ve bileşenlerin en ekonomik düzeylerinin seçilmesi yöntemidir.
Süreç Tasarımı	Sistem Tasarımı	Hayır	Evet	Hayır	Birimden birime değişkenlikleri azaltmak için yenilikleri içerir.
	Parametre Tasarımı	Hayır	Evet	Hayır	Üretim değişkenliklerini azaltmak için birimden birime değişkenliklere karşı duyarlılığı azaltmada önemlidir.
	Tolerans Tasarımı	Hayır	Evet	Hayır	Üretim süreç parametrelerinde toleransları belirleme yöntemidir.
Üretim	Belirleme ve Düzeltme	Hayır	Evet	Hayır	Meydana gelen problemleri belirleme ve düzeltme yöntemidir.
	İleri Besleme Kontrol	Hayır	Evet	Hayır	Bilinen problemleri giderme yöntemidir.
	İzleme	Hayır	Evet	Hayır	Son alternatiftir. Süreç yeteneği zayıfsa yararlıdır.
Müşteri Kullanımı	Garanti ve Tamir	Hayır	Hayır	Hayır	

Tabloya göre; ürün tasarımında, tüm gürültü türlerine karşı kaliteyi geliştirme amacıyla sistem tasarımı kullanılabilir. Sistem tasarımı gerçekleştirildikten sonra, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı tüm gürültü türlerine karşı mücadele etmek için uygundur.

Süreç tasarımı için sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı birimden birime gürültü türlerine karşı etkili bir araçtır. Üretim aşamasında belirleme ve düzeltme, ileri besleme kontrol ve izleme (muayene) faaliyetleri yürütülebilmektedir. Ürünün satışından sonra ise müşterinin ürünü kullanması süreci için önlemler alınıp garanti ve tamir olanakları sağlanabilmektedir.

Tabloda ayrıca üretim basamaklarına göre tasarıma yönelik yürütülen kalite kontrol faaliyetlerinden hangilerinin dışsal, birimden birime ve bozulma gürültü faktörlerinin etkilerini azaltmaya yönelik olduğu gösterilmektedir. Burada gürültü faktörlerinin azaltılması mümkün ise “Evet”, değilse “Hayır” ifadesi kullanılmıştır. Tabloda da görüldüğü gibi, ürün tasarımı aşamasında yürütülen tüm tasarım türleri her tür gürültü faktörü etkisini azaltmaya yönelikken, süreç tasarımında tasarım türleri sadece birimden birime gürültü faaliyetlerinin etkisini azaltmaya yönelik olmaktadır.

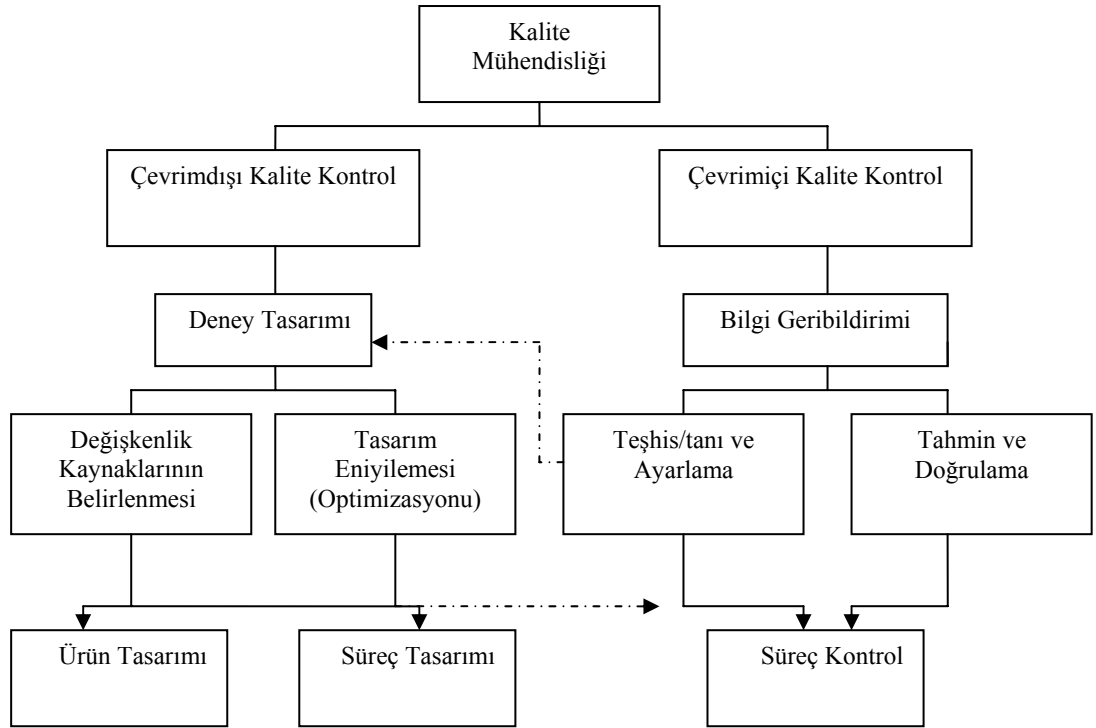
Sonuç olarak, maliyetleri mümkün olduğunca düşürerek gürültü faktörlerinin etkisini en aza indirmek ve güçlü tasarımı gerçekleştirmek için kalite kontrol çalışmalarına özellikle tasarım aşamasında başlamak gereklidir. Bu çalışmalar üretim aşamasında ve satış sonrasında da devam etmeli ve ürünün tüm yaşam süresince sürdürülmelidir. Kalite kontrol faaliyeti olarak ürün ve süreç tasarımındaki yürütülen çalışmalara çevrimdışı kalite kontrol denirken, üretim esnasındaki çalışmalara da çevrimiçi kalite kontrol adı verilmektedir.

2.1.6 Çevrimdışı ve Çevrimiçi Kalite Kontrol Faaliyetleri

Bir ürünün ya da sürecin güçlü tasarlanmasını sağlamak için tüm kalite sisteminde bütün gürültü faktörleri dikkate alınmalıdır. Güçlü tasarımın başarılabilmesi için kalite kontrol faaliyetleri ürün ve süreç tasarımıyla başlamalı (çevrimdışı kalite kontrol) ve üretim işlemleriyle (çevrimiçi kalite kontrol) devam

etmelidir (Park, 1996: 6). Buna karşın ürün ya da sürecin kalitesinin artırılması ve güçlü tasarımın sağlanmasında muayene (inspection) yönteminin yapıldığı çevrimiçi kalite kontrol çalışmalarından önce mühendislik parametrelerinin gürültü faktörlerine karşı duyarlılığı azaltacak uygun düzeylerinin araştırıldığı çevrimdışı faaliyetlere odaklanılmalıdır (Welch vd., 1989: 1).

Kalite mühendisliği çatısı altında çevrimiçi ve çevrimdışı kalite kontrol çalışmaları aşağıdaki Şekil 2-6'da ayrıntılı olarak verilmektedir (Peace, 1993: 6).



Şekil 2-6 Çevrimiçi ve Çevrimdışı Kalite Kontrolü

Çevrimdışı kalite sistemi, pazar araştırmaları ile başlamakta ve müşteri gereksinimlerinin sağlanabilmesini amaçlayan yönetim faaliyetlerinin sürdürülmesiyle sona ermektedir. Sistem, parametre ve tolerans tasarımından oluşan tasarım aşamaları çevrimdışı kalite sisteminde kritik rol oynamaktadır.

Çevrimdışı kalite kontrolünün amacı, çevrimiçi kalite kontrolünü destekleyerek ürün ve süreç tasarımını en iyilemektir. Deney tasarımının ana amacı çevrimdışı kalite kontroldür. Buradaki çabaların pek çoğu araştırma ve geliştirme

faaliyettir. Eğer süreç tasarımı yapılyorsa gerçek üretimin benzetiminin yapıldığı prototip hatlar kullanılabilmekte ya da normal üretim sürecinde, öncesinde, durduğunda ve vardiya değişikliğinde gerçekleştirilebilmektedir.

Deney tekniği burada iki anahtar rol oynamaktadır. Bunlar, değişkenlik kaynaklarının tanımlanması, süreç en iyilemesinin sağlanması ve tasarımının belirlenmesidir. Tüm değişkenliğin ana nedenlerinin belirlenmesinden sonra fonksiyonel değişkenliği etkileyen en önemli faktörler üzerinde odaklanılmaktadır. Bu kritik faktörlerin en iyi düzeylerinin belirlenmesiyle üretimde tanımlanan problemlerin çözümleri sağlanmakta ve çevrimiçi kalite kontrol faaliyetlerinde hedef değerde üretim gerçekleştirilmektedir (Peace, 1993: 8).

Çevrimiçi kalite sistemi, örnek ürünün üretilmesiyle başlar ve satış sonrası servis faaliyetleri ile sona erer (Park, 1996: 8). Çevrimiçi kalite kontrolü, birimden birime değişkenliği minimize etmek için montaj sürecindeki ve üretimdeki tutarlılığın sürdürülmesidir. Burada maliyetleri düşük tutmak ve eşzamanlı olarak kaliteyi yükseltmek amaçlanır ve üretim aşamasında karşılaşılabilecek problemlere hızlı bir şekilde çözüm getirmek önem kazanır (Fowlkes ve Creveling, 1995: 11).

Çevrimiçi kalite kontrol süresince tüm çabalar üretime yöneliktir. Bu teknikler üretimi izleme, kalite ölçümü, potansiyel problemleri istatistik süreç kontrolü vb. araçlarla yakalamak ve doğrudan düzeltici faaliyetlerde bulunmaktır. Bilgi, geribildirim sistemleri ile örneğin süreç performansının üretim şefi ya da operatör tarafından bildirilmesiyle sağlanmaktadır (Peace, 1993: 7).

Taguchi'nin çevrimiçi kalite kontrolde önerdiği aşamalar aşağıda özetlenmiştir (Park, 1996: 6):

1. Teşhis/tanı ve Ayarlama: Sürecin düzenli aralıklarla izlenmesi, gerekli ayarlamaların yapılmasıdır,
2. Tahmin ve Doğrulama: Geçmiş verilerin kullanımıyla süreçteki eğilimin (trendin) tahmin edilmesidir. Eğer süreç hedeften sapmışsa, bu durum istatistik süreç kontrolü gibi yöntemlerin kullanımıyla doğrulanır ve ileri bildirim kontrolü ile geribildirim kontrolü yapılır,

3. Ölçme ve Harekete Geçme: Üretilen ürünler muayeneden geçirilir ve ölçülür. Hatalı ürünler hurdaya ayrılır ya da yeniden işlenir.

2.1.7 Mühendislik Tasarım Problemi

Özel bir kalite düzeyi sağlanmak istendiğinde mühendislik tasarımı yani üretim maliyetlerini düşürme stratejisini belirleme, ürün ve süreç tasarımında kontrol edilebilen faktörlere ilişkin en iyi değerlerin bulunması problemi zor ve karmaşıktır. Çünkü ilk önce çok sayıda faktör ve yanıt arasındaki ilişki bilinemediği için deneysel olarak gözlemlerin yapılması gereklidir.. İkinci olarak da ürün veya süreç tasarımı sürecinde gürültü faktörlerinin varyans değeri farklı düzeylerdeki malzemelerin, bileşenlerin maliyetleri ve toleranslar tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle tüm maliyetleri kapsayan basit bir amaç fonksiyonunu yazmak mümkün değildir (Phadke, 1989: 33).

Mühendislik tasarımı probleminde kullanılmak üzere, bir ürünün ya da süreç teknolojisinin güçlü tasarım özelliğinin geliştirilmesi üç adımdan oluşmaktadır (Taguchi ve Tsai, 1995: 225):

1. Sistem tasarımı (Kavramsal tasarım): Yeni teknoloji sistemlerinin ya da kavramlarının seçilmesi,
2. Parametre tasarımı: Yeni seçilen teknoloji sistemlerinin ya da kavramların fonksiyonel güçlülüğünü en büyükleyen kontrol faktörlerinin uygun düzeylerinin seçilmesi,
3. Tolerans tasarımı: Toplam maliyet, çevresel etkiler, üretim kapasitesi ve benzeri unsurların dikkate alınarak tolerans spesifikasyonlarının uygun düzeylerinin seçilmesi.

Bryan ve Taguchi'ye göre (1987) geleneksel anlayışta sistem tasarımından sonra genellikle tolerans tasarımı aşamasına geçilmekte, maliyetlerin azaltılmasında ve kalitenin geliştirilmesinde büyük etkisi olan parametre tasarımı aşaması genellikle ihmal edilmektedir. Oysa ki tolerans tasarımı, parametre tasarımı aşamasında değişkenliğin yeterince azaltılmadığı durumlarda yapılmalıdır (Çelik, 1993: 38). Bu nedenle güçlü tasarımda özellikle parametre tasarımı öncelik kazanmaktadır.

Taguchi'nin parametre ve tolerans tasarımı güçlü tasarım olarak sınıflandırılabilir. Güçlü tasarım dar anlamda parametre tasarımıyla aynıdır, fakat geniş anlamda parametre tasarımı güçlü tasarımın alt kümesi olarak kabul edilmektedir (Park, 1996: 3).

Taguchi'nin önerdiği bu üç aşamalı yaklaşım birbirini tamamlayan bir yapıdadır. Sistem tasarımı daha çok kavramsal yönlü bir faaliyet olduğu için mühendislik deneyimi gerektirir ve istatistik yöntemler bu aşamadaki çok yoğun kullanılmamaktadır. Fakat bir en iyileme süreci olan parametre ve tolerans tasarımı aşamalarında istatistik yöntemlerden yararlanılmaktadır (Çelik, 1993: 39). Taguchi bu aşamalardan son ikisinde elde edilen sonuçların değerlendirmesi için kayıp fonksiyonu kavramını ortaya koymuştur (Şen ve Şehirlioğlu, 1996: 41).

2.1.7.1 Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı yeni, orijinal bir teknoloji geliştirmek için bilimsel alan ve mühendislik uzmanlık bilgilerinin kullanılmasını gerektiren, yaratıcılığı da içine alan kavramsal bir tasarım aşamasıdır Amerika Birleşik Devletleri'nde videokaset kaydedicisinin (VCR) geliştirilmesinde orijinal kavramsal tasarım bu konuda örnek verilmektedir. Kalite mühendisliği teknikleri bu aşamaya odaklanmamaktadır ve Taguchi tüm potansiyel sistem üzerinde çalışmaktansa, geliştirmek için bir ya da birkaç kavram seçilmesini önermektedir. Kalite Fonksiyonu Yayılımı (Quality Function Deployment/ QFD) ve Pugh'ın Kavram Seçim Yöntemi (Pugh Concept Selection) bu kavramların seçimi amacıyla kullanılacak iki yöntemdir (Taguchi, Shin, Edited by, Eureka ve Ryan, 1995: 33).

Sistem tasarımı araştırma ve geliştirme aşamasında prototip tasarımını ve montaj sistemi, bileşenler, bölümler ve malzemelerin belirlenmesini içermektedir. İlgilenilen ürünün üretim özellikleri prototip modelden belirlenir. Üretim mühendisliği aşamasında ise üretim sürecinin belirlenmesi ile ilgili çalışmaları içerecektir. Sistem tasarımı hem tüketici, hem de üretim süreci gereksinimlerinin anlaşılması gerektirir. Bir ürün tüketicinin isteklerine göre tasarlanmıyorsa tüketici gereksinimlerini karşılamayacaktır Benzer şekilde tasarımın üretilmesi

de süreç gereksinimlerinin ve kapasitesinin anlaşılmış olmasıyla mümkündür (Çelik, 1993: 39, Tornng vd., 1999: 3).

2.1.7.2 Parametre Tasarımı

Parametre tasarımı, gürültü faktörlerine karşı fonksiyonel duyarsızlığı sağlamak için kontrol edilebilir faktörlerin uygun kombinasyonlarını bulmak için sistematik olarak gerçekleştirilen deney tasarımı çalışmalarını içermektedir (Phadke ve Smith, 2004: 634). Parametre tasarımı, değişkenlik kaynaklarını kontrol etmektense, değişkenlik kaynaklarının performans değişkenliği üzerindeki etkilerini azaltacak mühendislik tasarımlarını geliştirmede kullanılan etkin bir yöntemdir. Bu nedenle performans değişkenliğini en küçükleyen ürün veya süreç kontrol edilebilen faktör düzeylerini belirlemek için yapılan araştırmalar parametre tasarımı olarak adlandırılır.

Bir ürün veya süreçten istenen fonksiyon, kontrol edilebilir faktörler değerlerinin farklı birleşimlerinin kullanımı ile kalite karakteristiğinin en iyi performans değerinin elde edilebilmesidir. Ancak, kontrol edilebilir faktörlerin farklı birleşimlerinde performans değişkenliği de farklı olabilecektir. İşte bu değişkenlik hem üretim, hem de hizmet maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle en iyi faktör birleşiminin bulunması gerekmektedir. Ayrıca, “parametre tasarımı” kavramı, mühendislikte “ürün karakteristikleri” yerine “ürün parametreleri” teriminin kullanılması geleneğine dayanmaktadır. Bunun bir sonucu olarak da kontrol edilebilir faktörlerin en iyi değerlerinin belirlenmesine ilişkin yapılan çalışmalar parametre tasarımı olarak adlandırılmaktadır. Parametre tasarımı ile;

- Kaliteli tasarım,
- Maliyetlerde azalma,
- Daha kısa süredeürün geliştirme,
- Gecikme ve atıkların önlenmesi,
- Verimlilik artışı sağlanabilir (Çelik, 1993: 40).

Taguchi’ye göre ürünün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, parametre tasarım aşamasıdır. Ürün parametre tasarımı;

malzeme (çelik, lastik, kağıt, plastik vb.), formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi parametrelerin en iyi değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Süreç parametre tasarımı; kontrol edilebilen üretim süreç parametreleri (hat hızı gibi çeşitli hızlar, fırın sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıklar, çeşitli basınçlar, çeşitli süreler vs.) için en iyi düzeylerin belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır. Her iki parametre tasarımında da amaç üründe ve süreçte değişkenlik yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin en iyi değerlerini seçerek, ürün ve süreçteki değişkenliği en aza indirmektir. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımını güçlü tasarım olarak tanımlamaktadır (Şirvancı, 1997: 15).

Taguchi yönteminde parametre tasarımı ilerleyen başlıklarda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

2.1.7.3 Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı, parametre tasarımı ile tanımlanan faktörlerin en iyi düzeylerinin sınırlarının belirlenmesi sürecidir. Tolerans tasarımı eğer parametre tasarımı sonrasında düşük bir maliyette gerekli performans sağlanamamışsa yapılmaktadır. Burada sistemi olumsuz bir şekilde etkileyen faktöre ilişkin toleranslar daraltılmaktadır (Guharaja vd., 2006: 1041). Tolerans tasarım aşamasında en ekonomik toleranslar belirlenmelidir. Çünkü tolerans sınırları daraldıkça üretim maliyetleri artacaktır. Üretim maliyetlerindeki artışın nedeni, üretim hattının daha sıkı kontrol edilmesi ve bozuk ürünlerin ayıklanmasıdır. Diğer taraftan tolerans sınırları genişledikçe ürünün ilgilenilen fonksiyonunun hedef değerden sapmaları da büyüyecek ve kayıpları artacaktır. Böylece belirlenen bu toleranslar, hedef değerden kabul edilebilir sapmalara göre ürün maliyetini minimize edecek şekilde belirlenmelidir. (Şen ve Şehirlioğlu, 1996: 41).

Tolerans tasarımında performans değişkenliğinin ve dolayısıyla kalite kaybının azaltılması ile artan üretim maliyeti arasında bir denge (trade-off) çalışması yapılır. Tolerans tasarımından önce parametre tasarımı ile gürültüye karşı duyarlılığın mümkün olduğunca azaltılması gerekir. Aksi takdirde, kalite kaybı düşürülse bile gereksiz yere malzeme ve bileşen kullanımı ile maliyet artışına neden

olunabilir. Bunun için geri bildirim kontrolü gibi uygun bir mekanizmanın eklenmesi ile ürünün yanıt değişkenliği azaltılabilir. Elbette ki bunun da yüksek üretim maliyetine etkilerinin olup olmayacağı araştırılmalıdır (Phadke, 1989: 34).

2.2 TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE TASARIM

Taguchi, parametre tasarımı ile kalitenin artırılmasını hedeflerken bir kalite felsefesi ortaya koymuş aynı zamanda geliştirmeye yönelik yöntemler de önermiştir. Taguchi'nin kalite felsefesi, kalite mühendisliği çatısı altında en iyi parametre değerlerinin bulunması, değişkenliğin ve sistemin değişkenlik kaynaklarına karşı duyarlılığının belirlenmesi üzerine odaklanmıştır. Taguchi yönteminin dayandığı temeller ise, kalitenin tasarım aşamasında da artırılması ve ürünün güçlülüğünü garantiye almak için ürün veya sürecin eniyilenmesine yöneliktir. Bu şekilde ürün tasarımı ile süreç mühendisliğinin bütünleştirilmesi kalite mühendisliğinin temellerini oluşturmaktadır (Çetin vd., 2001: 511). Taguchi felsefesi ve yöntemi ile ilgili ayrıntılı bilgiler ilerleyen başlıklarda verilmektedir.

2.2.1 Taguchi Yöntemi Uygulama Alanları

Taguchi yöntemi, ürünlerin kalitesinin artırılmasının yanı sıra çok daha az deneme ile iyi sonuçlar veren ve istatistik araçlar ile ilgili bilgisi az uygulayıcıların da kolaylıkla uygulayabilecekleri bir yaklaşımdır (Çakır, 2007: 5).

Taguchi yönteminin ve güçlü tasarımın üretim süreci, mekanik bileşenlerin tasarımı ve süreç en iyilenmesi gibi pek çok uygulaması bulunmaktadır. Çoğu durumda ürün kalitesi ve performansı geliştirilmiş, kusurlu olduğu için reddedilen ürün sayısının ve üretim maliyetlerinin azalması sağlanmıştır. Taguchi yönteminin doğasından dolayı uygulamaların çoğu benzetim deneyi olarak değil gerçek deney olarak yürütülmektedir. Taguchi yönteminde güçlülük tasarım aşamasında sağlanmak isteniyorsa eşzamanlı olarak hem ürün hem de süreç üzerinde çalışma yapılabilir (Ku vd., 1998: 2).

Taguchi yöntemi, üretim organizasyonlarında daha geniş bir uygulamaya sahiptir. Tablo 2-3'de Taguchi Yöntemi'nin çeşitli üretim sektörlerindeki uygulamaları ve yöntemin kullanımının faydaları verilmektedir (Çakır, 2007: 6; Antony, J ve Antony, F. J, 2001: 7).

Tablo 2-3 Taguchi Yöntemi Uygulama Örnekleri

Süreç/ Ürün	Problem	Deney	Faydaları
Enjeksiyon kalıbı yapma	Yüksek süreç değişkenliğine karşın yüksek ıskarta	8 deneme	Yıllık tasarruf £40000 üzerinde
Dizel akıtma	Yüksek yeniden işleme oranı	16 deneme	Yıllık tasarruf £10000 üzerinde
Kaynak süreci	Düşük kaynak	16 deneme	Yıllık tasarruf £16000
Kimyasal süreç	Düşük süreç çıktısı	8 deneme	Süreç çıktısı %10 gelişti
Bisküvi	Bisküvi boylarındaki yüksek değişkenlik	16 deneme	Bisküvi uzunluklarındaki değişkenlik %25 azaldı
Tel bağlama	Düşük tel çekme	16 deneme	Yıllık tasarruf £30000

Tablodan da görüldüğü gibi yapılan uygulamalarda çok az sayıda deneme ile maliyetlerde önemli kazanımlar ve kalite problemlerinde iyileşme sağlanmıştır.

Taguchi yöntemi geliştirirken asıl amacı mühendislik süreçlerini en iyilemektir. Bu nedenle güçlü tasarımda Taguchi yöntemi genel olarak reel üretim ayarlarının yapılmasında kullanılmakta hizmet sektöründe yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bunun nedenleri hizmet sürecinin performansının tam olarak ölçülmesinin zor olması, bir hizmet sürecinin performansının davranışa ve hizmet sağlayıcısının tutumuna bağlı olup tutarsızlık göstermesi, süreç performansının geliştirilmesini etkileyecek şekilde çok sayıda gürültü faktörü içermesidir (Kumar vd., 1996: 86). Buna rağmen Taguchi yönteminin hizmet sektörü için uygulamaları da yapılabilmektedir. Örneğin müşteri şikayetlerinin azaltılması için, hizmet hatalarının, bir hastanenin acil odasında kalma süresinin uzunluğunun azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar bulunmaktadır (Çakır, 2007: 5; Antony, J ve Antony, F. J, 2001: 2). Ek 1’ de Amerikan Tedarikçiler Enstitüsü’nün Taguchi Yöntemini kullanan Müşterilerinin isimleri verilmektedir. Buradaki liste incelendiğinde Amerika Birleşik Devletleri’nde önde gelen pek çok firmanın bu yöntemi kullandıkları görülmektedir.

2.2.2 Taguchi Felsefesi

Tam faktöriyel deney tasarımı, tasarım ya da geliştirme çalışmalarında birçok alanda yararlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak her aşamada tek bir faktör değiştirilerek ya da olası bütün kombinasyonların denenmesi yoluyla gerçekleştirilen çalışmaların yüksek maliyetli olması, uzun zaman gerektirmesi ve uygulama zorlukları nedeniyle özellikle faktör ve düzey sayısının fazla olduğu durumlarda kullanılamamaktadır. Taguchi yöntemi yukarıda sayılan olumsuz yanları bulundurmaması nedeniyle özellikle de kalite geliştirme amacına yönelik olarak sıklıkla kullanılan bir deney tasarımı yöntemidir. Taguchi yönteminde kullanılan ortogonal dizinler daha az sayıda ve daha ucuza mal olan deneyler yapılmasına böylece deney tasarımı uygulamalarının yaygınlaşmasına olanak sağlamaktadır (Baynal ve Terzi, 2005: 573). Bu nedenle, Taguchi yöntemi; ürünlerin kalitesinin iyileşmesinde etkili olmasının yanı sıra, çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma olanağını vermektedir (Canıyılmaz ve Kutay, 2003: 52).

Çok basit ve temel üç kavram üzerine kurulmuş olan Taguchi felsefesi, kalite kontrol kavramının etki alanını genişletmiştir. Bu teknoloji ve yöntemlerin bütünü aşağıdaki fikirlerden ortaya çıkmıştır (Şen ve Şehirlioğlu, 1996: 40):

1. Kalitenin artırılması muayene ile değil, ürünün tasarımında yapılacak geliştirme çalışmaları ile sağlanmalıdır,
2. Kalitenin en iyi şekilde elde edilmesi, kalite karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmalarının en küçüklenmesiyle gerçekleşir. Ürün kontrol edilmeyen çevresel faktörlerden etkilenmeyecek şekilde tasarlanmış olmalıdır,
3. Kalitenin maliyeti, hedef değerden sapmaların bir fonksiyonu olarak ölçülmelidir. Kayıplar sistem içerisinde ölçülebilir olmalıdır.

Yukarıda belirtilen üç prensip bu sistemlerin geliştirilmesi, üretim parametrelerinin belirlenmesi ve üretim kalitesine etki eden faktörlerin uygun düzeylerinin belirlenmesinde yardımcı olmuştur (Şen ve Şehirlioğlu, 1996: 40).

Kacker (1986)'e göre Taguchi'nin kalite felsefesi yedi noktada özetlenebilir:

1. Ürün kalitesi, o ürünün kalitesizliğinin toplumda yol açabileceği toplam kayıp olarak tanımlanabilir,
2. Rekabetçi bir ekonomide işletmenin varlığını sürdürebilmesi için kaliteyi sürekli olarak geliştirmesi ve maliyetleri düşürmesi gereklidir,
3. Kalite geliştirme çalışmaları, o ürünün kalite karakteristiklerinin hedef değerden sapmalarının kayda değer miktarda azaltılmasını içermelidir,
4. Ürün performansındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ve müşterinin katlandığı kayıp, yaklaşık olarak, kalite karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesi ile doğru orantılıdır,
5. Ürünün kalite ve maliyeti, önemli oranda ürünün üretim sürecinin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir,
6. Ürün veya sürecin değişkenliği, üretim parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir,
7. İstatistik olarak planlanmış deneyler performans değişkenliğini azaltan ürün ya da süreç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir (Saat, 2000: 2).

Bu saptamalara bağlı kalınarak geliştirilen Taguchi parametre tasarımı uygulamalarıyla aşağıdaki verilen hedeflerin gerçekleştirilmesine dayanmaktadır (Vlachogiannis ve Roy, 2005: 456):

1. Ürünlerin ve süreçlerin çevre koşullarına karşı güçlü olarak tasarlanması,
2. Ürün ve süreçleri geliştirmek böylece, bileşen (component) değişkenliğine karşı güçlü hale getirmek,
3. Hedef değer etrafındaki sapmaları azaltmak.

Burada bahsedilen amaçları sağlamak, en düşük maliyetle değişkenliğe neden olan faktörlere karşı duyarlılığı azaltmak için güçlü tasarım özelliğinin ölçülmesi gerekmektedir. Taguchi güçlü tasarımın sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesi için ortalamanın standart sapmaya oranının (*SN*) değerlendirilmesini

önermektedir. Bu değerlendirme özellikle araştırma-geliştirme ve ileri mühendislik tasarımı aşamalarında yukarı yönlü (tasarım, upstream) mühendislik faaliyetlerinde önem kazanmaktadır. Ürün geliştirmenin yukarı yönlü aşamasında kontrol ve gürültü faktörleri arasındaki ilişkilerin avantajlarını kullanılmasıyla güçlü tasarım sağlanabilecektir. Burada sağlanan güçlü tasarım özelliği ile ürünün akış yönünde (aşağı yönlü, üretim akışı, hat boyu, downstream) hatalı üretimden kaynaklanan problemler yaşanmayacaktır (Taguchi G., Chowdhury S., Taguchi S., 2000: 8).

Kalite mühendisliği bakış açısıyla, bir ürünün aşağı yönlü kalite problemlerinin başlangıcı onun fonksiyonel kararsızlık belirtileridir ve bu durum güçlü tasarım özelliğinin olmadığını göstermektedir. Bu problemler, ürünün müşteriye teslimatından sonra oluşan toplam kalite kaybıyla tahmin edilebilir (Taguchi ve Tsai, 1995: 225). Taguchi felsefesinin önemli bileşenlerinden biri olan karesel kayıp fonksiyonunun detaylı anlatımı izleyen başlıkta verilmektedir.

2.2.3 Kalite Maliyetleri

İşletmelerin rekabet koşulları altında yaşamlarını sürdürebilmeleri için ürün ve hizmet kalitesi geliştirilirken kalite maliyeti konusuna da gereken önemi vermeleri gerekmektedir. Kalite maliyeti kavram olarak ilk kez 1956 ve 1961 yıllarında Feigenbaum tarafından ortaya atılmıştır ve tasarruf sağlanması için büyük bir potansiyel kaynak oluşturmaktadır. Feigenbaum'a göre kalite maliyetlerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi bu maliyetlerin toplam kalite yönetiminin odağı olmasını sağlamıştır. BS6143 Kalite ekonomisi kılavuzuna göre kalite maliyetleri PAF (prevention- appraisal- failure) olarak adlandırılmış ve önleme, değerlendirme ve başarısızlık maliyetleri olarak değerlendirilmiştir (Bozkurt, 2003: 7, 16). Bu maliyetlerin de aşağıda verilmekte olan bileşenlerden oluştuğu düşünülmektedir (Burnak, 1997: 30):

- Önleme maliyetleri: Kalite planlaması, ürün/süreç tasarımı, cihaz tasarım ve geliştirme, diğer bölümlerle işbirliği, eğitim, veri derleme ve analizi,
- Ölçme-Değerlendirme maliyetleri: Gelen malzemenin test ve kontrolü, ölçü aletlerinin kontrolü, ürün testi, test hazırlık çalışmaları, test araçlarının ayarlanması ve bakım-onarımı, test edilen malzeme kaybı,

- Başarısızlık maliyetleri: İçsel başarısızlık maliyetleri (hurda, yeniden işleme, test tekrarı, ürünün düşük kalitede derecelenmesi, kayıplar), dışsal başarısızlık maliyetleri (müşteri şikayetleri, ürün iadesi, ürün garanti yükümlülükleri, servis).

Burada ele alınan kalite maliyet bileşenleri, birbiriyle etkileşimlidir. Bir işletmede kalite bilinç düzeyini geliştirme ve iyileştirme çalışmaları başladığında öncelikle önleme ve ölçme değerlendirme maliyetlerinde bir miktar artış olacak, ancak başarısızlık maliyetleri önemli ölçüde azalacağından toplam kalite maliyetleri de azalacaktır. İyileştirme çalışmaları yaygınlaştırılarak sürekli olarak gerçekleştirildiğinde ise toplam kalite maliyetleri en alt düzeye doğru inecektir (Bozkurt, 2003: 24).

2.2.3.1 Kalite Kaybı Maliyeti

Güçlü tasarım bir ürünün üretilmesinde toplam kalite maliyetlerinin en alt düzeylere çekilmesinde olduğu kadar diğer maliyet bileşenleri üzerinde de olumlu etkilerde bulunmaktadır. Özellikle kalite kaybı maliyetinin en alt düzeylere çekilmesi uzun dönemde maliyetlerin düşürülmesi açısından işletme yararına büyük gelişmeler sağlayacaktır.

Bir ürünün üretilmesinde etkili olan maliyet unsurları Phadke tarafından üç kategoriye ayrılmıştır. Bu kategoriler işletme maliyetleri (operating cost), yapım maliyeti (manufacturing cost) ve Araştırma-Geliştirme Maliyeti (R&D cost) şeklindedir (Phadke, 1989: 4).

İşletme maliyetinin bileşenleri enerji, çevresel kontrol, bakım ve yedek parça maliyetleri olarak sıralanabilir. Eğer bir ürün sıcaklık ve nem gibi çevresel etkenlere karşı duyarlılık gösteriyorsa bu durumda havalandırma ve ısıtmadan dolayı bir maliyet te ortaya çıkabilecektir. Yüksek bozulma oranına sahip bir ürün, bakım ve yedek parça maliyetini de beraberinde getirebilecektir. Buna karşın ürünün çevresel koşullara, paralel üretim hatları arasındaki ve yedek parça farklılıklarına karşı duyarlılığı, güçlü tasarımın sağlanması ile azaltılabilecek ve işletme maliyetleridüşürülebilecektir. Yapım maliyetinin bileşenleri ise işçilik, ham madde, makine vb. olarak sıralanabilir. Bazı işletmeler birim yapım maliyetini (unit

manufacturing cost) düşük tutabilmek için, kalitesi düşük ham madde, kalifiye olmayan işçi, ucuz makine ve teknoloji kullanımını tercih edilebilmekte ve bu nedenle kalite seviyesini belirli düzeyde tutmakta zorlanmaktadır. Oysaki bu şekilde maliyetlerin düşürülmesinin yerine güçlü ürün tasarımı ile üretim aksaklıklarına karşı, sürecin duyarlılığı azaltılabilir. Araştırma ve Geliştirme maliyetinin bileşenleri, yeni bir ürün geliştirmek için harcanan zaman, gerekli mühendislik ve laboratuvar kaynakları vb olarak sıralanabilir. Bu maliyet bileşenleri içinde yapım, Araştırma ve Geliştirme maliyetleri doğrudan üreticileri ilgilendirir. İşletme maliyeti ise, doğrudan ürün kalitesi ile ilgilidir ve müşteriye etkiler. Yüksek kalite denildiği zaman, genellikle düşük işletme maliyeti anlaşılır (Phadke, 1989: 4; Köksoy ve Hocaoğlu, 2005: 617).

Bir ürünün maliyeti, ürünün satışından önceki toplam maliyeti ve satış sonrası maliyeti olarak ikiye ayrıldığında ise satış sonrası maliyeti kalite kaybı (toplumdaki kayıp) olarak değerlendirilmektedir (Sauers, 1999: 246). Ürünün toplam kalite kaybı, toplam parasal kayıp ve ürünün yaşam ömrü boyunca kalitesizlikten dolayı meydana getirdiği çevresel etkilerin toplamıdır. Kalite Kayıp Fonksiyonu (Quality Loss Function, QLF, KKF) aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Taguchi ve Tsai, 1995: 225):

Kalite kaybı = Fonksiyonel değişkenlikten dolayı oluşan maliyet + İşletme maliyeti + Çevrede oluşan etkilerden kaynaklanan maliyet

Kalite kaybı, bir ürün teslim edildikten sonra toplumda yol açtığı kayıptır. Bu kayıp, garanti, iade ve servis gibi nedenlerden kaynaklanan parasal kayıp, memnuniyetsizlik, zaman kaybı, çevre zararları, firma imaj kaybı olabilir (Taner ve Antony, 2006: 27). Bu toplumsal kayıp bir ürünün istenilebilirliğini belirler. Burada kaybın az olması ürünün müşteri talebini artırır. Taguchi için toplumsal kayıp, kalite maliyetlerine ilişkin kararları etkiler. Diğer bir deyişle kalite geliştirme için yapılan yatırımlar, yalnızca işletmede değil toplumda yaratacağı tasarrufla karşılaştırılmalıdır. Sonuçta, uzun vadede toplum işletmeyi sağlayacağı tasarruflara bakarak ödüllendirecek veya cezalandıracaktır (Saat, 2000: 3).

Kalite kaybına ilişkin işletme maliyetlerini (örneğin garanti maliyeti) ve çevrede oluşan etkilerden (örneğin çevre kirliliği) kaynaklanan maliyeti azaltmak kalite kaybını azaltma yolu olarak görülebilir. Ancak, kalite mühendisliği bakış açısıyla en etkili yol yeni ürün ve süreç teknolojilerinin fonksiyonel güçlü tasarım özelliğini geliştiren teknoloji araştırmaları faaliyetlerini geliştirmektir (Taguchi ve Tsai, 1995: 225).

Kalite kaybının miktarını ifade etmek zordur çünkü aynı ürün farklı kullanıcılar tarafından kullanılmakta ve farklı uygulamalarla çevre koşullarına tabi tutulmaktadır. Buna karşın, kaybın miktarını saptamak önemlidir. Böylece müşteriler üzerinde alternatif ürün ve süreç tasarımının etkisi değerlendirilebilir ve uygun mühendislik kararları alınabilir (Phadke, 1989: 14).

Geleneksel kalite anlayışına göre, kalite kaybının ölçümü ürüne ilişkin belirlenen alt sınır ve üst sınır spesifikasyonları ile yapılmaktadır. Kalite karakteristiği ölçümleri sınırlar arasında oldukları sürece ürün kalite değerleri arasında bir fark yoktur. Ancak günümüzde kalite sınırları arasında yer alan ürünler üretmek, müşteri tatminini sağlamak ve pazardaki rekabet edebilir pozisyonu elde tutabilmek için yeterli değildir. İşletmelerin kalite düzeyini sürekli geliştirip rakabet koşullarında ayakta kalabilmeleri için sınırların içinde üretimi değil de hedef değerde üretimi benimsemeleri gerekmektedir. Taguchi, kalite karakteristik değerleri belirlenen sınırları arasında olsa da her ürünün müşteriye bir kaybı olduğuna dikkat çekmiştir. Müşteri, ancak ürün hedef değerde üretildiği zaman tam olarak tatmin olabilir. Kalite kaybı ve dolayısıyla da müşterinin memnuniyetsizliği, kalite karakteristiğinin değeri hedeften uzaklaştıkça artar. Bu yüzden Taguchi, ortalamada hedefi amaçlayan ve sapmaların en küçük olduğu bir kalite performansının önemini vurgulamıştır (Taşeli ve Köksal, 2004: 1). Üretimde en iyi ayarlamalar yapılırsa parçalar istenildiği gibi ortalama boyutlarında üretilecek ve toplumdaki kayıp en düşük düzeye inecektir. Bunun için de süreç değişkenliğini azaltmaya ve parametre ayarlarındaki sapmayı en küçüklemeye odaklanılmalıdır (Grand ve Leavenworth, 1996: 642).

Ürün, tasarımcısının öngördüğü toleranslar dışında üretilmiş ise buradaki hatalı ürünün tekrar işlenmesi işletmede hurda ya da yeniden işleme maliyetlerine

neden olacaktır. Ancak ürün toleranslar içerisinde üretilip piyasaya sunulduğunda da ömrü boyunca; iade talepleri, garanti masrafları, tamir masrafları vb. şekillerde işletmeye, kullanıcıya ve sonuç olarak bütün topluma bir mali yük getirecektir (Canbulut ve Öztop, 2006: 432). Bu nedenle ürünler toleransı karşılıyor olsalar bile kalite kaybına yol açmaktadırlar. Bu kayıp, müşteri tarafından fark edilmekte ve memnuniyetsizlik nedeniyle gelecek dönem satışlarında düşüşe neden olmakla birlikte üreticinin saygınlığını da etkilemektedir. Buna karşın kalite kayıp fonksiyonu ürün toleransları karşılanıyor olsa da tam olarak hedef değerde üretilmemesinden kaynaklanan kaybı ölçme yeteneğine sahiptir (Phadke, 1989: 17).

Kacker (1986)'in Taguchi felsefesinde önemli bir yere sahip olan kalite kaybı ve kayıp fonksiyonu ile ilgili önemli notları aşağıda verildiği şekildedir (Çakır, 2007: 12):

1. Kalite kaybının parasal bir ölçümünü veren kayıp fonksiyonu, kalite karakteristiğinin hedef değerden sapmalarına bağlı olarak oluşan sürekli bir fonksiyondur.

2. Kalite kaybı, ürünün kalite karakteristikleri ile fonksiyonel bir ilişkiye sahip olup ürün üzerinde yapılacak kalite iyileştirme ve geliştirme çalışmalarısıyla minimize edilebilir. Kalitesizliği tasarım aşamasında önleme maliyeti, hurda, tekrar işleme ve ayıklama maliyetlerinden daha az olabilmektedir.

3. Müşteri tatmininin sağlanamaması toplumsal kaybı (kalite kaybını) oluşturur. Oluşan kaybın üretim sürecinin bir noktasında ölçülmesinden önce sistemin tamamında ele alınması uygun bir yaklaşımdır.

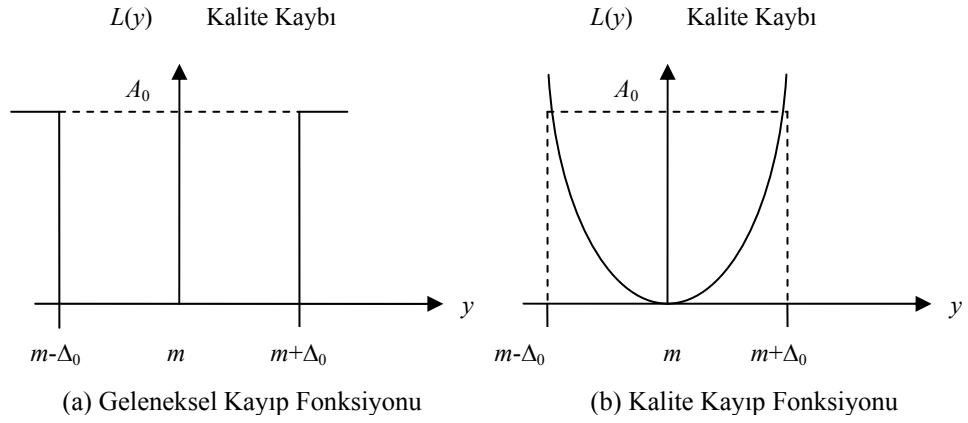
2.2.3.2 Kalite Kayıp Fonksiyonu

Mühendislik spesifikasyonları genellikle hedef değer “ m ” olacak şekilde yapılandırılır ve toleranslar da çift taraflı olarak $m \pm \Delta_0$ olarak ifade edilir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 34). Bu spesifikasyonlara karşılık kullanılan ve kalite kaybını ifade etmekte yetersiz kalan geleneksel kayıp fonksiyonu (Basamak fonksiyonu, Goalpost, kale direği) denklem (2-1)'de verilmektedir (Phadke, 1989: 17):

$$L(y) = \begin{cases} 0; & |y - m| \leq \Delta_0 \\ A_0; & d.d \end{cases} \quad (2-1)$$

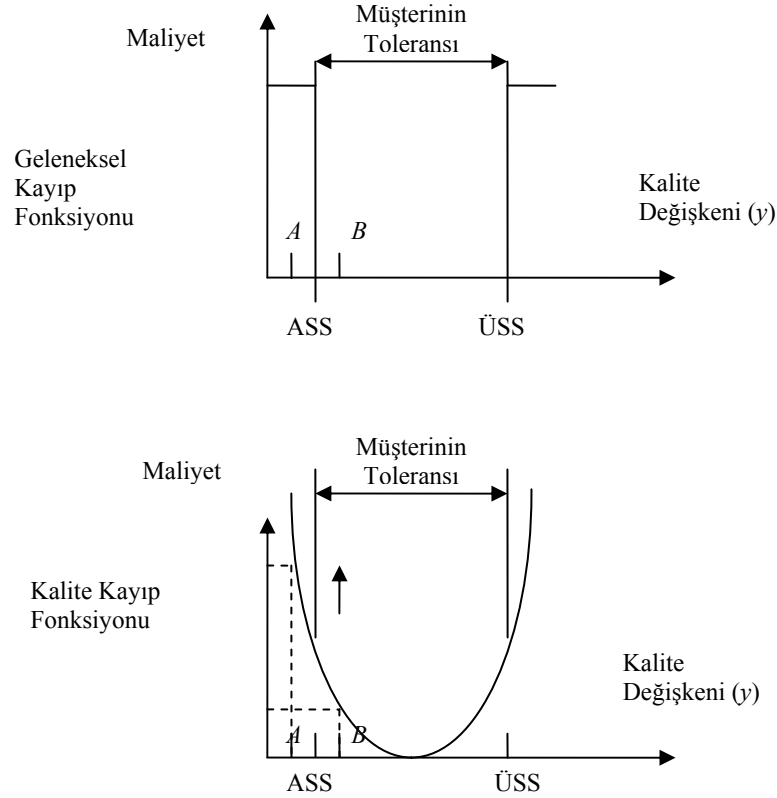
Burada A_0 , hatalı olmasına ve reddetme bölgesine karşı gelmesine rağmen tüketicinin eline geçmiş ürünün maliyetidir. Bu maliyet tamir etme, değiştirme, taşıma maliyeti gibi maliyetlerdir (Sauers, 1999: 249).

Geleneksel kayıp fonksiyonu ve kalite kayıp fonksiyonuna ilişkin görünüm Şekil 2-7’de verilmektedir (Phadke, 1989: 18):



Şekil 2-7 Geleneksel Kayıp Fonksiyonu ve Kalite Kayıp Fonksiyonu

Maliyet ilişkisindeki farkı açıklama amacıyla ürünün kalite kaybına ilişkin geleneksel kayıp fonksiyonu ve kalite kayıp fonksiyonu Şekil 2-8’de verilmektedir (Ross, 1988: 5):



Şekil 2-8 Kayıp Fonksiyonları Arasındaki Fark

Şekil 2-8’de ASS, alt spesifikasyon sınırını, yani $(m-\Delta_0)$ değerini, ÜSS’de üst spesifikasyon sınırını yani $(m+\Delta_0)$ değerini göstermektedir. Geleneksel kayıp fonksiyonunda A üretimi alt spesifikasyon sınırının altında kaldığı için kusurlu/ kötü olarak nitelendirilip ve bir maliyet değerine karşılık gösterilmekte, B üretimi spesifikasyon sınırları içinde kaldığı için işletim maliyeti haricinde bir maliyete neden olmadığı düşünülmektedir. Kalite kayıp fonksiyonuna göre ise; hem A üretimi hem de B üretimi hedeften (m) sapma gösterdiği için bu sapmaya bağlı olarak maliyete neden olmaktadır. Eğer ürün özelliği hedeften sapsaydı bu sapmayla birlikte artan derecede kalite kaybına yol açacaktır.

Buna karşın kalite kayıp fonksiyonu yaklaşımı uygun parametre değerlerinin seçimiyle ürünün yanıt değerini mümkün olduğunca hedef değerine taşımayı önermektedir. Tolerans sınırlarını teknoloji gelişimiyle darlaştırmak parametre tasarımından daha maliyetli bir yaklaşım olacaktır (Mathur ve Pattipati, 1997: 9).

Kalite kayıp fonksiyonu, ikinci derece formülü (Gauss's quadratic function) temel alarak yaklaşık olarak ölçülebilmektedir. Burada kayıp, hedef değerden sapmanın karesiyle artmaktadır. Taguchi hedef değerine ele alınış biçimine göre kayıp fonksiyonlarını üçe ayırmıştır. Bunlar; nicel kalite karakteristiklerinin sınıflandırıldığı gibi “Hedef en iyidir”, “Daha küçük daha iyidir” ve “Daha büyük daha iyidir” şeklindedir (Taguchi ve Clausing, 1990: 69, Maghsoodloo ve Li, 2000. 1127).

Maliyetin bir referans değeri olarak alınmasıyla “Hedef en iyidir” kalite karakteristiğine ilişkin kuadratik kayıp fonksiyonu aşağıda verildiği gibi yapılandırılabilir. Taguchi bunun için matematik bir model kullanmaktadır:

$$L(y) = k(y-m)^2 \quad (2-2)$$

Bu eşitlikte L : kayıp, y : kalite karakteristiği için belirlenmiş ölçü değeri, m : spesifikasyonun hedef değeri, k : spesifikasyon limitlerinde maliyete bağlı olan sabittir (Ross, 1988: 9).

Burada k sabitini belirleyebilmek önemlidir çünkü böylece eşitlik (2-2) ile ilgilenilen bölge içinde gerçekleşen maliyet için en iyi yaklaşım sağlanabilir. Bunun için uygun bir yol, ilk önce y değeri için fonksiyonel limitlerin bulunmasıdır. $m \pm \Delta_0$, fonksiyonel limit olarak kabul edilir ve A_0 'a eşit sayılırsa aşağıda verilen eşitlik elde edilir;

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \quad (2-3)$$

Eşitlik (2,2) ve (2,3)'ün birlikte kullanımıyla da yeni $L(y)$ denklemine ulaşılır (Phadke, 1089: 19) :

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} (y - m)^2 \quad (2-4)$$

$L(y)$ fonksiyonunun Taylor açılımı da denklem (2--5)'te verilmektedir (Taner ve Antony, 2006: 30):

$$L(y) = L(m + y - m) = L(m) + \frac{L'(m)}{1!} (y - m) + \frac{L''(m)}{2!} (y - m)^2 + \dots \quad (2-5)$$

Buna göre $L(y)$, y değeri m 'e eşit olduğu zaman en küçük olmaktadır. $L(m) = 0$ ve $L'(m) = 0$ olduğundan dolayı, kayıp yaklaşık olarak denklem (2-6)'da verildiği şekilde ikinci dereceden ifade edilebilir:

$$L(y) \approx \frac{L''(m)}{2!}(y-m)^2 = k(y-m)^2 = k\sigma^2 \quad (2-6)$$

(2,6) Eşitliği, y kalitesinde bir ürün alan her müşterinin aynı $L(y)$ kalite kaybına karşılık geleceğini göstermemektedir. Daha doğrusu $L(y)$ ile ortalama kalite kaybı dikkate alınmaktadır. Eğer y rassal değişkeni μ ortalama ve σ^2 varyansa sahipse, $L(y)$ 'nin beklenen kaybı denklem (2-7)'de verildiği şekilde olacaktır (Park, 1996: 17):

$$\begin{aligned} E(L(y)) &= k E [(y-m)^2] \\ &= k E [(y- E(y)) + (E(y)-m)]^2 \\ &= k [\sigma^2 + (\mu-m)^2] \end{aligned} \quad (2-7)$$

Kalite kaybına ilişkin verilmekte olan formüller kalite karakteristiği y 'nin 0'a eşit olmayan hedefin her iki yanının da simetrik olduğu kalite kayıp fonksiyonu için geçerlidir. Bu şekilde gerçekleşen kalite kaybı için "hedef en iyidir" tipteki kalite fonksiyonu kullanılmaktadır ve (m), hedef değer olarak değerlendirilmektedir.

"Daha küçük daha iyidir" karakteristik tipi için $m=0$ olarak ele alınmakta ve kayıp fonksiyonu,

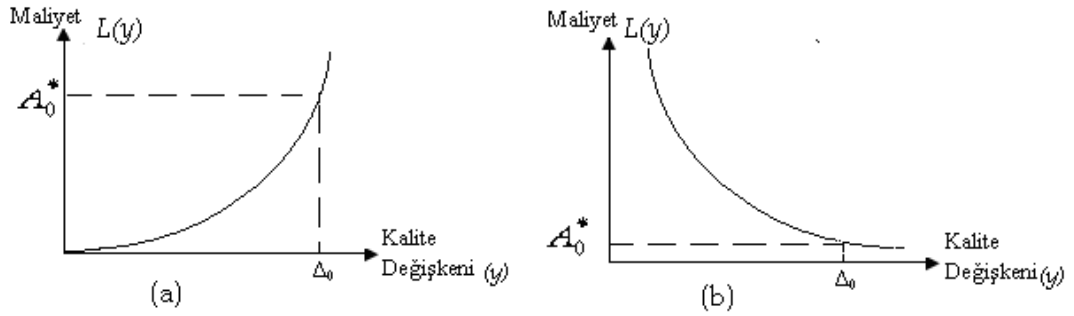
$$L(y) = ky^2 \quad (2-8)$$

olarak gerçekleşmektedir. Mikrodalga fırındaki radyasyon sızıntısının düşük tutulmasının amaçlanması ve hiçbir zaman negatif değeri almaması bu tip karakteristikler için örnek gösterilebilmektedir. İdeal değer 0'dır ve bu değerden uzaklaşma performansı kötüye götürmektedir.

"Daha büyük daha iyidir" karakteristik tipi için yapıştırıcının tutuş gücü örnek olarak verilebilir. Bu karakteristikte de negatif değerler alınmamaktadır ancak değer büyüdükçe kalite kaybı küçülmektedir. $m=0$ olarak değerlendirilmekte ve kayıp fonksiyonu denklem (2-9)'da ifade edilmektedir (Phadke, 1989: 20):

$$L(y) = k \left[\frac{1}{y^2} \right] \quad (2-9)$$

Şekil 2-9’da tek taraflı “Daha küçük daha iyidir” kalite karakteristiği kayıp fonksiyonu grafiği (a) şikkında ve “daha büyük daha iyidir” kalite karakteristiği kayıp fonksiyonu grafiği (b) şikkında görülmektedir (Park, 1996: 18):



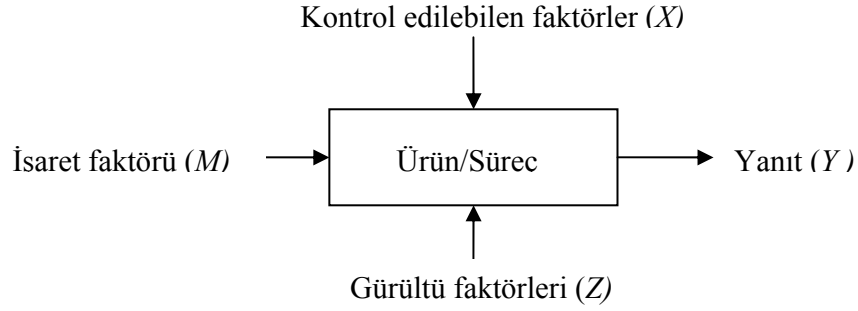
Şekil 2-9 Tek Taraflı Karakteristiklerin Kayıp Fonksiyonları

Burada verilen bu fonksiyonlar özellikle kalite karakteristiği değerine ilişkin en iyilenecek fonksiyonların ve dağılımların bilinmediği durumlarda ürün veya süreç tasarımını belirlemek için kayıp fonksiyonunu en küçüklemeye çalışmaktadır. Pignatiello (1998) Taguchi yönteminin bu yönüyle belirsizlik ortamında karar verme sürecinin deneysel olarak yürütülmesi şeklinde düşünülebileceğini ifade etmektedir (Çelik, 1993: 24).

2.3 PARAMETRE TASARIMI

2.3.1 Ürün ve Süreç Tasarımında En iyileme

Güçlü tasarımda amaç kalite karakteristiği olarak adlandırılan yanıt (response/cevap) için en iyi değeri (optimizasyonu) sağlamaktır. Yanıt değişkeni en iyi değerinin elde edilmesi için de süreci etkileyen faktörlerin dikkatli bir şekilde ele alınması gereklidir. Şekil 2-10'da bir ürün ya da sürece ilişkin faktörlerin gösterildiği blok diyagram (P diyagramı) verilmektedir (Phadke, 1989: 30):



Şekil 2-10 Bir Ürün veya Sürece İlişkin Blok Diyagram: P Diyagramı

Güçlü tasarımda tasarım parametreleri ya da faktörlerinin farklı tipleri arasındaki ilişki P-diyagramı ile gösterilmektedir. P diyagramında girdi olarak değerlendirilen 3 tipte faktör bulunmaktadır ve bunlar (Simpson, 1998: 53):

- Kontrol faktörleri (x),
- Gürültü faktörleri (z),
- İşaret faktörleri (M) olarak adlandırılmakta, çıktı (y) değerini etkilemektedir.

Kontrol edilebilen faktörler (x)

Taguchi'nin tasarım parametreleri olarak ifade ettiği bu parametreler (kontrol edilebilir faktörler, süreç parametreleri, kontrol edilebilir değişkenler, θ) araştırmacı tarafından belirlenir ve bu parametrelerin en iyi değerleri alması sorumluluğu araştırmacıdadır. Her bir kontrol faktörü düzey olarak adlandırılan çoklu değere sahip olabilir. Kontrol faktörleri bu düzeyler içinde değiştirilirse üretim maliyeti

değişmez ancak farklı düzeyler denenirse üretim maliyeti değişir. Kontrol edilebilir faktörler bir parçanın boyutları, malzemesi veya bir devrenin çıkış voltajının seçimi gibi basit önlemlerle ayarlanabilmektedir (Phadke, 1989: 31; Baynal, 2003: 62).

Taguchi (1987) kontrol edilebilir faktörleri, süreç ortalamasını ve değişkenliğini etkileyen faktörler $x=(d,a)$ adı altında iki alt uzaya ayırmıştır. Bu faktörlerden a (adjustment) ile belirtilen ayar faktörleridir. İkinci grup d ise değişkenlik kontrol faktörleri olup, varyans üzerinde etkisi olan faktörlerdir. Ayar faktörleri, düzeylerinin değiştirilmesi zor olmayan ve süreçteki ince ayarın gerçekleştirilmesinde kullanılan tasarım faktörleridir. Bir döküm işlemindeki kalıp boyutu ve saatin yelkovan uzunluğu ayar faktörlerine örnek olarak verilebilir. Parametre tasarımında amaç, değişkenlik kontrol ve ayar faktörlerinin en iyi düzeylerinin belirlenmesidir (Şehirlioğlu, 1997: 51). Bu iki faktörün ayrı ayrı incelenmesine yönelik yapılacak işlemler tezin ilerleyen bölümünde “İki Aşamalı En İyileme” başlığı altında verilmektedir.

Gürültü faktörleri (z)

Gürültü faktörleri, kontrolü pahalı ya da zor olan o nedenle araştırmacının kontrolü altında olmayan parametrelerdir. Bu faktörler performans değişkenliği ile kalite kaybına ve çıktı (y) değerinde hedeften sapmalara neden olur. Gürültü faktörleri sistemde zayıf yönleri, işlemlerdeki değişkenlikleri, kesin olmayan tasarım parametrelerini ve ekonomik belirsizlikleri içerebilir (Simpson, 1998: 53). Gürültü faktörlerine örnek olarak ürünün hammadde ve bileşenlerindeki değişkenlik, kullanım ortamındaki nem, titreşim, gürültü, toz, rüzgar, sıcaklık verilebilir (Çelik, 1993: 43).

İşaret faktörleri (M)

Sinyal faktörleri olarak da adlandırılan işaret faktörleri, ürünün çıktısı için hedeflenen değeri ifade edecek biçimde araştırmacı tarafından belirlenen parametrelerdir. İşaret faktörleri çıktı ortalamasını ayarlamak için kullanılır ancak çıktının değişkenliğini etkilemez (Simpson, 1998: 53). Araştırmacı ya da operatör bu faktörler ile istediği yanıt değişkenini elde edebilir. İşaret faktörlerine örnek olarak fotokopi makinesinin kopyaladığı orijinal doküman, bir masaüstü fanının

esinti miktarının değerlendirilmesinde kullanılan hız ayarı verilebilir. İşaret faktörünün sabit bir değer aldığı problemler statik, değişken değer aldığı problemler ise dinamik problemler olarak ele alınır (Phadke, 1989: 31).

2.3.2 Taguchi Yönteminde Parametre Tasarımı

Taguchi yönteminde parametre tasarımının amacı, gürültü faktörlerinin kalite karakteristiği üzerinde etkisini en küçükleyen tasarım parametreleri değerlerini belirlemektir. Bu işlem;

1. Deneyde tasarım parametreleri (kontrol edilebilen faktörler) değerlerini sistematik olarak değiştirme yoluyla,
2. Her bir deney için gürültü faktörlerinin (kontrol edilemeyen faktörler) etkisini karşılaştırarak gerçekleştirilir (Saat, 2000: 104).

Parametre tasarımı yeni ürün ya da süreç teknolojisi için fonksiyonel güçlülüğü artırmada kullanılacak en etkili yoldur (Taguchi ve Tsai, 1995: 226). Parametre tasarım deneyleri fiziksel deneyler ve benzetim olmak üzere iki ayrı şekilde yapılabilir. y fonksiyonu sayısal olarak değerlendirilebildiği zaman bu deneyler bilgisayar yardımı ile de yapılabilir. Bu fonksiyonda kalite karakteristiği, kontrol faktörü ve gürültü faktörü ile ilişkilendirilir (Kağncıoğlu, 1998: 100).

Parametre tasarım deneylerinde y yanıtı; değişkenlik, düzeltme, gürültü ve işaret faktörlerinin bir fonksiyonudur ve denklem (2-10)'da verildiği şekilde ifade edilmektedir:

$$y = f(d, a; z, m) \quad (2-10)$$

Çıktıyı karakterize eden f fonksiyonu transfer fonksiyonu olarak adlandırılır ve iki bölümden oluşmaktadır: Birincisi $\mu(m; d, a)$ kestirilebilir kısım ve ikincisi $\varepsilon(d, a, z, m)$ kestirilemeyen kısımdır. Bu durumda ilişki,

$$y = \mu(m; d, a) + \varepsilon(m, d, a, z) \quad (2-11)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eğer, istendiği gibi y ile m arasında doğrusal ilişki varsa y fonksiyonu m faktörünün doğrusal fonksiyonu olacaktır. Tüm doğrusal

olmayan terimler ve gürültü faktörlerinin etkileri ε kısmında bulunacaktır (Şehirlioğlu, 1997: 52).

Tasarımın amacı kestirilebilir kısmı en büyükleme, kestirilemeyen kısmı en küçükleme. Eğer d ve a faktörlerinin uygun düzeyleri seçilirse, bu amaç başarılabılır. Kestirilebilirlik için bir kriter olarak μ ve ε 'nin varyanslarının oranı kullanılabilir.

$$\text{Kestirilebilirlik Derecesi} = \frac{\text{Var}(\mu)}{\text{Var}(\varepsilon)}$$

Kestirilebilirlik derecesi sabit bir ölçektir ve logaritması alınıp 10 ile çarpılarak desibel ölçeğinde bir sinyal/gürültü (SN , S/N , $Z(x)$, $Z(q)$, η , işaret/gürültü, signal to noise) oranı elde edilir.

Sonuç olarak SN oranı d ve a faktörlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir.

$$\eta(d, a) = SN = 10 \log \frac{\text{Var}[\mu(d, a)]}{\text{Var}[\varepsilon(d, a)]}$$

Burada a özel bir tasarım faktörüdür ve d 'nin belirlenen herhangi bir değeri için istenen fonksiyonel ilişkiyi başarmak amacıyla kullanılır. Düzeltme faktörlerinin SN oranı üzerindeki etkisini bu faktörün farklı düzeylerinde deneyler uygulamadan belirlemek mümkündür (Şehirlioğlu, 1997: 53). SN oranının hesaplanmasına ilişkin detaylı bilgi çalışmanın ilerleyen bölümünde “2.3.8.2 Performans Ölçüsü ve Performans İstatistiği Analizi” başlığı altında verilmektedir.

2.3.3 Parametre Tasarımı Modeli

Güçlü ürünler, gürültü faktörleri matrisinde yer alan bozulma gürültüsü ile dışsal gürültüden etkilenmeyen güçlü bir işaret bırakmaktadır. Tasarımdaki herhangi bir güçlendirici özellik, SN oranında herhangi bir artış, eşzamanlı bir şekilde genel olarak ürünün güçlü tasarım özelliğini geliştirecektir. Güçlü tasarım özelliğini geliştirmek için en büyük SN oranı hedefine ulaşmayı sağlayacak denemelerin olduğu bir sistem geliştirilmelidir (Taguchi ve Clausing, 1990: 67).

Bu sistemin geliştirilmesinde yapılacak en az sayıda deneme ile en yüksek *SN* oranına erişilmeye çalışılmaktadır. Kontrol edilebilir faktörler ve kontrol edilemeyen faktörler uzaylarının hepsinin araştırılması ekonomik bir yaklaşım olmadığından dolayı iki ayrı faktör grubu için iki ayrı ortogonal dizin seçilmektedir (Çelik, 1993: 75).

Seçilecek bu dizinler iç dizin (inner array) ve dış dizin (outer array) olarak adlandırılmaktadır. İç dizin, yani “tasarım parametre matrisi”, kontrol faktörlerinin oluşturduğu dizi iken dış dizin de “gürültü faktörleri matrisi” olarak adlandırılıp gürültü faktörleri düzeylerinin dikkate alınmasıyla oluşturulmaktadır (Simpson, 1998: 56). İç dizin ve dış dizinin kombinasyonu ile “performans değerleri matrisi” (çapraz dizin, product array, crossed array) elde edilir. Bu yapı kontrol faktörleri ile gürültü faktörlerinin karşılık gelen düzeylerinin birlikte değerlendirilmesini sağlamaktadır (Bates vd., 2006: 2). Gürültü faktörleri matrisi ve performans değerleri matrisinin bileşiminden de “parametre tasarım modeli” kurulmaktadır.

Tasarım parametre matrisinin her bir test çalışması için gürültü faktörleri matrisinin bütün sütunları teker teker ele alınır. Bir test çalışması için elde edile performans değerleri (kalite karakteristiği) tasarım parametrelerinin belirli bir birleşimiyle elde edilen ürünün veya sürecin farklı çalışma koşulları altında göstereceği performans değişkenliğini ifade eder (Çelik, 1993: 46).

İç dizinin oluşturulması sırasında sistem tasarımı aşamasında elde edilmiş olan tasarım parametrelerinin tüm mümkün değerlerinin oluşturduğu set yani parametre uzayı dikkate alınır. Daha sonra dış dizinin belirlenmesi için de performans değişkenliğinin artmasına neden olan gürültü faktörleri tanımlanır ve bu gürültü faktörlerinin içinde bulunduğu sınırlar belirlenir. Tasarım parametrelerinde olduğu gibi gürültü faktörlerinin tüm düzeylerini oluşturduğu set gürültü uzayı olarak tanımlanır. Tasarım parametre uzayındaki bir deney, kalite karakteristiğinin tekrarlı değerlerini elde etmek için gürültü faktörlerinin farklı düzeylerinde oluşturulur ve her deneyde tasarım parametreleri matrisi gürültü faktörleri matrisinin tüm satırlarıyla karşılaştırılır. Tasarım parametreleri matrisi ve gürültü faktörleri matrisinin tüm kombinasyonları denenerak kaydedilir. Tüm denemeler bittikten sonra tasarım parametrelerinin her biri için yanıt değerinin kullanımıyla özet

istatistik (SN) hesaplanır. Daha sonra ürün veya süreç için en uygun sinyal/gürültü oranını verecek olan tasarım parametreleri düzeyleri belirlenir (Andersson, 1997: 76; Şen ve Şehirlioğlu, 1996, cilt 37: 32, Saat, 3/2000: 104).

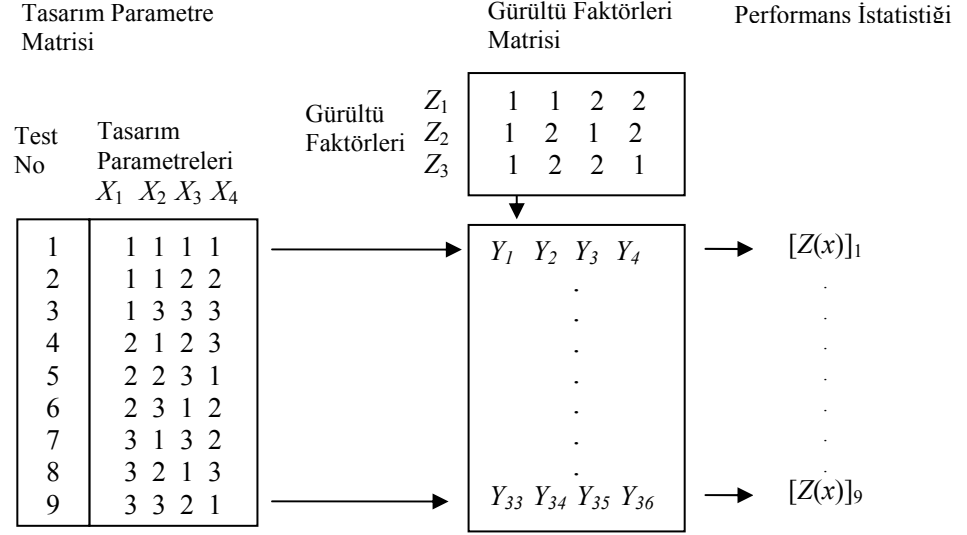
Tasarım parametreleri matrisindeki bir test çalışması için k , kontrol faktörü sayısı, n ilgilenilen gürültü faktörü sayısı olmak üzere, m test çalışması için toplam $m \times n$ denemenin yerleştirilme şekli Tablo 2-4'te verilmektedir. Bu tablo ile ürün veya süreç için yapılabilecek farklı tasarımların, farklı çalışma koşullarında göstereceği performans değişkenliği kümesi elde edilmektedir. Her bir deneme sonucunda elde edilen kalite karakteristik değerleri, o test çalışmasına ilişkin performans istatistiği ölçütünü hesaplamak için kullanılmakta ve performans istatistiklerine göre en iyi ürün tasarımı belirlenmektedir (Çelik, 1993: 47).

Tablo 2-4 Taguchi'nin Parametre Tasarım Deneyi Modeli

		Gürültü Faktörleri Matrisi										
		Deney No										
		1	...	y	...	n						
		Z_{11}	...	Z_{y1}	...	Z_{n1}						
							
		Z_{11}	...	Z_{y1}	...	Z_{n1}						
							
		Z_{11}	...	Z_{y1}	...	Z_{n1}						
Deney No	Tasarım Parametre Matrisi					Performans Değerleri Matrisi					Performans İstatistiği	
	1	...	t	...	k							
1	x_{11}	...	x_{1t}	...	x_{1k}	y_{11}	...	y_{1y}	...	y_{1n}	$Z(x_1)$	
2	x_{21}	...	x_{2t}	...	x_{2k}	y_{21}	...	y_{2y}	...	y_{2n}	$Z(x_2)$	
.	
.	
.	
i	x_{i1}	...	x_{it}	...	x_{ik}	y_{i1}	...	y_{iy}	...	y_{in}	$Z(x_i)$	
.	
.	
.	
m	x_{m1}	...	x_{mt}	...	x_{mk}	y_{m1}	...	y_{my}	...	y_{mn}	$Z(x_m)$	

Şekil 2-11'de verilen örnekte 4 adet 3 düzeyli kontrol edilebilen faktör ve 3 adet de 2 düzeyli gürültü faktörü bulunmaktadır. Tasarım parametreleri matrisi 4 sütun ve 9 satırdan oluşmaktadır. Performans değerleri matrisi için tasarım parametre matrisindeki satırların her biriyle gürültü faktörleri matrisindeki gürültü

düzeylerinin bir bileşimi oluşturulmakta ve $9 \times 4 = 36$ deneme gerçekleştirilmektedir. Kalite karakteristikleri, dokuz deneyin her bir dört denemesi için aşağıda verildiği şekilde değerlendirilebilir (Saat, 3/2000: 104):



Şekil 2-11 Taguchi'nin Parametre Tasarımı Deney Örneği

Şekil 2-11'de verildiği gibi performans değerleri matrisinin değerlendirilmesiyle her 9 kontrol edilebilen matris sırası için bir performans istatistiği değeri elde edilmektedir. Daha sonra güçlü tasarımı elde edebilmek için performans istatistiği değerlerini en büyük yapacak faktör ve düzeyleri belirlenmektedir.

Çapraz dizin tasarımlarında faktör sayısı eğer çok fazla ise kontrol faktörlerinin birbirleriyle etkileşimlerinin tahmini yapılamayabilir. Bu duruma karşın 1980'lerin sonlarında farklı veri analizi yaklaşımları önerilmeye başlanmıştır. Welch vd (1989) kontrol ve gürültü faktörlerinin aynı matriste yer aldığı birleşik dizinlerin (Combined Arrays) kullanımı önermiştir (Cook vd., 2009: 635; Welch, Yu, Kang, Sacks: 1989, 15). Buna karşın Taguchi, performans karakteristiklerinin seçimine özen gösterilerek önemli olabilecek bileşik etkilerin önemsiz kabul edilip deneye alınmayabileceğini vurgulamaktadır. Taguchi'ye göre bir bileşik etkiyi elde etmek için iki tane asıl etkiyi kontrol etmek gerektiğinden bileşik etkiler ihmal edilebilir (Çelik, 1993: 73).

2.3.4 Ortogonal Dizinler

Güçlü tasarım özelliğinin daha hızlı tamamlanması için deney yapılırken, birkaç denemeden en çok miktarda bilginin çıkarılması amacıyla araştırma stratejisi türetilmelidir. Deneysel koşulların farklı kümeleri altında faktör düzeyleri ortalama etkisinin analiz edilmesi ortogonal dizinler ile sağlanmaktadır. Ortogonal dizinler, performansı etkileyen bazı faktörler ya da gürültülere karşı, müşterilerin talep ettiği performans düzeylerinin sağlanmasında kullanılmaktadır (Taguchi ve Clausing, 1990: 71).

Ortogonal dizinler 1897 yılında Fransız matematikçi Jacques Hadamard tarafından geliştirilmiş ve 1947 yılında Rao tarafından “hyper cubes” olarak adlandırılarak deney planlamasında kullanılmak üzere önerilmiştir. İngiliz istatistikçiler Placket ve Burman tarafından II. Dünya savaşı yıllarında doyurma yönteminin geliştirilmesinde araştırılmış ve deney tasarımında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Taguchi de deney tasarımında ortogonal dizinlerin kullanımını önermiştir. Taguchi matrisleri, sütun ve satırları yeniden düzenlendiğinde Hadamard’ın matrisleriyle aynı matematik yapıya sahip olmaktadır (Ross, 1988: 70, Phadke, 1989: 3, Rao, 1947: 131).

Ortogonal dizinler genelleştirilmiş Greco-Latin karelerdir ve bir tasarım parametresinin her düzeyi, tüm diğer tasarım parametrelerinin her düzeyi ile aynı anda tekrarlandığı için bu dizinler ortogonaldır (Şen ve Şehirlioğlu, 1996: 46). Taguchi bu dizinlerin baz alınmasıyla yapılacak denemeler ile tam faktöriyel bir denemenin sonuçlarının aynı olacağı iddiasında bulunmuş ve haklılığını yaptığı pek çok uygulama ile göstermiştir (Canbulut ve Öztop, 2006: 431).

Ortogonal dizinler faktörlerin tümünün eşzamanlı değişkenliğini bir diğer faktörün değişkenliğinden ayrı olarak değerlendirir. Her bir faktör ve etkileşim uygun ortogonal dizininin belirlenen sütunlarına atandıktan sonra deneme koşulları (trial conditions) olarak adlandırılan deneyler gerçekleştirilir (Kumar vd., 1996: 87). Burada her bir satır, farklı bir üretim denemesini tanımlamaktadır. Her bir denemede, elde edilen yanıt değeri ölçülmekte ve *SN* oranı hesaplanmaktadır. Son

olarak elde edilen bu değerlerin dikkate alınmasıyla her bir üretim parametresi için en iyi değer belirlenmektedir (Taguchi ve Clausing, 1990: 74).

2.3.4.1 İki Düzeyli Ortogonal Dizinlerin Özellikleri

Tüm sütunlarında iki düzey içeren dizinler 2^n serileri olarak adlandırılmaktadır. $L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_{12}(2^{11})$ ve $L_{16}(2^{15})$ dizinleri en çok kullanılan iki düzeyli dizinlerdir. Daha geniş 2^n dizinleri ise deneyin çizelgelenmesinde problemlerle karşılaşma olasılığından dolayı yaygın olarak kullanılmamaktadırlar (Peace, 1993: 123).

İki düzeyli faktöriyel tasarımlarda, her faktörün yüksek ve düşük olarak belirtilen iki düzeyi vardır. Bu iki düzey, bir faktörün etkisinin varlığı ve yokluğu ile eşleştirilmekte, (-1 ve +1) ile (0 ve 1) ile ya da (1 ve 2) ile gösterilmektedir. Buna göre ortogonal dizinler, (-1 ve +1) gösterimi dikkate alındığında, etkileri tahminlenebilir faktörlere ait sütunların çarpımlarının (nokta çarpımı) toplamının sıfır olması ile tanımlanabilir. Nokta çarpımı, her iki sütunda birbirinin karşılığı olan sayıların çarpılıp toplanmasıyla elde edilir. Ortogonal dizinlerin kullanılması, etkilerin birbirinden bağımsız olarak tahmin edilebilmesine olanak sağlar (Şen ve Şehirlioğlu, 1996: 46). İkili aritmetik işlemler için (0, 1) kullanımı kolaylaştırıcı olmaktadır. Genellikle, (-1, +1) notasyonu da kesirli faktöriyel tasarımların geliştirildiği Batı ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Taguchi aynı dizinin gösterimi için (1, 2) rakamlarını kullanmayı tercih etmektedir (Park, 1996: 68).

Taguchi katalogunda 18 ortogonal dizin tablosu bulunmaktadır. Bu dizinler L_N ya da $L_N(s^k)$ notasyonlarıyla gösterilmektedir. $L_N(s^k)$, s tane ayrı elemana sahip $N \times k$ boyutlu bir matristir. Her bir sütun çiftinde bütün olası s^2 elemanlar çifti aynı sıklıkla görülmektedir. Bu notasyonun kullanılma nedeni ortogonal dizinlerin Latin kareler üzerinden yapılandırılmış olmasıdır. Burada N , ortogonal dizinde yer alan satır sayısı iken k sütun sayısıdır. İki düzeyli ortogonal dizinlere örnek olarak verilecek olursa (Danacıoğlu ve Muluk, 2005: 84, 86);

$$N=2^r: \text{ satır sayısı } r=1,2,3,4,\dots,$$

$$S=2: \text{ düzey sayısı,}$$

$K=N-1$: sütun sayısı verilebilir.

$L_4(2^3)$, iki düzeyli iki faktörün kullanıldığı, 4 deneyin yapıldığı, en küçük ortogonal dizindir ve Tablo 2-5'te verilmektedir (Danacıoğlu ve Muluk, 2005: 84):

Tablo 2-5 $L_4(2^3)$ Ortogonal Dizini

	Sütun		
Deneme	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Tablo 2-5'te da görüldüğü gibi (1,1), (1,2), (2,1) ve (2,2) eleman çiftleri, her bir sütun çiftinde aynı sıklıkla ortaya çıktığı için dikeylik koşulları sağlanmıştır. Bu durum aynı zamanda, her bir sütunda 1 ve 2 elemanlarının eşit sayıda, 2 kez görüneceği anlamına gelmektedir (Danacıoğlu ve Muluk, 2005: 84).

$L_8(2^7)$ dizini ele alındığında, bu deney için 8 deneme yapılacağı ve 2 düzeyli 7 faktörün bulunduğu anlamına gelmektedir. Burada 1, 2 ve 4 sütunları temel sütunlara karşılık gelmektedir. Gerçekleştirilen işlemlerin kolay anlatımı için (0,1) notasyonu kullanıldığında her bir sütun 4 tane 0 ve 1 içermektedir. 1, 2 ve 4. sütunlar a , b ve c olarak adlandırılır ve temel sütunları oluşturur. Bu sütunların gösterimi (0 0 0 0 1 1 1 1), (0 0 1 1 0 0 1 1) ve (0 1 0 1 0 1 0 1) şeklindedir. Diğer sütunlar, aşağıda verilen formül kullanılarak ana sütunlardan oluşturulur (Park, 1996: 68) :

$$xy \text{ işaretli sütundaki sayı} = (x \text{ işaretli sütundaki sayı} + y \text{ işaretli sütundaki sayı}) \pmod{2}$$

Örnek olarak $L_8(2^7)$ dizininde 3 numaralı sütun, 1. ve 2. sütunların kullanımıyla aşağıda verildiği şekilde oluşturulmuştur (Park, 1996: 68):

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \pmod{2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$L_8(2^7)$ ortogonal dizinin tam kullanımını ise Tablo 2-6'da verilmektedir (Park, 1996: 68).

Tablo 2-6 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini

	Sütun						
Deneme	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	1
3	0	1	1	0	0	1	1
4	0	1	1	1	1	0	0
5	1	0	1	0	1	0	1
6	1	0	1	1	0	1	0
7	1	1	0	0	1	1	0
8	1	1	0	1	0	0	1
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>ab</i>	<i>c</i>	<i>ac</i>	<i>bc</i>	<i>abc</i>

$L_8(2^7)$ dizinin için (1, 2) kodlarının kullanım biçimi Tablo 2-7'de verilmektedir (Park, 1996: 68):

Tablo 2-7 Taguchi $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini

	Sütun						
Deneme	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>ab</i>	<i>c</i>	<i>ac</i>	<i>bc</i>	<i>abc</i>

Burada bir sütunun diğer sütunlarla olan ilişkisi dikkate alınır, bir sütundaki her bir düzey diğer sütunlardaki düzeylerle eşit sayıda oluşmaktadır. Sütun 1'de 1 düzeyi 4 kez atanırken sütun 2'de ve diğer sütunlarda da 4 kez atanmıştır (Peace, 1993: 116).

2.3.4.2 Üç Düzeyli Ortogonal Dizinlerin Özellikleri

Sütunlarında çoğunlukla üç düzey bulunan dizinler için 3^n serileri kullanılmaktadır. En çok kullanılanlar $L_9(3^4)$, $L_{18}(2^1 \times 3^7)$, $L_{27}(3^{13})$ dizinleri iken $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ve $L_{27}(3^{13})$ gibi büyük dizinler benzetim çalışmaları için uygundur (Peace, 1993: 125). Taguchi, 3^k sisteminde ortogonal dizinin elemanlarını göstermek için 1, 2 ve 3 gösterimini kullanmıştır. Üç düzeyli ortogonal dizinlere bir örnek olarak $L_9(3^4)$ Dizini Tablo 2-8'de verilmektedir (Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 3):

Tablo 2-8 $L_9(3^4)$ Ortogonal Dizini

Deneme	Sütun			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabloda; (1,1), (1,2), (1,3), (2,1), (2,2), (2,3), (3,1), (3,2), (3,3) eleman çiftleri, her bir sütun çiftinde aynı sıklıkla ortaya çıktığından dikeylik koşulu sağlanmaktadır. Bu durum, her bir sütunda 1, 2 ve 3 elemanlarının eşit sayıda 3 kez görüneceği anlamına gelmektedir. $L_9(3^4)$ ortogonal dizini, 4 sütun ve 9 satır içerdiğinden, 9 denemede 4 etkinin hesaplandığı bir tasarım yapılabilir. 3^2 deneyinde iki faktör 1. ve 2. sütunlara atandığından $L_9(3^4)$ ortogonal dizin tamamlanmış 3^2 deneyini ifade etmektedir (Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 3).

Yüksek, orta ve düşük olarak ayrılan üç performans düzeyi için 13 faktörün bulunduğu ortogonal dizin, 27 ($3 \times 3 \times 3 = 27$) deneysel olasılığa indirgenebilir. Yukarıda verilen $L_9(3^4)$ ortogonal dizinindeki her bir deneme üç kez yazılarak, 27 deneme ve 4 sütundan oluşan bir tablo oluşturulur. Böylece L_9 'daki 9 eleman çiftinin; (1,1), (1,2), (1,3), (2,1), (2,2), (2,3), (3,1) ve (3,3); her bir sütun çiftinde aynı sıklıkla yani 3 kez ortaya çıktığı bir yapı elde edilir (Danacıoğlu, 1998: 48).

$L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizini Tablo 2-9’da verilmektedir (Taguchi ve Clausing, 1990: 73):

Tablo 2-9 $L_{27}(3^{13})$ Ortogonal Dizini

Deneme	Sütun												
	a	b	ab	ab^2	c	ac	ac^2	bc	abc	ab^2c^2	bc^2	ab^2c	abc^2
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

Burada 3 düzeyli 13 faktör için faktöriyel tasarımda yapılacak $3^{13}=1.594.323$ deneme yerine 27 deneme yeterli olmaktadır (Unal ve Dean, 1991: 3).

Örneğin $L_{27}(3^{13})$ ’ün herhangi iki sütunu için; 1’ler ve 3’ler sırasıyla -1’ler, 0’lar ve 1’ler ile değiştirilir, iki sütunun karşılık gelen terimleri çarpılır ve elde

edilen değerler toplanırsa, bu toplam her zaman 0'dır. Bu durum $L_{27}(3^{13})$ 'ün dik bir matris olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, bir faktörün her bir düzeyi bir ortogonal dizinde aynı sayıda otaya çıkıyor ise, bu dizinin dik olduğu söylenebilir. Hazırlanan tüm ortogonal dizinlerin dik olduğu bu şekilde görülebilmektedir. Dikliğin önemi, her bir faktörün diğer faktörlere bağlı olmayacak şekilde etkisinin belirlenmesini sağlamasıdır (Yeniay, 1999: 49).

2.3.5 Deney Planının Seçimi ve Serbestlik Derecesi

Deney tasarımı yapılırken, faktörler ve kalite karakteristiği arasındaki ilişki araştırılmak istendiğinde, faktörlerin farklı düzeyleri ile kalite karakteristiğinin değeri arasında karşılaştırmalar yapılır. Karşılaştırma sonucunda, hangi faktörün hangi düzeyinin ilgilenilen karakteristik için en önemli etkiye sahip olduğu belirlenir. Bu karşılaştırma serbestlik derecesi olarak adlandırılır. Serbestlik derecesi (f_{OA} , dof , sd , ν) matematik bir kavramdır ve serbestçe belirlenebilecek birim sayısı, bağımsızca değişen değişken sayısı veya bağımsız değişken sayısı olarak ifade edilebilir (Orhunbilge, 2000: 35). Eğer bir süreç değişkeni (faktör) iki düzeye sahipse, bunun anlamı bir karşılaştırma yapılacağı ya da bir serbestlik derecesinin gerektiğidir. Eğer bir deneyde üç farklı düzey varsa iki karşılaştırma veya serbestlik derecesi gereklidir (Peace, 1993: 131).

Deney planının seçimi aşağıda verilen serbestlik derecelerine bağlıdır;

- Faktör ve karşılıklı etkileşim sayısı
- Faktörlerin deney planındaki düzeyleri

Bir faktörün serbestlik derecesi düzey sayısının bir eksiğidir (İzgiz, 2001: 149):

$$f_A = k_A - 1 \quad (2-12)$$

Karşılıklı etkileşimin incelenmesi durumunda (AXB) serbestlik derecesi faktörlerin serbestlik derecesi çarpımlarına eşittir.

$$F_{(AXB)} = f_A \times f_B \quad (2-13)$$

Böylece deneyin asgari serbestlik derecesi de faktörlerin ve karşılıklı etkileşimlerin serbestlik derecesi toplamı olacaktır. Deney planı toplam serbestlik

derecesi (f_{OA}), deney sayısının (N), bir eksiği olduğundan, denklem (214)'te verilmekte olan eşitlik yazılmaktadır.

$$f_{OA} = N - 1 \quad (2-14)$$

Bir uygulamada 2 düzeyli 7 faktörün etkileri incelenmek istendiğinde ve karşılıklı etkileşim mevcut olmadığında,

$$f_{OA} = \sum_1^7 f_i = 7 \text{ olduğundan,}$$

$N=8$ olmaktadır. Bu uygulama için ideal ortogonal deney planı $L_8(2^7)$ olup, her bir sütuna bir faktörün düzeyleri yerleştirilmiş olur (İzgiz, 2001: 149).

Sonuç olarak hesaplanması gereken ifade;

“ f_{OA} = Her bir faktör için (düzey sayısı-1) toplamları + Her bir etkileşim için (düzey sayısı-1) toplamları”

olmaktadır.

Ortogonal dizinler arasında seçim yapılırken, satır sayısının en az serbestlik derecesi kadar olmalıdır. Standart bir ortogonal dizini doğrudan kullanabilmek için sütunlardaki düzey numaraları ile faktörlerin düzey numaraları eşleştirilmelidir. Deneyleri yapmak maliyetli olduğundan gereksinimi karşılayacak en küçük ortogonal dizin seçilmelidir. Eğer etkileşimler kullanılmak isteniyorsa ek faktörler için daha büyük dizinler kullanılabilir (Phadke, 1989: 153).

Kacker, Lagergren ve Filliben (1991)'e göre, ortogonal dizinlerle düzenlenmiş deneyler bazı değişmez kurallara göre düzenlenmekte, farklı deneylerde aynı ortogonal dizin kullanılabilir. Yaygın şekilde kullanılan ortogonal dizinler 2, 3 ve 4 düzeyli faktörler için hazırlanmış dizinlerdir. Ortogonal dizinler birçok farklı deneysel koşulu uygulamada çok yönlü olarak kullanılmaktadır. Örneğin 4, 5, 6 ya da 7 faktör içeren deney düzenleri için düzenler aynı dik diziyi (L_8)'i kullanabilmektedir. Her biri iki düzeyli 15 faktörlü bir düzen ile tamamlanmış çok faktörlü deney düzeni 2^{15} deneme uygulamasını gerektirir. Ortogonal dizi kullanımı ile 2 düzeyli 15 faktör için 16 deneme ile deney düzeni hazırlanabilir (Kaya, 1996: 40). İki ve üç düzeyli faktörler için tam faktöriyel

tasarım deneylerin deneme sayısı Taguchi'nin ortogonal dizin kullanımı için önerdiği deneme sayısı Tablo 2-10'da verilmektedir (Roy, 1990: 42):

Tablo 2-10 Deney Düzenleri İçin Deneme Sayıları

Faktörler	Düzy Sayısı	Tam Faktöriyel Deney Düzenindeki Deneme Sayısı	Taguchi'nin Önerdiği Deney Düzenindeki Deneme Sayısı
2	2	4 (2^2)	4
3	2	8 (2^3)	4
4	2	16 (2^4)	8
7	2	128 (2^7)	8
15	2	32768 (2^{15})	16
4	3	81 (3^4)	9

Yukarıda verilen tabloya göre Taguchi'nin önerdiği deney düzenindeki deneme sayıları tam faktöriyel deney düzenindeki deneme sayısından çok daha azdır.

Taguchi, standart ortogonal dizinler olarak adlandırılan 18 temel ortogonal dizin kümesi oluşturmuştur. Bunlara ilişkin bilgiler Tablo 2-11'de, en yaygın olarak kullanılan ortogonal dizinler de Ek 2'de verilmektedir. Bu tabloda oluşturulabilecek her bir ortogonal dizinde bulunabilecek satır sayısı, olabilecek en büyük faktör sayısı ve faktörlerin kaç tanesinin hangi düzeyde bulunabileceği gösterilmektedir. Örneğin $L_4(2^3)$ ortogonal dizininde 4 satır ve en çok her biri 2 düzeyli 3 faktör bulunabilir. Bir ortogonal dizi hazırlanmadan önce, faktör sayısı, her bir faktör için düzey sayısı ve ikili faktörler için etkileşimler belirlenmelidir (Kaya, 1996: 38).

Ortogonal dizinlerde satırlara genellikle sadece bir dizin karşılık gelmektedir. Buna karşın bazı durumlarda aynı satır sayısına sahip iki dizin bulunabilmektedir. Örneğin 36 satır sayısına sahip $L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$ ve $L'_{36}(2^3 \times 3^{13})$ dizinleri bulunmaktadır (Phadke, 1989: 152).

Tablo 2-11 Standart Ortogonal Diziner İçin Temel Bilgiler

	Standart Ortogonal Diziner*	Satır Sayısı	En Çok Faktör Sayısı	Düzelere Göre En Çok Bulunan Sütun Sayısı			
				2	3	4	5
1	$L_4(2^3)$	4	3	3	-	-	-
2	$L_8(2^7)$	8	7	7	-	-	-
3	$L_9(3^4)$	9	4	-	4	-	-
4	$L_{12}(2^{11})$	12	11	11	-	-	-
5	$L_{16}(2^{15})$	16	15	15	-	-	-
6	$L'_{16}(4^5)$	16	5	-	-	5	-
7	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$	18	8	1	7	-	-
8	$L_{25}(5^6)$	25	6	-	-	-	6
9	$L_{27}(3^{13})$	27	13	-	13	-	-
10	$L_{32}(2^{31})$	32	31	31	-	-	-
11	$L'_{32}(2^1 \times 4^9)$	32	10	1	-	9	-
12	$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$	36	23	11	12	-	-
13	$L'_{36}(2^3 \times 3^{13})$	36	16	3	13	-	-
14	$L_{50}(2^1 \times 5^{11})$	50	12	1	-	-	11
15	$L_{54}(2^1 \times 3^{25})$	54	26	1	25	-	-
16	$L_{64}(2^{63})$	64	63	63	-	-	-
17	$L'_{64}(4^{21})$	64	21	-	-	21	-
18	$L_{81}(3^{40})$	81	40	-	40	-	-

* 2- Düzeyli diziner: $L_4, L_8, L_{12}, L_{16}, L_{32}, L_{64}$

3- Düzeyli diziner: L_9, L_{27}, L_{81}

Karışık 2 ve 3 düzeyli diziner: $L_{18}, L_{36}, L'_{36}, L_{54}$

Bir deney planında 2 düzeyli bir faktörün ve 3 düzeyli 6 faktörün etkileri belirlenmek istendiğinde, toplam serbestlik derecesi $f_{OA}=13$ ve $N=16$ bulunur. Yukarıdaki tabloda verilen deney planları incelendiğinde en uygun ortogonal dizinin L_{16} olduğu görülmektedir. Ancak bu dizin 2 düzeyli 15 faktöre sahiptir, doğrudan 3 düzeyli faktör yerleştirilememektedir. Diğer uygun ortogonal dizin L_{18} olup, 2 düzeyli bir faktör ve 3 düzeyli 7 toplam 8 faktöre sahiptir. Bu durumda 2 düzeyli faktör ilgili sütuna ve 3 düzeyli 6 faktör de diğer 7 sütuna yerleştirilebilir. Doğal olarak bu sütunlardan biri boş kalacaktır. Bir deney planının ortogonal özelliği bir ya da birkaç sütunun boş bırakılması durumunda kaybolmamaktadır. Bu nedenle uygun ortogonal dizin L_{18} olacaktır (İzgiz, 2001: 149).

2.3.6 Etkileşim Sütunlarının Belirlenmesi

2.3.6.1 Üçgen Tablolar

Deney tasarımında ortogonal dizinlerin kullanımı, etkileşimlerin bulunmadığı bir deney düzenlemek için oldukça basittir. Ancak, etkileşimlerin tahmin edileceği bir deney düzeninin hazırlanması daha fazla dikkat gerektirir. Taguchi, bu nedenle ortogonal dizinlerde birbiri ile etkileşimli sütunlar hakkında bilgi veren üçgen tabloları (triangular tables) geliştirmiştir (Danacıoğlu, 1998: 44). Üçgen tablolar, iki sütuna atanan faktörlerin, etkileşimlerinin hangi sütunda ortaya çıkacağını gösterir (Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 10).

Bir ortogonal dizinin iki sütununa atanan A ve B faktörlerinin AB etkileşimi ile BA etkileşimi aynı anlama geldiğinden üçgen tablolar simetrik matristir ve tablolarda her zaman üst yarıları bulunmaktadır (Yeniay, 1999: 52). Örnek olarak L_8 ortogonal dizini ele alındığında Tablo 2-12'de $L_8(2^7)$ ortogonal dizini; bu tablodaki sütun çiftlerinin etkileşimlerinin hangi faktör etkisiyle karıştığı, yani hangi sütunda yer alacağı (eşdeş olacağı, confounding of interactions) ise Tablo 2-13'de verilmektedir. Burada 1 ve 2 sütunlarının etkileşimleri 3. sütun ile karışmakta, 2. ve 4. sütunların etkileşimleri ise 6. sütun ile karışmaktadır. Etkileşim tablosu ortogonal dizinlerde sütunlara atanan faktörler için gerekli tüm bilgiyi sağladığı için tüm ana faktör ve etkileşimlerin etki tahmini karışma olmadan yapılabilmektedir (Phadke, 1989: 158, Park, 1996: 68).

Tablo 2-12 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini

Deneme	Sütun						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
	a	b	ab	c	ac	bc	abc

Tablo 2-13 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizinine İlişkin Etkileşim Tablosu

		Sütun						
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>AB</i>	<i>C</i>	<i>AC</i>	<i>BC</i>	<i>ABC</i>
	Sütun	1	2	3	4	5	6	7
<i>A</i>	1	(1)	3	2	5	4	7	6
<i>B</i>	2		(2)	1	6	7	4	5
<i>AB</i>	3			(3)	7	6	5	4
<i>C</i>	4				(4)	1	2	3
	5					(5)	3	2
	6						(6)	1
	7							(7)

3^k dizinlerine uygun üçgen tablolar, 2^k dizinlerinden farklıdır. 3^k dizinlerinde her bir etkileşim bileşenlerine ayrılmaktadır. Örneğin; 1. sütuna *A* faktörü, 2. sütuna *B* faktörü atanırsa, bu iki faktörün etkileşimi olan *AB* 4 serbestlik derecelidir ve *AB* ile AB^2 olarak iki bileşene ayrılır. *AB*; 3. sütunda, AB^2 ; 4. sütunda ifade edilebilir. Yol gösterici olmalarından dolayı faktörlerin ortogonal dizinlere atanmasında Taguchi katalogundaki üçgen tablolardan yararlanılabilmektedir (Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 10). Bu tablolardan yaygın olarak kullanılanları Ek 2’de verilmektedir.

Taguchi katalogunda 3^k dizinleri için sadece $L_{27}(3^{13})$ ve $L_{81}(3^{40})$ üçgen tabloları verilmektedir. Fakat üçgen tabloların bir özelliği, büyük çaplı üçgen tabloların küçük çaplı üçgen tabloları içermesidir. Dolayısıyla $L_{27}(3^{13})$ aynı zamanda $L_{27}(3^{13})$ içermektedir. Öncelikle $L_{27}(3^{13})$ üçgen tablosu incelendiğinde $L_{27}(3^{13})$ için üçgen tablonun nasıl oluşturulacağı anlaşılacaktır (Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 10). Taguchi katoloğunda bulunan $L_{27}(3^{13})$ standart ortogonal dizini üçgen tablosu Tablo 2-14’te verilmektedir (İzgiz, 2001: 310):

Tablo 2-14 $L_{27}(3^{13})$ İçin Üçgen Tablo

Sütun	Sütun												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	(1)	3 4	2 4	2 3	6 7	5 7	5 6	9 10	8 10	8 9	12 13	11 13	11 12
2		(2)	1 4	1 3	8 11	9 12	10 13	5 11	6 12	7 13	5 8	6 9	7 10
3			(3)	1 2	9 13	10 11	8 12	7 12	5 13	6 11	6 10	7 8	5 9
4				(4)	10 12	8 13	9 11	6 13	7 11	5 12	7 9	5 10	6 8
5					(5)	1 7	1 6	2 11	3 13	4 12	2 8	4 10	3 9
6						(6)	1 5	4 13	2 12	3 11	3 10	2 9	4 8
7							(7)	3 12	4 11	2 13	4 9	3 8	2 10
8								(8)	1 10	1 9	2 7	3 6	4 5
9									(9)	1 8	4 7	2 6	3 5
10										(10)	3 6	4 5	2 7
11											(11)	1 13	1 12
12												(12)	1 11
13													(13)

Buradan hareketle $L_9(3^4)_U$ un kullanılışı da Tablo 2-15'te verilmektedir;

Tablo 2-15 $L_9(3^4)_U$ İçin Üçgen Tablo

Sütun	Sütun	
	1	2
1	(1)	3
...		4
2		(2)

$L_9(3^4)$ ortogonal dizininde, 1. ve 2. sütuna atanan faktörlerin etkileşimi 3. ve 4. sütunlarda yer alır. Üçgen tabloda sütun ve satır numaraları ortogonal dizindeki sütun numaralarıdır. Örneğin; üçgen tablodaki 1. satırı ve 1. sütunu ortogonal dizindeki sütun numaralarını gösterdiğinden, bir sütunun kendisiyle etkileşimi yine kendisi olduğundan (1) ile gösterilmektedir. Esas köşegen elemanları kesiştikleri satır ve sütun numaraları ile ifade edilmektedir (Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 10).

Örneğin; A , B gibi iki faktör olsun. Her iki faktör de üç düzeylidir. Bu durumda deneyde A, B, AB, AB^2 etkileri hesaplanacaktır. $L_9(3^4)$, ortogonal dizininde A faktörü birinci sütuna, B faktörü ikinci sütuna, AB etkileşim bileşeni üçüncü sütuna ve AB^2 etkileşim bileşeni dördüncü sütuna atanır. $L_9(3^4)$ 'de, 1. ve 2. sütunlar temel sütunlardır. Temel sütun ortogonal dizinde deneme kombinasyonlarını belirleyen sütunlardır. Dolayısıyla ana faktörler öncelikle temel sütunlara atanmalıdır (Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 3).

2.3.6.2 Doğrusal Grafikler

Taguchi, doğrusal grafikleri, faktör ve etkileşimleri ortogonal dizinlerin sütunlarına atamak için, üçgen tablolara alternatif olarak önermiştir. Bir doğrusal grafik bir ortogonal dizinin sütunları arasındaki bazı etkileşim ilişkilerinin grafik gösterimidir. Bu yöntemin üçgen tablolara göre avantajı; kullanımının kolay olması ve etkileşimleri görsel olarak göstermesidir. Etkileşimlerin grafik görünümünün tanımlanması doğrusal grafiklerin için kullanışlı ve etkili olmasını sağlamaktadır (Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 10; Danacıoğlu, 1998: 74; Taguchi, Yokohoma ve Wu, 1993: 169).

Doğrusal grafiklerin çizilmesinde tepe ve kenarlar kullanılmaktadır. ortogonal dizinlerin sütun numaraları tepe (nokta /vertex, node) ve kenarlarla (edge, line) gösterilir. İki nokta arasındaki kenar, o noktalara atanan faktörlerin etkileşimlerinin sütun numaralarını ifade eder. Doğrusal grafikteki nokta ve kenarların sayısı, dikey dizindeki sütun sayısına eşittir. Bir ortogonal dizin pek çok doğrusal grafiğe sahip olabilir. Her grafiğin ortogonal dizini, üçgen tablosu ile

tutarlı olmak zorundadır. Örneğin; L_{16} ortogonal dizininin 800'den fazla doğrusal grafiğe sahip olduğu belirtilmiştir. Taguchi her ortogonal dizin için seçilmiş doğrusal grafikler vermiş ve bunları standart doğrusal grafikler olarak adlandırmıştır (Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 10).

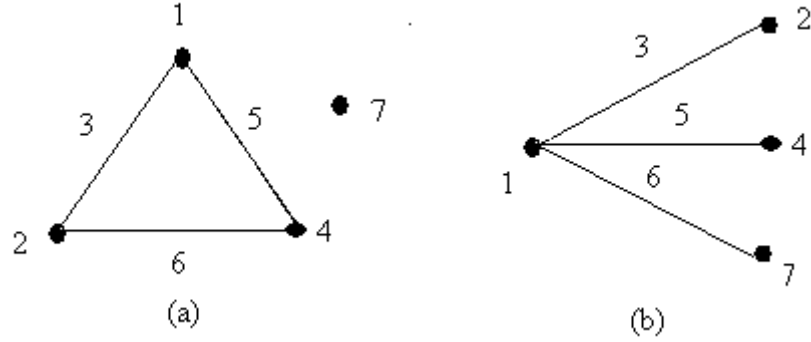
İki ortogonal dizinden birindeki sütun, satır ve her bir faktör düzeyine ilişkin farklı bir permutasyon sırasıyla diğer dizin elde edilebiliyorsa bu dizinler izomorfiktir (eş biçimli, combinatorial equivalent). Ortogonal dizinler için Taguchi katoloğunda yer alan her standart doğrusal grafik, diğerine izomorfik olmayan grafiğdir (Kolaiti ve Koukouvinos, 2006: 267, Dervişoğlu ve Muluk, 2007: 10). Maxwell ve Reed (1971)'e göre, bir grafiğdeki kenar sayısı için e , tepe sayısı için v gösterimi kullanıldığında; e kenarlı v tepeli bir G grafiği, $G(e,v)$ ile gösterilir. Bazen özel grafikler G_1 , G_2 gibi alt indisli büyük harfler ile gösterilirler (Danacıoğlu, 1998: 65).

$G_1(e,v)$ ve $G_2(e,v)$ gibi iki grafiğden G_1 ve G_2 'nin kenarları ve tepeleri arasında bire-bir eşleme yapılabiliyor ise, G_1 ve G_2 izomorfiktir. Gerçekte birbirine eşit olan iki grafiğ birbirine izomorfiktir. G_1 ve G_2 gibi iki izomorfik grafiğın bütün komşuluk ilişkileri aşağıdaki gibidir (Danacıoğlu, 1998: 65):

- e_{j1} ve e_{k1} , G_1 'in herhangi bir kenar çifti; e_{j2} ve e_{k2} , G_2 'nin karşılık gelen kenarları olduğunda, e_{j1} ve e_{k1} komşu ise e_{j2} ve e_{k2} de komşudur,
- e_{j1} ve v_{k1} , G_1 'in herhangi bir kenarı veya tepesi; e_{j2} ve v_{k2} , G_2 de karşılıkları olduğunda e_{j1} ve v_{k1} 'e komşu ise, e_{j2} de v_{k2} 'ye komşudur.

Doğrusal grafikler ile atanmalar yapılırken önce ikiden daha fazla düzeyi olan faktörlere öncelik verilmekte, bu faktörler atanırken tepeler üzerinde atamalar yapılmakta, faktörlerin etkileşimleri bu tepeleri birleştiren kenarlar üzerine atanmaktadır. Daha sonra da kalan parametreler sütunlara dağıtılmaktadır (Shoemaker ve Kacker, 1988: 100).

Doğrusal grafiklerin oluşturulmasına ilişkin bir örnek olarak L_8 ortogonal dizinine ilişkin izomorfik iki standart doğrusal grafiğ bulunmaktadır ve bu grafikler Şekil 2-12'de verilmektedir (Taguchi, Yokohoma ve Wu, 1993: 170).



Şekil 2-12 L_8 'in İki Standart Doğrusal Grafiği

Yukarıda verilen grafiğin (a) bölümü ele alınırsa, 1 ve 2 sütunları arasındaki etkileşim 3. sütuna atanırken 1 ve 4 arasındaki de 5'e atanır. Sütun 7, üçgenden ayrılmıştır. A, B, C, D olarak iki düzeyli 4 faktör ile çalışıldığında;

- A faktörü sütun 1'e,
- B faktörü sütun 2'ye,
- C faktörü sütun 4'e,
- D faktörü de sütun 7'ye atanır.

Bu sütunlardan oluşan etkileşimler ise aşağıdaki gibi hesaplanır;

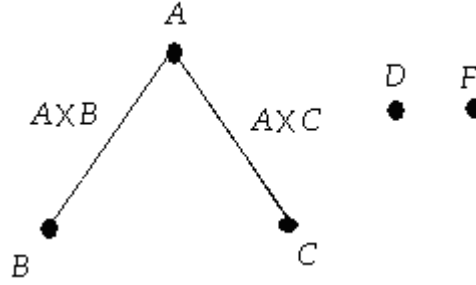
- AXB etkileşimi 3. sütunda,
- AXC etkileşimi 5. sütunda,
- BXC etkileşimi 6. sütunda olacaktır (Taguchi, Yokohoma ve Wu, 1993: 170).

Ancak, ortogonal dizindeki her bir sütun çifti için etkileşimler (1. ve 3. sütunlar arasındaki etkileşim, 2. ve 7. sütunlar arasındaki etkileşim vb.) standart doğrusal grafiklerde gösterilmez. Eğer gerekirse bu bilgi üçgen tablolardan edinilebilir (Phadke 1989: 159).

L_8 için oluşturulan (b)'deki doğrusal grafik ise, özel bir faktörün diğer bazı faktörlerle önemli bir etkileşimi olduğunda kullanılır. Bu grafikte de 1 ve 2 sütunu, 1 ve 4 sütunu, 1 ve 7 sütunu arasında etkileşim bulunmaktadır. Deney düzeninde tahmin edilecek etkileşimlerin tümü ortak bir faktör içeriyorsa (AxB, AxC, AxD); (b)

doğrusal grafiği seçilmelidir. Bir ortogonal dizin için birbirinden farklı standart doğrusal grafiklerin verilmesinin nedeni değişik deney düzenlerinin oluşturulmasına olanak sağlamaktır (Phadke, 1989: 160; Danacıoğlu, 1998: 75).

A , B , C , D , F olarak 5 adet iki düzeyli faktörün ve $A \times B$ ve $A \times C$ etkileşimlerinin bulunduğu L_8 dizini için gerekli grafik yapı Şekil 2-13'te verilmektedir. Burada A faktörü sütun 1'e; B , sütun 2'ye; $A \times B$ sütun 3'e, $A \times C$ sütun 5'e; F , sütun 7'ye ve D , sütun 6'ya atanacaktır. Burada alternatif olarak F sütunu sütun 6'ya, D sütunu da sütun 7'ye atanabilir (Park, 1996: 82).



Şekil 2-13 L_8 'in için Doğrusal Grafik Değişimi

2.3.7 Ortogonal Dizinlerin Değiştirilmesi

Bir örnekte 2 düzeyli 2 faktörün ve 3 düzeyli 3 faktörün bulunduğu varsayıldığında toplam deney sayısının 9 olması gerekmektedir. Bu faktör düzeylerini içeren en küçük ortogonal dizin L_{36} olup 36 deney içermektedir. Bu durumda beklenenden daha fazla çok sayıda deney yapılması gerektiğinden a standartlaştırılmış ortogonal dizinlerde değişik yapılmaktadır (İzgiz, 2001: 150).

Ortogonal dizinlerin değiştirilmesinde özellikle üç yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar (Fowlkes ve Creveling, 1995: 284):

- Kukla Düzey (Dummy level/ Downgrading a column),
- Sütun Birleştirme (Column merging/ Upgrading a column),
- Faktör Birleştirme (Compounding factors) yöntemleridir.

2.3.7.1 Kukla Düzey Yöntemi

Bu yöntem üç ya da daha fazla düzeyli sütunlara sahip ortogonal dizinlerde daha az düzeylerin bulunduğu parametreler için kullanılmaktadır. Örnek olarak L_9 dizini dört adet üç düzeyli sütuna sahiptir. Kukla düzey yöntemi bu dizinde iki düzeyli ve üç düzeyli faktörlerin birlikte kullanımını sağlamaktadır (Fowlkes ve Creveling, 1995: 284). Başka bir deyişle kukla düzey yönteminde n düzeyli sütunlara m düzeyli faktörler atanmaktadır ve $n > m$ olmalıdır. Bu şekilde dizin ortogonal olma özelliğini kaybetmeyecek ve oransal olarak dengeli olacaktır (Park, 1996: 101).

İki düzeyli A faktörü ve üç düzeyli B, C, D faktörlerinin bulunduğu bir örnek ele alındığında ve A faktörünün düzeyleri A_1 ve A_2 olarak adlandırıldığında faktör etkilerinin tahmini için gerekli serbestlik derecesi:

$$f_{0A} = 1(2-1) + 3(3-1) = 7 \text{ olacaktır.}$$

Bu serbestlik derecesi ve düzey sayıları dikkate alındığında L_9 dizini uygundur. L_9 dizininde bu faktörlerin atanması için A faktörünün üç düzeyli sütununa A_3 isimli kukla düzey tasarlanır. A_3 kukla düzeyinin kullanımında A_1 veya A_2 düzeyleri arasında seçim yapılırken;

1. Daha kesin sonuçların elde edilmesinin gerektiği düzey seçilir. A_1 hakkında zaten yeterli bilgi mevcutsa A_2 seçilir.
2. Deney yapılırken daha az maliyetli olan ve daha kolay çalışılabilen düzey seçilir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 284).

Tablo 2-16'da verilmekte olan L_9 dizininde A faktörü iki düzeye; B, C, D faktörleri de dört düzeye sahiptir. A faktörünün ilk iki düzeyi deneme düzeninin ilk altı satırında yer almışken 7, 8 ve 9'uncu satırlarda da kukla düzey olarak tekrar 1. düzey dikkate alınmıştır.

Tablo 2-16 L_9 İçin Kukla Düzey Atanması

	Sütun			
	1	2	3	4
Deneme	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	1'	1	3	2
8	1'	2	1	3
9	1'	3	2	1

2.3.7.2 Sütun Birleştirme Yöntemi

Ortogonal dizinlerde, kullanılan faktörlerin hepsinin düzey sayısı eşit değilse ve dizinde üç ya da daha fazla düzeyi bulunacaksa sütun birleştirme yöntemi kullanımı tercih edilebilir. Sütun birleştirme yöntemi ile iki düzeyli standart bir ortogonal dizinde 4 düzeyli sütun oluşturulabiliyorken, üç düzeyli ortogonal dizinde 9 düzeyli sütun, iki ve üç düzeyli ortogonal dizinde 6 düzeyli sütun oluşturulabilmektedir. Bu şekilde oluşturulan ortogonal dizinlere örnek olarak; $L_8(4^1 \times 2^4)$, $L_{16}(4^1 \times 2^{12})$, $L_{16}(4^2 \times 2^9)$, $L_{16}(4^3 \times 2^6)$, $L_{16}(4^4 \times 2^3)$, $L_{16}(4^5)$, $L_{16}(8^1 \times 2^8)$, $L_{32}(4^1 \times 2^{28})$, $L_{32}(4^2 \times 2^{25})$, $L_{27}(9^1 \times 3^9)$ dizinleri verilebilir (Park, 1996: 89, 97).

2 düzeyli bir standart ortogonal dizininde 4 düzeyli sütun oluşturmak için herhangi iki sütun ve onların etkileşim sütunları birleştirilmektedir. Örnek olarak L_8 dizininde 1. ve 2. faktörün etkileşim sütunu 3. sütunda olmaktadır (doğrusal grafik üzerinde de iki nokta ve bunları birleştiren doğru dikkate alınmaktadır). Bu nedenle bu üç sütun birleştirilerek bir adet 4 düzeyli sütun elde edilecektir. Bu sütunlar 1 serbestlik derecesine sahipken, 4 düzeyli sütun 3 serbestlik derecesine sahip olacaktır. Sütun birleştirme yönteminde aşağıdaki aşamalar izlenmelidir:

abc olarak adlandırılan yeni sütun aşağıda verildiği şekilde tasarlanmalıdır:

a ve *b* sütunlarında (1, 1) kombinasyonu için *abc* sütununda 1 (1. Düzey) yazılırken;

(1, 2) kombinasyonu için 2 (2. Düzey) ,

(2, 1) kombinasyonu için 3 (3. Düzey),

(2, 2) kombinasyonu için de 4 (4. Düzey) ve a , b , c sütunları dizinden kaldırılmalıdır. Ancak bu sütunlar başka bir faktör ya da etkileşim için kullanılmamalıdır.

1, 2 ve 3. sütunların kullanımıyla oluşturulan 4 düzeyli L_8 ortogonal dizini Tablo 2-17'de verilmektedir (Phadke, 1989: 167):

Tablo 2-17 L_8 Dizininde 4 Düzeyli Sütun Oluşturma

L_8 Ortogonal Dizini							
Sütun							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

a b axb

Modifiye Edilmiş L_8 Dizini					
Sütun					
	1-2-3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	2	1	1	2	2
4	2	2	2	1	1
5	3	1	2	1	2
6	3	2	1	2	1
7	4	1	2	2	1
8	4	2	1	1	2

2.3.7.3 Faktör Birleştirme Yöntemi

Güçlü tasarım çalışması yapılırken gürültü faktörlerinin ele alınması durumunda, birleştirilmiş faktörlerin kullanılması deneyi kolaylaştıracaktır. Ancak, birleştirme faktörlerin kendi başlarına oluşturdukları etki hakkında bilgi kaybına neden olacaktır. Her bir faktör düzeyiyle çalışma sayısı azaldığından dolayı deney çapı küçüldüğü için ortogonallik özelliğinin bozulma riski bulunmaktadır. Bu nedenle faktör birleştirme yöntemi çoğunlukla kontrol faktörleriyle oluşturulan iç dizinde kullanılır. Genellikle kontrol faktörlerinin analizi için daha geniş dizinlerin kullanılması daha iyi olsa da bazı durumlarda ekonomik olarak uygun görüldüğü için faktör birleştirme yöntemi tercih edilmektedir.

Örnek olarak, faktör birleştirme yöntemi ile iki düzeyli iki faktör, 3 düzeyli bir sütun haline getirilebilir (İki düzeyli iki faktörün serbestlik derecesi, $2 \times (2-1) = 2$, üç düzeyli bir faktörün serbestlik derecesine $(3-1) = 2$) eşittir. İki düzeyli faktörler A

ve B olarak, üç düzeyli faktörler C, D, E olarak düzenlendiğinde genel olarak üç düzeyli faktörlere uygun olarak kukla düzey yöntemi ile L_{18} ortogonal dizininin kullanılması beklenmektedir. Ancak toplam serbestlik derecesi,

$$f_{0A}=2x(2-1)+3x(3-1)=8$$

olduğu için L_{18} dizininin 17 serbestlik derecesine kadar 9 fark bulunmaktadır. Bu dönüşüm %47 etkinlik derecesiyle kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada bütçe kısıtları dikkate alındığında faktör birleştirme yönteminin dikkate alınmasıyla daha ekonomik olan L_9 ortogonal dizininin kullanımı tercih edilebilir.

Burada A ve B için olası kombinasyonlar: $A_1B_1, A_1B_2, A_2B_1, A_2B_2$ 'dir. Bu kombinasyonlar için isteğe göre aşağıdaki yerleştirmeler yapılabilir:

$A_1B_1=1$. sütunun birinci düzeyi

$A_1B_2=1$. sütunun ikinci düzeyi

$A_2B_1=1$. sütunun üçüncü düzeyi

Bu seçime karşılık gelen yerleştirme düzeni Tablo 2-18'de verilmektedir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 290).

Tablo 2-18 L_9 Ortogonal Dizinde Birleşik Faktör Kullanımı

	Sütun			
	1	2	3	4
Deneme	A,B	C	D	E
1	1,1	1	1	1
2	1,1	2	2	2
3	1,1	3	3	3
4	1,2	1	2	3
5	1,2	2	3	1
6	1,2	3	1	2
7	2,1	1	3	2
8	2,1	2	1	3
9	2,1	3	2	1

2.3.8 Kalite Karakteristiğinin Analizi

2.3.8.1 Sayısal Tanımlamalar

Güçlü tasarımın gerçekleştirilmesinde önemli bir yere sahip olan kalite ölçümünün sağlanması, kalite kaybı ve performans istatistiğinin de hesaplanabilmesi için birkaç tanımsal istatistiğin kullanımıyla sayısal tanımlama yapmak mümkün olmaktadır. Bunlar, aritmetik ortalama, varyans, standart sapma ve değişim katsayısıdır (Fowlkes ve Creveling, 1995: 22).

Aritmetik Ortalama: Hesaplanması çok basit olan bu ortalama diğer tanımsal ölçüler ve çeşitli istatistik yöntemlerin dayandığı temel bir ölçü niteliği taşımaktadır. Bilindiği gibi birimlere ait nümerik özelliklerin toplamının birim sayısına bölünmesiyle elde edilir (Orhunbilge, 2000, YN: 276: 75). Örnek verileriyle denklem (2-15)'te verildiği şekilde hesaplanmaktadır (Fowlkes ve Creveling, 1995: 22):

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2-15)$$

Varyans: Birimlerin değerlerinin aritmetik ortalamadan farklarının karelerinin aritmetik ortalaması varyans, bu farkların kareli ortalaması ise standart sapmasıdır. Anakütlede varyans σ^2 , standart sapma σ ile gösterilmektedir. Örnek sonuçlarında ise, varyans s^2 , standart sapma ise, s harfleriyle gösterilmektedir (Orhunbilge, 2000, YN: 276: 117).

Varyans ve standart sapmanın hesaplanmasına ilişkin formüller denklem (2-16) ve (2-17)'de verilmektedir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 22):

Anakütle için (μ : anakütle ortalaması):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (2-16)$$

Örnek söz konusu ise:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2-17)$$

Değişim Katsayısı: Değişim katsayısı (*DK*, The Coefficient of Variation, *C.V.*), dağılmayı değer cinsinden değil, oransal olarak belirleyen ölçüttür. Birimlerin değerlerinin büyüklüğü ve cinsinden (adet, ton, kg., m. vs.) arındırılmış bu gösterge özellikle birimlerin dağılımlarının karşılaştırılmasında büyük önem taşımaktadır (Orhunbilge, 2000, YN: 276: 125). Değişim katsayısı, standart sapmanın aritmetik ortalamaya bölünmesiyle elde edilmektedir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 23):

$$DK = \frac{s}{\bar{y}} * 100 \quad (2-18)$$

2.3.8.2 Performans Ölçüsü ve Performans İstatistiği Analizi

Performans ölçüsü (performance measure) kontrol edilebilir faktörlerin farklı düzeylerini karşılaştırıp en iyisinin seçilmesini sağlayan bir ölçüttür. Etkili bir performans ölçüsü, ürün hakkındaki teknik bilgilerden ve kayıp fonksiyonundan yararlanır. Kalite kayıp fonksiyonu da bir performans ölçüsü olmasına karşın hem istenilen bilgileri verememesi, hem de bazen karmaşık olması nedeniyle performans ölçüsü olarak kullanılamamaktadır Performans ölçüsünü ifade eden fonksiyon genellikle kesin olarak bilinmez ve bu nedenle tahmini yapılır. Amaç da tahmini yapılan bu ölçütlerin en iyilenmesidir. Performans ölçüsünün istatistik tahmini için performans istatistiği terimi kullanılır. Performans istatistiği, kalite karakteristiğinin yapısına, sürekli veya kesikli oluşuna ve hedef değerine göre farklı yapıda tanımlanan ve performans ölçüsü yerine kullanılan bir fonksiyondur (Kağncıoğlu, 1998: 102; Çelik, 1993: 59).

Taguchi'nin güçlü tasarım özelliğinin ölçümü için önerdiği performans ölçütü sinyal/gürültü oranı olup, ürün kalitesinin değerlendirilmesi anlamını taşımaktadır. Performans düzeyi *SN* oranı ile belirlendiği gibi aynı zamanda gürültü faktörlerinin performansa olan etkilerini de ortaya koymaktadır (İzgiz, 2001: 137). *SN* oranını bir örnekle açıklamak gerekirse; bir arabayı durdurmak için fren pedalına basılması olayında, arabayı yavaşlatmak için meydana gelen enerji, sinyali temsil etmektedir. Ancak bu işlem sırasında, fren pedalının yıpranmasından, sıcaklıktan vb. sebeplerden dolayı bir miktar enerji kaybolacaktır. İşte bu ve benzeri faktörler de gürültüyü temsil etmektedir (Hamzaçebi ve Kutay, 2003: 13).

Bazı istatistikçiler *SN* oranlarının en iyi sonuçları veremeyeceklerini savunmuş ve bunun yerine standart sapma analizinin kullanılmasını önermişlerdir. Bu analizlerde her deneme için elde edilen standart sapmanın ele alınması ile değişkenliği etkileyen faktör veya etkileşimlerin ortaya çıkarılması gerektiğini savunmuşlardır. (Canbulut ve Öztöp, 2006: 437).

Taguchi'nin önerisi doğrultusunda verilerin normalleştirilebilmesi ve toplanabilirliklerinin sağlanabilmesi için varyans yerine *SN* oranları kullanılmaktadır. Böylece, ortalama ile performans istatistiği aynı teknikle analiz edilebilmektedir. Aynı zamanda, ortalama ve ortalama etrafındaki değişkenlik üzerine kurulu olan performans kestirimleri de yapılabilmektedir. Ortalama dikkate alınmadığında varyans tek başına fazla bir anlam taşımamaktadır. Bu nedenle performans istatistiğinin seçiminde dikkat edilecek nokta ortalama ve varyansın aynı anda kontrol edilebilmesidir. Phadke (1982: 104)'ye göre standart sapma yerine *SN* oranları ile çalışılmasının nedeni, pek çok durumda ortalama azaltıldığında standart sapmanın da azalması ya da ortalama büyüdüğünde standart sapmanın da büyümesidir. Bu gibi durumlarda eğer standart sapmaya göre çalışılıyor ise, en iyileme iki adımda gerçekleştirilememektedir. *SN* oranı en basit şekliyle ortalamanın standart sapmaya oranı (değişim katsayısının tersi) olarak ifade edilebilir. Bu özelliğinden hareketle daha kaliteli tasarım yapabilmek için performans istatistiği yani *SN* oranı değeri en büyüklenmeye çalışılmaktadır (Çelik, 1993: 59; Şehirlioğlu, 1997: 169).

SN oranını veren eşitlikler ile kayıp fonksiyonu arasında doğrudan bir ilişki vardır. *SN* oranı ürünün sahip olacağı karakteristik değerinin kararlılığının değerlendirilmesidir. Yüksek *SN* oranı değerleri kayıp fonksiyonu ile saptanılacak zararın da daha az olacağını gösterir. Kalite karakteristiğinin özelliğine bağlı olarak kalite kayıp fonksiyonu, kalite kayıp fonksiyonuna bağlı olarak da performans istatistiği tanımlanmaktadır. Böylece performans istatistiğini en büyüklediği noktada kalite kayıp fonksiyonu en küçüklenir. Bu ise aranan en iyi ürün ya da süreç için kontrol edilebilen faktörlerin konumlarının belirlendiği anlamına gelmektedir. Bu nedenle, kayıp fonksiyonu içeriğinde olduğu gibi *SN* oranı da kalitenin ortalama değer ve varyansın göz önünde tutularak değerlendirildiği

objektif bir değerlendirme ölçüsü olarak kullanılmaktadır (İzgiz, 2001: 137; Çelik, 1993: 60).

Esas olarak amaç, hata kareleri ortalaması (KO_{HATA} , HKO , Varyans, MSD/ Mean Square Deviation) azaltılmasıyla ürün veya süreç kalitesini geliştirmektir. Toplam varyans, gürültü ve faktörler arasındaki kesin karşılıklı ilişkiler genellikle bilinmemektedir. Toplam varyansı azaltmak üzere daha güvenilir bilgi elde etmek için parametre tasarım matrisi oluşturulmakta ve iç dizi için faktörlerin ve dış dizinin için gürültülerin atanmasıyla deney tasarlanmaktadır. SN oranları matriste yer alan ölçüm sonuçlarını analiz etmek için uygulanmaktadır (Baynal, 2003: 137). Burada varyans, ortalama değerlerden değil de hedef değerden sapma karelerinin ortalaması olarak tanımlanmaktadır (Zaimoğlu, 2003: 36). Varyans değeri her bir deney için ortalama performans karakteristiği değeri olarak ifade edilebilir (Ku vd., 1998: 4).

Kayıp fonksiyonu negatif beklenen kaybın 10 tabanına göre logaritmasının alınmasıyla SN oranına dönüştürülür ve Elektrik Mühendisliği terminolojisinde “desibel (db)” olarak ifade edilen birime dönüştürülmek için de 10 ile çarpılır (Kros ve Mastrongelo, 1998: 512):

$$SN = -10 \log_{10}(KO_{HATA}) \quad (2-19)$$

SN oranları kalite karakteristiğinin amacına göre üç ayrı şekilde hesaplanmaktadır (Köksoy ve Muluk, 2004: 60):

“Hedef değer en iyidir” amacına yönelik olarak süreç ortalaması μ_0 gibi belirli bir hedef değerde sabit tutulurken, süreç standart sapması en küçük yapılmaya çalışılmakta,

“Daha küçük daha iyidir” amacına yönelik olarak süreç ortalaması mümkün olduğunca küçük yapılmaya çalışılırken, süreç standart sapması σ_0 gibi uygun bir değerde kontrol altına tutulmaya çalışılmakta,

“Daha büyük daha iyidir” amacına yönelik olarak ta süreç ortalaması mümkün olduğunca büyük yapılmaya çalışılırken, süreç standart sapması σ_0 gibi uygun bir değerde kontrol altına tutulmaya çalışılmaktadır. Bu amaçlara yönelik SN

oranlarının hesaplanmasında kullanılan formülasyonlar aşağıdaki numaralandırılmış başlıklarda verilmektedir.

1. Hedef Değer En İyidir

Bu tür kalite karakteristiği problemlerinde ortalamanın sıfır olması durumuna karşılık ortalamaı hedef değere taşıyan ayarlama faktörleri kullanılmaktadır. Bu tür problemlerde en büyüklemeyi sağlayan amaç fonksiyonu denklem (2-20)'de verilmektedir (Phadke, 1989: 110):

$$SN = \frac{\mu^2}{\sigma^2} = (\text{Sinyalin gücü/gürültünün gücü}) \quad (2-20)$$

$$\text{Burada } \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad \text{ve} \quad \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad \text{olmaktadır.}$$

İstatistik bir deneyde sinyalin gücü ve gürültünün gücü $\hat{\mu}^2$ ve $\hat{\sigma}^2$ tahminleri ile ifade edilmektedir. Ortalaması μ ve varyansı σ^2 olan dağılıma sahip ve n büyüklüğünde rassal örnekle çalışıldığında (Park, 1996: 21);

$$\hat{\sigma}^2 = V = s^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n-1)$$

$$\hat{\mu}^2 = \frac{1}{n} (S_m - V)$$

$$S_m = \frac{(\sum y_i)^2}{n} \quad (2-21)$$

$E(S_m) = \sigma^2 + n\mu^2$ ve $S_m = \hat{\sigma}^2 + n\hat{\mu}^2$ denklemlerinin de kullanımıyla;

$$SN = \frac{\frac{1}{n} (S_m - V)}{V} \quad (2-22)$$

denklemini elde edilmektedir.

$$SN = 10 \log \left(\frac{\frac{1}{n} (S_m - V)}{V} \right) \quad (2-23)$$

Burada SN oranı artınca gürültünün gücü V azalırken sinyalin gücü $(S_m - V)/n$ artmaktadır. $S_m = (\sum y_i)^2 / n = n(\bar{y})^2$ olduğundan eşitlik üstünde aşağıdaki dönüşüm yapılabilir:

$$SN = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2 - \frac{V}{n}}{V} \right) \quad (2-24)$$

n yeterince büyük olduğunda, V/n önemsiz olmakta, SN oranı denklem (2-24)'te verildiği şekilde ifade edilebilmektedir:

$$SN = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{V} \right) = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) = 20 \log \left(\frac{\bar{y}}{s} \right) \quad (2-25)$$

SN oranlarının kullanılması uygulamacı bilim adamlarına süreç ortalaması ve süreç varyansının rolleri hakkında değerli bilgi bulma garantisi vermemektedir. Kontrol faktörlerini ortalamayı etkileyenler (yer etkileri) ve varyansı etkileyenler (yayıma etkileri) olarak ayırmak, süreci anlamakta önemli olabilmektedir. Örneğin denklem (2-25)'te verilmekte olan SN oranı;

$$SN = 10 \log \bar{y}^2 + 10 \log s^2 \quad (2-26)$$

şeklinde de yazılabilir (Baynal, 2003: 149).

Burada yanıt için hedef bir değeri $y=m$ sağlamak için uygun x değerlerinin bulunması amaçlanmaktadır. Hedef değer her iki yönündeki sapmalar da istenmemektedir. Bu nedenle iki ayrı SN oranı dikkate alınmaktadır. Uygun SN oranı ise, sistemin yapısına bağlı olarak seçilmektedir. Yanıtın ortalaması ve varyansı birbirinden bağımsız olarak değişebiliyorsa, Taguchi bir ya da daha fazla sayıda ayar ve düzeltme faktörünün kullanılmasını böylece $E(y)=m$ 'yi sağlayacak bir düzeltmenin yapılmasını önermiştir. Burada “ E ” gürültü faktörlerinin dağılışı boyunca beklenen değere karşılık gelmektedir. Ayar faktörleri ise yalnızca ortalamayı değiştiren, ancak bu sırada varyans üzerinde değişikliğe yol açmayan faktörlerdir. Sonuç olarak analiz iki aşamalı bir süreçtir. Bunun başarılacağı varsayıldığında, kareli hata kayıp fonksiyonu $E(y-m)^2$, $Var(y)$ 'ye indirgenmiş olur (Özler, 1997: 166). Yapılan bu çalışmalar da iki aşamalı en iyileme amacını

sağlayacaktır. İki aşamalı en iyileme yöntemi ilerleyen bölümde “2.3.8.3 İki Aşamalı En İyileme” başlığı altında ayrıntılı olarak açıklamıştır.

2. Daha Küçük Daha İyidir

Hedef değerın sıfır olduğu, sürekli ve negatif olmayan (0'dan ∞ 'a kadar) değerleri alan kalite karakteristikleri için geçerlidir. Yüzey pürüzsüzlüğünün sağlanması problemi bu durum için örnek verilebilmektedir. Bu tür problemlerde düzeltilmesi gereken faktörler bulunmadığı için, kalite kaybı basit bir şekilde minimize edilebilmektedir (Phadke, 1989: 109).

Bu karakteritikte kuadratik kayıp fonksiyonu $E(y-0)^2$ ile ifade edildiği için beklenen kareli kayıp $E(y)^2$ olacaktır. (Özler, 1997: 166). $E(y^2)$ için beklenen doğal tahmin değeri aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir (Park, 1996: 22):

$$L(y) = kE(y^2)$$

Uygulamalarda *SN* oranının mümkün olduğunca büyük olması istenir ve daha küçük daha iyidir kalite karakteristiği için desibel cinsinden *SN* oranı denklem (2-27)'de verildiği şekilde ifade edilmektedir (Phadke, 1989: 109):

$$SN = -10 \log_{10} (KO_{HATA})$$

$$KO_{HATA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - 0)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i)^2$$

$$SN = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2-27)$$

Burada $-10 \log$ dönüşümü kullanıldığı için, *SN* oranının en büyüklenmesine çalışılmaktadır (Özler, 1997: 166).

Eğer ideal değer kesinse en küçük olarak tek bir değerden bahsediliyorsa (yapılacak telefon bağıntılarının süresinin en az 1 dk olması gibi) ölçülen değer ve hedeflenen değer arasındaki farkın mümkün olduğunca en küçük olması istenir. *SN* oranının bu şekilde kullanıldığı durumlarda

$$N = -10 \log_{10} (\text{Hata kareleri ortalaması})$$

Hata = (ölçülen değer–ideal değer) şeklinde hesaplanır (Apte, 1999).

3. Daha Büyük Daha İyidir

Burada bir önceki beklenen kayba ilişkin eşitlikteki y_i yerine $(1/y_i)$ konularak, daha küçük daha iyidir durumunda olduğu gibi bir yol izlenebilir. Böylece kareli hata ölçütü $E(1/y)^2$ 'den hareketle bir SN oranı kullanılır (Özler, 1997: 166). Bu kalite karakteristiği de sürekli ve negatif olmayan değerleri almaktadır ve herhangi bir ayarlama gerekliliği duyulmamaktadır. Daha büyük daha iyidir kalite karakteristiğine ilişkin kullanılan eşitlik denklem (2-28)'de verilmektedir (Phadke, 1989: 110):

$$SN = -10 \log_{10} (\text{kalite karakteristiği terslerinin hata kareleri ortalaması})$$

$$TKO_{HATA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$$

$$SN = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2-28)$$

Kalite karakteristiği terslerinin hata kareleri toplamı $\cong \frac{1}{\mu^2} \left[1 + 3 \frac{\sigma^2}{\mu^2} \right]$ 'ye

karşılık geldiğinden, σ^2 ifadesinin en küçüklenmesine çalışılır. Hangi tür problemde hangi SN oranlarının kullanılacağına ilişkin özet bilgi Tablo 2-19'da verilmektedir (Phadke, 1989: 131):

Tablo 2-19 SN Oranları

Problem	Gözlem değerleri bölgesi	İdeal değer	SN oranı
Hedef değer en iyidir	$0 \leq y \leq \infty$	μ	$SN = 10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2}$ $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ $\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$
Daha küçük daha iyidir	$0 \leq y \leq \infty$	0	$SN = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$
Daha büyük daha iyidir	$0 \leq y \leq \infty$	∞	$SN = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$

2.3.8.3 İki Aşamalı En İyileme

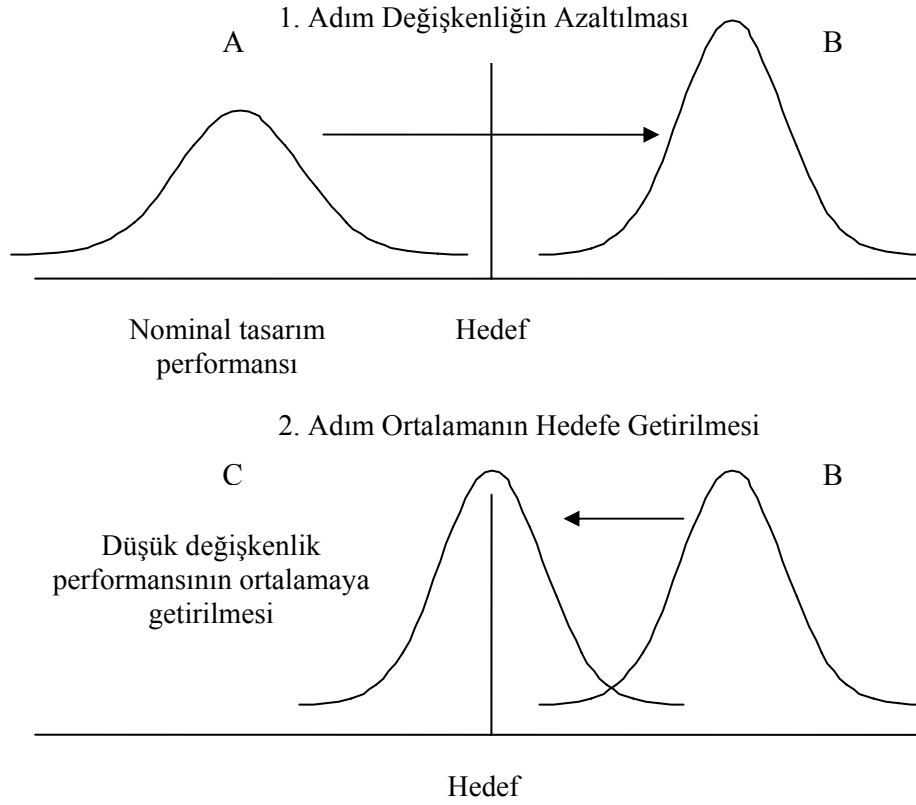
İki aşamalı en iyileme yöntemi çıktının hedef değer için değişkenliğini ayarlamak, ortalamasını ayarlamaktan daha zor olduğu için kullanılmaktadır. Değişkenlik azaldıktan sonra ortalamayı ayarlamak daha kolaylaşacaktır (Taguchi G., Chowdhury ve Taguchi S., 2000: 9).

Lin ve arkadaşlarına göre (1990), performans istatistiğini en büyükleyen kontrol edilebilir faktörlerin düzeyleri en iyi ürün tasarım düzeyleri olarak belirlenir. Ancak, performans istatistiğinin özelliğine göre kullanılacak en iyileme süreci de farklı olacaktır. “Hedef değer en iyi” durumunda performans değişkenliğini en küçük yapmak için iki adımlı en iyileme süreci aşağıda şekilde gerçekleştirilmektedir (Phadke, 1989: 111; Çelik, 1993: 77).

1. *SN* oranının en büyüklenmesi ya da gürültüye duyarlılığın minimize edilmesi: Bu aşamada ortalama dikkate alınmadan *SN* oranını en büyükleyecek kontrol faktörlerinin düzeyleri seçilmektedir. Performans istatistiği üzerinde anlamlı etkiye sahip olan faktörler belirlenerek performans değişkenliğini en küçükleyen faktör düzeyleri bulunmaktadır.

2. Ortalamanın hedef değere göre ayarlanması: Bu aşamada *SN* oranı değiştirilmeden ayar faktörleri kullanılarak ortalama hedefe yaklaşılmaktadır. Sadece ortalama üzerinde anlamlı etkiye sahip olan faktörler belirlenip ortalamayı (duyarlılığı) hedef değere olabildiğince yaklaştıran faktör düzeyleri bulunmaktadır.

Performans ölçümü için iki basamaklı en iyileme sürecine ilişkin dağılımlar Şekil 2-14’te verilen grafikte gösterilmektedir (Fowlkes ve Creveling, 1995: 26):



Şekil 2-14 İki Aşamalı En İyileme

İki aşamalı en iyileme probleminde yukarıdaki şekilde de görülebileceği gibi ilk adım olarak güçlü tasarımın gerçekleştirilmesiyle fonksiyonel değişkenliğin azaltılması sağlanmaktadır. Bu durum kalite karakteristiğine ilişkin daha dar bir dağılım elde edilmesine karşılık gelmekte ve A'dan B'ye geçiş ile ifade edilmektedir. İkinci adım ise, uygun faktörlerin seçimiyle hassasiyeti artırmak, ortalamayı hedefe taşımak yani, B durumundan C durumuna geçişi sağlamaktır.

Anlamlı faktörlerin belirlenmesi için varyans analizi uygulandığında faktörler dört ayrı sınıfa ayrılmaktadır. İki aşamalı en iyilemeyi sağlamak için parametre tasarımı stratejisinde satır verileri olarak varyans analizi (ortalamayı etkileyen kontrol faktörlerini tanımlar) ve SN verileri (değişkenliği etkileyen kontrol faktörlerini tanımlar) tamamlandığında, kontrol edilebilen faktörler kendi içinde;

1. Sınıf: Kontrol faktörleri, varyansı ve ortalamayı etkileyen faktörler (x_d),
2. Sınıf: Sadece varyansı etkileyen faktörler (x_v),
3. Sınıf: Düzeltme faktörleri, sadece ortalamayı etkileyen faktörler, (x_a),
4. Sınıf: Etkisiz faktörler, ortalamayı ve varyansı etkilemeyen faktörler (x_o) olarak dört sınıfa ayrılır (Ross, 1988: 175, Anderson ve Kraber, 53: 2003).

Bu faktörler dört elemanlı bir küme olarak, $X=\{x_d, x_a, x_v, x_o\}$ şeklinde yazılabilir ve incelenebilir. Kontrol edilebilen faktörleri $X=\{x_d, x_a, x_v, x_o\}$ olarak ayırmanın asıl nedeni kontrol faktörleri (x_d) ile ürün veya süreç değişkenliğini en küçükledikten sonra düzeltme faktörleri (x_a) ile kalite karakteristiğini hedef değerine yaklaştırmak ve bunu sağlarken de etkisiz faktörlerin (x_o) en ekonomik değerinin belirlenmesidir. Böylece hem ortalama hedefe yaklaşılabilecek hem de maliyetler azalacaktır. Bu ise çok yönlü en iyileme anlamına gelmektedir (Çelik, 1993: 42).

Bu sınıflama, deneyler sonunda elde edilen performans değerleri ve performans istatistikleri analiz edildikten sonra yapılmakta ve kontrol faktörleri yardımıyla performans değerindeki değişkenlik azaltılmaktadır. Düzeltme faktörleri yardımıyla da ortalama, hedeflenen değerine getirilmektedir. İşaret faktörlerinin de en iyi ve en ekonomik değeri seçilmektedir. Bilinen en iyileme yöntemleri ile benzerlik kurulacak olursa, açıklanan iki aşamalı çözüm yaklaşımının tasarım en iyileme probleminin kısıtsız en iyileme problemine dönüştüğü söylenebilmektedir (Baynal, 2003: 58).

“Daha küçük daha iyi” durumunda (negatif değer istenmiyor) en fazla istenen durum sıfır olmasına rağmen ortalama hiçbir zaman sıfıra getirilemez. Bu nedenle değişkenliği azaltabilmek için tek adımlı en iyileme süreci kullanılır. Yani toplam varyansı en küçükleyen faktörler belirlenip faktör düzeyleri bulunur.

“Daha büyük daha iyi” durumunda ise kalite karakteristiğinin tersi alınarak “daha küçük daha iyi” süreci kullanılabilir (Çelik, 1993: 77).

BÖLÜM 3

GÜÇLÜ TASARIMDA ÇOK YANITLI ENİYİLEME

3. ÇOK YANITLI ENİYİLEME

3.1 ÇOK YANITLI PROBLEMLER

En iyileme, belirlenen hedefler (yanıtlar) doğrultusunda, bağımsız faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve bu bağımsız faktörlerin hedefe (yanıta) olan etkileri de dikkate alınarak bir araya getirilip uygulanması işlemidir. Herhangi bir en iyileme prosedürü, genellikle hedef fonksiyonu adı verilen önceden tanımlanmış bir ölçütü en büyükmek veya en küçükmek için (örneğin; ürün kalitesi veya kar) karar değişkenleri adı verilen belirlenen koşulların değiştirilmesini içerir (Koç ve Ertekin, 2010: 2).

Ürün veya süreç tasarımında genellikle çok sayıda kalite karakteristiği ile ilgilenilip bunların en iyilenmesi hedeflendiğinde her bir problemin ayrı ayrı değerlendirilmesi çoğu zaman tatmin edici bir yanıt sağlamayacaktır. Bunun nedeni genellikle sistemin performansını veya ürünün kalitesini belirleyen çok sayıda yanıtla eşzamanlı olarak çalışmasıdır. Bir kalite karakteristiğini en iyileyen kontrol faktörü düzeyi diğer karakteristik değerinin kötüleşmesine neden olabilmektedir.

Birçok durumda, yanıtlar birbirleri ile rekabet halindedir, diğer bir ifadeyle bir yanıtın geliştirilmesi diğer bir yanıt üzerinde olumsuz bir etki oluşturabilir. Bu yanıtların bazılarının en büyük, bazılarının en küçük düzeyde tutulması, bazılarının da kabul edilebilir değerler veya hedef değer alması istenmektedir. Bu nedenle, en iyileme çalışmalarında sistemi karakterize eden tüm yanıtların hep birlikte ele alınması gerekmektedir. Ancak bu durumda, en iyileme oldukça karmaşık bir hal almaktadır ve bu tür problemlere Çok Yanıtlı En İyileme (Multi-response Optimizations) problemleri denmektedir (Koç ve Ertekin, 2010: 4).

Çok yanıtlı en iyileme problemlerinin çözümünde, yanıtların eş yükselti (izohips) eğrileri çizilerek üst üste yerleştirilmesi (superimposing), doğrusal olmayan

programlama ve çoklu yanıtların tek fonksiyona dönüştürüldüğü yaklaşımlar kullanılmaktadır (Koç ve Ertekin, 2010: 4).

Yanıtların eş yükselti eğrilerinin çizilerek üst üste yerleştirilmesi, çok yanıtlı en iyileme problemlerinin çözümünde kullanılan ilk yaklaşımlardan biridir. Her bir eş yükselti eğrisi, bir bağımsız değişken merkezdeyken, diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonlarını vermektedir. Katsayılara bağlı olarak izohips eğrilerinin dairesel, eliptik ya da eyer şeklinde olması; en büyükleyen nokta, en küçükleyen nokta, eyer noktası koşullarını verebilmektedir. Yanıt yüzeyinin dairesel olması, değişkenler arasındaki etkileşimin ihmal edilebilir olduğunu, elips ya da eyer şeklindeki yüzeyler iç etkileşimin önemli olduğunu göstermektedir. En küçük elips ya da dairesel şekil ile sınırlandırılmış yüzey, öngörülen en yüksek veya en düşük yanıtı belirtmektedir Ancak bu yaklaşım çok sayıda yanıtın bir arada incelendiği ya da çok sayıda girdi değişkeninin bulunduğu durumlar için kullanışlılığını kaybetmektedir (Koç ve Ertekin, 2010: 4; Khuri, 1990: 231).

Çok yanıtlı problemlerin çözümünde kullanılan genel bir yaklaşım sınırlandırılmış en iyileme problemi dönüşümüdür. Bu yöntemde bir yanıt amaç olarak değerlendirilmekte ve diğer yanıtlarda kısıt olarak ele alınmaktadır. Ancak yanıt sayısının çok fazla olduğu durumlarda yanıtlardan hangisinin amaç fonksiyonu olacağını belirlemek zorlaşmaktadır (Ortiz vd., 2004: 432). Myers ve Carter (1973) bu tür problemlerin çözümü için ikil yanıt (Dual Response) yaklaşımını önermişlerdir. Vinning ve Myers de Taguchi parametre tasarımı problemi için ikil yanıt yaklaşımı ile yayılım ve yerleşim etkilerini ayrı ayrı değerlendirildiği bir en iyileme yöntemi kullanmışlardır. Burada yanıtlardan biri birincil amaç olarak değerlendirilmekte, diğer yanıtlar kısıt olarak ele alınmaktadır. Bu yöntem tek yanıtlı problemlerde sırt (ridge) analizine benzemektedir (Khuri, 1990: 239).

Çok yanıtli problemlerinin bu tür uygulamalarında genellikle doğrusal olmayan programlama yaklaşımı benimsenmiştir. Bu modellerin çözümü için Direkt (doğrudan, dolaysız) arama çözümleri (Direct search solutions) ve sayısal en iyileme algoritmaları kullanılabilir. Del Castillo ve Montgomery (1993)'te Del Castillo, Montgomery ve Mc Carville (1996)'da yayımladıkları çalışmada Genelleştirilmiş İndirgenmiş Gradyent (Generalized Reduced Gradient, GRG) algoritmasını kullanmışlardır. Carlle, Montgomery ve Runger (2000) doğrudan arama ve sayısal en iyileme tekniklerinin her ikisini de kullanarak bir çalışma yapmışlardır (Del Castillo vd, 1996: 340; Myers ve Montgomery, 2002: 281).

Çok yanıtli problemlerin çözümünde üçüncü yaklaşım ise, çoklu yanıtların birleştirilerek tek bir yanıtla dönüştürülmesi yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda birleştirilmiş yanıt fonksiyonunun sayısal en iyileme teknikleri ile en iyilenmesi sağlanmaktadır (Compromised optimization). Bu teknikler; Khuri ve Conlon (1981)'de önerdiği genelleştirilmiş aralık fonksiyonu (KC), Pignatiello ve Vining'in (1993) önerdiği kayıp fonksiyonu, Derringer ve Suich'in (1980) önerdiği çekicilik (desirability, istenilen hedefe ulaşma) fonksiyonu yaklaşımlarıdır. Bu fonksiyon önerileri arasında çekicilik fonksiyonu göreceli olarak kolay anlaşılabilir ve kolay kurulabilir bir yapıya sahiptir. Çözülmesi için uygun yazılımlar bulunmaktadır ve her bir yanıtın önem derecesine göre ağırlıklandırılmasını sağlayacak esnekliğe sahiptir (Ortiz vd., 2004: 433).

Tez çalışmasında belirtilen bu özelliklerden dolayı çok yanıtli en iyileme probleminin çözümü için çoklu yanıtları tek fonksiyonla ifade etme yaklaşımı belirlenmiş ve bu fonksiyonlar içinde de sağladığı avantajlardan dolayı çekicilik fonksiyonunun kullanılması tercih edilmiştir. Bu fonksiyonun kullanılmasının diğer bir nedeni çok yanıtli deney tasarımında başarılı örneklerin bulunması ve Taguchi *SN* oranları ile birlikte çözüme olanak sağlamasıdır. Bu şekilde çok yanıtli üretim parametrelerinin bulunması probleminde güçlü tasarım amacına uygun çözüm elde edilebilecektir.

Bu çalışmada kullanılması düşünülen ve deney tasarımı uygulamalarında sıkça kullanılan bir yazılım olan Design-Expert® programında, çok yanıtlı problemlerin çözümü için en iyileme modülü olarak çekicilik fonksiyonuna yer verilmektedir. Program, çekicilik fonksiyonu ile en iyilemeyi sağlamak için doğrusal olmayan programlama ve Nelder-Mead Simpleks algoritmasını kullanmaktadır (Stat-Ease, 35).

İzleyen başlıklarda çekicilik fonksiyonunun ve Nelder-Mead Simpleks En İyileme Algoritmasının tanıtımı yapılmaktadır.

3.2 ÇEKİCİLİK FONKSİYONU

Çekicilik fonksiyonun ilkesi; tüm yanıtların, boyutsuz çekicilik skalasını içeren “çekicilik fonksiyonu” olarak tanımlanan tek bir fonksiyon altında toplanmasını ve bu fonksiyonun istenen sonuçları verecek şekilde en büyütlenmesidir. Farklı skalaya sahip yanıtların birlikte incelenebilmesi, yanıtların tek bir fonksiyona kolayca dönüştürülebilmesi ve nicel ve nitel yanıtların kullanılabilmesi bu yöntemin önemli avantajları arasındadır (Koç ve Ertekin, 2010: 5).

İlk olarak Harrington (1965) tarafından geliştirilen, daha sonra Derringer ve Suich (1980) tarafından türevlenemeyen noktalar içeren farklı bir versiyonu önerilen çekicilik fonksiyonu yaklaşımı en yaygın kullanılan çok yanıtlı en iyileme tekniklerinden birisidir. Derringer ve Suich (1980), doğrusal bireysel çekicilik fonksiyonlarının geometrik ortalaması alınarak elde edilen genel (overall) çekicilik fonksiyonun, türev bilgisi gerektirmeyen tek değişkenli arama teknikleri kullanılarak en iyilenebileceğini göstermiştir (Akteke Öztürk vd., 2009: 1).

Çekicilik fonksiyonunun kullanım ile çözümlenmeye çalışılacak olan k yanıt değişkeninin ilişkili olduğu p bağımsız değişkenin bulunduğu çok yanıtlı en iyileme problemi denklem (3-1) ile gösterilmektedir (Derringer ve Suich, 1980: 215):

$$y_{ij} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_p) + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, k$$
$$j = 1, 2, \dots, n \quad (3-1)$$

Burada f_i , y_i ve x_1, x_2, Λ, x_p arasındaki fonksiyonel ilişkidir ve her bir y_i için farklı yapıda olabilir. Her bir i için $E(\varepsilon_{ij}) = 0$ genel varsayımı yapılırsa ortalama veya beklenen yanıtlar olan η_i 'nin p adet bağımsız değişken ile ilişkisi,

$$\eta_i = f_i(x_1, x_2, \Lambda, x_p) \quad i = 1, 2, \Lambda, k \quad (3-2)$$

şeklinde gösterilebilir. Genellikle f_i fonksiyonel ilişkisi tam olarak bilinmemekle beraber polinomiyal fonksiyon olarak değerlendirilmektedir. η_i tahmini de \hat{y}_i tahminleyicisi ile gerçekleştirilmektedir (Derringer ve Suich, 1980: 215).

Çekicilik fonksiyonundaki temel yaklaşım ise her bir tahminlenmiş yanıt değişkeni \hat{y}_i 'yi, matematik bir dönüşüm ile (transformasyon) bireysel çekicilik değeri d_i 'ye dönüştürmektir. Burada bireysel çekicilik değeri $0 \leq d_i \leq 1$ aralığındadır. Söz konusu yanıtın (y_i) çekiciliği arttığında karşılık geldiği bireysel çekicilik değeri d_i 'de artmaktadır d_i bireysel değerlerinin kullanılmasıyla elde edilecek genel çekicilik değerinin en büyüklenmesi hedeflenmekte ve tek yanıtlı problem dönüşümü sağlanmaktadır (Del Castillo vd. 1996: 340; Özler ve Şenyay, 1998: 102).

Bireysel çekicilik değerlerinin birleştirilmesi geometrik ortalama kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Genel çekicilik değeri eşitlik (3-3)'de verildiği şekilde hesaplanmaktadır (Derringer ve Suich, 1980: 215):

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_k)^{1/k} = \left(\prod_{i=1}^k d_i \right)^{1/k} \quad (3-3)$$

D , $[0,1]$ aralığında bir değer almaktadır ve en büyüklenmeye çalışılmaktadır. Karakteristikler daha iyi seviyelerde olduklarında D 'nin değeri artar. Buna karşın bireysel çekicilik değerleri için kabul edilemez bir durum söz konusu iken $d_i=0$ olduğundan $D=0$ eşitliği de sağlanmaktadır. Bu nedenle genel çekicilik fonksiyonunun elde edilmesinde geometrik ortalamanın alınması önerilmektedir (Özler ve Şenyay, 1998: 102; Aksezer, 2008: 687).

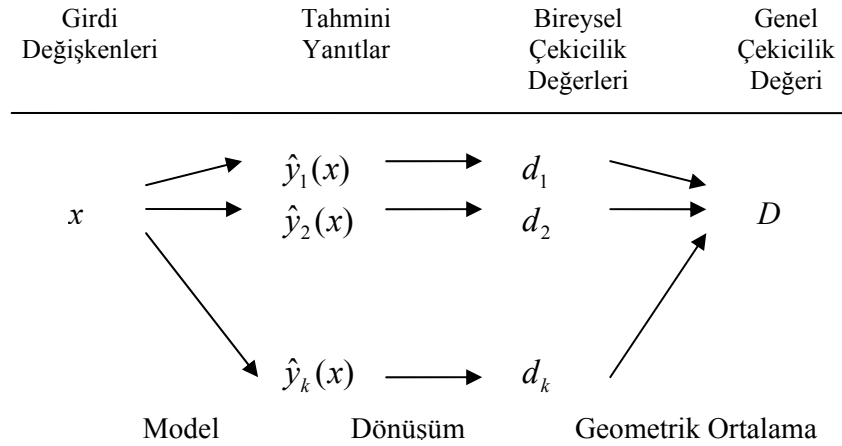
Eğer yanıt değişkenlerinin kendi aralarında önem derecelerinde farklılık bulunuyorsa bu etki genel çekicilik fonksiyonuna eşitlik (3-4)'de verildiği şekilde yansıtılmaktadır (Derringer, 1994: 52; Yoon ve Yum, 2007: 1149):

$$D_i = \left(\prod_{j=1}^m d_{ij}^{w_j} \right)^{1/w} \quad (3-4)$$

Burada $w_j = (> 0)$ ağırlığı j . performans karakteristiği için göreceli önemi sunmaktadır ve

$\sum_{j=1}^m w_j = w$ olmaktadır. Bu şekilde tasarım koşullarını uzlaştıran sonuca erişebilmek için genel çekicilik değeri belirlenebilmektedir.

Çok yanıtlı problemler için genel çekicilik değerinin elde edilme sürecinin işleyişi Şekil 3-1'de verilmektedir (Kim vd., 2009: 6365).



Şekil 3-1 Genel Çekicilik Değerinin Elde Edilişi

3.2.1 Tek Taraflı Dönüşümler

\hat{y}_i 'nin d_i 'ye dönüşümü tek taraflı ve çift taraflı çekicilik dönüşümleri olmak üzere iki ayrı şekilde gerçekleştirilebilir. Tek taraflı durum için \hat{y}_i arttığında d_i de artmaktadır ve \hat{y}_i en büyüklendiğinde $d_i=1$ olmaktadır. Tek taraflı durumlar için

eşitlik (3-5)'de verilmekte olan dönüşüm kullanılmaktadır (Özler, 1997: 150; Derringer ve Suich, 1980: 215):

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i \leq y_i^* \\ \left(\frac{\hat{y}_i - y_i^*}{y_i^* - y_i^*} \right)^r & y_i^* \leq \hat{y}_i \leq y_i^* \\ 1 & \hat{y}_i \geq y_i^* \end{cases} \quad (3-5)$$

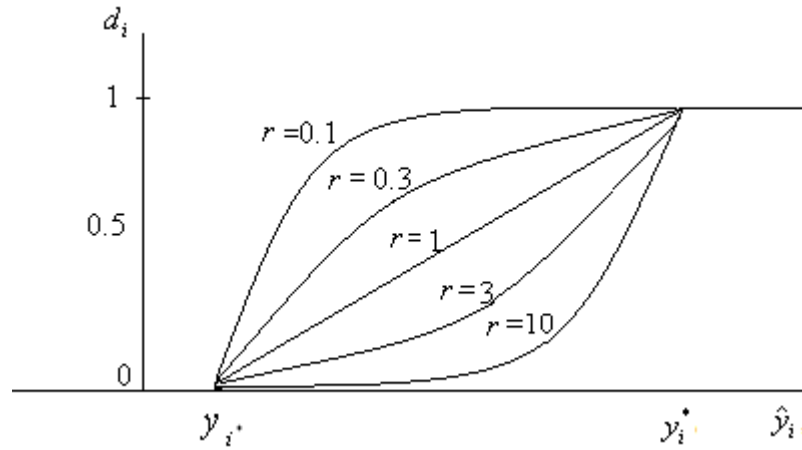
y_i^* değeri \hat{y}_i 'nin en küçük kabul edilebilir değeridir. Uygulayıcı $\hat{y}_i \leq y_i^*$ olduğunda, ürünün kabul edilemez olacağını dikkate alarak y_i^* 'ın değerini belirler. $\hat{y}_i \leq y_i^*$ olduğunda $d_i=0$ ve böylece $D=0$ olmaktadır. Örneğin y_i , bir radyatör hortumunun gerilme kuvveti ise ve $y_i^* = 1500$ psi altındaki bir değer kabul edilemez ise diğer yanıt değişkenlerinin çekicilik değerleri ne kadar yüksek olursa olsun ürün kabul edilemez olacaktır.

y_i^* değeri ise \hat{y}_i 'nin en yüksek değerini vermektedir. Ancak tek taraflı dönüşümler olduğu için \hat{y}_i 'nin en yüksek değeri yoktur. Bununla beraber uygulamalara bakılacak olursa \hat{y}_i için bir y_i^* değeri seçilebilir. Burada y_i^* değerinin aşılması uygulayıcılar açısından fazla bir anlam ifade etmeyebilir. Gerilme kuvveti örneğinde belirlenecek bir y_i^* değeri aşıldığı zaman bu durumun hortum kalitesi üzerinde fazla bir etkisi olmayabilir. Böylece y_i^* aşıldığında çekicilik değeri 1 olarak kalır.

Dönüşümde kullanılan r ağırlık sabiti değeri de uygulayıcı tarafından belirlenebilen hedef değere ulaşmanın ne kadar önemli olduğunu ve bu yanıtın ürünün toplam istenme derecesindeki rolünü belirleyen ağırlık sabitleridir. Şekil 3-2'de verildiği gibi \hat{y}_i 'nin arzu edildiği değere çok yakın olması isteniyorsa, r 'nin büyük bir değerinin seçilmesi gerektiği görülmektedir. Diğer bir deyişle y_i^* ürünün kabul edilmesi için yeterli olsa bile \hat{y}_i 'nin y_i^* 'dan dikkate değer ölçüde büyük olması durumunda, ürünün çekicilik değeri büyük ölçüde artar.

Radyatör hortumu örneğine göre, $y_i^* = 1500$ psi'nin üzerindeki gerilme kuvveti kabul edilebilir olsa bile kalite karakteristiği için karar verici konumda bulunan yönetim 15000 psi'nin çok üzerindeki değerleri isteyebilir. Bu durumda r 'nin derecesi oldukça yüksek bir değeri, örneğin $r=10$ seçilebilir. Görüldüğü gibi, çekicilik derecesi, d_i , \hat{y}_i 'nin artışına göre daha yavaş bir hızla artmaktadır. Bundan dolayı, d_i 'yi ve D 'yi en büyükmek için, \hat{y}_i , y_i^* 'in çok üzerinde olmalıdır. Diğer taraftan \hat{y}_i 'nin y_i^* 'in çok üzerinde olması fazla bir anlam ifade etmiyorsa r için küçük bir değer belirlenebilir. Örneğin $r=0.1$, y_i^* 'in üzerindeki herhangi bir \hat{y}_i değerinin, y_i^* 'in üzerindeki diğer başka \hat{y}_i 'lerle hemen hemen aynı çekicilik derecesinde olduğu anlamına gelmektedir (Özler, 1997: 151, Derringer ve Suich, 1980: 215, Koç ve Ertekin, 2010: 5).

Tek taraflı dönüşümlerde bireysel çekicilik fonksiyonu d_i 'nin farklı r değerleri için grafiği Şekil 3-2'de verilmektedir (Derringer ve Suich, 1980: 215).



Şekil 3-2 Tek taraflı Dönüşüm

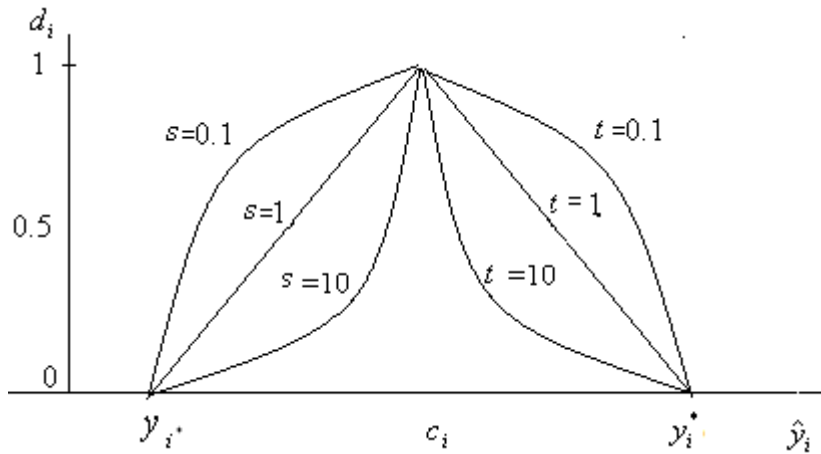
3.2.2 Çift Taraflı Dönüşümler

Çift taraflı dönüşümler yanıt değişkeninin (y_i), hem en küçük hem de en büyük kısıtına sahip olduğu durumda ortaya çıkar. Çift taraflı dönüşümlere ilişkin bireysel çekicilik fonksiyonu eşitlik (3-6)'da verilmektedir (Özler, 1999: 114, Derringer ve Suich, 1980: 216):

$$d_i = \begin{cases} \left(\frac{\hat{y}_i - y_{i^*}}{c_i - y_{i^*}} \right)^s & y_{i^*} \leq \hat{y}_i \leq c_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i - y_{i^*}}{c_i - y_{i^*}} \right)^t & c_i \leq \hat{y}_i \leq y_i^* \\ 0 & \hat{y}_i < y_{i^*} \text{ veya } \hat{y}_i \geq y_i^* \end{cases} \quad (3-6)$$

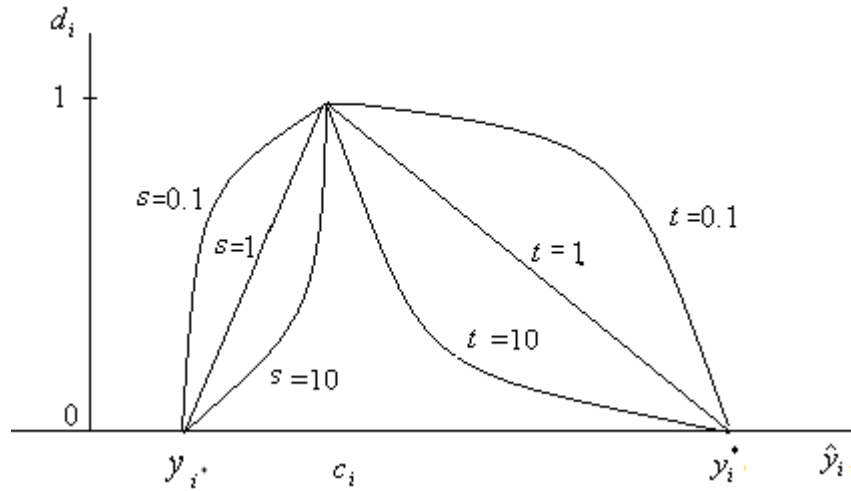
Burada y_{i^*} , \hat{y}_i 'in en küçük kabul edilebilir değeri (alt tolerans limiti) ve y_i^* , en büyük kabul edilebilir değeridir (üst tolerans limiti). Bu sınırların dışındaki \hat{y}_i değerleri ürünü kabul edilemez duruma getirmektedir. c_i için seçilen değer, \hat{y}_i için en çok istenen değerdir (hedef değer) ve y_{i^*} ile y_i^* arasındadır. s ve t ağırlık değerleri, tek taraflı dönüşümdeki r ile aynı rolü oynamaktadır (Özler, 1999: 114; Derringer ve Suich, 1980: 216).

Çift taraflı dönüşümlerde s ve t değerlerine göre farklılaşan eğrilere ilişkin grafik Şekil 3-3'de verilmektedir (Chen, 2008: 90). Burada $s=t=1$ iken çekicilik fonksiyonu doğrusal, $s < 1$, $t < 1$ değerleri için dışbükey, $s > 1$, $t > 1$ için ise içbükey bir yapıya sahip olmaktadır (Aksezer, 2008: 687).



Şekil 3-3 Çift Taraflı Dönüşüm

Çift taraflı dönüşümlerde dönüşüm grafiği her zaman simetrik bir yapıda olmayabilir. Örnek olarak Şekil 3-4'de verilmekte olan c_i hedef değeri, y_{i^*} ile y_i^* arasındaki uzaklığın ilk %25'lik kısmında seçilmiştir. Bu şekle göre \hat{y}_i 'nin c_i 'ye çok yakın olması isteniyorsa s ve t 'nin büyük değerleri seçilmelidir. Bu durumda çekicilik derecesi d_i , \hat{y}_i , c_i 'ye çok yakın olmadıkça, fazla büyük olmayacaktır. Ayrıca, \hat{y}_i 'nin y_{i^*} ve y_i^* arasındaki bütün değerleri hemen hemen aynı derecede kabul edilebilir ise s ve t 'nin küçük değerleri seçilebilir. s ve t 'nin 1 civarındaki değerleri, yukarıda bahsedilen bu iki aşırı durum arasında bir uzlaşmayı temsil etmektedir. Ayrıca \hat{y}_i 'nin c_i 'ye doğru hızla artması arzu edildiği halde, \hat{y}_i 'nin c_i 'nin üzerinde ancak y_i^* 'in altındaki herhangi bir değeri kabul edilebilir ise, s 'nin büyük bir değeri, bunun yanında t 'nin küçük bir değeri seçilebilir (Özler, 1999: 114; Derringer ve Suich, 1980: 216):



Şekil 3-4 Değişik s ve t Değerleri İçin Dönüşüm

3.2.3 Çekicilik Fonksiyonunun En İyilenmesi

Çok yanıtlı probleminin genel çekicilik fonksiyonuna dönüştürülüp bu fonksiyonun en büyük değerini verecek çözümün bulunması için ceza fonksiyonu yaklaşımı (penalty function approach) ve doğrusal olmayan programlama kullanılmaktadır. Bu yaklaşıma göre; D genel çekicilik fonksiyonu ve $g(x)$ ceza fonksiyonu, $D^*(X)$ toplam (total) çekicilik fonksiyonu ile ilişkilendirilmektedir.

Burada $i=1,2,\dots,k$ yanıt için \hat{y}_i, y_i^*, y_i^* alt ve üst sınır değerleri dikkate alınıp bu sınırların aşılma derecesine göre denklem (3-7)'de verilmekte olan ceza fonksiyonu oluşturulmaktadır:

$$g_i(x) = \begin{cases} y_i^* - \hat{y}_i & \hat{y}_i \leq y_i^* \\ 0 & y_i^* \leq \hat{y}_i \leq y_i^* \\ \hat{y}_i - y_i^* & \hat{y}_i \geq y_i^* \end{cases} \quad (3-7)$$

k yanıt için bu sistem ceza fonksiyonu yaklaşımıyla kısıtsiz problem olarak çözülmektedir:

$$D^*(X) = D - p \sum g_i(x) \text{ iken;}$$

$$\text{en büyük } D^*(X) \quad (3-8)$$

Burada p değeri ceza parametresidir ve $i=1,2,\dots, k$ için $p>0$ olmaktadır. $D^*(X)$ fonksiyonunun en büyük değerini veren çözümün bulunması için Nelder-Mead simpleks çok boyutlu desen arama algoritmasıyla durağan bir noktaya yakınsamaya çalışılmaktadır. Başlangıç uygun çözümün bulunması için ceza parametresi 1 den başlamakta ve her bir iterasyonda artış göstermektedir. Araştırma başlangıç yakınsama noktasının etrafında daha büyük bir ceza fonksiyonu ile yeniden başlatılmaktadır. Design-Expert programının kullanımında, arama hareket edilen aralık ya da amaç fonksiyonundaki değişim 10^{-6} oranından küçük olana kadar sürdürülmektedir. (Design-Expert 6 User's Guide: 12; Ariza vd., 2005: 24; Ortiz vd., 2004: 435; Noorossana vd., 2009: 1232).

3.3 NELDER-MEAD SİMPLİKS ENİYİLEME YÖNTEMİ

3.3.1 Simpleks En İyileme Yöntemi

Doğrusal olmayan programlama problemi f , g_j ve h_j fonksiyonları diferansiyellenebilir olmak üzere;

$$\min f(x), \quad x = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in E^n$$

Kısıtlar

$$h_j(x) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$g_j(x) \geq 0 \quad j = m + 1, \dots, p \quad (3-9)$$

şeklinde gösterilmektedir.

Amaç, m tane $h_j(x)=0$ ve $(p-m)$ tane $g_j(x) \geq 0$ eşitsizlik kümesini sağlayan bütün sayılar kümesi arasından $f(x)$ 'e en küçük değerini veren $[x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*]$ noktasını belirlemektir. Burada, eşitlik kısıtlarının sayısı m , değişken sayısı n 'den küçük olmalıdır (Özdemir, 1979: 1).

Burada $f(x)$ "hedef fonksiyonu", g ve h fonksiyonları ise kısıtlama olarak adlandırılır. Genel olarak, en iyileme yöntemleri, x değişken vektörünün elemanlarını, hedef fonksiyonunda istenen değişikliği sağlayacak yönde değiştirmek yoluyla sonuca ulaşırlar. F fonksiyonu tüm λ (0,1) değerleri için denklem (3-10)'u sağlıyorsa konveks yapıdadır. Fonksiyonların dışbükey yapıda olması durumunda, değer azalışının yönü türevle kolaylıkla tespit edilebilir, çünkü fonksiyonun sadece bir en küçük ya da en büyük değeri bulunmaktadır.

$$F(\lambda x_i + (1 - \lambda)x_j) \leq \lambda F(x_i) + (1 - \lambda)F(x_j) \quad (3-10)$$

Öte yandan problem birden fazla en küçük değere sahip, dışbükey olmayan bir yapıda ise başlangıç noktasına bağlı olarak türev işlemi ile bu en küçük noktalardan herhangi birine ulaşılabilir ve bu nokta fonksiyonun yerel en küçük noktası olabilir. Dolayısıyla gradyana dayalı klasik yöntemler bu yapıdaki problemlerin çözümü için uygun olmayacaktır. Bir problemin matematik

formülasyonunun yapılamadığı, çözümün klasik yöntemlerle zor veya olanaksız olduğu durumlarda, en iyileme probleminin çözümü için, hedef ve sınır fonksiyonlarının belirli bir noktada aldıkları değer haricinde herhangi bir analitik bilgiye ihtiyaç duymayan ve direkt arama yöntemleri olarak adlandırılan yöntemler kullanılır. Hooke-Jeeve, Rosenbrock, Nelder-Mead Simpleks yöntemleri, yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Şimşek ve Mergen, 2009: 1).

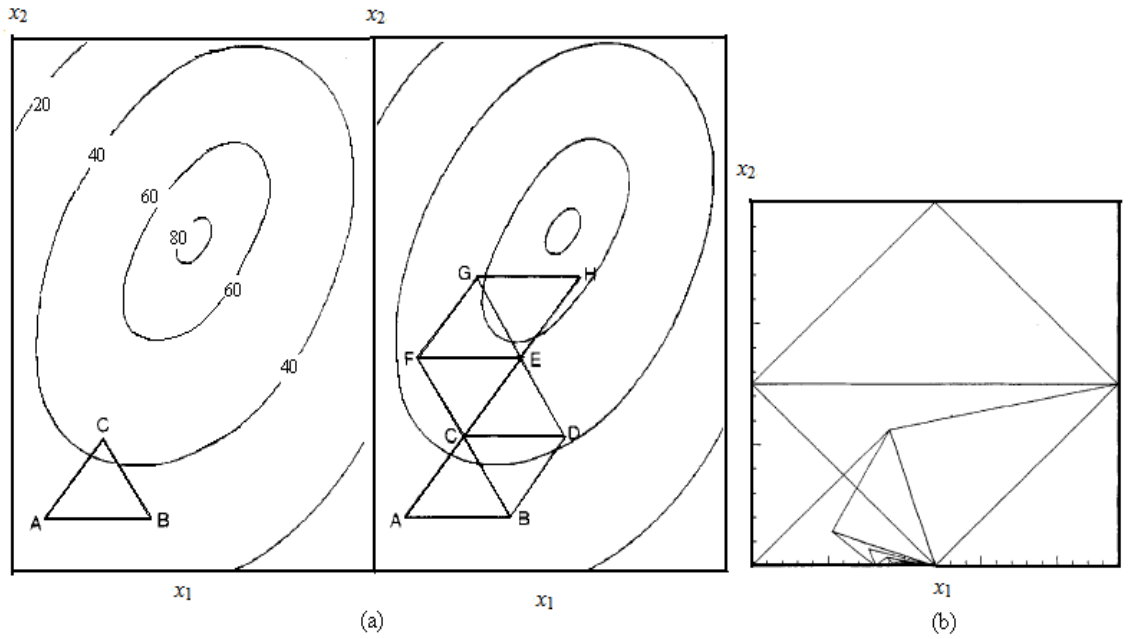
Simpleks yöntemi direkt bir arama algoritması olup, sistemlerin gradyan bilgilerine dayanmayıp, geometrik yaklaşımlara dayanmaktadır. Bu özelliği sayesinde yöntem yüksek dereceli doğrusal olmayan çok-giriş çok-çıkışlı sistemlere uygulanabilir ve sistemin transfer fonksiyonuna veya matematik modeline ihtiyaç duyulmaz. Dolayısıyla yöntem, çoklu değişkenlerden oluşan bir hedef fonksiyonuna ait yerel en küçük noktalarının bulunmasında kolaylıkla kullanılabilir (Vural vd., 2009: 3).

Simpleks yöntemi Spendley, Hext ve Himsworth (1962) tarafından en iyileme bölgesinde sıralı olarak hareket etmede alternatif bir yöntem olarak geliştirilmiştir. Spendley ve diğerleri bu yöntemi üretim süreçlerinde yanıt değerlerinde var olabilecek hatalardan dolayı en hızlı çıkış (steepest ascent) yöntemindeki parametrik varsayımlarda bulunan hatasız fonksiyon varsayımına karşı alternatif olarak kullanımını önermişlerdir (Larsen, 1997: 24). Spendley vd. yönteminde hareketler orijinal üçgenin şeklinde devam ettiği için sert (rigid) biçimde gerçekleşmektedir. Bu nedenle Nelder ve Mead yöntemde değişiklik önermişlerdir (Larsen, 1997: 26).

3.3.2 Nelder-Mead Simpleks Arama Algoritması

Simpleks, köşeleri $n+1$ tane olan bir küme tarafından tanımlanan geometrik bir şekildir. Simpleks yöntemi süreçte n faktör bulunuyorsa $n+1$ nokta (vertice) arasında hareket etmeye (flipping) dayanmaktadır. İki boyutlu simpleks bir üçgen iken üç boyutlu simpleks ise dörtyüzlü (tetrahedron) olmaktadır. Eğer simpleks bir üçgen ise problem, fonksiyon değerlerini bir üçgenin üç köşesi için karşılaştıran bir örüntü arama problemi olmaktadır. Fonksiyon değerinin en kötü olduğu köşe noktası çıkarılmakta ve yeni bir köşe noktası ile değiştirilmektedir. Bu sayede yeni bir üçgen oluşturulmakta ve fonksiyon değeri daha küçük olan noktalar için aramaya devam

etmektedir. Bu süreç köşe değerleri git gide küçülen bir dizi üçgen oluşturmaktadır. Oluşan yeni üçgenlerin alanları küçülmekte ve en küçük noktanın koordinatları ortaya çıkmaktadır (Vural vd, 2009: 3; Larsen, 1997: 26; Fletcher, 2000: 17). Üçgenlerin daha iyi bir noktaya yaklaşımına ilişkin iki değişkenli bir örnek Şekil 3-5'in (a) seçeneğinde ve adımlar boyunca küçülmesine ilişkin örnekte (b) seçeneğinde verilmektedir (Chubb, 1980: 2316; Wang, 1993: 151):



Şekil 3-5 Nelder-Mead Algoritması İlerleyişi

Algoritmanın işleyişine ilişkin adımlar aşağıda sunulmaktadır (Nelder ve Mead, 1965: 308; Karadağ, 2003: 110; Barton ve Ivey, 1996: 957):

Adım 1: Başlangıç

Başlangıç olarak kısıtları olmayan n değişkenli bir fonksiyonun en küçüklmesine çalışılsın. x_0, x_1, \dots, x_n ile gösterilen $(n+1)$ nokta n boyutlu uzayda simpleks (simplex) oluşturmaktadır. Simpleksin boyutu a ise, başlangıç simpleksin her bir noktası (vertex) denklem (3-11)'de verildiği şekilde bulunmaktadır:

$$p = \frac{a}{n\sqrt{2}}(\sqrt{n+1} + n - 1) \quad (3-11)$$

$$q = \frac{a}{n\sqrt{2}}(\sqrt{n+1} - 1)$$

Burada x_0 , n parametrenin başlangıç değeridir, e_i ise birim vektörü oluşturmaktadır. $i=1, 2, \dots, n+1$ için simpleksin her bir x_i noktasının $F(x_i)$ değeri belirlenir.

Adım 2: Yeni İterasyon

Her iterasyonun başlangıcında en iyi (x_b), ikinci en iyi (x_s) ve en kötü (x_w) noktaları ve bunların fonksiyon değerleri F_b, F_s, F_w belirlenir.

Adım 3: Yansıma

x_w haricinde diğer noktaları birleştiren cendroid (\bar{x}) bulunur.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3-12)$$

Burada x_1, \dots, x_n ; x_w 'den daha düşük amaç değerine sahip olan noktaları ifade etmektedir. \bar{x} boyunca x_w noktasının yansıtılmasıyla (reflecting) x_r noktası belirlenir. Yansıma işlemi α yansıma katsayısının kullanılmasıyla aşağıda verilen eşitliğe göre yapılmaktadır ($\alpha < 0$):

$$x_r = (1 + \alpha)\bar{x} - \alpha x_w \quad (3-13)$$

Adım 4a: Yansımanın Kabulü

Eğer $F_b \leq F_r \leq F_s$ ise x_r, x_w ile yer değiştirir ve Adım 6'ya geçilir.

Adım 4a: Genişleme

Eğer $F_r < F_b$ ise yansıma genişletilir (expansion). Bu şekilde aynı yönde arama yaparak daha iyi bir sonuç elde edilmeye çalışılır. Genişleme noktası da denklem (3-14)'te verilmekte olan eşitlikle bulunur:

$$x_e = \gamma x_r + (1 - \gamma)\bar{x} \quad (3-14)$$

Burada γ genişleme katsayısıdır ve ($\gamma > 1$) olmaktadır. Eğer $F_e < F_b$ ise x_e, x_w ile yer değiştirir. Aksi durumda genişleme reddedilir ve x_r, x_w ile yer değiştirir. Adım 6'ya geçilir.

Adım 4c: Küçülme

Eğer $F_r > F_s$ ise simpleks küçültülür. Eğer $F_r \leq F_w$ ise küçülme öncesinde x_r ile x_w yer değiştirir. β ($0 < \beta < 1$) küçülme katsayısı iken küçülme noktası denklem (3-15)'te verilen eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır:

$$x_c = \beta x_w + (1 - \beta)\bar{x} \quad (3-15)$$

Eğer $F_c \leq F_w$ ise, küçülme kabul edilir ve w_c ile x_w yer değiştirir Adım 6'ya geçilir. Aksi durumda ($F_c > F_w$) ise küçülmeden vazgeçilir ve Adım 5'e geçilir.

Adım 5: Daraltma

Bu aşamada bütün simpleks sadece x_b noktasının kalacağı şekilde, daraltma (shrink) katsayısının δ ($0 < \delta < 1$) kullanımıyla daraltılır. Daraltma simpleksteki diğer tüm noktanın yer değiştirmesiyle gerçekleştirilir.

$$x_i \leftarrow \delta x_i + (1 - \delta)x_b \quad (3-16)$$

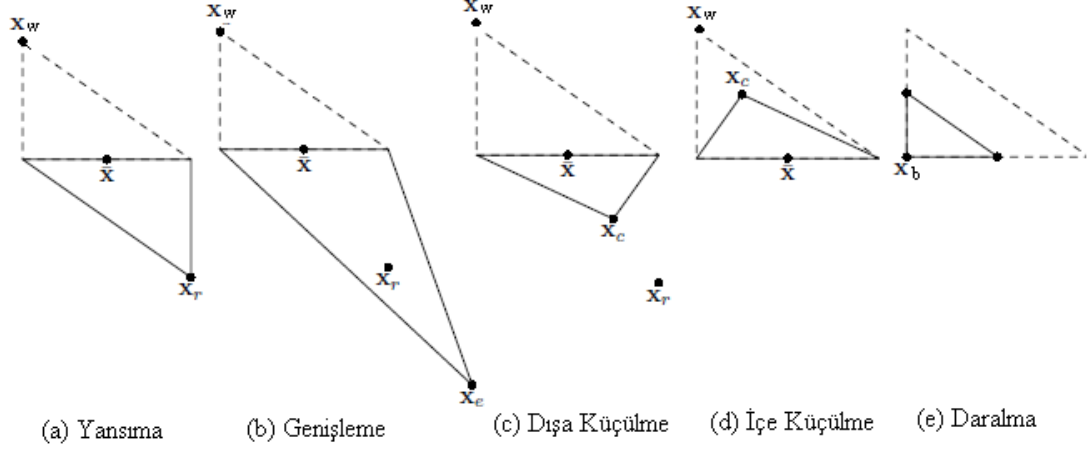
Simpleksin oluşan yeni noktaları için yanıt fonksiyonu $F(x_i)$ değerleri belirlenir.

Adım 6: Durma Kriteri

Durma kriteri sağlanıyorsa ve x_b ile F_b değerleri elde edilir, aksi durumda Adım 2'ye dönülür. Nelder ve Mead durma kriteri olarak $\alpha=1$, $\gamma=2$, $\beta=0,5$ ve $\delta=0.5$ değerlerini kullanmaktadır. Durma kriteri olarak tüm $n+1$ uç noktanın amaç fonksiyonunu değerinin standart sapması hesaplanır ve standart sapma S_f , 10^{-8} 'in altında ise durulur. S_f değeri denklem (3-17) de verildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$$Sf = \left(\sum_{i=1}^{n+1} (f(x_i) - \bar{f})^2 / (n+1) \right)^{1/2}$$
$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} f(x_i)}{n+1} \quad (3-17)$$

Şekil 3-6'da Nelder-Mead Simpleks Algoritmasında kullanılan adımlar verilmektedir (Lagarias vd., 1998: 117):



Şekil 3-6 Nelder-Mead Algoritması Adımları

3.4 TAGUCHİ GÜÇLÜ TASARIMINDA ÇEKİCİLİK FONKSİYONU

Taguchi uygulamaların çoğu tek yanıt problemleri en iyileme amacı üzerine kurulmuştur. Buna karşın ürün tasarımının artan karmaşıklığı nedeniyle, ürün kalitesini artırmak için en azından iki kalite karakteristiğinin eşzamanlı en iyilenmesi gereksinimi duyulmaya başlanmıştır. Ancak en iyi parametre düzeylerinin her yanıt için farklılık göstermesi ve bu yanıtlar arasında olabilecek ilişki durumu problemi karmaşık hale getirmektedir (Houng vd. 2003: 240).

Taguchi çok yanıtlı parametre tasarımı probleminin çözümüne yönelik önerilen yeni bir yaklaşım çekicilik fonksiyonunun kullanımınıdır. Bu konuda yapılan incelemelere örnek olarak aşağıdaki çalışmalar verilebilmektedir.

Houng vd. (2003), ekme mayası reaksiyon koşullarını belirleme çalıştığı iki kalite karakteristikli çalışmasında iki ayrı fonksiyonu tek çekicilik fonksiyonu ile birleştirmiş, ürünün güçlü tasarımı için toplam çekicilik değerine göre parametre düzeyleri önermiştir (Houng vd., 2003: 241).

Yapılan bir diğer çalışmada ise Hsieh vd. (2005) etil asetoasetat sürecinin biyolojik indirgenmesine ilişkin değişkenlik ve duyarlılık yanıtlarını çekicilik fonksiyonu en iyilemeye çalışmış, farklı önem derecelerinin de değerlendirilebileceği bir yaklaşım önererek subjektif yargılara bağlı olarak kullanılan ağırlıklandırılmış yöntemlere bir alternatif geliştirmiştir (Hsieh vd., 2005: 570).

Chakraborty ve Bordoloi (2006) iki karakteristikli bilgisayarlı görüntü sistemleri üzerine yaptıkları çalışmada toplam kayıp fonksiyonu yaklaşımı ile çekicilik fonksiyonu yaklaşımını birlikte kullanmışlar aynı sonuçları elde etmişlerdir (Chakraborty ve Bordoloi, 2006: 577).

Ayrıca, Sait vd. (2009), cam elyaf takviyeli plastik borular için makine parametrelerinin çekicilik fonksiyonu ile en iyilenmesi için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Üç ayrı kalite karakteristiğini değerlendirmişler ve toplam çekicilik fonksiyonu değerlerinden hareketle en iyi parametre düzeylerini belirlemeye çalışmışlardır (Sait vd., 2009: 581).

Bir güçlü tasarım probleminde m kalite karakteristiğinin ve n kontrol faktörü, r gürültü faktörü düzey kombinasyonlarının bulunduğu varsayalım. Burada y_{ijk} ($i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,m$; $k=1,2,\dots,r$) notasyonu i . faktör düzey kombinasyonu, k . gürültü düzey kombinasyonunu içeren j .ninci yanıt değerini ifade eder. Çekicilik fonksiyonunda performans ölçütü olarak SN oranı kullanıldığında ve i değeri deney koşulu sayısına karşılık geldiğinde çekicilik fonksiyonunda y_j olarak ifade edilen yanıt ifadesi SN_j notasyonu ile gösterilmektedir (Byun ve Kim, 1998: 292). SN oranlarının çekicilik fonksiyonuna dönüştürülmesi ise denklem (3-18)'de verildiği şekilde olmaktadır (Yoon ve Yum, 2007: 1149):

$$d_{ij} = \begin{cases} 0 & SN_{ij} \leq SN_j^L \\ \left(\frac{SN_{ij} - SN_j^L}{SN_j^H - SN_j^L} \right)^t & SN_j^L \leq SN_{ij} \leq SN_j^H \\ 1 & SN_{ij} \geq SN_j^H \end{cases} \quad (3-18)$$

$$SN_j^H = enb \{ SN_{ij} \}_{1 \leq i \leq n}$$

$$SN_j^L = enk \{ SN_{ij} \}_{1 \leq i \leq n}$$

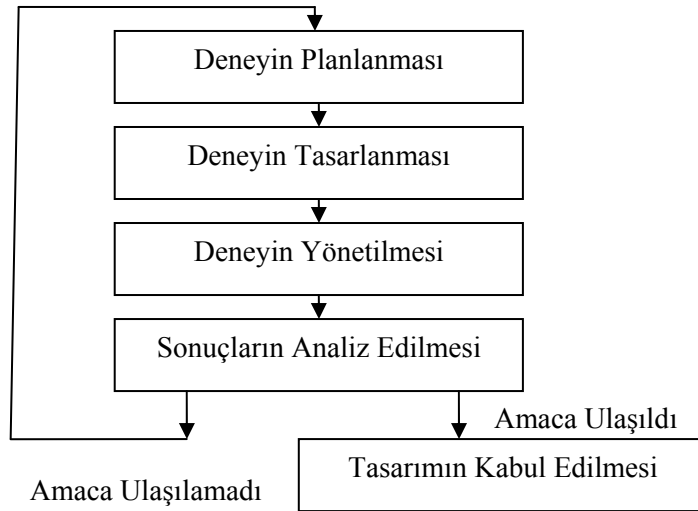
3.5 ÇOK YANITLI GÜÇLÜ TASARIM UYGULAMA ADIMLARI

Başarılı bir şekilde deneyi gerçekleştirmek, iyi organize edilmiş ve yönetilmiş çabalarla yeniden üretilebilir sonuçlar elde etmek için dikkatli bir şekilde hazırlanmış ve yönetilmiş bir planın olması gereklidir. Bir deneyin gerçekleştirilmesi için dört ana aşama bulunmaktadır (Peace; 1993: 10, 14):

1. Deneyin planlanması,
2. Deneyin tasarlanması,
3. Deneyin yönetilmesi,
4. Deneyin analiz edilmesi.

Bu planlama (planning), tasarlama (designing), yönetme (conducting) ve analiz etme (analyzing) aşamaları PTYA (PDCA) çevrimi ile adlandırılabilir (Peace; 1993: 10, 14).

Eğer bu aşamalardan sonra amaçlara ulaşılmış ise elde edilen sonuçlar uygulamaya konmaktadır. Eğer tam olarak istenen sonuç elde edilememişse bir takım değişiklikler yapılarak denemelere devam edilmektedir. Güçlü tasarımın uygulama aşamaları ve PTYA çevrimi Şekil 3-7 şemada verilmektedir.



Şekil 3-7 Çok Yanıtlı Güçlü Tasarım Uygulama Aşamaları

3.5.1 Deneyin Planlanması

Deney tasarımı çalışmaları sırasında planlama aşamasına yeterli derecede önem verilmezse başarısızlığa uğrama olasılığı yüksek olmaktadır. Bunun nedeni çoğu zaman yöneticilerin hızlı sonuç elde etmek için acele etmeleri, planlama aşamasına yeterli vakit ayırmak istememeleridir. Özellikle üretimin izin verdiği ölçüde deneylerin çizelgelenmesi durumunda deneyin boyutunu daraltma amacıyla az sayıda faktör belirlenmekte ve potansiyel olarak önemli diğer faktörler göz ardı edilmektedir. Ne yazık ki bu gibi durumlarda yorumlar yeterince duyarlı olmamakta ve önerilen süreç parametre düzeyleri istenen sonuçları vermemektedir (Peace; 1993: 13). Bu tür problemlerle karşılaşılması için planlamanın aşağıdaki aşamalarla gerçekleştirilmesi uygun olacaktır.

3.5.1.1 Ana Amacın Belirlenmesi ve Ekibin Kurulması

Deney tasarımı için öncelikle bu çalışmaya neden gereksinim duyulduğu ve başarıya ulaşmaya çalışılan ana neden (primary goal) belirlenmelidir. Örneğin büyük bir kalite problemi mi çözümlenmek isteniyor, yeni kurulacak üretim hattı için öğrenme eğrisinde hızlanma mı isteniyor belirlenmelidir. Bu soruların yanıtlanmasında ve planlama aşamasının gerçekleştirilmesinde yönetici desteği büyük önem kazanmaktadır. Yönetim desteği sadece gerekli malzemelerin sağlanması ve yeterli işlem sürelerinin verilmesiyle sağlanmamalı aynı zamanda işin yapılışına yönelik deneyim bilgisinin paylaşılmasına da başvurulmalıdır (Peace, 1993: 14).

Aynı zamanda ana amaçta başarılı olabilmek için projeyi yürütecek ekip üyelerinin belirlenmesi için görüşmeler yapılmalıdır. Burada ana amacı sağlamak için genel yönlendirmeyi sağlamalı ve ana amaç spesifik deney hedefleriyle karıştırılmamalıdır. Ana amaca örnek olarak; paketleme sürecindeki artıkların en küçüklenmesi, basınç değeri performansında en büyükleme sağlanması verilebilir. Ana amacın belirlenmesi ve projenin kapsamının tanımlanması kadar olası ekip üyelerinin belirlenmesi de önem kazanmaktadır (Peace, 1993: 16).

Ekipte problemin ilgili olduğu kısımlardan elemanlar (probleme yönelik teknik bilgilere sahip olanlar), deney tasarımcısı ve bu iki gruptaki kişilerden gelecek

yönlendirmeler doğrultusunda deneyleri yapacak elemanlar bulunur. Bunların dışında işlemlerin gerektiği gibi yürütülmesini sağlayacak üst yönetim temsilcisi de ekipte bulunmalıdır. İzleyen aşamalarda işlemler ekipteki elemanlar tarafından yürütülecektir (Çelik, 1993: 70).

3.5.1.2 Kalite Karakteristiğinin Tanımlanması

Deney ekibinin kurulması ve ana amacın belirlenmesinin ardından ekip üyeleri ana kavramlar hakkında bilgilendirilmeli ve hedeflerin (objectives) belirlenmesi için hazırlanmalıdır.

Anlamli hedeflerin geliştirilmesi için deney ekibi bazı araştırmalara gereksinim duyabilmektedir. Geçmiş verilerin yeniden gözden geçirilmesi, özel testlerin yapılması, deneme üretimlerinin gerçekleştirilmesi, ekip amacının kesinleştirilmesinden önce ek bilgiler sağlayabilmektedir. Tüm planlama çalışmaları düzgün ve etkili olarak gerçekleştirilirse, süreç daha iyi anlaşılabilir. (Peace, 1993: 23, 24).

Hedeflerin belirlenmesi, uygun kalite karakteristiğinin tanımlanması ve faktörlerin belirlenmesi amacıyla pareto diyagramları, süreç akış şemaları, neden-sonuç diyagramları (balık kılıcı), beyin fırtınası, hata türü etkileri analizi yöntemleri de kullanılabilir. (İzgiz, 2001: 142; Peace, 1993: 23, 24).

Yapılacak bu analizlerle tüm ekip üyelerinin destekleyebileceği bir şekilde kalite karakteristiği ve hedefler daha net bir şekilde belirlenebilir. Kalite karakteristiğinden sonra ölçüm kriterleri belirlenmeli ve deneyin yapılması için uygun ölçüm sistemleri saptanmalıdır. Ayrıca neyin, ne zaman, nerede, nasıl ve kim tarafından ölçüleceği, uygun test donanımlarının olup olmadığı, deneyin ne kadar duyarlılıkla (sensitivity, resolution) yapılacağı, doğruluk ve tekrar edilebilirlik özelliklerinin sağlanıp sağlanamayacağı, örnek testlerin yapılıp yapılmayacağı da belirlenmelidir (Peace, 1993: 55).

Yapılacak analizlerin de değerlendirilmesiyle belirlenecek kalite karakteristiğinin nicel sürekli değişken olması (örneğin ağırlık, sıcaklık, voltaj gibi değişkenler nitel sıralı değişkenlere göre çok bilgi içeriği sağlayabilmektedir), deney birimi için ilgilenilen kalite ve miktar değerini kapsayabilmesi, hedeflere ve

koşullara uygun olması, tekrarlı ölçümlerin gerçekleştirilmesi için tahribatsız deneyler ile ölçülebilir olması, doğal sınırlara yakın ölçümlerin gerekmemesi (örneğin %99.5 ve %99.8 verimlilik değerlerinin değerlendirilmesi), deney aralığı boyunca sabit varyansa sahip olması sağlanması önerilen özelliklerdendir (Coleman ve Montgomery, 1993: 5).

3.5.1.3 Faktörlerin ve Düzeylerinin Belirlenmesi

Taguchi'ye göre bir ürün ya da süreç çok sayıda faktör ve onların etkileşiminden etkilense de bunların yalnızca birkaçı değişkenliğin önemli bir kısmına neden olmaktadır. Bu düşünce Pareto kuralına benzemektedir. Pareto kuralına göre kalite maliyetlerinin %80'i kalitesizlik nedenlerinin %20'sinin çözülmesi ile azaltılabilmektedir. Taguchi benzer şekilde süreç performansını etkileyecek en önemli değişkenleri belirleyerek deney sayısını minimize etmeyi amaçlamış ve az sayıda deney yapılsa bile süreç hakkında anlamlı bilgilerin elde edilebileceğini savunmuştur (Kumar vd., 1996: 87).

Süreç ya da ürün üzerinde en önemli olan faktör ve düzeyleri belirlenirken aşağıdaki aşamalar izlenebilmektedir:

1. İlgili faktörlerin listelenmesi: Neden-sonuç ve akış diyagramlarının incelenmesi sonucu yapılacak beyin fırtınası ile ele alınacak faktörler listelenmelidir.
2. Listelenen faktörlerin gözden geçirilmesi: Yapılacak görüş bildirimleri ve oylama teknikleri ile faktör listesi daraltılmalıdır.
3. Faktörlerin sınıflandırılması: Ele alınacak faktörler kontrol faktörleri ve gürültü faktörleri olarak sınıflanmalıdır.
4. Faktör düzeylerinin belirlenmesi: Bir faktörün düzey sayısının belirlenmesinde faktörün kesikli (discrete) veya sürekli (continuous) ölçülebilir faktör oluşu önem kazanmaktadır. Kesikli faktörlerde uygun düzey sayısı faktör yapısının anlaşılmasıyla ve deney hedefiyle açığa kavuşmaktadır. Sürekli ölçülen faktörlerde ise deney hedefi yol gösterici olmakta ancak ek yorum gerektirmektedir (Peace, 1993: 80). Örneğin

sıcaklık, hız, basınç, süre gibi parametreler için düşük değerden yüksek değere doğru bir skala kullanılabilirken; A, B, C gibi üç malzeme kullanılacaksa bunların her bir düzeyde tek tek yer alması gerekecektir (Ross, 1988: 74).

Olası etkileri mümkün olduğunca yakalamak için faktör düzeyleri uç değerler arasından seçilmelidir. Bunun için deney aralıkları belirlenmeden önce geçmiş veriler gözden geçirilerek parametrelerin ve çevre koşullarının uç değerleri dikkate alınmalıdır (Anderson ve Kraber, 2003: 53). Eğer deneyin hedefi açıklayıcı ise bir faktörün önemine karar verebilmek için olası üretim aralıklarının iki uç sınırından oluşan iki düzey yeterli olabilecektir. Özellikle izleme ve kontrol amaçlı yapılan deneylerde iki düzey yeterli olacaktır ancak en iyi faktör değerlerine karar verebilmek için daha derin araştırma yapmak gerekebilmektedir. Eğer getireceği ek maliyet çok önemli olmazsa deney hedeflerini karşılamak için ikiden fazla düzey kullanılacak olursa doğrusal olmayan yapı değerlendirilebilecek ve daha iyi düzeylerin belirlenebilmesini sağlayacaktır (Peace, 1993: 80).

Her bir kontrol faktörü için düzey sayısının belirlenmesi kadar düzey değerleri arasındaki uzaklık da önemlidir. Düzeyler arasındaki fark kalite karakteristiğinde fark yaratacak kadar geniş olmalıdır, aksi durumda performansı etkileyen bir kontrol faktörü önemsiz sayılarak tasarım dışında tutulabilir. Ayrıca tasarım parametre düzeylerinin belirlenmesinde fiziki sınırlamalara dikkat edilmelidir. Düzey değerlerinin biri çok düşük diğeri de çok yüksek tutulursa ürünün kalitesiz olması kaçınılmazdır. Bu durumda hammadde ve zaman boşa harcanırken çok az bilgi elde edilmiş olur (Kağncıoğlu, 1998: 117).

Kontrol edilemeyen faktörlerin çok fazla olduğu ve deney esnasında kontrollerinin çok zor olduğu durumlarda deneyde incelenecek kontrol edilemeyen faktörler matrisini oluşturmak genellikle mümkün değildir. Böyle durumlarda, ilgili deneysel birleşimde belirli sayıda tekrar yapmak izlenecek en pratik yoldur (Çelik, 1993: 73).

5. Potansiyel etkileşimlerin tanımlanması: Kalite karakteristikleri üzerinde asıl etkilerin yanı sıra bileşik etkiler de önemli olabilir. Oysa Taguchi kalite karakteristiklerinin seçiminde bileşik etkilerin önemsiz kabul edilerek deneye alınmayabileceğini vurgulamaktadır. Taguchi'ye göre bir bileşik etkiyi elde edebilmek için iki tane asıl etkiyi kontrol edebilmek gerektiğinden bileşik etkiler ihmal edilebilir. Ancak deney tasarımcısının o bileşik etkilerin önemli olduğunu düşündüğü durumlarda olanaklar çerçevesinde bileşik etkilerin deneye dahil edilmesinin uygun olduğu düşünülmektedir (Çelik, 1993: 73; Ross, 1988: 83).

3.5.1.4 Deney Stratejisinin Belirlenmesi

Deney ekibi; ele alınacak faktör sayılarını, tüm olası düzey kombinasyonlarını, ayrılabilir süreleri, deney maliyetini dikkate alarak uygun deney tasarımına karar vermelidir. Eğer çok sayıda faktör bulunuyorsa, kesikli faktöriyel tasarımlardan olan ortogonal dizinlerin kullanımı önerilmektedir. Deney ekibi ayrıca, deneysel koşulların istatistik doğruluğu (accuracy) sağlayacağından emin olmalı ve deney sırasının rassallaştırması için kullanılacak yöntemi ve deney tekrar sayısını belirlemelidir (Park, 1996: 63).

Deneysel uygulamalar, makine aşınması gibi zamanla ilgili olası etkilerden kaçınmak için rassal bir sıra izlenmelidir (Anderson ve Kraber, 2003: 53). Deney süresince değişebilen ve deney sonuçlarını etkileyen fakat kontrol edilemeyen faktörlere karşı korunabilmek için deneyin durumuna (yapısına ve özelliğine) göre tam rassallaştırma (complete randomization), basit tekrarlama (simple repetition), bloklar içinde tam rassallaştırma (complete randomization with blocks),...,vb. gibi yöntemlerden uygun olanı kullanılarak rassallaştırma yapılır (Çelik, 1993: 76).

Uygulanacak rassallaştırma türünün seçilmesinde aşağıda verilmekte olan özellikler dikkate alınmaktadır (Ross, 1988: 87; Baynal, 2003: 175):

- Tam rassallaştırma tüm seçeneklerin eşit seçilme hakkına sahip olması anlamına gelmektedir. Bir sonraki deneme rassal sayılar tablosu, rassal sayı üretici ya da çekilişle belirlenmektedir. Tam rassallaştırılmada da çeşitli stratejiler bulunmaktadır. Örnek olarak her

deneyin birden çok tekrarı bulunuyorsa, bütün deneyler bir defa yapıldıktan sonra ikinci tekrarlar rassal olarak seçilebilir, ya da tüm deneyler tekrar sıralarına dikkat edilmeden seçilebilir.

- Basit tekrarlamada ilk denemeler için tüm deneyler eşit seçilme olasılığına sahip olmakta ancak tekrarlar gerekiyorsa bu tekrar ilk deneme ile aynı anda gerçekleştirilmektedir. Eğer test için parametre ayarlamalarının değiştirilmesi zor ve maliyetli ise bu yöntem seçilmektedir.
- Herhangi bir kontrol faktörünün kurulması ve değiştirilmesi çok zor ya da maliyetli iken diğerleri için problem oluşturmuyorsa deney değiştirilmesi zor kontrol faktörünün düzey sayısına göre bloklara ayrılmaktadır. Bu faktörün her bir düzeyine bağlı deneyler rassal olarak belirlenmekte ve ilk düzeyindeki deneyler tamamlandıktan sonra diğer düzeyindeki deneyler de rassal olarak seçilmektedir. Bu şekilde tüm deneyler rassal olarak gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde tüm deneyler bloklar halinde tamamlanır.

Deney stratejisinin belirlenmesinde ikinci dikkate alınması gereken konu tekrar sayısıdır. Ölçülen kalite karakteristiği sürekli bir veri ise (sıcaklık, basınç, hız gibi) deneyleri tekrarlamak sadece güvenilirliği artıracaktır. Ancak kalite karakteristiği açık-kapalı, var-yok, 1-0 gibi süreksiz bir veri ise deneyler tekrarlı şekilde yapılmalıdır. Çünkü en ufak bir hata sonucu büyük ölçüde etkileyecektir (Canbulut ve Öztop, 2006: 436).

3.5.2 Deneyin Tasarlanması

Deneyin tasarlanması aşamasında, planlama aşamasında belirlenmiş olan faktör ve düzeylerin sayısına göre deney stratejisinin de dikkate alınmasıyla deneylerin amaca uygun bir biçimde gerçekleştirilmesini sağlamak için uygun ortogonal dizinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Bunun için öncelikle serbestlik derecesi belirlenmeli daha sonra uygun ortogonal dizin seçilmeli ve faktörler sütunlara yerleştirilmelidir.

3.5.2.1 Serbestlik Derecesinin Hesaplanması

Uygun ortogonal dizinin belirlenmesinden önce de kontrol edilebilen ve edilemeyen faktör sayısı, faktörlerin düzey sayısı ve etkileşimlere bağlı olarak belirlenen serbestlik derecesi hesaplanmaktadır. Serbestlik derecesi belirlendikten sonra kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler için uygun ortogonal dizinin seçilmesi amacıyla Taguchi'nin sağladığı bazı standart ortogonal dizinler ve bunlara uygun olan doğrusal grafikler kullanılmaktadır (Unal ve Dean, 1991: 6). Eğer problemin yapısı gerektiriyorsa standart dizinler üzerinde düzenlemeler yapılmakta ve probleme uygun hale getirilmektedir.

3.5.2.2 Ortogonal Dizinin Seçimi

Deneydeki kontrol edilebilir faktörlerin fazla olması ve ayrıca bileşik etkileri de içermesi nedeniyle kontrol edilebilir faktörlerin dizisinin seçimi ve faktörlerin yerleştirilmesi daha önemlidir. Ancak kontrol edilebilir faktörler matrisi oluşturulurken en az sayıda deney ile en fazla bilgiyi elde edecek şekilde düzenlenmesine dikkat edilmelidir. Seçilen bu alt kümeler kontrol edilebilir faktörler matrisine belirli bir sistemlikle yerleştirilir. Deneye alınan faktörlerin düzey sayılarına göre ya standart bir ortogonal dizi aynen seçilir ya da seçilen standart ortogonal dizi üzerinde düzenlemeler yapılır (Çelik, 1993: 74).

3.5.2.3 Faktörlerin Sütunlara Atanması

Faktörlerin ve bileşik etkilerin ortogonal diziyeye yerleştirilmesi ise üçgen tabloların değerlendirilmesi ve seçilen ortogonal dizi standart grafiğinin çizilen problem grafiğine uygun hale getirilmesiyle başılır. Kontrol edilemeyen faktörler dizisi de sadece serbestlik derecesine göre seçilir ve faktörler diziyeye gelişigüzel sırada yerleştirilir. Kontrol edilemeyen faktörlerin test değerleri uygun bir şekilde seçilirse ortogonal dizilerin yardımıyla kontrol edilemeyen faktörler uzayını kapsayacak bilgiler alınabilir. Hazırlanan modele göre yapılması gereken deney sayısının süre ve maliyet açısından uygun olup olmadığı araştırılır. Uygun ise bir sonraki aşamaya geçilmeli, uygun değilse kontrol edilebilir ve edilemeyen faktörlerin düzey sayısı tekrar incelenmelidir (Çelik, 1993: 74).

Eğer faktörler arasında etkileşim varsa, aynı sütun ile ifade edilen faktörlerin ana etkileri ve etkileşimleri bileşik etki gösterebilir. Etkileşim etkisi ana etki ile karışırsa tahminleme sapmalı ve büyük hatalı olabilir. Bu nedenle etkileşimler önemli görülüyorsa çok faktörlü ortogonal dizinlerin kullanılması uygun olacaktır. Ayrıca etkileşimin ne kadar önemli olabileceğine dair onaylama deneyleri sonucunda da yorumlar yapılmalıdır (Phadke, 1989: 146).

3.5.3 Deneyin Yönetilmesi

Deneyin yönetilmesi aşamasında deneyler için hazırlıkların tamamlanması ve deneylerin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.

3.5.3.1 Hazırlık ve Koordinasyon

Hazırlık ve koordinasyon aşamasında deneylerin yapılması için uygun malzeme ve ekipmanlar belirlenmelidir. Aksi takdirde deneyin bütünlüğü ve güvenilirliği bozulabilir. Deney malzeme ve ekipmanlarının seçilmesinde özellikle bu konuda tecrübeli olan deney ekibi/takımı üyelerinin görüşlerinden yararlanılabilir (Peace, 1993: 209).

3.5.3.2 Deneylerin Yapılması

Deneylerin yapılması aşaması genellikle planlama ve tasarlama dönemlerinden daha kısa bir sürede gerçekleştirilmektedir. Etkin bir şekilde planlanıp tasarlanmayan deneylerin yürütülmesi sonucunda anlamlı bilgiler edilmeyecektir. Bu nedenle başarının sağlanmasında deney tasarımı aşamalarının tümünde aynı özenin sağlanması önem kazanmaktadır. Eğer ekip/takım lideri tüm hazırlıkların başarılı bir şekilde yapıldığını düşünüyorsa deneylerin yürütülmesini koordine etmelidir. Bu koordinasyon aşamasında deneylerde kullanılan faktörlerin ilgili tüm düzeylerinin not edildiği ve uygulama sırasının gösterildiği çizelgelerin kullanılması çalışmanın yapılmasını kolaylaştıracaktır (Peace, 1993: 220).

3.5.4 Sonuçların Analiz Edilmesi

DeneySEL sonuçların çözümlenmesinde, denemeler sonucunda elde edilen verilere göre öncelikle kalite karakteristiklerinin tek tek ele alındığı ortalama, varyans ve performans istatistiği değerleri hesaplanmakta ve ortalama analizi, grafik

analizleri ve varyans analizi ile kontrol edilebilen faktörlerin kalite karakteristiği üzerindeki etkileri belirlenmektedir.

Kalite karakteristiklerine ilişkin analizlerin yapılması sonucu çekicilik fonksiyonu yaklaşımının ve Nelder-Mead Simpleks Arama Algoritmasının kullanımıyla bu yanıtlar birlikte değerlendirilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre en uygun parametre değerleri için öneride bulunmaktadır. Kurulan modele göre yapılan doğrulama deneyi ile elde edilen sonuçların bu aralıklarda olma durumu kontrol edilmektedir.

3.5.4.1 Ortalama Analizi

Ortalama analizi (ANOM, Analysis of Means, Sütun Etkileri Yöntemi), eğer bir çalışmada iki düzeyli bir faktör kullanılmışsa her bir sütun için 1. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçlarının toplamının 2. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçları toplamından çıkarılması esasına dayanmaktadır. Böylece her bir sütun için sayısal bir değer elde edilecek ve bu değerın büyüklüğüyle ilgili sütunda incelenen faktör ya da etkileşimlerin etki derecesine karar verilecektir (Canbulut ve Öztop, 2006: 436). Bu şekilde faktör düzeyinin kullanıldığı deneylerin yanıt ortalamaları ile faktör düzeyinin etkisi yani ortalama performansı belirlenecektir. Eğer (A_1, A_2, A_3) şeklinde düzeyleri olan A faktörünün birinci düzeyinin (A_1) etkisi belirlenmek isteniyorsa ve deneyde bu düzeyin kullanıldığı üç denemenin SN oranları sonuçları (SN_1, SN_2, SN_3) şeklinde gerçekleşmişse A_1 düzeyinin etkisi aşağıda verildiği şekilde hesaplanmaktadır (Yang vd, 2007: 3253):

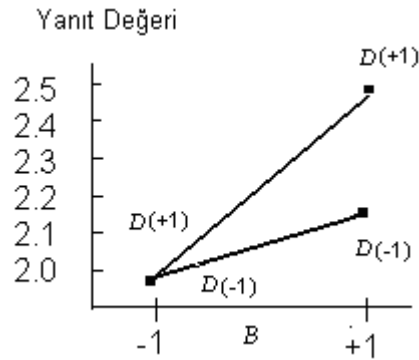
$$A_1 \text{ Ortalama Performansı} = (SN_1 + SN_2 + SN_3) / 3$$

Bu yöntemle ilişkin örnekler çalışmanın 1. Bölümünde Tam Faktöriyel Deney Tasarımı başlığı altında verilmektedir.

3.5.4.2 Grafik Analizi

Ana etkilerin belirlenmesi için kullanılan grafik çizimleri kullanıcıya yorum yapmada matematik çözümlere ek olarak yardımcı olmaktadır. Bu grafikler ile seçilen kontrol faktörlerinin önem dereceleri ve hangi düzeylerde en iyi değeri aldıkları görülebilmektedir. Ayrıca etkileşim etkilerinin gözlenebilmesi için

kullanılacak etkileşim grafikleri ile kontrol faktörleri arasındaki etkileşim kolayca anlaşılabilir. Paralel olmayan hatlar parametreler arasında etkileşim olduğuna, paralel hatlar ise etkileşim olmadığına işaret etmektedirler. Örnek olarak Şekil 3-8’de iki düzeyli *B* faktörü ve iki düzeyli *D* faktörü için çizilmiş etki hatları paralel olmadığı için bu faktörler arasında etkileşim olduğu anlaşılmaktadır (Antony ve Capon, 1998: 340).



Şekil 3-8 Grafik Analizinde Etkileşim Grafiği

3.5.4.3 Varyans Analizi

Deney sonuçlarının analiz edilmesinde faktörler arasındaki ilişkinin modellenmesi ve etkili faktörlerin belirlenmesi için Varyans analizi yapıp buna bağlı olarak regresyon analizi gerçekleştirilmektedir.

Varyans Analizi İle *F* Testi

Ortogonal dizinlere göre deneyler yapılarak veriler toplandıktan sonra hem ortalama, hem de performans istatistiği verileri üzerine varyans analizi uygulanabilmektedir. Varyans analizi ile farklı faktörlerin göreceli etkisini belirlemek ve nicel olarak göreceli anlamlılığı (*F* oranı, *F* ratio) tahmin edilmektedir. Varyans analizinin amacı, toplam değişkenliği, bu değişkenliğe katkıda bulunan her bir faktöre ve hataya göre ayırmaktır. Daha sonra değişkenlerin (faktörlerin) önemli olup olmadıklarını belirlemek için *F* testi uygulanır. *F* testinin sonuçları anlamlılık düzeyi ile gösterilir. Bir değişkenin %5 düzeyinde anlamlı olduğu söylendiğinde, bu değişkenin değerinde %5 veya daha az değişim yapılırsa performans değerinin (yanıt değişkeninin) aynı kalacağı sonucu çıkarılır. Değişken %5 düzeyinde anlamlı değilse, bunun değeri %5'ten fazla değiştirildiğinde yanıtın

aynı kalacağı söylenir. Anlamlı bulunan değişkenlerin modele dahil edilmesi sonucu Varyans analizi ile birlikte regresyon analizi gerçekleştirilir. Bu modele dahil edilen değişkenler içinde etkileşim etkileri bulunuyorsa ana faktör bulunmuyorsa hiyerarşik yapının sağlanması amacıyla %5 düzeyinde anlamlı bulunmayan değişkende modele dahil edilebilmektedir. (Dubey ve Yadava, 2007: 13; Çelik, 1993: 62, Montgomery, Keats vd., 2000: 60). Varyans analizinin yapılışına ilişkin ayrıntılı bilgi 1. Bölümde “1.4.1.1 Hipotez Testleri ve Varyans Analizi” başlığı altında verilmektedir.

Belirlilik Katsayısı

F testinde elde edilen anlamlılık düzeylerinin dışında ayrıca modelin açıklama gücünün belirlenmesi için belirlilik katsayısı R^2 (R-Squared, Coefficient of Determination) değeri de kullanılabilir.

n gözleme ilişkin en küçük karelerle aşağıda verildiği şekilde bir doğrusal regresyon denklemi uydurulmuş (fit) olsun (Newbold, 2000: 506, Koç ve Ertekin, 2010: 4):

$$y_i = a + bx_i + e_i = \hat{y}_i + e_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3-19)$$

Burada a ile b anakütle regresyonunun sabit terimi ile eğiminin en küçük kareler tahmin edicileri, e_i 'ler uydurulan regresyon doğrusunun artıkları, \bar{y} da bağımlı değişkenin örneklem ortalamasıdır.

$$\text{Bütün Kareler Toplamı: } SS_T = KT_{GENEL} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

$$\text{Regresyon Kareleri Toplamı: } SS_R = KT_R = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

$$\text{Hata Kareleri Toplamı: } SS_E = KT_{HATA} = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (3-20)$$

Bu durumda aşağıda verilmekte olan eşitlik yazılabilir:

$$KT_{GENEL} = KT_R + KT_{HATA} \quad (3-21)$$

Uydurulan regresyonun belirlilik katsayısı aşağıda verildiği şekilde tanımlanmaktadır:

$$R^2 = \frac{KT_R}{KT_{GENEL}} = 1 - \frac{KT_{HATA}}{KT_{GENEL}} \quad (3-22)$$

Ancak açıklayıcı değişken sayısı arttıkça R^2 değeri her zaman artmakta hiç bir zaman azalmamaktadır. Bu nedenle iki R^2 karşılaştırılırken modeldeki x değişkenlerinin sayısı hesaba katılmalıdır. Eşitlik (3-23)'de verilmekte olan düzeltme ile kareler toplamı serbestlik derecesine göre ayarlanmaktadır (\bar{R}^2, R^2 düzeltilmiş R^2_{adj}), Burada k sabit terimle beraber modeldeki katsayıların sayısıdır (Gujarati, 1995: 208):

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{\sum \hat{u}_i^2 / (n - k)}{\sum y_i^2 / (n - 1)} \quad (3-23)$$

Örnekleme değişkenliğinin açıklanan oranı tanımından $0 \leq R^2 \leq 1$ yazılabilir. R^2 ne kadar büyükse regresyonun açıklama gücü de o kadar yüksek olacaktır. Ayrıca belirlilik katsayısının yanı sıra tahmini artık hata kareler toplamı (PRESS), yeterli tahminleme (adequate precision), değişim katsayısı (D.K., C.V.) değeri de modelin yeterliliği konusunda bilgi sağlamaktadır (Newbold, 2000: 506, Koç ve Ertekin, 2010: 4).

Artık Analizleri ve Varsayımların Sağlanmasının Kontrolü

ANOVA tablosu oluşturulup değişkenler arasındaki ilişki modellendiğinde aşağıda verilmekte olan varsayımların sağlanıp sağlanmadığı da kontrol edilmelidir (Rüzgar, 2008: 117):

- i. y bağımlı değişkeni $y \sim N(0, \sigma^2)$ parametrelili normal dağılım göstermelidir.
- ii. Hata terimleri (ε) sıfır ortalamalı ve σ varyanslı normal dağılıma sahip olmalıdır $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.
- iii. Veri kümesinde gözlemler arasında ardışık bağımlılık (otokorelasyon) bulunmamalıdır.

- iv. Bağımsız değişkenler yani faktörler (x_1, x_2, \dots, x_n) hatasız ölçülmüş olmalı ve aralarında çoklu doğrusal bağımlılık, yani iç ilişki (multicollinearity) bulunmamalıdır.

Buradaki ilk üç varsayımın kontrolü konusunda yapılacak incelemeler 1. Bölümde “1.4.1.2 Model Yeterliliğinin Analizi” başlığı altında verilmiştir.

Bağımsız değişken sayısı ikiden fazla olduğunda çoklu ilişkiler söz konusu olacağından bağımsızlığın belirlenmesi için korelasyonun hesaplanması yeterli olmamaktadır. Bu nedenle çoklu doğrusal bağlantının hesaplanması için varyans artış faktörleri (*VIF*, VIF, Variance inflation factors) kullanılmaktadır. Bu faktörler tahmini regresyon katsayıları varyanslarının bağımsız değişkenler doğrusal olarak birbirlerine bağımlı olmadığı duruma kıyasla ne kadar arttığını ortaya çıkarırlar. Bu değerler;

$$VIF_k = (1 - R_k^2)^{-1} \quad (3-24)$$

R_k^2 , k bağımsız değişkenin diğer bağımsız değişkenlerle arasındaki çoklu korelasyon katsayısının karesidir. VIF_k 'nin 1'e yakın olması R_k^2 'nin 0'a yakın olduğunu, yani x_k 'nin diğer bağımsız değişkenlerle doğrusal ilişkisinin olmadığını gösterir. *VIF*'ler büyüdükçe ciddi bir çoklu doğrusal bağlantının varlığından söz edilir. Uygulamada özellikle 10'un üzerindeki *VIF* değerlerinde dikkatli olunmalıdır (Orhunbilge, 2002: 242).

3.5.4.4 Deney Sonuçlarının Çok Yanıtlı Çözülmesi

Tek yanıtlı en iyileme probleminin çözümü sağlandıktan sonra belirlenen en iyi tasarım değerleri karşılaştırma amacıyla bir değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Ancak elde edilen kontrol edilebilir faktörlerin en iyi değerleri farklı kalite karakteristiklerine göre bir çelişki oluşturabilir. Bu çelişkinin etkisini enazlayabilmek için kontrol edilebilir faktör değerleri farklı kalite karakteristikleri, maliyetler ve işlemin zorluk düzeyi gibi farklı ölçütleri içeren genel değerlendirme tablosu ile son bir değerlendirmeye tabi tutulur (Çelik, 1993: 78). Bu değerlendirmede amaçlar (performans karakteristikleri) arasında çelişki olması durumunda problem çok yanıtlı

en iyileme problemine dönüştürülür. Her bir amaç için elde edilen yanıt fonksiyonlarının tek bir fonksiyon ile temsil edilmesi ve bu fonksiyonun doğrusal olmayan programlama algoritmaları ile en iyi değerlerinin bulunmaya çalışılması yaygın olarak kullanılan bir çözüm yöntemidir.

3.5.4.5 En Uygun Düzeylerin Önerilmesi

Çok yanıtlı en iyileme probleminin çözümü sonrasında tasarım parametrelerinin genel en uygun değerleri belirlenmektedir. Her bir tasarım parametresinin en uygun değerine bağlı olarak oluşturulan modele göre kalite karakteristikleri için tahmini değerler hesaplanmaktadır.

3.5.4.6 Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen en iyi sonucun gerçek üretim aşamasında da elde edilip edilmeyeceği, aynı performans verimliliğinin sağlanıp sağlanmayacağı ve bu şekilde tasarım parametreleri için uygun düzey ayarlarının vereceği sonuçların denetlenmesi için bu düzeyleri içeren doğrulama deneyleri yapılmaktadır. Doğrulama deneylerinde kontrol edilebilir faktörlerin hem başlangıç hem en iyi düzeylerinin birleşimini içeren deneyler yapılmakta ve karşı gelen performans değerleri ölçülmektedir. Daha sonra bu tasarımlara karşı gelen performans istatistikleri hesaplanmakta ve hesaplanan performans istatistikleri hem birbirleriyle ve hem de veri analizi aşamasında hesaplanmış olan performans istatistikleri ile karşılaştırılarak kontrol edilmektedir (Çelik, 1993: 80; Antony vd., 2006: 19).

En iyi tasarım değerleriyle elde edilen sonuçlar, başlangıç tasarımı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında sağlanan gelişme yeterli bulunuyorsa elde edilen parametre değerleri uygulamada kullanılabilir (Çelik, 1993: 80).

BÖLÜM 4

GÜÇLÜ TASARIMIN HAZIR GIDA ÜRÜNÜNE UYGULANMASI

4. ARAŞTIRMANIN TANITIMI

4.1 ARAŞTIRMANIN AMACI

Güçlü tasarım, tezin önceki bölümlerinde de belirtildiği gibi pek çok endüstri işletmesinde başarılı denemeleri olan ve yapılması gereken deney sayısını azaltıp çok etkili sonuçlar sunduğu için üretim parametrelerinde değişikliğin yapılabildiği pek çok işletmede uygulanabilir bir yöntemdir. Bu çalışmada uygulama işletmesi olarak kalite karakteristiğinin iyileştirilmesinde müşterilerin beklentilerinin çok önem kazandığı gıda sektöründe yer alan ve entegre tesisleri bulunan bir beyaz et (piliç, broiler) üreticisi seçilmiştir. İşletmede çok tüketilen ileri işlem ürünlerinden “Adana kebab ve nugget köfte” şekillendirilmiş ürünlerin kalite karakteristiğinin iyileştirilmesine yönelik olarak güçlü tasarım çalışması yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada ürünün kalitesinin geliştirilmesine yönelik iyileştirme yapılması istenen karakteristikler ürünün mikrobiyolojik yükü, merkez sıcaklığı ve ağırlığıdır. Bunun için de ürünün buhar fırınında ısıtma işlemi ile pişirme parametrelerinde gürültü faktörlerinden etkilenmeyecek şekilde gerekli düzenlemelerin yapılması böylece mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık özelliklerinin en iyilenmesi hedeflenmiştir.

4.1.1 İşletmenin Tanıtımı

Güçlü tasarım uygulamasının yapıldığı işletme yem fabrikası, kuluçka, etlik damızlık çiftlikleri ve kesimhaneden oluşan entegre tesisleri bulunan bir beyaz et üreticisidir. İşletme piliç etini tabaklı, ileri işlem ve toplu tüketim ürünleri şeklinde sağlık ve temizlik (hijyen ve sanitasyon) kurallarına uygun biçimde üreterek bölge müdürlükleri ve bayiler aracılığı ile satış noktalarına ulaştırmaktadır.

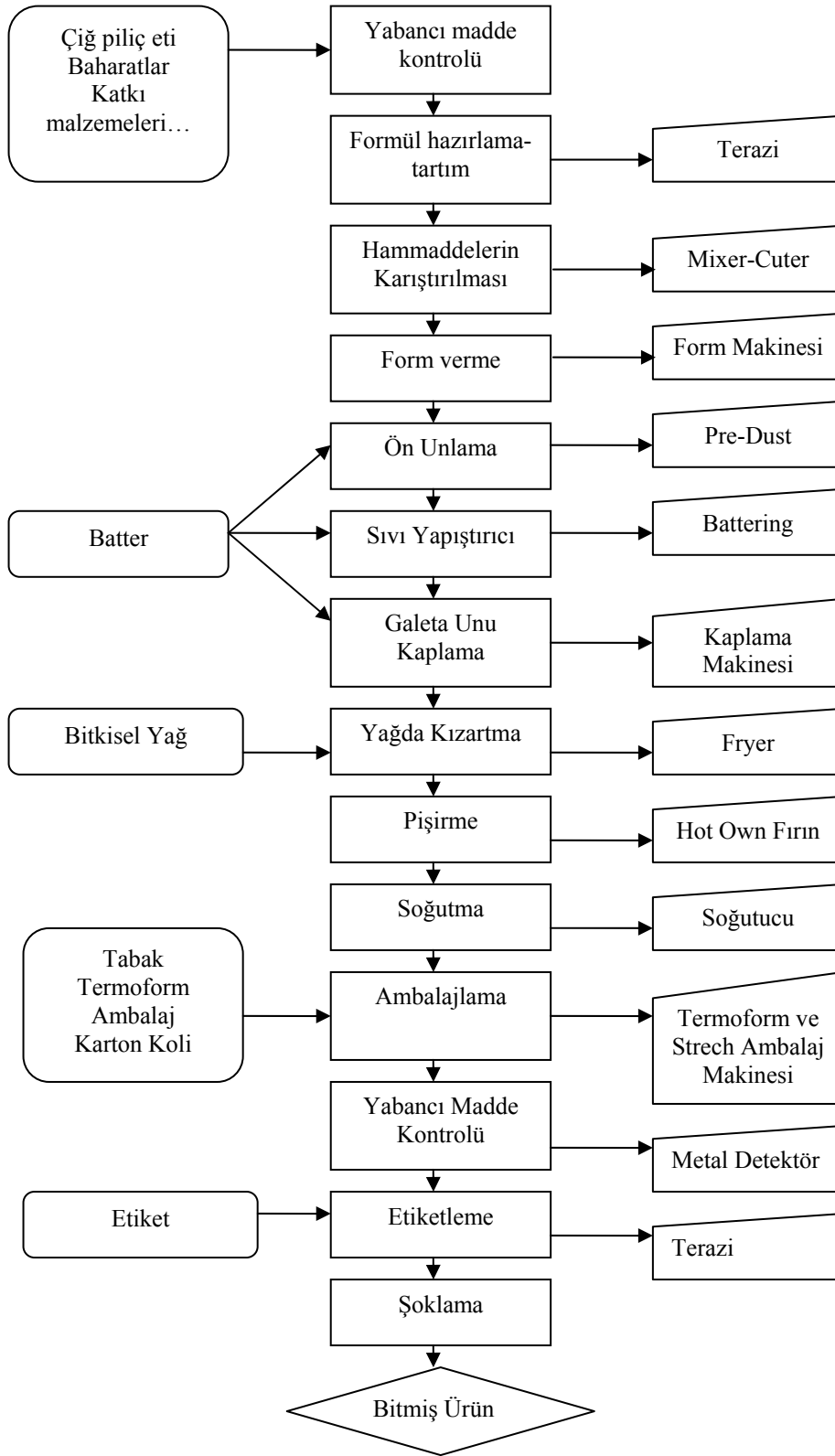
İşletme içinde uygulama alanı olarak seçilen ileri işlem tesisi 2400 metrekare kapalı alanda faaliyet göstermektedir. Sosis, sucuk ve salam gibi şarküteri

ürünlerinin yanı sıra nugget, shnitzel, inegöl köfte, kroket, kadınbudu köfte, Urfa/Adana kebab gibi hazır gıda üretiminin yapıldığı tesiste günlük kapasite 40 ton'dur. Gerek kapasitesi gerek ürün yelpazesi açısından ileri işlem tesisi bu alanda lider tesislerden birisidir.

4.1.2 İleri İşlem Sürecinin Tanıtımı

İşletmenin entegre tesisinin bir parçası olan ileri işlem birimi; ek işlem görmüş, katkı maddeleri ve baharatlar ile karıştırılıp, pişirilmiş ürünlerden şekillendirilmiş (formlu) (shnitzel, nugget, Urfa/Adana kebab, İnegöl köfte, kadınbudu köfte,...) ve emülsülfıye (salam, sosis, sucuk...) ürünlerin üretildiği bölümdür.

Bu çalışmada üretim hızı için darboğazı oluşturan buharla pişirme sürecinin yer aldığı şekillendirmeli üretim hattının iyileştirilmesi öncelikli görülmüş ve bu süreçte üretilen ürünler ele alınmıştır. Şekillendirilmiş ürünler çiğ piliç eti, baharat ve katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Bu girdiler yabancı madde kontrolü ve tartım aşamalarından sonra ürünlerin türüne göre karıştırılmakta, daha sonra şekillendirilmekte, unlanıp ıslatıldıktan sonra galeta unu ile kaplanmakta 160–185°C sıcaklıkta derin yağda kızartılmakta ve pişirme merkez sıcaklığı en az 72°C olacak şekilde buharla pişirme fırınına (Hot-Own fırın) aktarılmaktadır. Buharla pişirme sonrasında sıcaklığın 1–4°C aralığına düşürülmesi için soğutulmakta ve ambalajlanmaktadır. Üretim sürecine ilişkin akış diyagramı Şekil 4-1'de verilmektedir.



Şekil 4-1 Form Hattı Akış Diyagramı

4.2 GÜÇLÜ TASARIM UYGULAMA ADIMLARI

4.2.1 Deneyin Planlanması

Uygulamada katkı maddeli ürünlerin üretildiği ve üretim parametrelerinde denemelerin yapılmasının uygun olduğu ileri işlem tesisi şekillendirilmiş ürünler sürecindeki ürünlerin kalite düzeylerinin iyileştirilmesi hedeflenmiş ve bu alanda hangi ürünlerin hangi karakteristiğinin iyileştirilmesinin gerektiğine yönelik araştırmaların yapılması uygun görülmüştür. Bu ön çalışmalar güçlü tasarımın deney planlaması başlığı altında gerçekleştirilmiştir.

4.2.1.1 Ana Amacın Belirlenmesi ve Ekibin Kurulması

Çalışmanın ana amacının belirlenmesine yönelik işletmenin müşterilerinin mevcut ve olabilecek beklentilerin değerlendirildiği toplantılarda işletme yönetici ve çalışanlarının deneyimlerine dayanarak odaklandığı ana amaç; ürünlerin bozulma süresini uzatmaktır.

Çalışmanın ana amacının saptanması için Kesimhane Müdürünün, Kesimhane Bölümü Müdür Yardımcısı ve İleri İşlem Bölümü Müdür Yardımcısı ile yapılan görüşmelerde özellikle üretim parametrelerinde değişikliklerin yapılmasının daha elverişli olduğu ileri işlem tesisinde üretilen ürünlerin bozulma süresinin uzatılmasına yönelik incelemelerin yapılması uygun görülmüştür. Ayrıca çalışmanın detaylandırılması için yöneticilerin yanı sıra kurulacak deney tasarım ekibi üyesi olarak görülen Kalite Güvence Müdürünün, Kalite Güvence Bölümü Çalışanının, İleri İşlem Bölümü Üretim Amiri, Vardiya Amiri ve Hat Çalışanlarının görüşlerine yer verilmiştir. Beyin fırtınası toplantıları ve görüşmeler yapılarak çalışmanın amacına ulaşması için gerekli görülen konularda fikir alışverişinde bulunulmuştur. Bu toplantıların sonucunda ve üretim sürecinin incelenmesinden sonra ileri işlem sürecinde üretilen ürünlerin kalite karakteristiklerinin belirlenmesi yolunda adımlar atılmıştır.

4.2.1.2 Kalite Karakteristiklerinin Tanımlanması

Deney tasarımı ekibi ile yapılan görüşmeler sonucunda elde edilen bilgilere göre ileri işlem ürünlerinin bozulma süresini etkileyen pek çok faktör bulunduğunu ve bunların en önemlilerinin, ürünün başlangıç mikrobiyolojik yükü, çapraz bulaşmaya neden olabilecek donanım ve malzemelerdeki mikrobiyolojik yük, ortam ve ürün sıcaklığı olduğu saptanmıştır. Ürünlerin kalitesinin değerlendirilmesinde diğer önemli kalite karakteristikleri de ürünün besin değeri ve tat, görünüm gibi duyuşsal özelliklerdir. Ürünün mikrobiyolojik madde miktarını düşürme amacıyla aşırı yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi bu özelliklerde kalite kaybına neden olacaktır. Bu nedenle farklı kalite karakteristiklerinin aynı anda iyileştirilmesini sağlamak gerekecektir.

Ürünlerin mikrobiyolojik yüklerinin düşürülmesine yönelik uygun çalışma alanının belirlenmesi için öncelikle üretim süreci incelenmiştir.

İleri işlem bölümünün ana hammadde olarak kullandığı çiğ piliç eti ve kıyması işletmenin kesimhane bölümünden alınmaktadır. Buradaki hammaddenin barındırdığı başlangıç yük, etin işlenmesine, cinsine, yağ oranına ve daha pek çok faktöre bağılı olabilmektedir. Başlangıç yükünün mümkün olduğunca düşürülmesi için yapılan sıcaklık kontrolü çalışmaları, yürürlükte olan gıda mevzuatlarına uygun şekilde yapılmaktadır. Ancak özellikle kıymanın kullanıldığı ürünlerde özel olarak ana amaç uygun sıcaklık derecesinin sağlanmasıyla mikroorganizmaların yok edilmesidir.

Gıda maddelerinin, yapısında bulundurdukları mikroorganizmaları yok etmek ya da etkisiz hale getirmek için belli sıcaklıkta işlenmesi gerekmektedir. Örneğin, etin her tarafının en az 72°C sıcaklıkta işlem görmesi durumunda mikroorganizmalar yok edilebilmektedir (TMMOB Gıda Mühendisleri Odası, Faaliyet Raporu, s.5). İşletmenin ileri işlem bölümünde de ısıt işlemin gerçekleştirildiği, şekillendirme hattı buharla pişirme süreci ve emülsülfıye ürünler fırınlama işlemleri sonucunda ürünlerin merkez sıcaklığının 72°C'ye getirilmesiyle bu amaç gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. Ancak merkez sıcaklığının çok yüksek değerlerde olması da besin değerini azaltmakta ve duyuşsal özelliklerde kayıplara yol açmaktadır.

Yapılan görüşmeler sonucunda buradaki buharla pişirme fırınında pişirilen ürünlerin sıcaklığının 72°C'den büyük olması istenmekle beraber hedeflenen merkez sıcaklığı değeri 80°C'dir. İşletme 72°C-80°C aralığında merkez sıcaklığında üretimi kabullenmektedir. Ancak işletme çalışanların yaptıkları ölçümlerin sonuçlarına göre ve yapılan deneme ölçümleri sonucunda bu sıcaklık değeri ortalamalarının yaklaşık olarak Nugget köfte için 85°C, Adana kebab için 90°C olduğu saptanmıştır.

Ürünün hedeflenen değerden yüksek bir sıcaklık derecesinde pişirilmesi gıda mevzuatı açısından bir sakınca oluşturmamakta, ancak ürünlerin besin değerinin ve diğer duyuşsal özelliklerinin kaybolmasına neden olabilmektedir. Bu özelliklere ilişkin ölçüm de ürünün ağırlığının belirlenmesi ile yapılabilmektedir. Ayrıca ürünlerin pişirilmesi ve soğutulması için ek enerji kullanımı gerekmekte ve üretim maliyeti artmaktadır.

İncelenen buharla pişirme süreci Şekil 4-2'de verilmektedir. Ürünler kızartma bölümünden bir hat ile ilerlemekte daha sonra fırının içinden geçerek dikey pişirme yöntemi ile buharla pişirilmekte ve bir hat boyunca soğutma fırınına alınmaktadır.

Ürünlerin pişirilmesinden sonra mikroorganizmaların çoğalmasını önlemek için sıcaklıklarının bir an önce uygun değerlere (1- 4°C) düşürülmesi gerekmektedir. Bunu hızlandırmak için formülü ürünler soğutma fırınına alınmaktadır. Daha sonra da ambalajlanmak üzere depolama fırınlarında bekletilmektedirler.



Şekil 4-2 Buharla Pişirme Bölümü

Bu hatta işlem gören ve kalitesinin artırılması için seçilen ürünler şekillendirilmiş ürünlerden “Nugget Köfte (Kod No: 22)” ve “Adana Kebab (Kod No: 41)” olmuştur. Bu ürünlerinin seçilmesindeki ana amaç Nugget köfte ürününün

galeta kaplamalı ürünleri, Adana Kebap'ın kebab grubunu, temsil edeceğinin düşünülmesi ve üretim miktarlarının yüksek düzeyde olmasıdır.

Üzerinde iyileştirme yapılması düşünülen kalite karakteristiklerine ilişkin ayrıntılı bilgi aşağıda verilmektedir:

1. Mikrobiyolojik Yükün Düşürülmesi (MY)

Gıda işletmelerinde toplam canlı sayımı (standart plak sayımı) gıdaların işleme ve depolama koşullarının bir göstergesi olarak önem taşır. Analize alınan gıda örneğinde mevcut toplam canlı sayısı sağlık ve temizlik göstergesi olmasının dışında gıdanın raf ömrü açısından da önemli bir göstergedir. İnsan patojenlerinin (hastalığa neden olan mikroorganizmalar) büyük çoğunluğu vücut sıcaklığına uyum sağlayabilen mezofilik bakterilerdir. Bu nedenle özellikle mezofilik toplam canlı mikroorganizma sayımlarının yüksek çıkması bu popülasyon içerisinde mezofilik patojen bakterilerin de bulunma olasılığının yüksek olduğunu gösterir. Toplam canlı mikroorganizma sayımları amaca bağlı olarak farklı besi yerlerinde ve farklı kuluçka (inkübasyon) koşullarında yapılabilir. Örneğin aerobik (oksijene gereksinim duyan) ya da anerobik koşullarda psikrofil, mezofil ve termofil toplam canlı sayımları yapılabilir. Patojen bakterilerin mezofilik sıcaklık aralıklarında gelişmeleri ve aerobik sayımların daha kolay uygulanabilir kuluçka koşulları gerektirmesi nedeniyle rutin analizlerde genellikle aerobik mezofilik toplam canlı sayımları yapılmaktadır (Ünlütürk ve Turantaş, 2002: 9).

Çalışmada mikrobiyolojik yükün belirlenmesinde aerobik mezofilik canlı sayımları dikkate alınmıştır. Ele alınan ürünler için belirlenmiş parametre ayarlarına ve rassallaştırılmış sıraya göre alınan örnekler ortamla temasının engellenmesi için paketlenmiş ve deney numaraları etiketlenmiştir. Her bir deneme tekrarı için tüm örnek alımları tamamlanıncaya kadar sıcak hava ile teması önlenmiş ve daha sonra laboratuvara gönderilmiştir. Analizler işletmeye ait gıda laboratuvarlarında uzman analist tarafından yapılmıştır. Gerçekleştirilen analiz süreci aşağıda verildiği şekildedir:

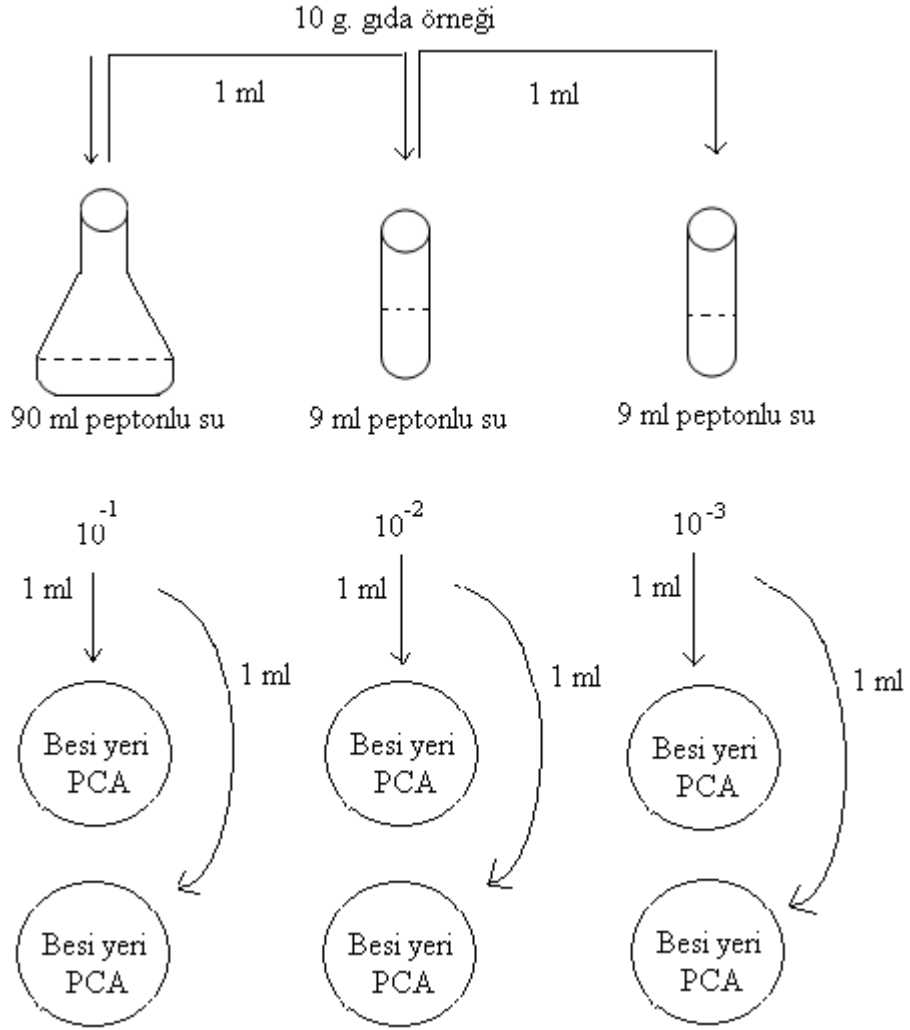
1. 10 gram gıda örneği aseptik şekilde tartılır ve içerisinde 90 ml (%0,1) arınık (steril) peptonlu su bulunan stomacher torbasına (karıştırıcı) aktararak homojenize edilir.

2. Bu şekilde hazırlanan 10^{-1} 'lik çözeltilerden (dilüsyon) Şekil 4-3'de verildiği şekilde seyreltmeler yapılarak 10^{-2} 'lik ve 10^{-3} 'lük diğer ondalık (desimal) çözeltiler hazırlanır.

3. Her bir çözeltilerden çift paralelli olarak arınık petri kaplarına 1'er ml aktarılır ve üzerine daha önceden arıtılmış 45–50 °C su banyosunda bekletilen Plate Count Agar (PCA) besi yeri (yaklaşık 15–20 ml) dökülerek aşı (inokülüm) ve besi yeri karıştırılır.

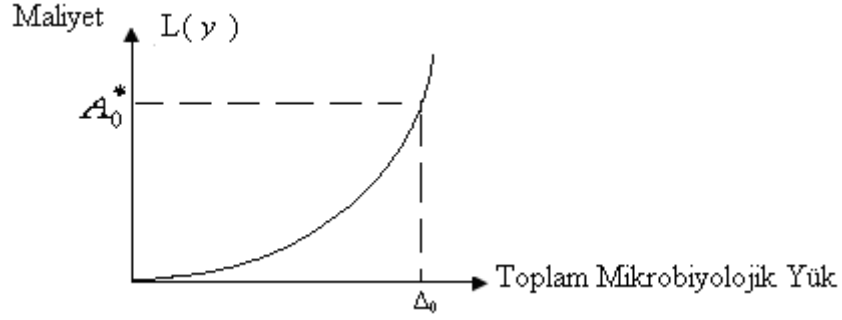
4. Besi yerleri donduktan sonra petriler ters çevrilerek 30 °C kuluçka makinesinde (inkübatörde) 24–48 saat kuluçkaya bırakılır.

5. Kuluçka süresi sonunda 30–300 arasında koloni içeren paralel petri kaplarında sayım yapılarak ortalaması alınır. Elde edilen ortalama sayı çözelti faktörü ile çarpılarak örneğin mililitresindeki toplam canlı sayısı hesaplanır. Analiz sürecinin işleyişi Şekil 4-3'de verilmektedir (Ünlütürk ve Turantaş, 2002: 9).



Şekil 4-3 Toplam Canlı Mikroorganizma Sayımı

Mikrobiyolojik yükün düşürülmesi ürünün bozulmasına neden olan toplam canlı mikroorganizma miktarının en azlanmasını sağlamaya yönelik olduğundan “Daha küçük daha iyidir” kalite karakteristiği niteliklerine uymaktadır. Toplam canlı mikroorganizma sayısı arttıkça kalite maliyeti de artış göstermektedir. Bu ilişkiyi gösteren kalite kayıp fonksiyonu Şekil 4-4’te verilmektedir.

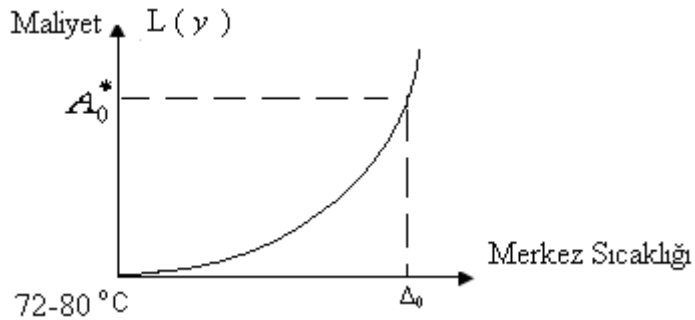


Şekil 4-4 Toplam Mikrobiyolojik Yük Kalite Kaybı

2. Merkez Sıcaklığının Düşürülmesi (MS)

Deney tasarımı çalışmasında ürünlerin mikrobiyolojik yükü azaltılırken besin değeri kaybının engellenmesine yönelik olarak farklı kalite karakteristiklerinin de dikkate alınmasının gerektiği düşünülmüştür. İkinci kalite karakteristiği olarak pişirme hattındaki ürünlerin merkez sıcaklığı seçilmiştir. Gerçekleştirilmesi istenen hedef merkez sıcaklığının uygun değerlere getirilmesi ve merkez sıcaklığındaki değişkenliğin azaltılmasıdır.

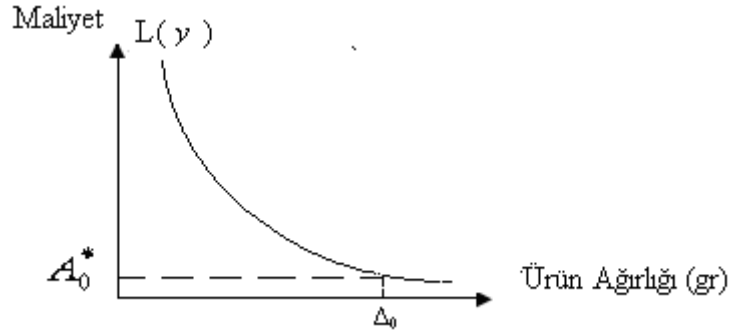
Merkez sıcaklığı ürünün her tarafının pişirmesine yönelik bir göstergedir. Ürünün mikrobiyolojik yükünün az olması için yüksek sıcaklıklarda uzun süre pişirilmesini sağlamak ürünün besin değerlerinde kayıplara yol açabilmektedir. Ele alınan kalite karakteristiğinin özelliği incelendiğinde 72°C–80°C sıcaklık aralığı işletme tarafından kabul edilebilir değerler olarak görülmüştür. Ürünün kesinlikle 72°C den düşük sıcaklıkta olmaması gerektiğinden ve 80°C üzerinde maliyetin hızlı bir şekilde arttığı düşünülürse kalite karakteristiğinin “daha küçük daha iyidir” tipinde olduğu görülmektedir. Şekil 4-5’te merkez sıcaklığı kalite karakteristiğine ilişkin kalite kaybı maliyet grafiği verilmektedir.



Şekil 4-5 Merkez Sıcaklığı Kalite Kaybı

3. Ağırlığın Artırılması (AG)

Duyusal özellik olarak adlandırılan tat, görünüm gibi özelliklerinin değerlendirilmesi için ürün ağırlığı uygun bir ölçüt olmaktadır. Ayrıca ürünün ağırlığı üretim maliyeti ile de doğrudan ilişkili olmakta düşük ağırlıklı ürünler üretim kaybına yol açmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda uzun süre pişen ürünlerde yağ ve su kaybı oluşmakta bu durum da ürünün ağırlığını etkilemektedir. İşletmede ürün ağırlığının yüksek olması istenmekte, yüksek ağırlıklı ürünlerin maliyeti düşmektedir. Bu nedenle ürün ağırlığına yönelik karakteristik “daha büyük daha iyidir” niteliğini taşımaktadır. Ağırlık kalite karakteristiğinin bu özelliğinin görüldüğü kalite kaybı grafiği Şekil 4-6’da verilmektedir.



Şekil 4-6 Ürün Ağırlığı Kalite Kaybı

4.2.1.3 Faktörlerin ve Düzeylerinin Belirlenmesi

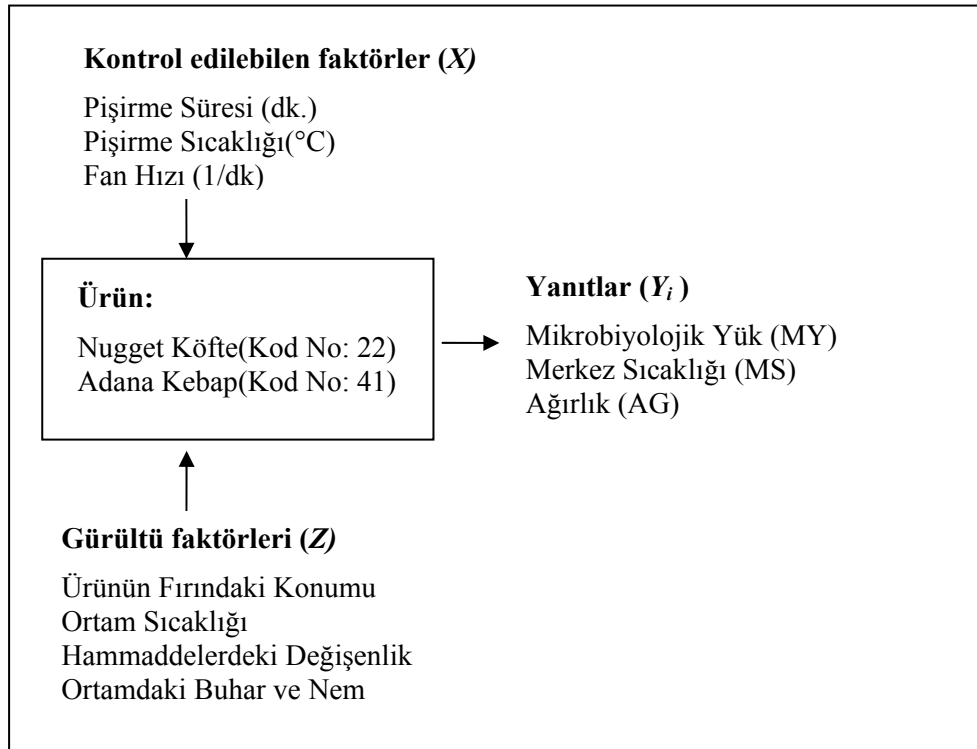
Üretilen ürünün kalite karakteristiklerini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde ekip üyeleriyle yapılan görüşmeler etkili olmuştur. Belirlenen faktörler kontrol edilebilir ve kontrolü zor faktörler (gürültü faktörleri) olarak ikiye ayrılmıştır ve faktörlerin tüm kalite karakteristikleri için geçerli olduğu belirlenmiştir. Bu faktörler Tablo 4-1’de verilmektedir:

Tablo 4-1 Kontrol Edilebilir Faktörler ve Gürültü Faktörleri

Kontrol Edilebilir Faktörler	Gürültü Faktörleri
Pişirme Süresi	Ürünün Fırındaki Konumu
Pişirme Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı
Fan Hızı	Hammaddelerdeki Değişkenlik
	Buhar/Nem

Bu faktörler arasından kontrol edilebilir faktörler pişirme fırınının kontrol panelinden ayarlanabilen üretim parametreleridir. Gürültü faktörlerinden ürün fırındaki konumu dikey pişirme sağlandığı için dikkate alınmamıştır. Ortam sıcaklığı sabit bir değerde tutulmaya çalışılmaktadır. Her ne kadar ürün için belirli bir formülasyon kullanılsa bile kullanılan et ve diğer hammaddeler değişkenlik gösterdiği için ürünün hammaddede ve şekillendirme kalıbından çıkışından sonra mikrobiyolojik yük ve ağırlığında (kabul edilebilir sınırlar içinde) bir değişkenlik görülebilmektedir. Birimden birime değişkenlik olarak adlandırılabilen bu gürültü faktörlerine rağmen kontrol edilebilen faktörlerin uygun değerlerinin belirlenmesi ile ürünün duyarlılığının azaltılması hedeflenmiştir.

Süreci etkileyen tüm faktörlerin bulunduğu P diyagramı Şekil 4-7’de verilmektedir. Ancak ele alınan gürültü faktörlerinin farklı düzeylerinin denenmesinin zaman alıcı, zor ve maliyetli olacağı düşünüldüğünden çalışmada sadece kontrol faktörlerinin farklı düzeyleri ile çalışılması uygun görülmüştür.



Şekil 4-7 Üretim Süreci P Diyagramı

Belirlenen kontrol faktörleri ile yapılacak deneylerin çok fazla olmaması nedeni ile hazırlık denemelerinin sistematik şekilde yapılması gerekli görülmemiştir. Ancak sürecin daha iyi tanınması ve hataların önlenmesi amacıyla farklı zamanlarda deneme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneme çalışmaları sonucunda özellikle mikrobiyolojik yüklerin belirlenmesi işlemlerinin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesinin gerekmesi, analizlerin zaman alıcı ve maliyetli oluşu, üretimi yapılan ürünlerin parti büyüklüklerinin küçük olması göz önünde tutulduğunda deneme sayısının az olması gerekli görülmüştür. Düzey sayısının belirlenmesinde bu kısıtlar da dikkate alınmıştır.

İncelenen üründe 3 adet kontrol faktörüne ilişkin ana etkiler araştırılacaktır. Kontrol faktörlerinin tümü sürekli değişkendir. Her bir kontrol faktörü için deney ekibi üyelerinin deneyimlerine dayanarak düzeylendirme yapılmıştır. Kontrol faktörlerine ilişkin yüksek ve düşük düzey olarak adlandırılabilir şekilde iki düzeyin kullanılması gerekli görülmüştür. Düzey sayısının daha fazla artırılması durumunda düzeylerdeki değişkenliğin kalite karakteristiği değişkenliğini yansıtmayabileceği ve yapılması gereken deney sayısının çok fazla artacağı dikkate alınmıştır. Ayrıca kontrol faktörlerinin etkileşimlerinin olabileceği de göz önüne alınması gereken bir konudur.

Düzey sayısının belirlenmesinden sonra her bir ürün için parametrelerin hangi düzey değerlerinin araştırma sonucunda anlamlı sonuç oluşturabileceği ve tasarım ekibinin üretimin yapılması için uygun olarak gördüğü değerler dikkate alınmıştır. Tasarım uzayının belirlenmesinde ürünlerin merkez sıcaklığının 72°C'den düşük olacağı, aşırı derecede pişirmeden dolayı yanık ve kuru olacağı konusunda emin olunan değerler göz önüne alınmamıştır. Faktörlere ilişkin araştırılacak 1. ve 2. düzey değerleri ve mevcut durumda kullanılan üretim parametrele değerleri Tablo 4-2'de verilmektedir.

Tablo 4-2 Faktör ve Düzeyler

			Düzeyler					
			Nugget Köfte (Kod:22)			Adana Kebap (Kod:41)		
Kod	Faktör Adı	Birim	1. düzey	2. düzey	Üretim koşulları	1. düzey	2. düzey	Üretim koşulları
A	Pişirme Süresi	dk.	2,5	3,5	2,5	2,5	3,5	3
B	Pişirme Sıcaklığı	°C	150	170	180	180	205	225
D	Fan Hızı	1/dk.	750	1250	450	750	1250	450

4.2.1.4 Deney Stratejisinin Belirlenmesi

Deneylerin gerçekleştirilmesinde ele alınmayan faktörlerin etkilerinden kaçınabilmek için rassallaştırma yapılması uygun görülmüştür.

Ürünlerin toplam canlı mikroorganizmasının ölçülmesi işleminde aynı partiden aynı anda çok fazla örneğin analizinin yapılması laboratuvar koşulları, süre ve maliyet kısıtlarından dolayı mümkün olmadığından her denemede tek örnek alınmıştır. Bu nedenle tam rassallaştırmanın kullanıldığı üç tekrarlı denemeler yapılmıştır.

Merkez sıcaklığının belirlenmesi ve ağırlığın ölçülmesi işlemleri göreceli olarak daha basit olduğundan ard arda tekrarların yapılması mümkün olmuştur. Ancak üretilen partinin değiştirilmesi istenmediği için tüm denemelerin kısa bir sürede gerçekleşmesi gerekmiş bu nedenle tekrar sayısı üç ile sınırlandırılmıştır. Deneylerde basit rassallaştırma stratejisi ile ortogonal dizin satırları için rassallaştırma uygulanmıştır. Deney sıraları rassal olarak belirlenmiş ancak her bir parametre ayarı yapıldığı zaman tüm tekrar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.2 Deneyin Tasarlanması

Deneyin tasarlanmasında öncelikli olarak serbestlik derecesi hesaplanmış, faktörlere uygun olabilecek ortogonal dizin seçilmiş ve faktörler ile etkileşimleri ortogonal dizin sütunlarına atanmıştır.

4.2.2.1 Serbestlik Derecesinin Hesaplanması

Uygun ortogonal dizinin belirlenmesi için her bir kontrol faktörüne, ikili ve üçlü etkileşime ilişkin serbestlik derecesi Tablo 4-3'te verildiği şekilde belirlenmiştir.

Tablo 4-3 Serbestlik Derecesinin Belirlenmesi

Faktör	Düzy Sayısı	Serbestlik Derecesi (f_{OA})
A	2	$2-1=1$
B	2	$2-1=1$
D	2	$2-1=1$
$C=AB$	2	$(2-1)(2-1)=1$
$E=AD$	2	$(2-1)(2-1)=1$
$F=BD$	2	$(2-1)(2-1)=1$
$G=ABD$	2	$(2-1)(2-1)(2-1)=1$

$$f_{OA} = \sum_1^7 f_i = 1+1+1+1+1+1+1=7$$

$$N = f_{OA} + 1 = 7 + 1 = 8$$

Yapılması gereken deney sayısı 8 olarak belirlenmiştir.

4.2.2.2 Ortogonal Dizinin Seçimi

Bu nedenle seçilmesi gereken ortogonal dizinin serbestlik derecesinin en az 8 olması gerekmektedir. İkinci Bölümde verilmekte olan “Tablo 2-11 Standart Ortogonal Dizinler İçin Temel Bilgiler” tablosundan da görüldüğü üzere iki düzeyli faktörün kullanıldığı ve 7 sütunun gerektiği bu uygulama için ideal ortogonal deney planı $L_8(2^3)$ olmaktadır.

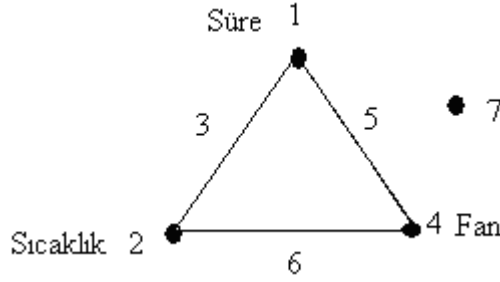
4.2.2.3 Faktörlerin Sütunlara Atanması

Faktörlerin sütunlara yerleştirilmesinde üçgen tablolardan ve doğrusal grafiklerden yararlanılmıştır.

Tablo 4-4’te ve Şekil 4-8’de verildiği gibi L_8 dizinlerine uygun olarak 1. 2. ve 4. sütunlara ana faktörlerin yerleşmesi; 3., 5. ve 6. sütunlara ikili etkileşimlerin 7. sütuna ise üçlü etkileşimin atanması uygun görülmüştür. Buna göre “Süre” faktörü “A” kodu ile 1. sütuna, “Sıcaklık” faktörü “B” kodu ile 2. sütuna, “Fan” faktörü “D” kodu ile 3. sütuna yerleştirilmiştir. 1. ve 2. sütunların etkileşimi “SürexSıcaklık”, “C” kodu ile 3. sütuna; 1. ve 4. sütunların etkileşimi “SürexFan”, “E” kodu ile 5. sütuna; 2. ve 4. sütunların etkileşimi “SıcaklıkxFan”, “F” kodu ile 6. sütuna atanmıştır. Üçlü etkileşim 7. sütunda yer alacaktır.

Tablo 4-4 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini Etkileşim Tablosu

	Sütun						
Sütun	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)



Şekil 4-8 $L_8(2^7)$ Üçgen Grafiği

Hazırlanan yerleşim düzenine göre oluşturulan ortogonal L_8 dizini Tablo 4-5’de verilmektedir:

Tablo 4-5 $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini

	Faktörler						
Deneme	A: Süre	B: Sıcaklık	C: AXB	D: Fan	E: AXD	F: BXD	AXBXD
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>ab</i>	<i>c</i>	<i>ac</i>	<i>bc</i>	<i>abc</i>

Ortogonal dizindeki deneme düzeni yerleşimine göre faktörlerin ele alınan düzeyleri Tablo 4-6’da verilmektedir.

Tablo 4-6 Deneme Düzenine Göre Faktör Düzeyleri

	Parametreler			Nugget Köfte (Kod:22)			Adana Kebap (Kod:41)		
	Süre	Sıcaklık	Fan	Süre	Sıcaklık	Fan	Süre	Sıcaklık	Fan
1	1	1	1	2,5	150	750	2,5	180	750
2	1	1	2	2,5	150	1250	2,5	180	1250
3	1	2	1	2,5	170	750	2,5	305	750
4	1	2	2	2,5	170	1250	2,5	205	1250
5	2	1	1	3,5	150	750	3,5	180	750
6	2	1	2	3,5	150	1250	3,5	180	1250
7	2	2	1	3,5	170	750	3,5	205	750
8	2	2	2	3,5	170	1250	3,5	205	1250

4.2.3 Deneyin Yönetilmesi

4.2.3.1 Hazırlık ve Koordinasyon

Deneylerin gerçekleştirilmesi için çalışma ortamına uygun olarak kullanılması gerekli araçlar, ölçümler yapılırken sağlık ve temizlik kurallarına uygun olabilecek giyim eşyaları (önlük, çizme, bone, eldiven) ile gerekli notların alınması için kırtasiye malzemeleridir. Ayrıca her bir kalite karakteristiğine ilişkin ölçüm yapılabilmesi için farklı araçların kullanılması gerekmiştir.

- Mikrobiyolojik yükün belirlenmesi için; paketlenme torbaları, etiketler, petri kapları, tartı, peptonlu su, besi yeri, Stomacher (karıştırıcı), pastör pipeti, makas, pens, erlen, alevli pürmüz, alkol,
- Merkez sıcaklığının ölçümü için; ince ölçüm ucuna sahip Testo saplama-batırma tipi termometre,
- Ağırlığın ölçülmesi için Camry terazi kullanılmıştır.

4.2.3.2 Deneylerin Yapılması

Deneyler hazırlanan plana bağlı olarak gerçek üretim ortamında yapılmıştır. Deneylerin yapılması esnasında üretim parametrelerinin ayarlanması için vardiya amirinden ve operatörden destek alınmıştır.

Deneylerin yapılış sırası rassal olarak belirlenmiş ve yapılan tekrarlar da hangi düzene göre gözlem alındığı Tablo 4-7’de verilmektedir. Örneklerde Mikrobiyolojik yükün ölçülmesi için 3 tekrar düzenine göre farklı zamanlarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Merkez sıcaklığı ve ağırlıklar için de tek bir tekrar düzeninde üçer örnek alınmıştır. Bu farklı ölçüm düzeninin nedeni mikrobiyolojik yük ölçümünün yapıldığı laboratuvar koşullarındaki kapasite kısıtıdır.

Tablo 4-7 Ölçüm Sırası ve Tekrar Düzeni

Ortogonal Sıra	Parametreler			Tekrar:1		Tekrar:2		Tekrar:3	
	Süre	Sıcaklık	Fan	Rassal Sıra	Rassal Sayı	Rassal sıra	Rassal Sayı	Rassal sıra	Rassal Sayı
1	1	1	1	1	0,05	8	0,97	6	0,61
2	1	1	2	5	0,26	7	0,96	1	0,13
3	1	2	1	4	0,19	3	0,33	4	0,31
4	1	2	2	6	0,36	6	0,95	2	0,17
5	2	1	1	7	0,86	1	0,26	5	0,42
6	2	1	2	8	0,9	5	0,79	3	0,27
7	2	2	1	3	0,14	2	0,28	8	0,73
8	2	2	2	2	0,12	4	0,45	7	0,66

4.2.4 Sonuçların Analiz Edilmesi

Deney sonuçlarının çözümlenmesinde değerlendirmenin yapıldığı her bir ürün için kalite karakteristikleri öncelikle ayrı ayrı ele alınmış, daha sonra tüm kalite karakteristiklerin birlikte değerlendirilmesiyle uygun üretim parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Veri analizinin yapılması için deney tasarımı problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan MINITAB ® Release 14 programı ile Design Expert ® 7.0 programları kullanılmıştır. Sunduğu özet bilgilerin tablo biçiminden ve grafik görünümünün toplu halde gösterilme özelliğinden dolayı ANOM Ortalama Analizleri ve grafik analizlerinin yapılmasında MINITAB ® Release 14 programı seçilmiş, çok yanıtli problemlerin çözümü için çekicilik fonksiyonun kolay bir biçimde kullanımına olanak sağladığı için de Varyans analizi ve çok yanıtli problemin analizinde Design Expert ® 7.0 programı kullanılmıştır (Minitab Inc., Stat-Ease).

4.2.4.1 No: 22 Ürününe İlişkin Analizler

4.2.4.1.1 Mikrobiyolojik Yükün İncelenmesi

Mikrobiyolojik yük miktarının belirlenmesine yönelik olarak Kod No: 22 (Nugget köfte) kaplamalı ürünü için ölçüm değerleri belirlenmiş ve Tablo 4-8'de yapılan tek tekrarlı ölçüm değerleri sunulmuştur.

Tablo 4-8 No: 22 İçin MY Ölçüm Değerleri

	Süre	Sıcaklık	Fan	Tekrar 1	Tekrar 2	Tekrar 3	Ortalama	Standart Sapma	SN Oranı
1	2,5	150	750	800	142933	2700	48811	81517,6	-98,3331
2	2,5	150	1250	7166	12350	18600	12705,6	5725	-82,6312
3	2,5	170	750	800	3100	2500	2133,3	1193	-67,4036
4	2,5	170	1250	3800	2800	13400	6666,7	5852,6	-78,2789
5	3,5	150	750	3366	19700	11750	11605,6	8167,6	-82,5325
6	3,5	150	1250	27200	12400	2700	14100	12338,2	-84,7755
7	3,5	170	750	100	14550	129100	47916,7	70677,1	-97,5021
8	3,5	170	1250	200	2300	4200	2233,3	2000,8	-68,8404

Ortalama Analizi

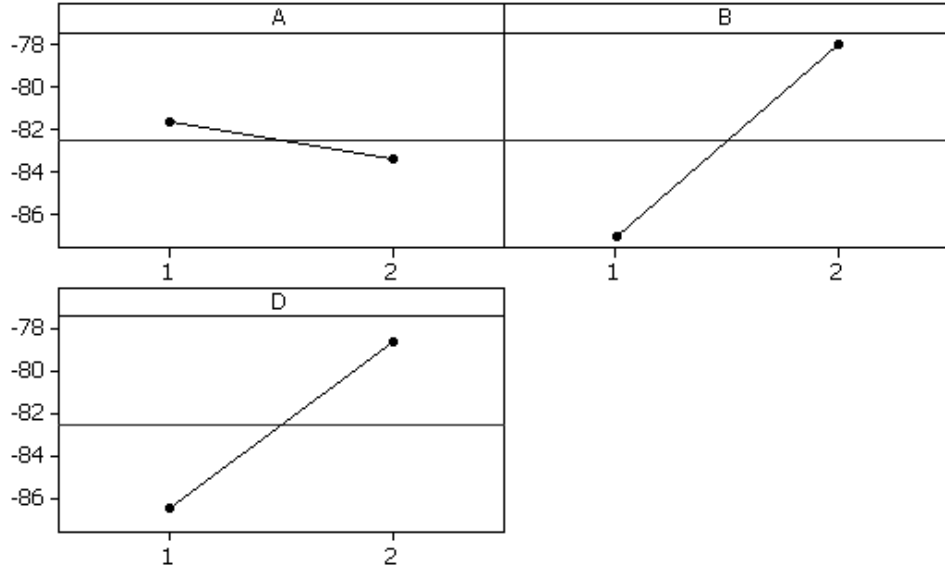
Mikrobiyolojik yükün incelenmesine yönelik SN oranı üzerinde etkili faktörlerin uygun düzeylerinin belirlenmesi için yapılan ortalama analizleri sonuçları Tablo 4-9'da verilmektedir. Yanıt tablosunda Fark (Delta) satırında verilen değerler iki düzey arasındaki SN oranları farkıdır. “(-81,66- (-81,41))=1,75” şeklinde hesaplanmaktadır. Sıra (Rank) satırında ise fark değerleri yüksekte düşüğe doğru sıralanmıştır. Sıra değeri ile en yüksek etkiye sahip faktörler belirlenmektedir. Buna göre düzeyleri arasında en çok etki farkının görüldüğü faktör 1 sıraya sahip olan B faktörüdür. En yüksek SN oranlarını elde etmek için A: Süre faktörünün, B: Sıcaklık faktörünün ve D: Fan faktörünün ikinci düzeyinin kullanımı gerekmektedir. Sonuç olarak önerilen çözüm $A_2B_2D_2$ şeklindedir.

Tablo 4-9 No: 22 İçin MY Yanıt Tablosu

SN Oranı			
Düzyey	A: Süre	B:Sıcaklık	D:Fan
1	-81,66	-87,07	-86,44
2	-83,41	-78,01	-78,63
Fark (Delta)	1,75	9,06	7,81
Sıra (Rank)	3	1	2

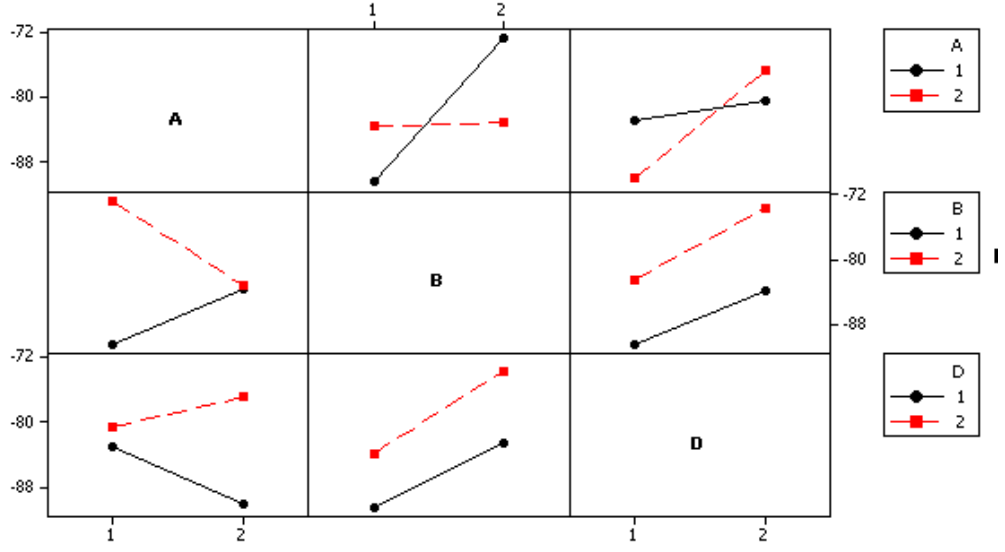
Grafik Analizi

Ana etki grafiklerinin görüldüğü Şekil 4-9'a göre *D* ve *B* faktörlerinin eğiminin yani yanıt üzerindeki etkisinin yüksek olduğu dikkate çarpmakta ve *A* faktörünün yataya yakın bir seyir izlediği görülmektedir.



Şekil 4-9 No: 22 İçin MY Etki Grafığı

Şekil 4-10'da verilen etkileşim grafiklerine göre *C:AXB* ve *E:AXD* için doğrular kesişmektedir ve etkileşimleri bulunmaktadır.



Şekil 4-10 No: 22 İçin MY Etkileşim Grafiği

Varyans Analizi

No:22 ürünü varyans analizi yapılmasında öncelikle ortalama, grafik analizlerinden ve Yarı Normal Çizimi (Half Normal Plot) grafiğinden yararlanılarak MY tahmini için kurulacak modelde yer alabilecek değişkenler belirlenmektedir. Yapılan denemeler sonucunda modele katkısı olmayan terimler modelden çıkarılmaktadır. Bu değişkenler seçilirken eğer etkileşim etkisi anlamlı ise ve ana etki anlamlı değilse hiyerarşik yapının korunması için ana etkinin de modele dahil edilip edilmemesi kararı yapılan denemeler sonucunda modelin anlamlılığında artış görülmesi durumuna göre verilmektedir (Yarı Normal Çizimi Ek 4.1 de (a) bölümünde verilmektedir).

Mikrobiyolojik yük için faktörlerin ana etkilerinin ve etkileşimlerinin anlamlı olup olmadığının belirlenmesi için hipotezler kurulmuş ve varyans analizi yapılmıştır. Çalışmada yapılan varyans analizlerinde ana etki ve etkileşim etkisi için kurulan hipotezlere örnek aşağıda verilmektedir:

A (Süre) faktörünün etkisini araştırmak için;

$$H_0: A_1 = A_2 = 0$$

H_1 : *A* faktörünün düzey ortalamaları arasında fark vardır.

İki faktör Süre ve Sıcaklık (*AB*) arasında bağlantı olup olmadığının saptanması için:

H₀: İki faktörün etkileşimi ortalamayı etkilememektedir.

H₁: İki faktörün etkileşimi ortalamayı etkilemektedir.

Üç faktör Süre, Sıcaklık ve Fan (*ABD*) arasında bağlantı olup olmadığının saptanması için:

H₀: Üç faktörün etkileşimi ortalamayı etkilememektedir.

H₁: Üç faktörün etkileşimi ortalamayı etkilemektedir.

Bu hipotezlerin test edilmesinde $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyi dikkate alınmış *F* değerlerinin belirlenmesi sonucu *p* değerinin 0,05 değerinden küçük olduğu durumlar için ana etki ya da etkileşimin anlamlı olduğuna ilişkin karar alınmış ve faktöre ilişkin hipotez red edilmiştir. Bazı durumlarda bir değişken 0,05 düzeyine göre anlamlı olmasa bile hiyerarşik yapı özelliğine göre etkileşimi modelde bulunduğu için modele dahil edilmiştir.

No:22 ürünü için yapılan varyans analizi sonuçlarına göre *p* değerleri 0.05'ten büyük olan *B*: sıcaklık, *C*:SürexSıcaklık, *D*:Fan, *G*:SürexSıcaklıkxFan faktörleri ve etkileşimlerinin MY karakteristiği *SN* oranı üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu söylenebilmektedir. *E*:SürexFan etkileşimi grafik analizlerinde önemli görüldüğünden ve *G* etkileşimi için üst hiyerarşide bulunduğundan modele dahil edilmiştir. Varyans analizi sonuçları Tablo 4-10'da verilmektedir.

Tablo 4-10 No: 22 İçin MY Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı	<i>KT</i>	<i>sd</i>	<i>KO</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Model	904,77	5	180,95	42,72	0.0230
<i>B</i> : Sıcaklık	164,23	1	164,23	38,77	0.0248
<i>C</i> : SürexSıcaklık	147,20	1	147,20	34,75	0.0276
<i>D</i> : Fan	122,03	1	122,03	28,81	0.0330
<i>E</i> : SürexFan	58,28	1	58,28	13,76	0.0656
<i>G</i> : SürexSıcaklıkxFan	413,02	1	413,02	97,50	0.0101
Artık	8,47	2	4,24		
Toplam	913,24	7			
<i>R</i> ²	0,9907				
<i>R</i> ² (Düzeltilmiş):	0,9675				

Varyans Analizi tablosunda gösterildiği gibi modeldeki yüksek R^2 ve R^2 (Düzeltilmiş) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. Varyans analizi çalışması sonucu elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_1 = -82,54 + 4,53 * B + 4,29 * C + 3,91 * D - 2,70 * E + 7,19 * G$$

Seçilen model için yapılan regresyon analizi sonuçları Ek 3.1'de verilmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre VIF değerlerinin 1'e eşit olması ($VIF < 10$) çoklu doğrusal bağlantı olmadığını göstermektedir.

Modelin yeterliliğinin kontrol edilmesi için ayrıca artık analizleri yapılmıştır. Normal olasılık grafiği ve Kolmogorov-Simironov testi ile artıkların normal dağılıp dağılmadığı kontrol edilmiştir. Artıkların tahmin edilen yanıt değerlerine göre çizilen grafiğine göre belirgin bir desen bulunmamaktadır. Bu durumda Eşit varyanslılık varsayımının karşılandığı ve Studentize artıkların büyüklüğünün tahmin değerinden bağımsız olduğu sonucuna varılabilmektedir. Artıkların deneme sırasına göre dağılımına ilişkin çizilen grafiğe göre belirgin bir desen gözlenmemesi sonucu zamana bağlı bir etkinin olmadığı ve artık değerlerinin büyüklüğünün ± 3 aralığında kalması sonucunda da uç değer bulunmadığı yorumunda bulunulabilir. Bu sonuçlara göre varsayımların karşılanmadığını gösteren bir işaret bulunmamaktadır.

No:22 için mikrobiyolojik yükün dikkate alındığı tasarım çalışmasında ikinci karakteristik olarak merkez sıcaklığı değerlendirilmiştir.

4.2.4.1.2 Merkez Sıcaklığının İncelenmesi (MS)

Merkez sıcaklığının düşürülmesine yönelik No:22 ürünü üzerinde yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 4-11'de sunulmaktadır.

Tablo 4-11 No: 22 İçin MS Ölçüm Değerleri

	Süre	Sıcaklık	Fan	Tekrar 1	Tekrar 2	Tekrar 3	Ortalama	Standart Sapma	SN Oranı
1	2,5	150	750	83,8	82,1	84,1	83,3333	1,0786	-38,4169
2	2,5	150	1250	89,8	88,9	82,5	87,0667	3,9804	-38,8031
3	2,5	170	750	91,1	80,7	92	87,9333	6,2804	-38,8978
4	2,5	170	1250	91,2	90,1	93,9	91,7333	1,9553	-39,2519
5	3,5	150	750	93,2	80	84	85,7333	6,7686	-38,6810
6	3,5	150	1250	93	95,1	95,1	94,4000	1,2124	-39,4999
7	3,5	170	750	95	95,3	92,2	94,1667	1,7098	-39,4789
8	3,5	170	1250	95,7	97,6	96,6	96,6333	0,9504	-39,7028

Ortalama Analizi

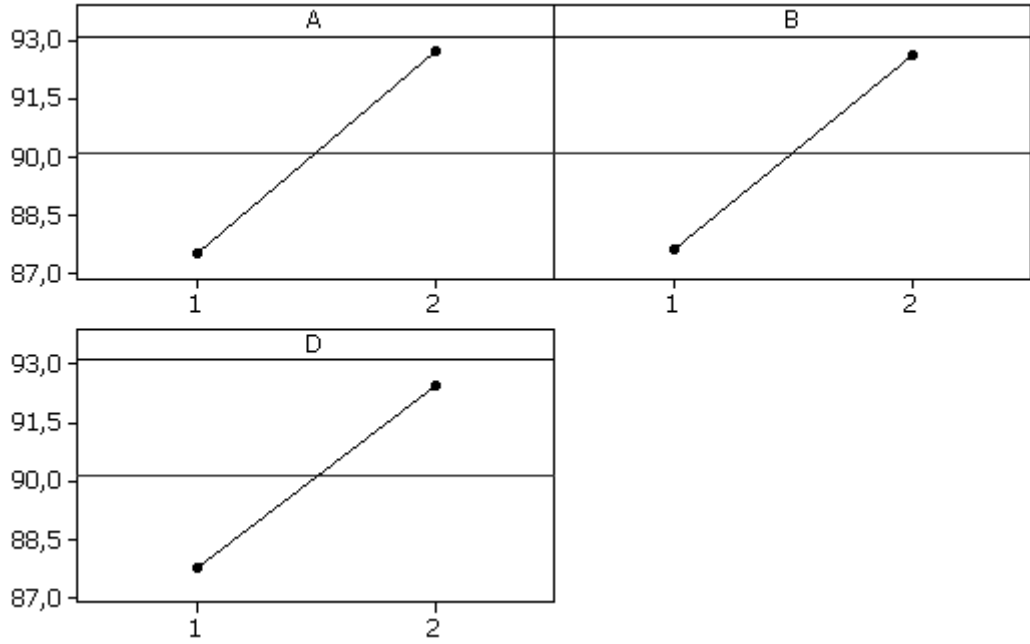
Merkez sıcaklığının incelenmesine yönelik *SN* oranı üzerinde etkili faktörlerin uygun düzeylerinin belirlenmesi için yapılan ortalama analizleri sonucunda düzeyleri arasında en çok farkın görüldüğü faktör 1 sıraya sahip olan *A* faktörüdür. Tablo 4-12’de verilmekte olan Yanıt tablosuna göre *SN* oranı için *A*: Süre, *B*: Sıcaklık, *D*: Fan faktörlerinin birinci düzeyinin kullanımı gerekmekte ve önerilen tasarım $A_1B_1D_1$ olmaktadır. ANOM ortalama analizine göre tüm ürünler için faktörlerin birinci düzeyleriyle çalışılması sonucunda en iyi merkez sıcaklığı değerlerinin elde edileceği belirlenmiştir. Bu değerlerin tümü yasal mevzuatlara uygun derecede üretimleri sağlamaktadır.

Tablo 4-12 No: 22 İçin MS Yanıt Tablosu

SN Oranı			
Düzyey	<i>A</i> : Süre	<i>B</i> :Sıcaklık	<i>D</i> :Fan
1	-38,84	-38,85	-38,87
2	-39,34	-39,33	-39,31
Fark (Delta)	0,5	0,48	0,45
Sıra (Rank)	1	2	3

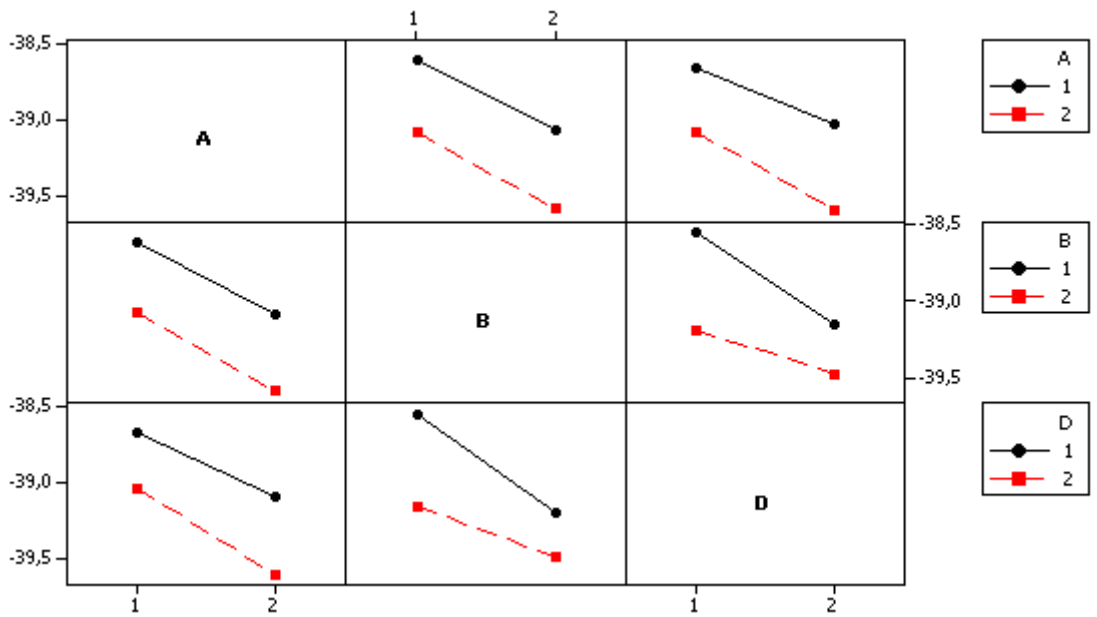
Grafik Analizi

Ana etki grafiklerinin bulunduğu Şekil 4-11'e göre *A*, *B* ve *D* faktörlerinin eğimi yani yanıt üzerindeki etkisi yüksektir.



Şekil 4-11 No: 22 İçin MS Etki Grafiği

Şekil 4-12'de verilen etkileşim grafiklerine göre kesişen doğrular bulunmamakta ve belirgin bir etkileşim etkisi görülmemektedir.



Şekil 4-12 No: 22 İçin MS Etkileşim Grafiği

Varyans Analizi

Tablo 4-13'te verilmekte olan Varyans Analizi tablosuna göre; *A*, *B* ve *D* faktörlerinin *p* değeri <0.05 olduğundan modele katkıları anlamlıdır.

Tablo 4-13 No: 22 İçin MS Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı	<i>KT</i>	<i>sd</i>	<i>KO</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Model	1,36	3	0,45	17,98	0.0087
<i>A</i> : Süre	0,50	1	0,50	19,69	0.0114
<i>B</i> : Sıcaklık	0,47	1	0,47	18,48	0.0127
<i>D</i> : Fan	0,40	1	0,40	15,77	0.0165
Artık	0,10	4	0,03		
Toplam	1,46	7			
R^2	0,9310				
R^2 (Düzeltilmiş):	0,8792				

Varyans Analizi tablosunda gösterildiği gibi modeldeki yüksek R^2 ve R^2 (Düzeltilmiş) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. Varyans analizi çalışması sonucu elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_2 = -39.09 - 0.25 * A - 0.24 * B - 0.22 * D$$

Seçilen modele ilişkin regresyon analizi sonuçları Ek 3.2'de verilmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre *VIF* değerlerinin 1'e eşit olması ($VIF < 10$) çoklu doğrusal bağlantı olmadığını göstermektedir.

Artık analizlerine göre Normal olasılık grafiği ve Kolmogorov-Smirnov test sonucuna göre artıkların dağılımı normaldir. Artıkların tahmin edilen yanıt değerlerine göre çizilen grafiğine göre belirgin bir desen bulunmamaktadır. Bu durumda Eşit varyanslılık varsayımının karşılandığı ve Studentize artıkların büyüklüğünün tahmin değerinden bağımsız olduğu sonucuna varılabilmektedir. Artıkların deneme sırasına göre dağılımına ilişkin çizilen grafiğe göre belirgin bir desenin gözlenmemesi sonucu zamana bağlı bir etkinin olmadığı ve artık değerlerinin büyüklüğünün ± 3 aralığında kalması sonucunda da uç değer bulunmadığı yorumunda bulunulabilir. Bu sonuçlara göre merkez sıcaklığı için oluşturulan model varsayımların karşılanmadığını gösteren bir işaret bulunmamaktadır.

No:22 için yapılan tasarım çalışmasında üçüncü karakteristik olarak ürünün ağırlığı değerlendirilmiştir.

4.2.4.1.3 Ağırlıkların İncelenmesi

Ağırlığın artırılmasına yönelik No: 22 ürünü üzerinde yapılan ölçümlerin sonuçları hazırlanan tasarım parametreleri matrisi Tablo 4-14’de sunulmaktadır.

Tablo 4-14 No: 22 İçin AG Ölçüm Değerleri

	Süre	Sıcaklık	Fan	Tekrar 1	Tekrar 2	Tekrar 3	Ortalama	Standart Sapma	SN Oranı
1	2,5	150	750	20	19	21	19,6667	0,5774	25,867
2	2,5	150	1250	19	19	19	19	1,0000	25,551
3	2,5	170	750	20	19	20	20	0,0000	26,0206
4	2,5	170	1250	20	20	15	19	1,0000	25,551
5	3,5	150	750	19	19	18	19	1,0000	25,551
6	3,5	150	1250	18	19	16	18,3333	0,5774	25,2564
7	3,5	170	750	18	20	18	18	0,0000	25,1055
8	3,5	170	1250	20	19	17	19,6667	0,5774	25,867

Ortalama Analizi

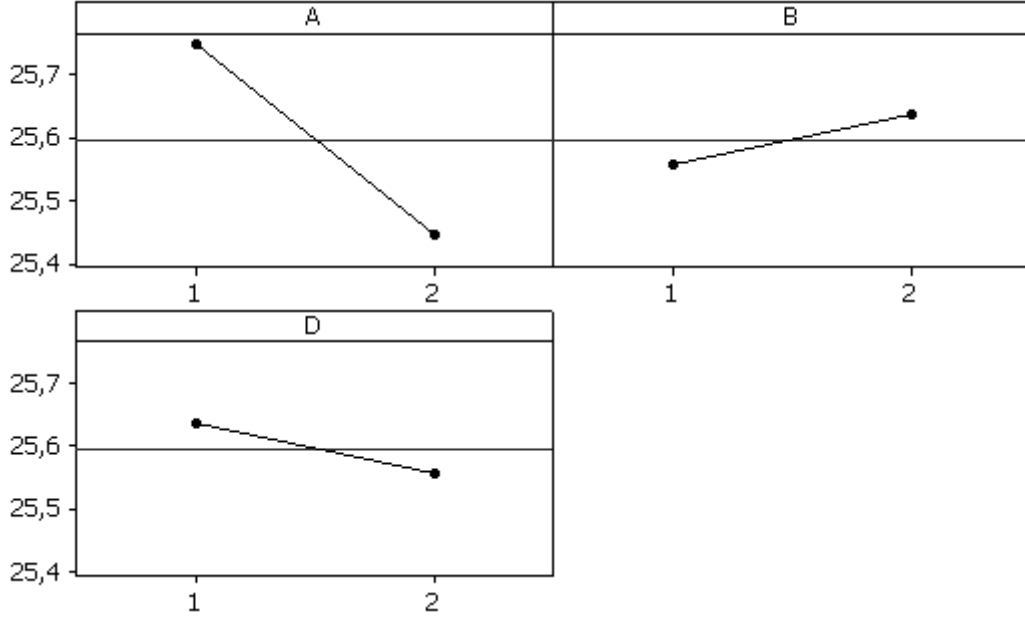
Ürün ağırlığının incelenmesine yönelik SN oranı üzerinde etkili faktörlerin uygun düzeylerinin belirlenmesi için yapılan ortalama analizleri sonucunda düzeyleri arasında en çok farkın görüldüğü faktör 1 sıraya sahip olan *A* faktörüdür. Tablo 4-15’de verilmekte olan Yanıt tablosuna göre SN oranı için *A*: Süre ve *D*: Fan faktörlerinin birinci düzeyinin, *B*: Sıcaklık faktörünün ikinci düzeyinin kullanımı gerekmektedir. Önerilen tasarım $A_1B_2D_1$ olmaktadır.

Tablo 4-15 No: 22 İçin AG Yanıt Tablosu

SN Oranı			
Düzyey	<i>A</i> : Süre	<i>B</i> :Sıcaklık	<i>D</i> :Fan
1	25,75	25,56	25,64
2	25,44	25,64	25,56
Fark (Delta)	0,3	0,08	0,08
Sıra (Rank)	1	2,5	2,5

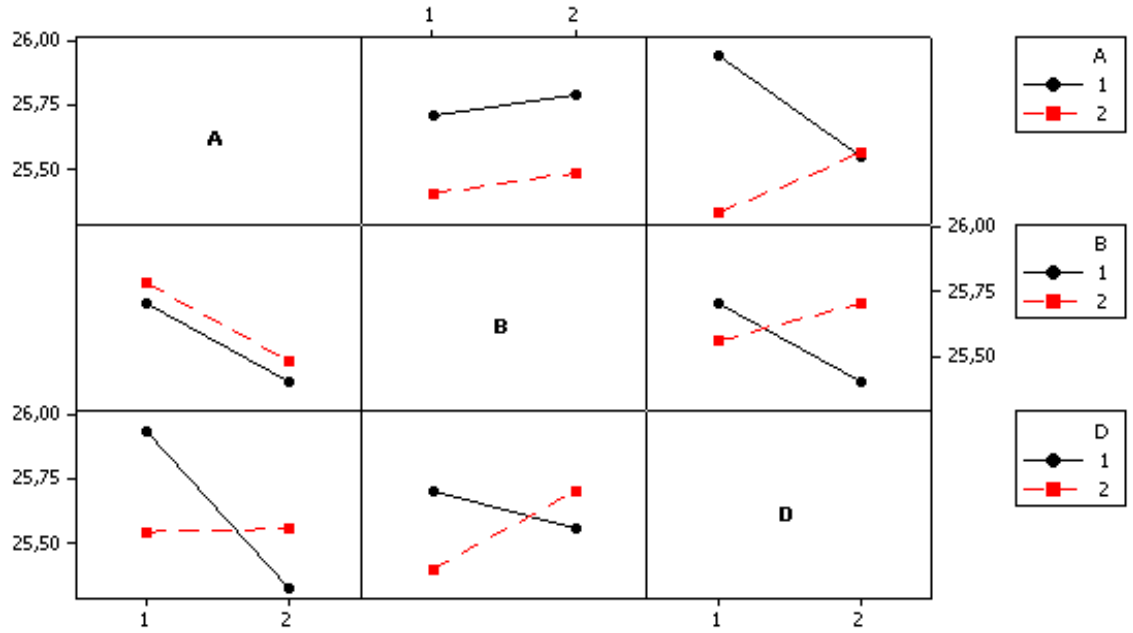
Grafik Analizi

Ana etki grafiklerinin bulunduğu Şekil 4-13'ye göre A faktörünün etkisi yüksek, B ve D faktörlerinin eğimi yani yanıt üzerindeki etkisi düşüktür.



Şekil 4-13 No: 22 İçin AG Etki Grafiği

Şekil 4-12'de verilen etkileşim grafiklerine göre $E: AxD$: SürexFan ve $F: BxD$: SıcaklıkxFan doğrularının kesişimi belirgindir.



Şekil 4-14 No: 22 İçin AG Etkileşim Grafiği

Varyans Analizi

No:22 ürünü için yapılan varyans analizi sonuçlarına göre p değerleri 0.05'ten büyük olan A : Süre, E :SürexFan, D :Fan, F :SıcaklıkxFan, G :SürexSıcaklıkxFan faktörleri ve etkileşimlerinin AG karakteristiği SN oranı üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu söylenebilmektedir. Varyans analizi sonuçları Tablo 4-16'da verilmektedir.

Tablo 4-16 No: 22 İçin AG Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı	KT	sd	KO	F	P
A : Süre	0,66	4	0,17	19,59	0.0173
E : SürexFan	0,18	1	0,18	21,60	0.0188
F : SıcaklıkxFan	0,20	1	0,20	23,15	0.0171
G : SürexSıcaklıkxFan	0,10	1	0,10	12,02	0.0404
Artık	0,18	1	0,18	21,60	0.0188
Toplam	0,03	3	0,01		
R^2	0,9631	7,0			
R^2 (Düzeltilmiş):	0,9140				

Varyans Analizi tablosunda gösterildiği gibi modeldeki yüksek R^2 ve R^2 (Düzeltilmiş) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. Varyans analizi çalışması sonucu elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_3 = +25.60 - 0.15 * A - 0.16 * E - 0.11 * F + 0.15 * G$$

Seçilen modele ilişkin regresyon analizi sonuçları Ek 3.3'te verilmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre VIF değerlerinin 1'e eşit olması ($VIF < 10$) çoklu doğrusal bağlantı olmadığını göstermektedir.

Artık analizlerine göre Normal olasılık grafiği ve Kolmogorov-Smirnov test sonucuna göre artıkların dağılımı normaldir. Artıkların tahmin edilen yanıt değerlerine göre çizilen grafiğine göre Eşit varyanslılık varsayımının karşılandığı ve Studentize artıkların büyüklüğünün tahmin değerinden bağımsız olduğu sonucuna varılabilmektedir. Artıkların deneme sırasına göre dağılımına ilişkin çizilen grafiğe göre zamana bağlı bir etkinin olmadığı ve artık değerlerinin büyüklüğünün ± 3 aralığında kalması sonucunda da uç değer bulunmadığı yorumunda bulunulabilir. Bu

sonuçlara göre merkez sıcaklığı için oluşturulan model varsayımların karşılanmadığını gösteren bir işaret bulunmamaktadır.

4.2.4.2 No:41 Ürününe İlişkin Analizler

İşletmede en çok talebi olan ve yüksek miktarlarda üretiminin yapıldığı kebab grubu ürünlerden biri olan Kod No:41 (Adana Kebab) çalışma için öncelikli ürünlerden biri olmuştur.

4.2.4.2.1 Mikrobiyolojik Yükün İncelenmesi (MY)

No: 41 için iki ayrı tekrar gerçekleştirilmiş olup her bir tekrar için elde edilen toplam canlı mikroorganizma ortalama değerleri için oluşturulan tasarım parametreleri matrisi Tablo 4-17’de verilmektedir.

Tablo 4-17 No: 41 için MY Ölçüm Değerleri

	Süre	Sıcaklık	Fan	Tekrar 1	Tekrar 2	Tekrar 3	Ortalama	Standart Sapma	SN Oranı
1	2,5	180	750	11166,7	74500	2800	29488,9	39204,6	-92,7744
2	2,5	180	1250	2300	28833,3	102800	44644,4	52082,2	-95,7995
3	2,5	205	750	30333,3	55500	116900	67577,8	44529,2	-97,7002
4	2,5	205	1250	4833,3	35333,3	14800	18322,2	15552,1	-86,9631
5	3,5	180	750	60500	15166,7	20050	31905,6	24883,6	-91,5557
6	3,5	180	1250	22566,7	9500	29750	20605,6	10266,5	-86,9448
7	3,5	205	750	7833,3	45000	11950	21594,4	20374	-88,7102
8	3,5	205	1250	10733,3	49566,7	147633	69311	70553,2	-99,0969

Ortalama Analizi

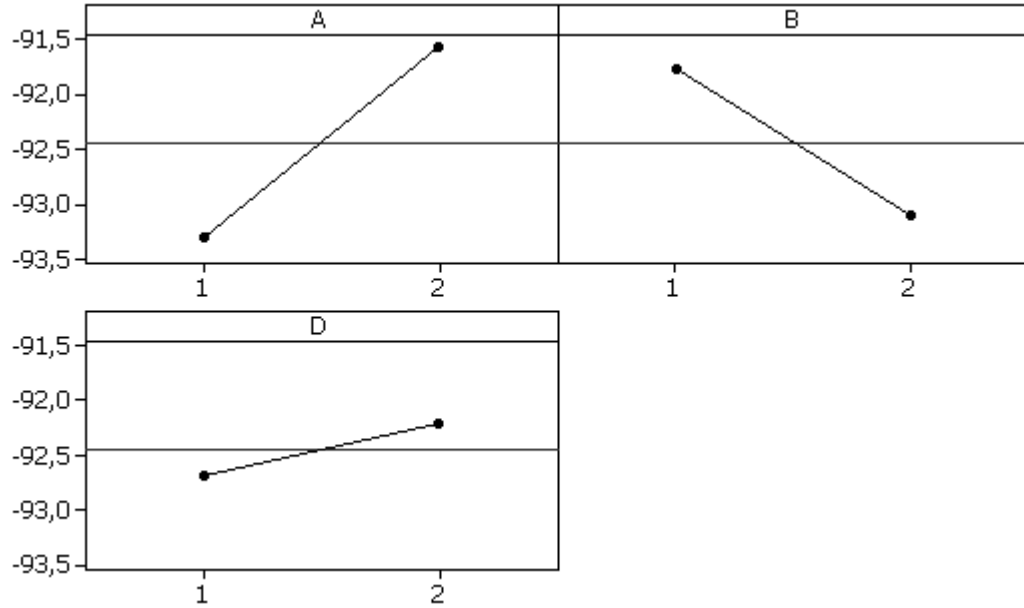
Mikrobiyolojik yükün incelenmesine yönelik SN oranı üzerinde etkili faktörlerin belirlenmesi için yapılan ortalama analizleri sonucunda düzeyleri arasında en çok farkın görüldüğü faktör 1 sıraya sahip olan A faktörüdür. Tablo 4-18’de verilmekte olan Yanıt tablosuna göre A: Süre faktörünün ikinci düzeyinin B: Sıcaklık faktörünün birinci düzeyinin, D: Fan faktörünün ikinci düzeyinin kullanımı gerekmektedir. Buna göre önerilen çözüm $A_2B_1D_2$ şeklindedir.

Tablo 4-18 No: 41 İçin MY Yanıt Tablosu

SN Oranı			
Düzyey	A: Süre	B: Sıcaklık	D: Fan
1	-93,31	-91,77	-92,69
2	-91,58	-93,12	-92,2
Fark (Delta)	1,73	1,35	0,48
Sıra (Rank)	1	2	3

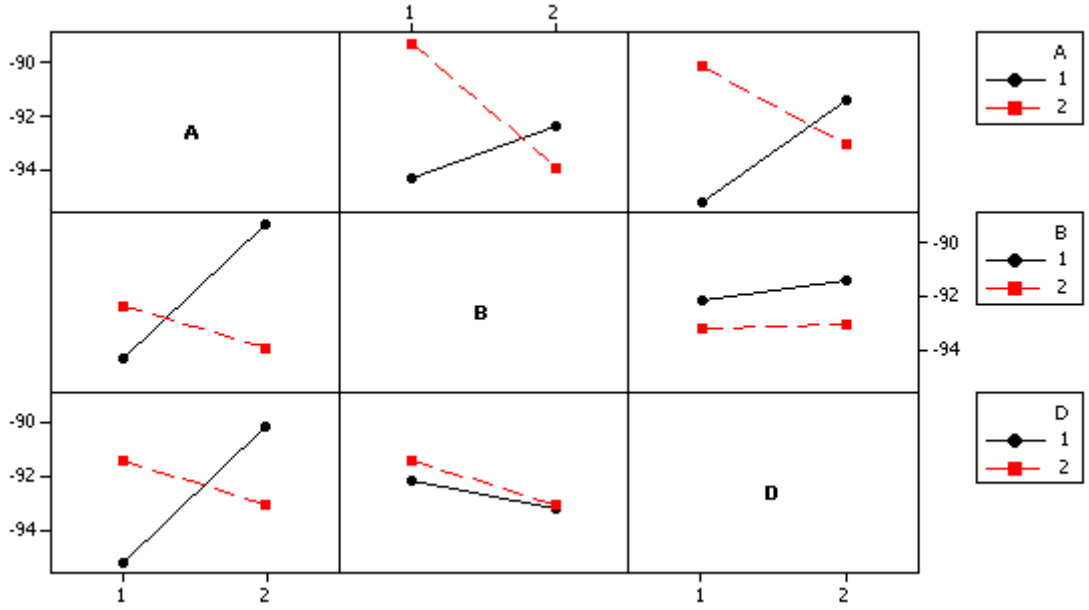
Grafik Analizi

Ana etki grafiklerinin görüldüğü Şekil 4-15'e göre *A* ve *B* faktörlerinin eğiminin yani yanıt üzerindeki etkisinin yüksek olduğu dikkate çarpmakta buna karşın *D* faktörünün yataya yakın bir seyir izlediği görülmektedir.



Şekil 4-15 No: 41 İçin MY Etki Grafiği

Şekil 4-16'da verilen etkileşim grafiklerine göre *C:AxB*: SıcaklıkxFan *E:AxD*: SürexFan ve doğrularının kesişimi belirgindir ve bu etkileşimler etkili görülmektedir. *F:BxD*: SıcaklıkxFan etkileşim etkisi ise belirgin değildir.



Şekil 4-16 No: 41 İçin MY Etkileşim Grafiği

Varyans Analizi

Tablo 4-19'da verilmekte olan Varyans Analizi tablosuna göre C: SürexSıcaklık, E: SürexFan, G: SürexSıcaklıkxFan etkileşimleri anlamlıdır.

Tablo 4-19 No: 41 İçin MY Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı	<i>KT</i>	<i>sd</i>	<i>KO</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Model	147,9677	3,00	49,32	19,15	0.0078
C: SürexSıcaklık	21,8368	1,00	21,84	8,48	0.0436
E: SürexFan	22,74009	1,00	22,74	8,83	0.0411
G: SürexSıcaklıkxFan	103,3908	1,00	103,39	40,15	0.0032
Artık	10,30141	4,00	2,58		
Toplam	158,2691	7,00			
R^2	0,9349				
R^2 (Düzeltilmiş):	0,8861				

Varyans Analizi tablosunda gösterildiği gibi modeldeki yüksek R^2 ve R^2 (Düzeltilmiş) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. Varyans analizi çalışması sonucu elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_1 = -92,4431 + 1,6521 * C + 1,6859 * E + -3,5949 * G$$

Seçilen model için yapılan regresyon analizi sonuçları Ek 4.1’de verilmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre *VIF* değerlerinin 1’e eşit olması (*VIF*<10) çoklu doğrusal bağlantı olmadığını göstermektedir.

Model yeterliliğinin kontrolü için Normal olasılık grafiği ve Kolmogorov-Simironov testi ile artıkların normal dağılıp dağılmadığı kontrol edilmiştir. Artıkların tahmin edilen yanıt değerlerine göre çizilen grafiğine göre belirgin bir desen bulunmamaktadır. Bu durumda Eşit varyanslılık varsayımının karşılandığı ve Studentize artıkların büyüklüğünün tahmin değerinden bağımsız olduğu sonucuna varılabilmektedir. Artıkların deneme sırasına göre dağılımına ilişkin çizilen grafiğe göre belirgin bir desen gözlenmemiştir ve artık değerlerinin büyüklüğü ± 3 aralığında kalmıştır. Bu sonuçlara göre varsayımların karşılanmadığını gösteren bir işaret bulunmamaktadır.

No:41 için yapılan tasarım çalışmasında ikinci karakteristik olarak merkez sıcaklığı değerlendirilmiştir.

4..2.4.2.2 Merkez Sıcaklığının İncelenmesi (MS)

Merkez sıcaklıklarının belirlenmesine yönelik olarak her bir deneme sırasında 3 ölçüm yapılmıştır. No: 41 İçin ürününe ait elde edilen değerler için tasarım parametreleri matrisi Tablo 4-20’de sunulmaktadır.

Tablo 4-20 No: 41 MS Ölçüm Değerleri

	Süre	Sıcaklık	Fan	Tekrar 1	Tekrar 2	Tekrar 3	Ortalama	Standart Sapma	SN Oranı
1	2,5	180	750	79,2	83	85,2	82,4667	3,0353	-38,3295
2	2,5	180	1250	76,8	86,5	86	83,1	5,4617	-38,4045
3	2,5	205	750	90,1	87,4	90,4	89,3	1,6523	-39,018
4	2,5	205	1250	79,9	85,4	86,4	83,9	3,5000	-38,4803
5	3,5	180	750	79,4	82,1	82,6	81,3667	1,7214	-38,2102
6	3,5	180	1250	82,8	90,2	89,7	87,5667	4,1356	-38,8532
7	3,5	205	750	90,4	96,6	95,6	94,2	3,3287	-39,4846
8	3,5	205	1250	90,5	91,7	93,3	91,8333	1,4048	-39,2607

Ortalama Analizi

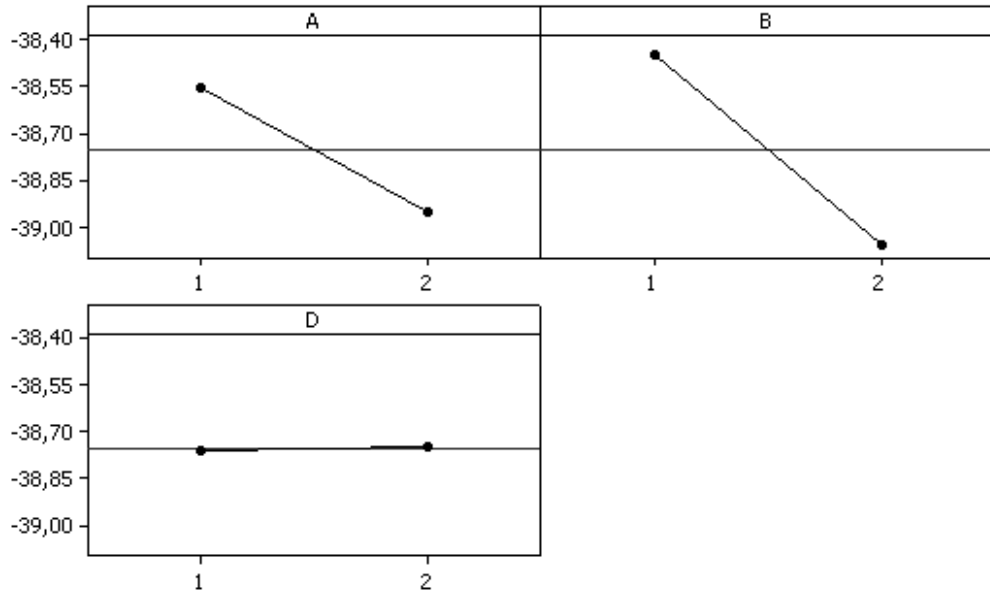
Merkez sıcaklığının incelenmesi için *SN* oranı üzerinde etkili faktörlerin uygun düzeylerinin belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen ortalama analizlerinin sonuçları Tablo 4-21’de Yanıt tablosunda verilmektedir. Analiz sonuçlarına göre, *SN* oranı için *A*: Süre ve *B*: Sıcaklık faktörlerinin birinci, *D*: Fan faktörünün ikinci düzeyinin kullanımı gerekmektedir. Önerilen tasarım $A_1B_1D_2$ olmaktadır. Bu değerlerin tümü yasal mevzuatlara uygun derecede üretimleri sağlamaktadır.

Tablo 4-21 No: 41 İçin MS Yanıt Tablosu

<i>SN</i> Oranı			
Düzyey	<i>A</i> : Süre	<i>B</i> :Sıcaklık	<i>D</i> :Fan
1	-38,56	-38,45	-38,76
2	-38,95	-39,06	-38,75
Fark (Delta)	0,39	0,61	0,01
Sıra (Rank)	2	1	3

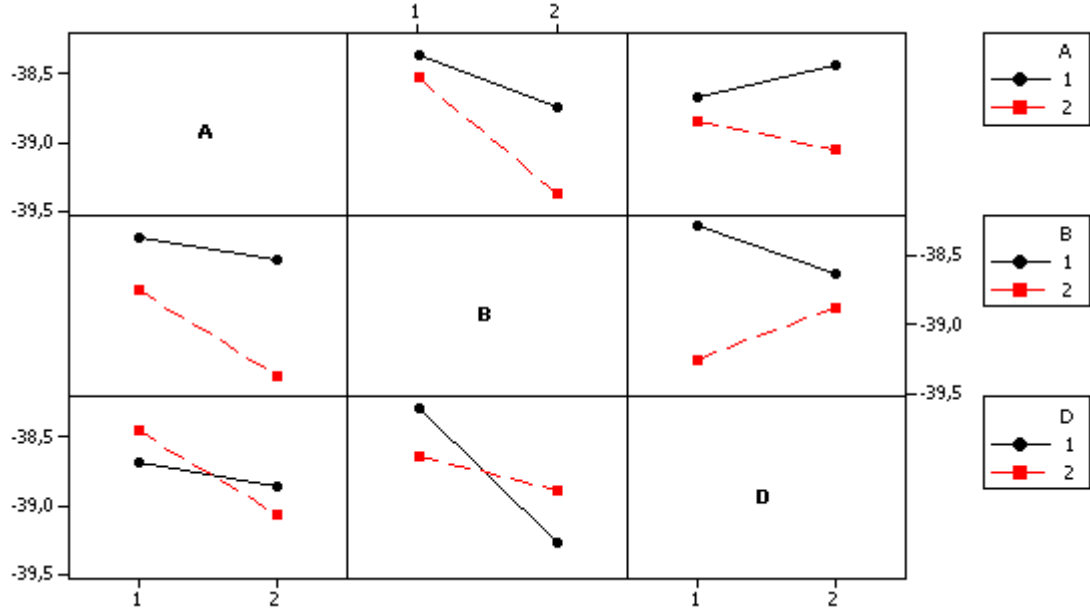
Grafik Analizi

Ana etki grafiklerinin bulunduğu Şekil 4-17’ye göre *A* ve *B* faktörlerinin eğimi yani yanıt üzerindeki etkisi yüksektir.



Şekil 4-17 No: 41 İçin MS Etki Grafiği

Şekil 4-18'de verilen etkileşim grafiklerine göre $C:AxB$: SürexSıcaklık, $E:AxD$: SürexFan ve $F:BxD$: SıcaklıkxFan etkileşimleri bulunmaktadır.



Şekil 4-18 No: 41 İçin MS Etkileşim Grafiği

Varyans Analizi

No:22 ürünü için yapılan varyans analizi sonuçlarına göre p değerleri 0.05'ten büyük olan A :Süre, B :Sıcaklık, C :SürexSıcaklık, E :SürexFan, F :SıcaklıkxFan, faktörleri ve etkileşimlerinin AG karakteristiği SN oranı üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu söylenebilmektedir. Varyans analizi sonuçları Tablo 4-22'de verilmektedir.

Tablo 4-22 No: 41 İçin MS Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı	KT	sd	KO	F	P
A : Süre	1,5	5	0,306943	73,83023	0.0134
B : Sıcaklık	0,3	1	0,31063	74,71706	0.0131
C : SürexSıcaklık	0,7	1	0,747987	179,9164	0.0055
E : SürexFan	0,1	1	0,105249	25,31592	0.0373
F : SıcaklıkxFan	0,1	1	0,097196	23,37906	0.0402
Artık	0,3	1	0,273652	65,82268	0.0149
Toplam	0,0	2	0,004157		
R^2	0,9946				
R^2 (Düzeltilmiş):	0,9811				

Varyans Analizi tablosunda gösterildiği gibi modeldeki yüksek R^2 ve R^2 (Düzeltilmiş) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. Varyans analizi çalışması sonucu elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_2 = -38,7551 - 0,1970A - 0,3057B + 0,1147C + 0,1102E + -0,1849F$$

Seçilen modele ilişkin regresyon analizi sonuçları Ek 4.2’de verilmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre VIF değerlerinin 1’e eşit olması ($VIF < 10$) çoklu doğrusal bağlantı olmadığını göstermektedir.

Artık analizlerine göre Normal olasılık grafiği ve Kolmogorov-Smirnov test sonucuna göre artıkların dağılımı normaldir. Artıkların tahmin edilen yanıt değerlerine göre çizilen grafiğine göre Eşit varyanslılık varsayımının karşılandığı ve Studentize artıkların büyüklüğünün tahmin değerinden bağımsız olduğu sonucuna varılabilmektedir. Artıkların deneme sırasına göre dağılımına ilişkin çizilen grafiğe göre zamana bağlı bir etkinin olmadığı ve artık değerlerinin büyüklüğünün ± 3 aralığında kalması sonucunda da uç değer bulunmadığı yorumunda bulunulabilir. Bu sonuçlara göre merkez sıcaklığı için oluşturulan model varsayımların karşılanmadığını gösteren bir işaret bulunmamaktadır.

Ürünlerin kalitesinin artırılmasına yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada ele alınan üçüncü kalite karakteristiği ürünün ağırlığı olmuştur.

4.2.4.2.3 Ağırlıkların İncelenmesi (AG)

Ağırlığın artırılmasına yönelik No: 41 ürünü üzerinde yapılan ölçümlerin sonuçları için hazırlanan tasarım parametreleri matrisi Tablo 4-23’de verilmektedir.

Tablo 4-23 No: 41 İçin AG Ölçüm Değerleri

	Süre	Sıcaklık	Fan	Tekrar 1	Tekrar 2	Tekrar 3	Ortalama	Standart Sapma	SN Oranı
1	2,5	180	750	52	52	51	0,5774	34,2631	34,2631
2	2,5	180	1250	56	52	58	3,0551	34,8326	34,8326
3	2,5	205	750	56	51	51	2,8868	34,4057	34,4057
4	2,5	205	1250	51	56	60	4,5093	34,854	34,8540
5	3,5	180	750	49	49	51	1,1547	33,9167	33,9167
6	3,5	180	1250	47	51	51	2,3094	33,9018	33,9018
7	3,5	205	750	48	49	51	1,5275	33,8546	33,8546
8	3,5	205	1250	51	50	50	0,5774	34,036	34,0360

Ortalama Analizi

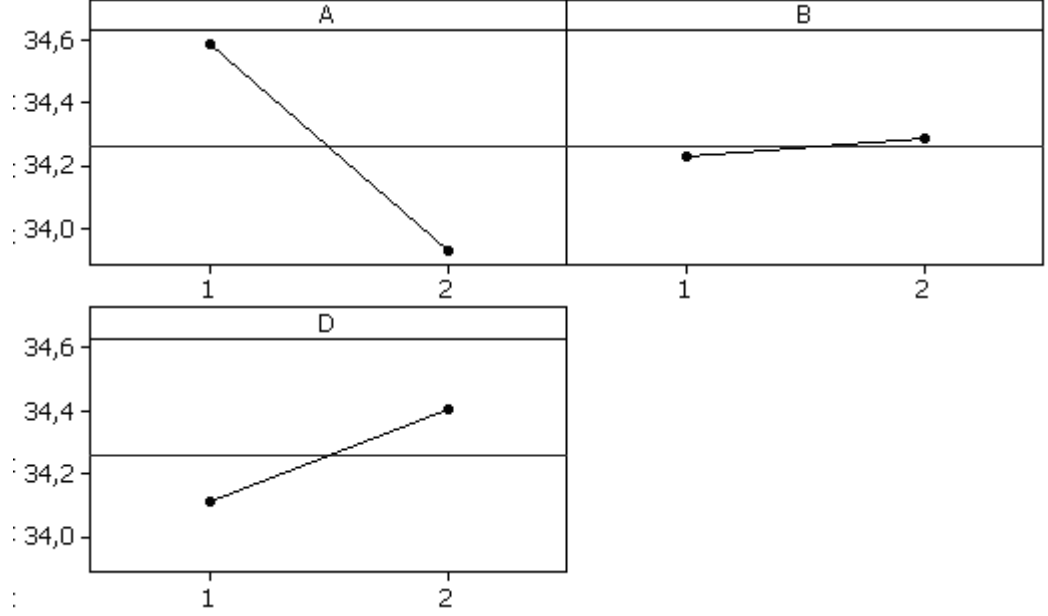
Ağırlık değerlerinin incelenmesine yönelik *SN* oranı üzerinde etkili faktörlerin belirlenmesi için yapılan ortalama analizleri sonucunda düzeyleri arasında en çok farkın görüldüğü faktör 1 sıraya sahip olan *A* faktörüdür. Tablo 4-24'te verilmekte olan Ortalama analizleri sonuçlarına göre *A*: Süre faktörünün birinci, *B*: Sıcaklık ve *D*: Fan faktörlerinin ikinci düzeyinin kullanılması önerilmektedir. Önerilen tasarım $A_1B_2D_2$ olmaktadır.

Tablo 4-24 No: 41 İçin AG Yanıt Tablosu

<i>SN</i> Oranı			
Düzye	<i>A</i> : Süre	<i>B</i> : Sıcaklık	<i>D</i> : Fan
1	34,59	34,23	34,11
2	33,93	34,29	34,41
Fark (Delta)	0,66	0,06	0,3
Sıra (Rank)	1	3	2

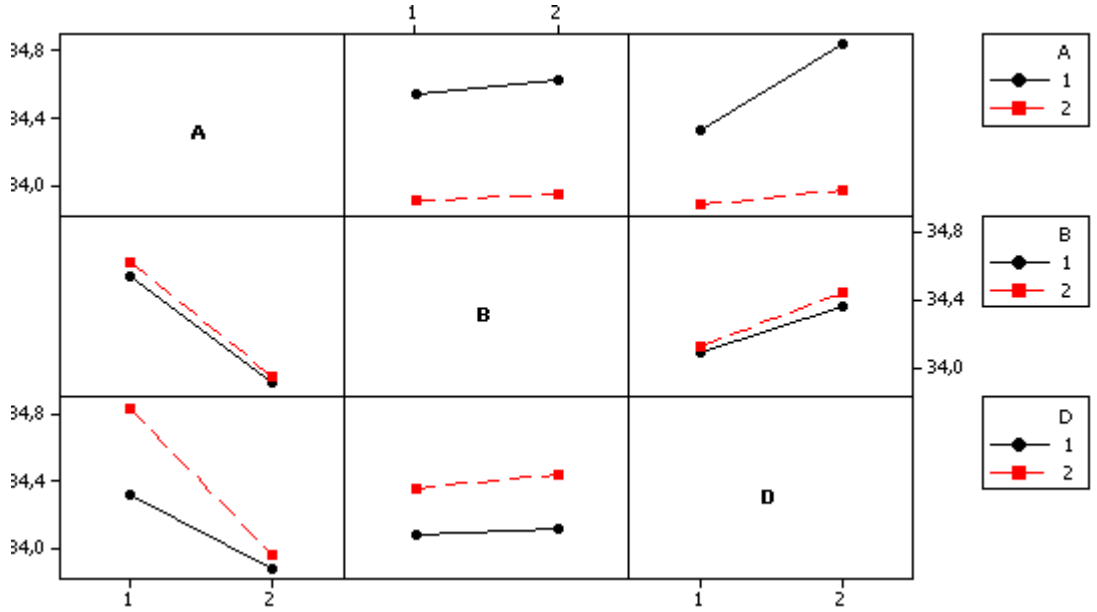
Grafik Analizi

Ana etki grafiklerinin bulunduğu Şekil 4-19'e göre *A* ve *D* faktörlerinin eğimi yani yanıt üzerindeki etkisi yüksektir.



Şekil 4-19 No: 41 İçin AG Etki Grafiği

Şekil 4-20'de verilen etkileşim grafiklerine göre *E:AxD*: SürexFan ve etkileşimi bulunmaktadır



Şekil 4-20 No: 41 İçin AG Etkileşim Grafiği

Varyans Analizi

No:22 ürünü için yapılan varyans analizi sonuçlarına göre p değerleri 0.05'ten büyük olan A :Süre, D : Fan, E :SürexFan faktör ve etkileşimlerinin AG karakteristiği SN oranı üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu söylenebilmektedir. Varyans analizi sonuçları Tablo 4-25'te verilmektedir.

Tablo 4-25 No: 41 İçin AG Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı	KT	sd	KO	F	P
A: Süre	1,1	3	0,380424	71,34275	0.0006
D: Fan	0,9	1	0,875363	164,1609	0.0002
E: SürexFan	0,2	1	0,175321	32,87874	0.0046
Artık	0,1	1	0,090589	16,98857	0.0146
Toplam	0,0	4	0,005332		
R^2	0,9817				
R^2 (Düzeltilmiş):	0,9679				

Varyans Analizi tablosunda gösterildiği gibi modeldeki yüksek R^2 ve R^2 (Düzeltilmiş) değerleri değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir. Varyans analizi çalışması sonucu elde edilen model aşağıda verilmektedir:

$$Y_3 = 34,25806 + -0,3307 * A + 0,1480 * D + 0,1064 * E$$

Seçilen model için yapılan regresyon analizi sonuçları Ek 4.3'te verilmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre VIF değerlerinin 1'e eşit olması ($VIF < 10$) çoklu doğrusal bağlantı olmadığını göstermektedir.

Modelin yeterliliğinin kontrolünde Normal olasılık grafiği ve Kolmogorov-Smirnov testi ile artıkların normal dağılıp dağılmadığı kontrol edilmiştir. Eşit varyanslılık varsayımı için artıkların tahmin edilen yanıt değerlerine göre grafiği çizilmiş ve belirgin bir desenle karşılaşmamıştır. Artıkların deneme sırasına göre dağılımına ilişkin çizilen grafiğe göre belirgin bir desenin gözlenmemesi sonucu zamana bağlı bir etkinin olmadığı ve artık değerlerinin büyüklüğünün ± 3 aralığında kalması sonucunda da uç değer bulunmamıştır. Bu sonuçlara göre varsayımların karşılanmadığını gösteren bir işaret bulunmamaktadır.

4.2.4.3 Tek Yanıtlı En Uygun Düzeylerin Önerilmesi

Tek yanıtlı üretim parametrelerinin uygun düzeylerin belirlenmesi probleminin çözümü için önerilen düzeyler tablolanmıştır. Tablo 4-26'da her ürün için üç kalite karakteristiğinin en iyilenmesine yönelik önerilen faktör düzeyleri verilmektedir. Burada tasarım parametreleri için uygun düzeyler dikkate alındığında farklı kalite karakteristikleri için farklı düzeylerin önerildiği görülmektedir. Her üç kalite karakteristiğinin eşzamanlı dikkate alındığı bir çözüm sunabilmek için problemin çok yanıtlı en iyileme problemi olarak değerlendirilmesi uygun görülmüştür.

Tablo 4-26 Düzey Öneri Tablosu

Karakteristik	No: 22 Nugget Köfte			No:41 Adana Kebap		
	A	B	D	A	B	D
Mikrobiyolojik Yük (MY)	2	2	2	2	1	2
Merkez Sıcaklığı (MS)	1	1	1	1	1	2
Ağırlık (AG)	1	2	1	1	2	2

4.2.5 Deney Sonuçlarının Çok Yanıtlı Çözümlemesi

Deney sonuçlarının çok yanıtlı çözümünün sağlanması amacıyla her bir ürün için elde edilen kalite karakteristikleri fonksiyonlarının birleştirilerek tek bir fonksiyon ile ifade edilmesi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu şekilde eşzamanlı en iyilemenin sağlanması mümkün olacaktır. Bu çalışmada birleştirici fonksiyon olarak kolay anlaşılabilir ve kurulabilir bir yapıya sahip olması, çözülmesi için Design Expert gibi uygun yazılımların bulunması ve her bir yanıtın önem derecesine göre ağırlıklandırılmasını sağlayacak esnekliğe sahip olması nedeniyle çekicilik fonksiyonunun kullanılması uygun görülmüştür.

Çekicilik fonksiyonunu en büyüleyecek özel noktanın belirlenmesi için ağırlık ve önem değerlerinin atanmasında işletme yöneticisinin görüşü dikkate alınmıştır. Her bir yanıtla ilişkin amacın yönü ise *SN* oranlarının en büyüklüğüne amacına uygun olarak seçilmiştir. Bireysel çekicilik fonksiyonlarının alt ve üst limitlerinin belirlenmesinde ise elde edilen *SN* oranlarının en küçük ve en büyük

değerleri kullanılmış, en iyi noktanın sınırdaki elde edilme durumuna göre genişletme yoluna gidilmiştir.

Çekicilik fonksiyonunun kullanılması sırasında her bir yanıt değişkeninin en iyilenmesine yönelik olarak amaçlar arasında farklı önem dereceleri (w) belirlenmiştir. Önem dereceleri 1 ile 5 arasında değer almaktadır. İşletme Kesimhane Müdürü'nden alınan bilgilere göre mikrobiyolojik yük 5, merkez sıcaklığı 3 ve ağırlık 1 önem derecesine sahiptir. Bu değerler ürünün göreceli kalite maliyetine karşılık gelmektedir. Çekicilik fonksiyonunun 1-10 aralığında bulunan ağırlık değerleri (r) ise her bir kalite karakteristiği için 1 değerini almıştır.

4.2.5.1 No: 22 Ürünü Çok Yanıtlı Analiz

Çok yanıtlı analiz için birleştirilen fonksiyonlar aşağıda verildiği şekildedir:

$$Y_1 = -82,54 + 4,53 * B + 4,29 * C + 3,91 * D - 2,70 * E + 7,19 * G$$

$$Y_2 = -39,09 - 0,25 * A - 0,24 * B - 0,22 * D$$

$$Y_3 = +25,60 - 0,15 * A - 0,16 * E - 0,11 * F + 0,15 * G$$

No:22 ürünü için çekicilik fonksiyonu alt ve üst limitlerinin belirlenmesinde denklem (3–18)'de verilmekte olan formül kullanılmıştır. Ancak SN oranları için en büyükleme hedeflendiği için yapılan denemeler sonucunda üst sınıra çok yakın değerler elde edilebildiği görülmüş ve üst sınır 1 birim kadar artırılmıştır.

$$d_{ij} = \begin{cases} 0 & SN_{ij} \leq SN_j^L \\ \left(\frac{SN_{ij} - SN_j^L}{SN_j^H - SN_j^L} \right)^t & SN_j^L \leq SN_{ij} \leq SN_j^H \\ 1 & SN_{ij} \geq SN_j^H \end{cases}$$

$$SN_j^H = \mathit{enb}_{1 \leq i \leq n} \{SN_{ij}\} + 1$$

$$SN_j^L = \mathit{enk}_{1 \leq i \leq n} \{SN_{ij}\}$$

Her bir fonksiyon için kullanılan limit değerleri ve önem dereceleri Tablo 4-27’de verilmektedir.

Tablo 4-27 Kısıtlayıcılar Tablosu

İsim	Amaç	Alt Limit	Üst Limit	Ağırlık	Önem
A	Aralık	1	2	1	3
B	Aralık	1	2	1	3
C	Aralık	1	2	1	3
D	Aralık	1	2	1	3
E	Aralık	1	2	1	3
F	Aralık	1	2	1	3
G	Aralık	1	2	1	3
Y_1	En büyükleme	-98,3331	-66	1	5
Y_2	En büyükleme	-39,7028	-37	1	3
Y_3	En büyükleme	25,1055	27	1	1

4.2.5.1.1 En Uygun Düzeylerin Önerilmesi

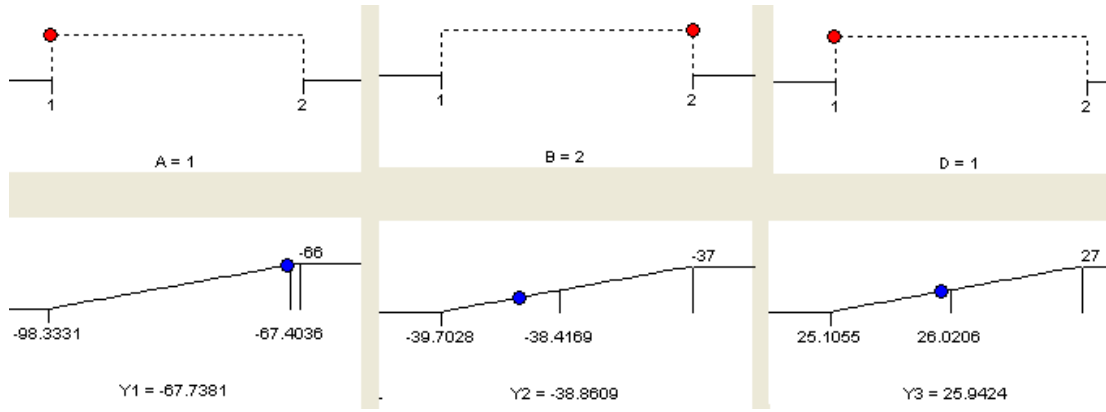
No:22 ürünü için çok yanıtli problemin çözümünde yapılan analiz sonucu 5 çözüm değeri elde edilmiştir. En yüksek çekicilik değerini veren 1. çözüm değeri problemin en iyi çözümü olmaktadır.

Buna göre, tasarım parametresi olarak en iyi çözüm $(x^*)^1=(1,2,1)$ ve kalite karakteristikleri için Mikrobiyolojik yük (MY), Merkez sıcaklığı (MS) ve Ağırlık (AG) için SN oranı tahmini değerleri; $\hat{y}_1(x^*)=-67,7381$, $\hat{y}_2(x^*)=-38,8609$, $\hat{y}_3(x^*)=25,94236$ olarak elde edilmiştir. Nelder-Mead Simpleks en iyileme algoritmasının kullanımıyla elde edilen toplam çekicilik değeri $D^*(X)=0,600342$ olmuştur. Elde edilen çözüm değerleri Tablo4-28’de verilmektedir.

Tablo 4-28 No:22 Çok Yanıtlı Çözüm Değerleri

Çözüm	A	B	C	D	E	F	G	Y_1	Y_2	Y_3	Çekicilik
1	1	2	2	1	1	2	2	-67,7381	-38,8609	25,94236	0,600342
2	1	1	1	2	2	2	2	-82,9657	-38,824	25,62924	0,394317
3	2	1	2	1	2	1	2	-82,198	-38,8765	25,55244	0,389985
4	1	2	2	2	2	1	1	-79,6953	-39,3066	25,55244	0,330683
5	2	1	2	2	1	2	1	-83,3591	-39,3222	25,33751	0,268627

Çözüm değerlerinin gösterildiği rampa grafikleri, en iyileme kriterlerinin ne kadar sağlandığını göstermektedir. Rampanın üst sınırına yakın noktalar hedefe yakın bir çözümün elde edildiğini göstermektedir. Tasarım faktörleri ve onların performans çözümleri de rampa grafiklerinde görülmektedir. Rampa grafiklerinde ayrıca her bir yanıtla ilişkin seçilen amaçların sayısal en iyilemesi için elde edilen çekicilik değeri verilmektedir. Buna göre Y_1 değeri hedefe yakın bir değerde, Y_2 ve Y_3 için ise ölçümler sırasında elde edilen sonuçlardaki en yüksek değerlere yakın olarak elde edilmiştir. Rampa grafikleri Şekil 4-21’de verilmektedir.

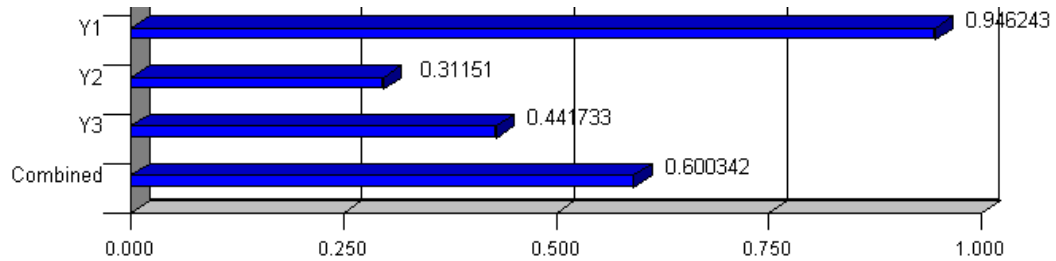


Şekil 4-21 No: 22 Rampa Grafikleri

Elde edilen bireysel çekicilik değerleri her bir karakteristik için;

$d_1(\hat{y}_1) = 0,9446$, $d_2(\hat{y}_2) = 0,31151$, $d_3(\hat{y}_3) = 0,600342$ olarak elde edilmiştir.

Çekicilik değerlerinin karşılaştırmalı görünümü Şekil 4-22’de verilmektedir.



Şekil 4-22 No: 22 Çekicilik Değerleri Grafiği

4.2.5.1.2 Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Önerilen sonuçların performans etkinliğinin ölçülmesi amacıyla deney tasarımı çalışmasının son aşaması olarak 3 tekrarlı doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deneyi sonuçları Tablo 4-29'da verilmektedir.

Tablo 4-29 No:22 Doğrulama Deneyleri Sonuçları

Tekrar	Başlangıç Koşulları			Öneri Koşulları		
	MY	MS	AG	MY	MS	AG
1	8300,00	81,60	19,50	3500,00	81,40	20,50
2	3900,00	83,90	20,00	2800,00	80,70	20,00
3	2900,00	81,70	20,00	2200,00	80,50	20,00
Ortalama	5033,33	82,40	19,83	2833,33	80,87	20,17
Standart sapma	2872,86	1,30	0,29	650,64	0,47	0,29
SN	-74,89	-38,32	25,95	-69,20	-38,16	26,09

Doğrulama deneyi sonuçlarına göre pişirme süresi, pişirme sıcaklığı ve fan hızı kontrol edilebilen değişkenleri için önerilen $(x^*)^1=(1,2,1)$ parametre düzeyleri ve (2,5; 170; 750) değerleriyle başlangıç koşullarındaki parametre değerlerinde (2,5; 180; 450) yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre her bir kalite karakteristiği için önerilen düzeylere göre yapılan üretimlerde daha yüksek SN oranı elde edilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 4-30'da verilmektedir.

Tablo 4-30 No:22 Doğrulama Deneyleri İçin Karşılaştırmalar

		Başlangıç	Öneri	Fark (db)
MY	SN	-74,89	-69,20	-5,69
	Ortalama	5033,33	2833,33	
	Standart sapma	2872,86	650,64	
MS	SN	-38,32	-38,16	-0,16
	Ortalama	82,40	80,87	
	Standart sapma	1,30	0,47	
AG	SN	25,95	26,09	-0,14
	Ortalama	19,83	20,17	
	Standart sapma	0,29	0,29	

Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda belirlenen kontrol faktörü düzeylerinde kalite karakteristikleri beklenen değerleri almıştır. Elde edilen değerler deney ekibi tarafından yeterli bulunmuş ve iyileşme sağladığı gerekçesiyle üretim parametrelerinin değiştirilmesi karar alınmıştır.

4.2.5.2 No: 41 Ürünü Çok Yanıtlı Analiz

Çok yanıtlı analiz için birleştirilen fonksiyonlar aşağıda verildiği şekildedir:

$$Y_1 = -92,4431 + 1,6521 * C + 1,6859 * E + -3,5949 * G$$

$$Y_2 = -39,09 - 0,25 * A - 0,24 * B - 0,22 * D$$

$$Y_3 = 34,25806 + -0,3307 * A + 0,1480 * D + 0,1064 * E$$

No:41 ürünü için çekicilik fonksiyonu alt ve üst limitlerinin belirlenmesinde denklem (3–18)'de verilmekte olan formül kullanılmıştır. Ancak SN oranları için No:22 ürünüde olduğu şekilde en büyükleme hedeflendiği için yapılan denemeler sonucunda üst sınıra çok yakın değerler elde edilebildiği görülmüş ve üst sınır 1 birim kadar artırılmıştır.

$$d_{ij} = \begin{cases} 0 & SN_{ij} \leq SN_j^L \\ \left(\frac{SN_{ij} - SN_j^L}{SN_j^H - SN_j^L} \right)^t & SN_j^L \leq SN_{ij} \leq SN_j^H \\ 1 & SN_{ij} \geq SN_j^H \end{cases}$$

$$SN_j^H = \mathit{enb}_{1 \leq i \leq n} \{SN_{ij}\} + 1$$

$$SN_j^L = \mathit{enk}_{1 \leq i \leq n} \{SN_{ij}\}$$

Her bir fonksiyon için kullanılan limit değerleri ve önem dereceleri Tablo 4-31'de verilmektedir.

Tablo 4-31 Düzey Öneri Tablosu

İsim	Amaç	Alt Limit	Üst Limit	Ağırlık	Önem
A	Aralık	1	2	1	3
B	Aralık	1	2	1	3
C	Aralık	1	2	1	3
D	Aralık	1	2	1	3
E	Aralık	1	2	1	3
F	Aralık	1	2	1	3
G	Aralık	1	2	1	3
Y_1	En büyükleme	-99,0969	-85	1	5
Y_2	En büyükleme	-39,4846	-37	1	3
Y_3	En büyükleme	33,8546	35	1	1

4.2.5.2.1 En Uygun Düzeylerin Önerilmesi

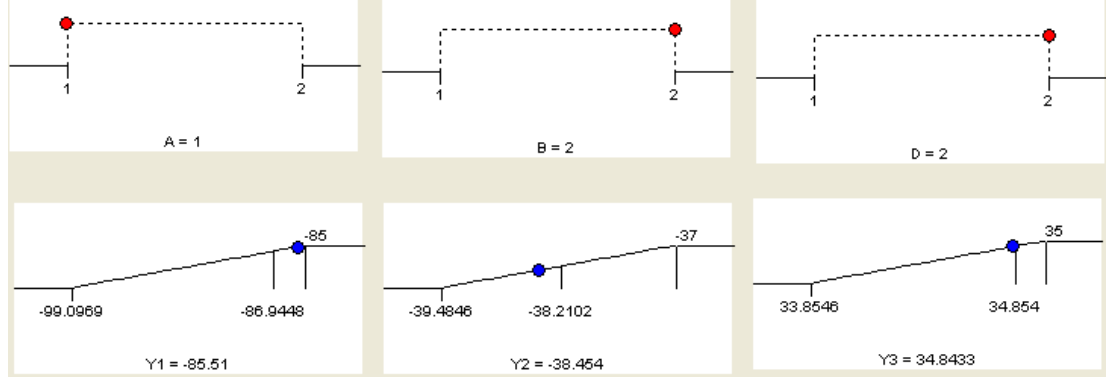
No:41 ürünü için çok yanıtli problemin çözümünde yapılan analiz sonucu 7 çözüm değeri elde edilmiştir. En yüksek çekicilik değerini veren 1. çözüm değeri problemin en iyi çözümü olmaktadır.

Buna göre, tasarım parametresi olarak en iyi çözüm $(x^*)^2 = (1,2,2)$ ve kalite karakteristikleri için Mikrobiyolojik yük (MY), Merkez sıcaklığı (MS) ve Ağırlık (AG) için SN oranı tahmini değerleri; $\hat{y}_1(x^*) = -85,51$, $\hat{y}_2(x^*) = -38,454$, $\hat{y}_3(x^*) = 34,8433$ olarak elde edilmiştir. Nelder-Mead Simpleks en iyileme algoritmasının kullanımıyla elde edilen toplam çekicilik değeri $D^*(X) = 0,71882$ olmuştur. Elde edilen çözüm değerleri Tablo4-32’de verilmektedir.

Tablo 4-32 No:22 Çok Yanıtlı Çözüm Değerleri

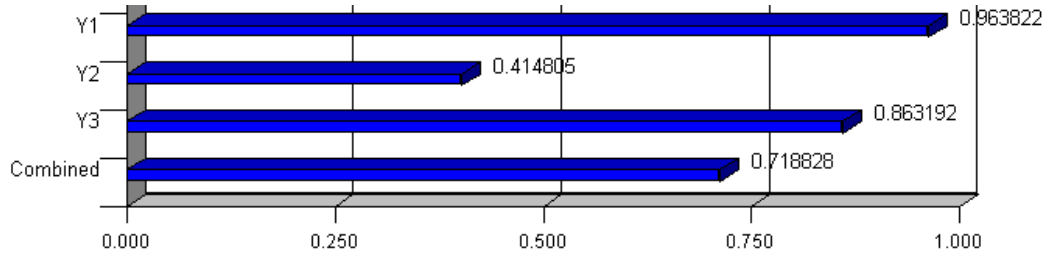
Çözüm	A	B	C	D	E	F	G	Y_1	Y_2	Y_3	Çekicilik
1	1	2	2	2	2	1	1	-85,51	-38,454	34,8433	0,71882
2	1	1	1	1	1	1	1	-92,1863	-38,2923	34,3344	0,47832
3	2	1	2	2	1	2	1	-88,882	-38,8269	33,9689	0,41559
4	2	1	2	1	2	1	2	-92,7	-38,2365	33,8856	0,34323
5	1	1	1	2	2	2	2	-96,0043	-38,4417	34,8433	0,31712
6	1	2	2	1	1	2	2	-96,0719	-39,0443	34,3344	0,21685
7	2	2	1	1	2	2	1	-88,8143	-39,4474	33,8856	0,1385

Rampa grafiklerine göre Y_1 ve Y_3 değeri hedefe yakın bir değerde Y_2 ise ölçümler sırasında elde edilen sonuçlarda ki en yüksek değere yakın olarak elde edilmiştir. Rampa grafikleri Şekil 4-21’de verilmektedir.



Şekil 4-23 No: 41 Rampa Grafikleri

Elde edilen bireysel çekicilik değerleri her bir karakteristik için; $d_1(\hat{y}_1) = 0,963822$, $d_2(\hat{y}_2) = 0,414805$, $d_3(\hat{y}_3) = 0,863192$ olarak elde edilmiştir. Çekicilik değerlerinin karşılaştırmalı görünümü Şekil 4-24’de verilmektedir.



Şekil 4-24 No: 41 Çekicilik Değerleri Grafiği

4.2.5.2.2 Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Önerilen sonuçların performans etkinliğinin ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilen doğrulama deneyleri sonuçları 4-33’te verilmektedir.

Tablo 4-33 No:41 Doğrulama Deneyleri Sonuçları

Tekrar	Başlangıç Koşulları			Öneri Koşulları		
	MY	MS	AG	MY	MS	AG
1	29350	88,5	46	37250	80	53,5
2	39850	89,1	49	15900	83	53
3	85033	91,6	47,5	3500	82,4	53
Ortalama	51411,00	89,73	47,50	18883,33	81,80	53,17
Standart sapma	29587,02	1,64	1,50	17071,64	1,59	0,29
<i>SN</i>	-95,09	-39,06	33,53	-87,41	-38,26	34,51

Doğrulama deneyi sonuçlarına göre pişirme süresi, pişirme sıcaklığı ve fan hızı kontrol edilebilen değişkenleri için önerilen $(x^*)^2=(1,2,2)$ parametre düzeyleri ve (2,5; 205; 1250) değerleriyle başlangıç koşullarındaki parametre değerlerinde (3; 225; 450) yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre her bir kalite karakteristiği için önerilen düzeylere göre yapılan üretimlerde daha yüksek *SN* oranı elde edilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonuçları Tablo 4-34'te verilmektedir.

Tablo 4-34 No:22 Doğrulama Deneyleri İçin Karşılaştırmalar

		Başlangıç	Öneri	Fark (<i>db</i>)
MY	<i>SN</i>	-98,39	-87,41	-10,98
	Ortalama	63011,11	18883,33	
	Standart sapma	66383,84	15552,10	
MS	<i>SN</i>	-38,57	-38,26	-0,32
	Ortalama	84,83	81,80	
	Standart sapma	1,27	1,59	
AG	<i>SN</i>	33,53	34,51	-0,98
	Ortalama	49,67	53,17	
	Standart sapma	0,58	0,29	

Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda belirlenen kontrol faktörü düzeylerinde kalite karakteristikleri beklenen değerleri almıştır. Elde edilen değerler deney ekibi tarafından yeterli bulunmuş ve iyileşme sağladığı gerekçesiyle üretim parametrelerinin değiştirilmesi kararı alınmıştır.

SONUÇ

İşletmelerde üretim kalite kaybının azaltılması amacıyla ürünün tasarım ve geliştirilme aşamasında yapılan çalışmalar çevrimdışı kalite kontrolü olarak adlandırılmaktadır. Çevrimdışı kalite kontrolü çalışmaları içinde yer alan deney tasarımı, ürün ya da süreçlerin tasarımı ve geliştirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilmektedir. Deney tasarımı çalışmaları arasında yer alan Taguchi güçlü tasarımı ürünlerin, kalite kaybını azaltmak amacıyla hedef değerde ve değişkenlik kaynaklarına duyarız olarak üretilmesini hedeflemektedir.

Bu çalışmada entegre tesisleri bulunan bir beyaz et üretim işletmesi ileri işlem tesisinde üretilen ürünlerin kalitesinin arttırılması amacıyla üretim parametrelerinin güçlü tasarlanması amaçlanmıştır. Yapılan uygulamada şekillendirilmiş ürünler sürecinde üretilen ürünlerin kalite kaybının en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Güçlü tasarımın gerçekleştirilmesi için üzerinde çalışılan şekillendirilmiş ürünler üretim düzeyleri yüksek olan “Nugget Köfte (Kod No: 22)” ve “Adana Kebap (Kod No: 41)” ürünleridir. Çalışmanın amacı, ilgilenilecek ürünler, kalite karakteristikleri, üretim parametreleri ve düzeyleri; oluşturulan ekip çalışmaları sonucunda belirlenmiştir.

Çalışmanın asıl amacı ürünlerin kalitesini arttırmaktır, bunun için de besin değerinden ve duyuşal özelliklerinden kayba uğratmadan bozulma süresini arttırmak hedeflenmiştir. Bozulma süresi, ürünün içinde barındırdığı mikrobiyolojik yük ile; merkez sıcaklığı, ürünün besin değeri ile ve ürün ağırlığı da ürünün duyuşal özellikleri ile doğrudan ilişkili ölçülebilir göstergelerdir. Buna karşın ürünün kalitesi için belirleyici olan bu özelliklerin tek başına iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar diğer kalite karakteristiğı için de etkide bulunabilir. Örneğın ürünün mikrobiyolojik yükünün düşürülmesi için ürünün aşırı derecede, sürede ve fan hızıyla pişirilmesi; ürünün merkez sıcaklığını olması gerekenden daha fazla arttırıp besin değeri, ağırlığında da düşüşlere neden olarak tat ve görünüm gibi duyuşal özelliklerde kalite kaybına neden olabilecektir. Bu nedenle çalışmada bu üç kalite karakteristiğinin birlikte değerlendirilmesi gerekli görülmüştür.

En uygun düzeylerinin bulunması istenen üretim parametreleri, kontrol edilebilir faktörler olarak seçilen pişirme süresi, pişirme sıcaklığı ve fan hızıdır. Çalışmada bu faktörlerin yüksek ve düşük düzeylerinin ana etkileri ve faktörlerin birbirleri arasındaki etkileşimleri araştırılmıştır. Bu nedenle seçilmesi gereken ortogonal dizinin serbestlik derecesi sekiz olarak belirlenmiştir. İki düzeyli üç faktörün kullanıldığı ve 7 sütunun gerektiği bu uygulama için $L_8(2^3)$ ortogonal dizini kullanılmıştır.

Deneyler, üretim sırasında üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Tekrar sayısı ve deney stratejisi mikrobiyolojik yük analizinin yapıldığı gıda laboratuvarındaki süre ve maliyet kısıtlarına göre belirlenmiştir. Mikrobiyolojik yükün ölçülmesi için her denemede tek örnek alınarak üç tekrar düzenine göre tam rassal deneyler gerçekleştirilmiş, merkez sıcaklığı ve ağırlıklar için de laboratuvar kısıtı olmadığı için tek bir tekrar düzeninde basit rassal tekrarlar ile üçer örnek alınmıştır.

Deney sonuçlarının çözümlenmesinde değerlendirmenin yapıldığı her bir ürün için kalite karakteristikleri ayrı ayrı ele alınmış, daha sonra tüm kalite karakteristiklerin birlikte değerlendirilmesiyle uygun üretim parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Kalite karakteristiklerinin tek tek değerlendirildiği bölümde her ürün için mikrobiyolojik yük, merkez sıcaklığı ve ağırlık için ayrı ayrı ortalama analizi, grafik incelemeleri ve varyans analizi gerçekleştirilmiştir. %95 güven düzeyinde etkili faktör ve etkileşimlerle, etkileşim hiyerarşisinin dikkate alındığı analizler sonucunda her bir kalite karakteristiği için regresyon modeli kurulmuştur. Analizler hesaplama ve grafik özelliklerinden yararlanma amacıyla MINITAB ® Release 14 programı ile Design Expert ® 7.0 programlarının kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre her bir üretim parametresi için düzey önerisinde bulunulmuştur. Farklı kalite karakteristikleri için farklı faktör düzeyleri önerildiğinden ürünlerin kalitesini arttıracak üretim parametrelerinin düzey önerisinin yapılabilmesi için karakteristiklerin birlikte değerlendirilmesi gerekli görülmüştür. Kalite karakteristiklerinin eşzamanlı en iyilenmesinin sağlanması için çok yanıtlı en iyileme probleminin çözümü araştırılmıştır.

Çok yanıtli problemin çözümlü için kalite karakteristiklerine ilişkin elde edilen her bir tahminlenmiş yanıt değışkeni matematik dönüşümlü bireysel çekicilik değeriine dönüştürölmektedir. Yanıt değeriinin çekiciliği arttıka karşılık geldiği bireysel çekicilik değeri de artmaktadır. Bireysel çekicilik değeriinin geometrik ortalamalarının alınmasıyla elde edilen genel çekicilik fonksiyonunun en büyük değeriinin bulunması ile çok yanıtli problemin çözümlü araştırılmıştır. Genel çekicilik fonksiyonunun en yüksek değeriini verecek noktasının bulunmasında ceza fonksiyonu yaklaşımı ile doğrusal olmayan programlama ve geometrik yaklaşımla çözümlü sunan ve Design Expert ® 7.0 programında kullanılabilen Nelder-Mead simpleks arama algoritması kullanılmıştır. Elde edilen çözümlü sonucuna göre en yüksek çekicilik değeriini veren üretim parametre düzeyleri kalite karakteristiklerini eşzamanlı olarak en iyileyecek düzeyler olarak önerilmiştir.

Çok yanıtli eniyileme probleminin çözümlü sonrasında belirlenen öneri düzeylerinin kullanımıyla elde edilecek sonuçların değeriendirilmesi için doğrulama deneyleri yapılmıştır. No:22 Nugget Köfte ve No:41 Adana Kebap ürünü için yapılan test ölçümü sonuçları deney ekibi ve işletme yönetimi tarafından onaylanmış ve parametre düzeyleri ile yapılan üretim yüksek kaliteli olarak değeriendirilmiştir. Ayrıca doğrulama deneylerinde öneri düzeylerinin kullanımla elde edilen sonuçlar, başlangıç koşullarındaki üretim düzeylerinin kullanıldığı ölçüm sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonrasında öneri düzeyleri ile yapılan üretimde yüksek düzeyde iyileşme sağlandığı görölmüştür. Her iki üretim düzeni arasındaki kalite kaybı farkı işletme için büyük önem kazanmaktadır. Mikrobiyolojik yükün düşürölməsi, eşzamanlı olarak merkez sıcaklığın düşürölüp ağırlığın en büyük değeriinde olmasının sağlanması kalite kaybını azaltmada önemli katkılar sağlayacak sonuçlardandır. Buna bağlı olarak ürünün besin değeri ve duysal özelliklerinden ödün vermeden bozulma süresini uzatacak şekilde üretimini sağlamak işletme karlılığını önemli ölçüde arttıran bir gelişmedir. Bu durum hazır gıda ürünleri kalite kaybını azaltmak için ele alınan çok yanıtli tasarım probleminin Taguchi güçlü tasarım yöntemi ve çekicilik fonksiyonunun birlikte kullanımıyla çözümlünün uygun bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Yapılan incelemeler ve uygulama sonucunda güçlü tasarım ile üretim parametrelerinin en uygun düzeylerinin belirlenmesinde ortaya çıkan çok yanıtli eniyileme problemlerinin çözümünde Taguchi yöntemi ve çekicilik fonksiyonunun kullanımı konusunda yeni bir yaklaşım ortaya konmuştur. Ayrıca, yapılan bu çalışma elde edilen olumlu sonuçlara bağlı olarak öncelikle işletmede şekillendirilmiş ürünler pişirme hattında üretilen tüm ürünlerde ve işletmenin farklı tesislerindeki süreçlerinde, daha sonra gıda sektöründeki ya da hizmet ve sanayi sektöründeki diğer işletmelerde kullanım için örnek oluşturabilmektedir. Üretim kalitesinin çok yönlü olarak artırılması rekabet ortamındaki tüm işletmeler için öncelikli çalışma alanlarından biridir ve yapılan çalışma kalitenin sadece muayene aşamasında değil, tasarım ve geliştirme sırasında da geliştirilebileceğini göstermektedir. Ürünlerin eşzamanlı olarak birden çok kalite karakteristiğine ilişkin en iyi değerleri sağlaması, üretimin hedef değerde ve düşük değişkenlikle gerçekleştirilmesi müşteri şikayetlerinde önemli bir düşüşe neden olacak, aynı zamanda üretim maliyetlerini de azaltarak işletme karlılığını arttıracaktır.

KAYNAKÇA

KİTAPLAR

- Ayaydın, Aydın A.: **İstatistiksel Deney Düzenlemesi**, M.Ü. Nihad Sayar-Yayın ve Yardım Vakfı Yayınları No. 425/659, İstanbul, 1988
- Barrentine, Larry B.: **An Introduction to Design of Experiments A Simplified Approach**, ASO Quality Pres, Milwaukee, Wisconsin, 1999, pp. 114.
- Box, George E. P., Norman R. Draper: **Empirical Model-Building and Response Surfaces**, John Wiley & Sons, 1987, pp. 669.
- Box George E. P., Norman R. Draper: **Response Surfaces, Mixtures and Ridge Analyses**, Second Edition, Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley & Sons, New Jersey, 2007, pp. 857.
- Box, George E. P., William G. Hunter, J. Stuart Hunter: **Statistics for Experimenters an Introduction to Design, Data Analysis and Model Building**, John Wiley& Sons, 1978.
- Bozkurt, Rıdvan: **Kalite Maliyetleri**, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, No: 641, Ankara, 2003, s.81.
- Burnak, Nimetullah: **Toplam Kalite Yönetimi**, Osmangazi Üniversitesi, TEKAM Yayın No: TS-97-008-NB, Eskişehir 1997.
- Byun, Jai Hyun, Kim Kwang-Jae: "On Robust Design for Multiple Quality Characteristics", Edited By: Bovas Abraham N, Unnikrishnan Nair, **Quality Improvement Throught Statistical Methods**, Birkhauster Boston, 1998.
- Cerit, Ali Münir, Alp Esin, Kahraman Albayrak, Bilal Bayram: **Makina Mühendisliği El Kitabı Üretim ve Tasarım Cilt 2**, Yayına Hazırlayan: A. Cerit, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No:170, 1996, s. 56.
- Cox, D., R, N Reid: **The Theory of The Design of Experiments**, Charpman & Hall/CRC, 2000.
- Çetin, Canan, Besim Akın, Vedat Erol: **Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi (ISO 9000-2000 Revizyonu) İlke Süreç Uygulama**, Beta Basım A.Ş., 2001, İstanbul, s.806.
- Çömlekçi, Necla: **Deney Tasarımı İlke ve Teknikleri**, İstanbul, Alfa Yayınları, 2003.

- Erbaş, Semra Oral, Hülya Olmuş **Deney Düzenleri ve İstatistik Analizleri**, Gazi Kitabevi, 2006, s. 412.
- Finney, D. J.: **Experimental Design And Its Statistical Basis**, The University of Chicago Press, Chicago, 1974, pp.169.
- Flecher, R.: **Practical Methods of Optimization**, Second Edition, John Wiley & Sons, 2000, pp. 430.
- Fowlkes, William Y., Clyde M Creveling: **Engineering Methods for Robust Product Design Using Taguchi Methods in Technology and Product Development**, Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- Grand, Eugene L.; Richard S. Leavenworth: **Statistical Quality Control**, The McGraw Hill Companies, 1996, pp. 764.
- Gujarati, Damodar N.: **Temel Ekonometri**, Çevirenler Ümit Şenesen Gülay Günlük Şenesen, Literatür Yayıncılık, No:33, İstanbul, 1995.
- Hicks, Charles R.: **Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler**, Çev. Zehra Muluk, Öniz Toktamış, Serdar Kurt, Ergun Karağaoğlu, Akademi Matbaası, 1985, s. 283.
- Hines, William W., Douglas C. Montgomery: **Probability and Statistics in Engineering and Management Science**, Third Edition, John Wiley&Sons, 1990, pp. 732.
- Ishikawa, Kaoru: **Toplam Kalite Kontrol (What is Total Quality Control SBN:013952441X)** Yayına Hazırlayan: Semih Ordaş, Nedret Yayla, KalDer Yayınları No: 7, İstanbul, 1997, s.202.
- İzgiz, Savaş: **Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu Ürün ve Proseslerin Optimizasyonu**, Federal Mogul, İstanbul, 2001, s.355.
- Juran, J. M.: “Quality Policies and Objectives, Section 3”, **Quality Control Handbook**, Edt by, J. M. Juran, Dr. Frank M. Gryna, R. S. Bingham, Jr, McGraw-Hil Book Company, 1974.
- Kavrakoğlu, İbrahim: **Kalite, Kalite Güvencesi ve ISO 9000**, KalDer Yayınları, Rekabetçi Yönetim Dizisi No: 1, İstanbul, Şubat 1998, s.112.
- Khuri Andre I., “Analysis of Multiresponse Experiments: A Review”, Edited By Subir Ghosh **Statistical Design and Analysis of Industrial Experiments**, Marcel Dekker INC, USA, 1990, pp. 533.

- Khuri, Andre I., John A Cornel: **Response Surfaces Design and Analysis**, Marcel Dekker, Inc., 1996.
- Kolarik, William J.: **Creating Quality, Concepts, Systems, Strategies and Tools**, McGraw-Hill Inc., 1995.
- Lapin, Lawrence: **Probability And Statistics For Modern Engineering**, Waveland Press, Inc. Illinois, 1990, pp.810.
- Miller, Irvin, John E. Freund, Richard A. Johnson: **Probability And Statistics For Engineers**, Prentice Hall, 1990, pp.612.
- Montgomery, Douglas C.: **Design and Analysis of Experiment**, New York, John Wiley&Sons, 2001.
- Montgomery, Douglas C.: **Introduction to Statistical Quality Control**, Fifth Edition, John Wiley&Sons, 2005.
- Myers, Raymond, Douglas C Montgomery: **Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Designed Experiments**, Second Edition, John Wiley&Sons, 2002, pp. 798.
- Newbold, Paul: **İşletme ve İktisat İçin İstatistik**, 4. Basım Çeviren: Ümit Şenesen, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2000, s. 983.
- Natrella, Mary G.: “Design and Analysis of Experiments, Section 27”, **Quality Control Handbook**, Edt by, J. M. Juran, Dr. Frank M. Gryna, R. S. Bingham, Jr, McGraw-Hil Book Company, 1974
- Orhunbilge, Neyran: **Örnekleme Yöntemleri ve Hipotez Testleri**, Avcıol Basım Yayın, İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadı Yayın No: 8, 2000, s. 420.
- Orhunbilge, Neyran: **Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi**, Yayın, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayın No: 4328, 2002, s. 340.
- Orhunbilge, Neyran: **Tanımsal İstatistik, Olasılık ve Olasılık Dağılımları**, Avcıol Basım Yayın, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayın No: 279, 2000.
- Park, Sung H.: **Robust Design and Analysis for Quality Engineering**, Chapman & Hall, London, UK, 1996, pp. 318.
- Phadke, Madhav S.: **Quality Engineering Using Robust Design**, Prentice Hall

- PTR, Englewood Cliffs New Jersey 07632, 1989, pp. 334.
- Peace, Glen Stuart: **Taguchi Methods A Hands-On Approach**, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1993, pp. 522.
- Ross, Philip J.: **Taguchi Techniques for Quality Engineering**, New York, ABD, McGraw-Hill Pres, 1988.
- Roy, Ranjit K.: **A Primer On The Taguchi Method**, Society of Manufacturing Engineers, SME, Michigan, pp.245, 1990.
- Scheaffer, Richard L., James T. McClave: **Probability and Statistics for Engineers**, Duxbury Pres, California, 1995, pp. 745.
- Şirvancı, Mete: **Kalite için Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı**, Literatür Yayıncılık, 1996.
- Taguchi, Genichi, Subir Chowdhury, Shin Taguchi: **Robust Engineering**, McGraw-Hill, USA, 2000, pp. 240.
- Taguchi, Genichi, Subir Chowdhury, Yui Wu: **Taguchi's Quality Engineering Handbook**, New Jersey, 2005, pp. 1662.
- Taguchi, Genichi, Yoshiko Yokohoma, Yui Wu: **Taguchi Methods Design of Experiments**, Japanese Standards Association, Tokyo, Japan, 1993, pp.330.
- Taguchi, Shin: "Taguchi's Quality Engineering Philosophy and Methodology", **Quality Up, Cost Down**, Edited by Eureka William E., Ryan Nancy, E., American Supplier Institute Pres, New York, 1995.
- Ünlütürk, Adnan, Fulya Turantaş : **Gıdaların Mikrobiyolojik Analizi**, İkinci Baskı, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri Bornova İzmir, 2002, s.186.
-
- Meet MINITAB Release 14 for Windows®, Minitab Inc. September 2003, USA

MAKALELER

- Aksezer Caglar S.: “On The Sensitivity of Desirability Functions for Multiresponse Optimization”, **Journal of Industrial and Management Optimization**, V:4, N:4, November 2008, pp.685-696
- Anderson-Cook Christine M., Connie M. Borrer, Douglas C. Montgomery: “Response Surface Design Evaluation and Comparison”, **Journal of Statistical Planning and Inference**, 139, 2009, pp. 629-641
- Andersson, Peder: “On Robust Design in the Conceptual Design Phase: A Qualitative Approach”, **Journal of Engineering Design**, Vol. 8, No. 1, 1997.
- Antony, Jiju, Frenie Jiju Antony: “Teaching The Taguchi Method To Industrial Engineers: Work Study”, **MCB UP Ltd**, Volume 50, Number 4, 2001, pp. 141-149.
- Antony, Jiju, Nick Capon: “Teaching Experimental Design Techniques to Industrial Engineers”, **Int. J. Engng Ed.**, Vol. 14. No.5, 1998, pp 335-343.
- Antony, Jiju, Daniel Perry, Chengbo Wang, Maneesh Kumar: “An Application of Taguchi Method of Experimental Design For New Product Design and Development Process”, **Assembly Automation**; 26, 1, 2006, pp 18-24.
- Arizaa, J.L. G´omez, T. Garc´ia-Barreraa, F. Lorenzoo, A. Gustavo Gonz´alez: “Optimisation Of A Pressurised Liquid Extraction Method For Haloanisoles in Cork Stoppers”, **Analytica Chimica Acta**, 540, 2005, pp.17–24.
- Arvidsson, Martin, Ida Gremyr: “Principles of Robust Design Methodology”, **Quality and Reliability Engineering International**, Published Online in Wiley Inter Science, 2007.
- Baray, Alp, Tuğba Sarı: "Kalite Geliştirmede Deney Tasarımı Yöntemi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama", **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi**, C:35, Sayı:2, Kasım 2006, s. 37–62.
- Barton, Russell R., John S., Ivey Jr. : “Nelder-Mead Simplex Modifications for Simulation Optimization”, **Management Science**, Vol. 42, No. 7 Jul., 1996, pp. 954-973.

- Brajkovic, Vladimir: “Mechanics of Microelectrics Examined By Design of Experiments Techniques”, **Journal of Applied Statistics**, Vol. 25, No: 6, 1998, pp.723-731.
- Canıyılmaz, Kutay: “Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 18, No 3, 2003, s. 51–63.
- Chakraborty, Shankar, Runumi Bordoloi: Concurrent Optimisation Of A Computer Vision System’s Multiple Responses, **Int J Adv Manuf Technol**, 28, 2006, pp. 577–583.
- Chang, Tzyy-Shuh, Allen C. Ward, Jinkoo Lee: “Conceptual Robustness in Simultaneous Engineering: An Extension of Taguchi’s Parameter Design”, **Research in Engineering Design**, 6, 1994, pp.211-222.
- Chubb, Francis L. , John T. Edward, Sin Cheong Wong: Simplex Optimization of Yields in the Bucherer-Bergs Reaction, **J. Org. Chem.**, 45, 1980, pp. 2315-2320.
- Coleman, David E.; Douglas C. Montgomery: “A systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment”, **Technometrics**, Vol.35, No.1, February 1993.
- Çelik, Cafer: “Tasarımla Yönlendirilmiş Deney Teknikleri”, **Endüstri Mühendisliği**, Cilt: 7, Sayı: 6, 1996, s.14–20.
- Çelik, Cafer, Nimetullah Burnak: “Kalite Geliştirmede Taguchi Yöntemlerinin Rolü ve Bir Uygulama”, **Endüstri Mühendisliği**, Cilt:5, Sayı:5, 1994, s. 9–20.
- Çelik, Cafer, Sadri Şen: “Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Tasarım Eniyilemede Taguchi Yönteminin Kullanımı ve Bir Uygulama”, **Endüstri Mühendisliği**, Cilt 10, Sayı 2, 1999.
- Danacıoğlu, Nazan, F. Zehra Muluk: “Taguchi Techniques For 2^k Fractional Factorial Experiments”, **Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics**, Volume 34 ,2005, s. 85-93.
- Del Castillo, Enrique, Montgomery Douglas C., McCarville Daniel R., “A Balancing Act: Optimizing A Product’s Properties”,

- Derringer, George C.: **Quality Progress**, June 1994.
- Derringer, George, Ronald Suich: “Simultaneous Optimization of Several Response Variables”, **Journal of Quality Technology**, Vol 12, No.4, October 1980.
- Dervişoğlu, Nurten; F. Zehra Muluk: “Taguchi Tasarımının Uygulanması ve Klasik Kesirli Çoketkenli Tasarımla Karşılaştırılması”, **Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 2007, Cilt/Vol: 8, Sayı/No: 1, pp: 65–78.
- Dubey, Avanish, Yadava Vinod Kumar: “Simultaneous Optimization of Multiple Quality Characteristics in Laser Beam Cutting Using Taguchi Method” **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing** Vol. 8, No.4, OCTOBER 2007, pp.10-15 10.
- Erdoğan, Fatih: “Yükseltilmiş D-Optimal Dizayn Yöntemi Kullanılarak Mühendislik Dizaynlarında Etkinliğin Geliştirilmesi: ‘Sentetik Jet’ Dizayn Optimizasyon Çalışması” **Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, Cilt 3 Sayı 1, Ocak 2007, s.51–61.
- Goh, T. N. : “A Pragmatic Approach to Experimental Design in Industry”, **Journal of Applied Statistics**, Vol.28, 2001, pp. 391-398.
- Guharaja S., Noorul Haq A., K.M. Karuppannan: “Optimization Of Green Sand Casting Process Parameters By Using Taguchi’s Method”, **Int J Adv Manuf Technol**, 30, 2006, pp. 1040-1048.
- Hafeez K., H. Rowlands, G. Kanji, S Iobal: “Design Optimization Using ANOVA”, **Journal of Applied Statistics**, Vol. 29, No 6, 2002, pp. 895-906.
- Hamzaçebi, Coşkun, Fevzi Kutay: “Taguchi Methodu: Bir Uygulama”, **Teknoloji**, Yıl 6, Sayı 3-4, 2003, s.7-17.
- Houng, Jer-Yiing, Hsia-Fen Hsu, Yung-Hau Liu, Jiumn-Yih Wu: “Applying The Taguchi Robust Design To The Optimization Of The Asymmetric Reduction Of Ethyl 4-Chloro Acetoacetate By Bakers’ Yeast” **Journal of Biotechnology**, 100, 2003, pp. 239-250.
- Hsieh Kun-Lin, Lee-Ing Tong, Hung-Pin Chiu, Hsin-Ya Yeh: “Optimization Of A Multi-Response Problem In Taguchi’s Dynamic System”, **Computers & Industrial Engineering**, 49, 2005, pp. 556–571.

- Kadilar, Cem, Zehra Muluk: “Deney Tasarımında Kesirli Çoketkenli Tasarımlar Ve Uygulamaları,” **İstatistik Araştırma Dergisi**, Cilt 01, No:01, 2002, s.11-22.
- Kim, MinHan, A. Seshagiri Rao, ChangKyoo Yoo: “Dual Optimization Strategy for N and P Removal in a Biological Wastewater Treatment Plant”, **Ind. Eng. Chem. Res.**, 2009, 48, pp. 6363–6371.
- Koç, Banu, Figen Kaymak Ertekin: “Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları”, “**Gıda, GD08060**”, 35, Sayı 1, 2010.
- Kolaiti, E., C. Koukouvinos: “On The Use Of Three Level Ortogonal Arrays in Robust Parameter Design”, **Statistics&Probability Letters**, 76, 2006, pp. 266-273.
- Köksoy, Onur, Gülsüm Hocaoğlu: “Taguchi Probleminin Çok Amaçlı Optimizasyon Çözümleri”, **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 18 (4), 2005, s. 613-626.
- Köksoy Onur, F. Zehra Muluk: “İlişkili Cevap Değişkenleriyle Taguchi Probleminin Çözümü” **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 17 (1), 2004, s. 59-70.
- Kros, John F., Christina M. Mastrangelo: “Impact of Nonquadratic Loss in the Taguchi Design Methodology”, **Quality Engineering**, 10: 3, 1998, pp.509-519.
- Ku, K’uang J., S.S. Rao, Li Chen: “Taguchi-Aided Search Method for Design Optimization of Engineering Systems”, **Eng. Opt.** Vol. 30, 1998, pp.1-23.
- Kumar, Ashok, Jaidep Motwani, Luis Otero: “An Application of Taguchi’s Robust Experimental Design Technique to Improve Service Performance”, **International Journal of Quality & Reliability Management**, Vol.13 No.4, 1996, pp.85-98.
- Lagarias, Jeffrey C., James A. Reeds, Margaret H. Wright, Paul E. Wright: “Convergence Properties Of The Nelder-Mead Simplex Method In Low Dimensions”, **SIAM J. Optimizations**, Vol 9, No:1, 1998, pp.112-147.
- Maghsoodloo, Saeed, Ming-Hsien Caleb: “Optimal Asymmetric Tolerance Design” **IIE Transactions** 32, 2000, pp.1127-1137.
- Mathur, Amit, Krishna R. Pattipati: “Single and Multiobjective Optimization Problems in Robust Parameter Design”, **Sadhana**, India, Vol. 22, Part 1, February 1997, pp. 5-32.

- Menon, Rakesh,
Han Loh Tong,
Liu Zhijie,
Yaacob Ibrahim: “Robust Design of A Spindle Motor: A Case Study”, **Reliability Engineering and System Safety** 75, 2002, pp. 313-319.
- Montgomery,
Douglas C.: “Experimental Design for Product and Process Design and Development”, **The Statistician**, 49, Part 2, 1999, pp.159-177.
- Montgomery,
Douglas C., J. Bert
Keats, Leonard A.
Pery, James R.
Thompson, William
S. Messina “Using Statistically Designed Experiments For Process Development And Improvement: An Application In Electronics Manufacturing”, **Robotics And Somputer Integrated Manufacturing**, 16, 2000, pp. 55-63.
- Nair, Vijayan N.: “Taguchi’s Parameter Design: A panel Discussion”, **Technometrics**, Vol 34, No:2, May 1992.
- Nelder, J. A. ,
R. Mead: “A Simplex Method For Function Minimization”, **The Computer Journal**, 7(4), 1965, pp.308-313.
- Noorossana, R., Sam
Davanloo
Tajbakhsh, A.
Saghaei: An Artificial Neural Network Approach to Multiple-Response Optimization, **Int J Adv Manuf Technol** 40, 2009, pp.1227-1238
- Ortiz, Francisco Jr;
James R Simpson;
Joseph J Pignatiello
Jr; Alejandro
Heredia-Langner A Genetic Algorithm Approach to Multiple-Response Optimization, **Journal of Quality Technology**; 36, 4, Oct 2004.
- Özler, Cenk: Çekicilik (Desirability) Fonksiyonları Üzerine Bir İnceleme, **D.E.Ü.İ.İ.B.F. Dergisi**, Cilt 14, Sayı 2, Yıl 1999, s:111-121.
- Özler, Cenk, Levent
Şenyay: Çok Cevaplı Süreçlerin Optimizasyonu Üzerine Bir İnceleme, **D.E.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi**, Cilt 13, Sayı II, Yıl 1998, s:101-112.
- Rao, C.
Radhakrishna: “Factorial Experiments Derivable from Combinatorial Arrangements of Arrays”, **Supplement to the Journal of the Royal Statistical Society**, Vol. 9, No. 1, 1947, pp. 128-139.
- Rüzgar, Bahattin: “Bireysel Emeklilik Fonlarında Fon Yapılarının Karma Denemeler Yöntemi ile incelenmesi” **Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Y. C.13, S.1, 2008, s.111-131.**

- Saat, Mesiha: “Kalite Denetiminde Taguchi Yaklaşımı”, **G.Ü. İİBF Dergisi**, 3, 2000, s. 97-108.
- Sait, A. Naveen, S. “Optimisation Of Machining Parameters Of Glass-Fibre-Aravindan, A. Reinforced Plastic (GFRP) Pipes By Desirability Function Noorul Haq Analysis Using Taguchi Technique, **Int J Adv Manuf Technol**, 43, 2009, pp.581–589.
- Sauers, Dale G.: “Using The Taguchi Loss Function To Reduce Common-Cause Variation”, **Quality Engineering**, 12 (2), 1999, pp.245-252.
- Savaşkan, Metin, “Deney Tasarımı Yöntemi İle Matkap Uçlarında Performans Yılmaz Taptık, Optimizasyonu”, **İtüdergisi/d mühendislik**, Cilt:3, Sayı: 6, Mustafa Ürgen: Aralık 2004, s. 117-128.
- Shoemaker, Anne “A Methodology for Planning Experiments in Robust Product C., Raghu N. and Process Design”, **Quality and Reliability Engineering Kacker: International**, Vol.4, 1988, pp. 95-103.
- Shoemaker, Anne “Economical Experimentation Methods for Robust Design”, C., Kwok-Leung **Technometrics**, Vol. 33, No. 4., Nov., 1991, pp. 415-427. Tsui; Wu C. F. Jeff:
- Şen, Ali, “Taguchi Yaklaşımı Ve Deney Tasarımı 1”, **Mühendis ve A. Kemal Makine**, Cilt 37, Sayı 442, 1996, s.39-47. Şehirlioğlu:
- Şen, Ali, “Taguchi Yaklaşımı ve Deney Tasarımı 2”, **Mühendis ve A. Kemal Makine**, Cilt 37, Sayı 443, 1996, s. 27–34 Şehirlioğlu:
- Taguchi, Genichi, “Robust Quality”, **Harvard Business Review**, January-Don Clausing: February, 1990, pp 65-75.
- Taguchi, Genichi, “Quality Engineering (Taguchi Methods) For the Shih-Chung Tsai: Development of Electronic Circuit Technology”, **IEEE Transactions On Reliability**. Vol. 44, No: 2, June 1995.
- Taner, Tolga, Jiju “Applying Taguchi Methods to Health Care”, **Leadership in Antony: Health Services**, Vol.19, No.1, 2006, pp.26-35.
- Torng, Chau-Chen, “Applying Quality Engineering Technique to Improve Chao-Yu Chou, Hui-Rong Liu: Wastewater Treatment”, **Journal of Industrial Technology**, Volume 15, Number 1, November 1998 to January 1999.

- Tulunay, Yılmaz: “Kalite ve Kalite Geliştirme”, **İşletme Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, Kasım 1978.**
- Vlachogiannis, John G., Ranjit K. Roy: “TQM Implementation Robust PID Controllers by Taguchi’s Method,” **The TQM Magazine** Vol. 17 No. 5, 2005, pp. 456-466
- Wang, Q. S., W. Q. Xie, D.P. Fan: “Advanced Simplex Optimization of Two-factor Selectivity by High Performance Thin-Layer Chromatography”, **Chromatographia** Vol. 35, No. 3/4 February 1993.
- Yang, Kai, Ee-Chon Teo, Franz Konstantin Fuss: “Application of Taguchi Method in Optimization of Cervical Ring Cage”, **Journal of Biomechanics**, 40, 2007, pp.3251-3256.
- Yates, F.: “Complex Experiments”, **Supplement to the Journal of the Royal Statistical Society**, Vol. 2, No. 2., 1935, pp. 181-247.
- Yoon, Hyoup-Sang, Yum Bong-Jin: “Robust Design Of Communication Systems: The Case Of Expedited Forwarding Of Voice Traffic In Differentiated Services Networks” **Int. J. Commun. Syst.**, 2007; 20, pp.1131–1154.

DIĞER KAYNAKLAR

- Akteke-Öztürk, B., Weber, G.W., Köksal G.,: “Çekicilik Fonksiyonlarının Bileşke Fonksiyonlar Olarak Çözümlemesi”, **Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi (YA/EM 2009)**, Ankara, Türkiye, Haziran 22-24, 2009.
- Anderson, R. L.: “Complete Factorials, Fractional Factorials and Confounding”, **Experimental Designs in Industry Symposium**, (Edt by Victor Chew) JohnWiley& Sons, New York, 1958, pp. 59-107.
- Anderson, Mark J., Shari L. Kraber: “Using Design of Experiments”, **ABI/INFORM Trade & Industry**, Paint&Coating Industry, 19, 2; Feb 2003, pp. 52.
- Aytaç, Ayşe, Berrin Yılmaz, Veli Deniz: “Lastik Kordu Üretiminde Büküm Yönünün Etkilerinin Taguchi Ve Tam Etkensel Deney Tasarımıyla İncelenmesi” **II. Ulusal Kalite Fonksiyonu Göçerimi Sempozyumu**, 9 Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi, İzmir, 19-21 Mart 2008.
- Baynal, Kasım: “Çok Yanıtlı Kalite Karakteristiklerinin Eşzamanlı Eniyilenmesinde Taguchi Tasarımı” **IV Endüstri İşletme Mühendisliği Kurultayı**, 12–13 Aralık 2003.

- Bates, R. A., R.S. Kenet, D.M. Steinberg, H.P Wynn:
Baynal, Kasım: “Robust Design Using Computer Experiments”, **Progress in Industrial Mathematics at ECMI 2004** Volume 8, Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 564–568.
- Baynal, Kasım; Ümit Terzi: “Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilenmesi ve Bir Uygulama”, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul, 2003.
- Baynal, Kasım; Ümit Terzi: “Çoklu Kalite Başarım Özelliklerinin Hedef Programlama ve Taguchi Yöntemi Kullanılarak Eniyilenmesi”, **V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu**, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25–27 Kasım 2005.
- Bisgaard, Søren: “The Early Years of Designed Experiments in Industry: Case Study References and Some Historical Anecdote”, **Center For Quality and Productivity Improvement** CQPI Report No: 75, University of Wisconsin, November 1991.
- Box, George E. P., Stuart Hunter J.: “Experimental Designs for The Exploration and Exploitation of Response Surface”, **Experimental Designs in Industry Symposium**, (Edt by Victor Chew) JohnWiley& Sons, New York, 1958, pp. 138-189.
- Canbulut, Fazıl, Mesut Öztop: “Taguchi Metodunun Endüstriyel Uygulamalarda Kullanılması”, **TÜİK; İstatistik Araştırma Sempozyumu**, Bildiriler Kitabı, 2006, s.426–440.
- Chen, Lijun: “Integrated Robust Design Using Response Surface Methodology and Constrained Optimization”, A thesis for the degreee of Master of Applied Science in Systems Design Engineering, Waterloo, Canada, 2008.
- Çakır, Sevilay: “Çoklu Kalite Karakteristikleri İçin Karesel Kayıp Fonksiyonları ve Sinyal Gürültü Oranlarının Kullanımı Üzerine Bir Araştırma”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri A.B.D., Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir, 2007.
- Çelik, Cafer: “Kalite Geliştirmede Tasarım Eniyileme Problemine Taguchi Yöntemlerinin Uygulanmasında Sistemik Bir Yaklaşım”, Anadolu Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1993.
- Danacıoğlu, Nazan: “Taguchi Deneylelerinde Kullanılan Dikey Dizimleri Oluşturma Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, Hacettepe Üniversitesi Yayınlanmamış Bilim Uzmanlığı Tezi, 1998, s. 130.

- Frey, Daniel,
Xiang Li: “Evaluating Robust Design Methods Using a Model of Interactions in Complex Systems”, **Engineering Systems Symposium**, Massachusetts Institute of Technology, March MIT, 2004, pp. 29–31.
- Kağnıcıoğlu, Hakan: “Üretim Öncesi Kalite Kontrolunda Taguchi Yöntemi ve Kükürtdioksit Giderici Sitrata Yöntemine Uygulanması”, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Eskişehir, 1998.
- Karadağ, Durmuş
Tarık, Portfolio Risk Calculation And Stochastic Portfolio Optimization By A Copula Based Approach, Master of Science Graduate Program in Industrial Engineering, Boğaziçi Üniversitesi, 2008.
- Kaya, Nurettin: “Deney Düzeninde Taguchi Yaklaşımı, Hacettepe Üniversitesi”, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Bilim Uzmanlığı Tezi, 1996, s. 99.
- Kul, Seval: “Cevap Yüzeyi Yöntemleri” Sağlık bilimleri Enstitüsü, Biyoistatistik Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Mersin 2004, s.89.
- Larsen, Lois M., “An Evaluation of the use of The Nelder Mead Modified Simplex Method to Find The Region of Optimal Dose Therapy Combinations Subject To Toxicity Constraints In a Phase I/II Clinical Trial”, Dissertation, Department of Educational Psychology, Statistics and Technology, University of Northern Colorado, May, 1997.
- Özdemir, Erhan: “NLP Modelleri ve GRG Yönteminin Etkinleştirilmesi”, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, Yayınlanmamış Diploma Tezi, İstanbul 1979.
- Özdemir, Gültekin: “Tasarımla Gelen Kalite”, **YA/EM 2006 Yöneyem Araştırması Endüstri Mühendisliği- XXVI. Ulusal Kongresi**, Kocaeli, 3-5 Temmuz 2006, s.249-252.
- Özler, Cenk: “Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacı ile Kullanılması Üzerine Bir Araştırma”, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri ABD Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir 1997.
- Phadke, Madhav, S.,
Larry R. Smith: “Improving Engine Control Reliability Thorough Software Optimization”, **RAMS 2004, IEEE**, 2004.

- Sarı, Tuğba: "Kalite Geliştirmede Deneysel Tasarım Yöntemi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama", İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme ABD. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2005.
- Savaşkan, Metin: "Deneysel Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Kullanımı İle İnce Sert Seramik Kaplı Matkap Uçlarının Performans Değerlemesi ve Optimizasyonu", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayımlanmamış Doktora Tezi, 2003.
- Simpson, Timothy W.: "A Concept Exploration Method for Product Family Design", In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology September 1998.
- Şehirlioğlu, Ali Kemal: "Ürün ve Süreç Kalitesini İyileştirmede Kullanılan İstatistiksel Modelleme Teknikleri Üzerine Bir Araştırma, Dokuz Eylül Üniversitesi", Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayımlanmamış Doktora Tezi, İzmir, 1997, s.346.
- Şimşek, Filiz, Faik Mergen: "Asenkron Motorun Çok Hedefli Tasarım Optimizasyonu" **Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi**, ODTÜ KKM, Ankara, 23-26 Aralık 2009.
- Taşeli, Aysun, Gülser Köksal: "Yeniden İşleme ve Muayene Hatasının Kalite Kaybı Üzerindeki Etkileri", **YA/EM'2004- Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi**, Gaziantep – Adana, 15-18 Haziran 2004.
- Türkan Semra: "Karışık Doğrusal Modellerde Artık Analizi Ve Etki Analizi", Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Ankara, 2008.
- Unal, Resit, Edwin B. Dean: "Taguchi Approach to Design Optimization for Quality and Cost: An Overview", **Annual Conference of the International Society of Parametric Analysts**, 1991, s.10.
- Uysal, Ersin: "Deneysel Tasarımlar ve İstatistiksel Analiz Yöntemleri", Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, Yayımlanmamış Doktora Tezi, Diyarbakır, 2002.
- Yeniay, M. Özgür: "Taguchi Deneysel Tasarım Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı", Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayımlanmamış Doktora Tezi, 1999, s. 78.

- Zaimoğlu, Ahmet Şahin: “Betonit, Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Enjeksiyonu Karışımlarında Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Taguchi Yöntemi ile İncelenmesi”, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Erzurum, 2003.
- Vural, A. Mete, K. Çağatay Bayındır, Mehmet Tümay: “12 Darbeli bir STATCOM için Denetleyici ve Filtre Parametrelerinin Simplex Yöntemi ile Optimizasyonu” **Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi**, ODTÜ KKM, Ankara, 23-26 Aralık 2009.
- Welch, William, Tat-Kwan Yu, Sung Mo Kang, Jerome Sacks: “Computer Experiments For Quality Control By Parameter Design”, **IIQP Research Report**, RR-89-06, April 1989.

İNTERNET KAYNAKLARI

- _____ American Supplier Institute (ASI)
– “ASI's Taguchi Method Clients Include” (Çevrimiçi)
http://www.amsup.com/taguchi_methods/client_list.htm, Erişim: 25.03.2009
- Apte, Prakash R.: “Introduction to Taguchi Method”, (Çevrimiçi)
http://www.ee.iitb.ac.in/~apte/CV_PRA_TAGUCHI_INTRO.htm
Erişim: 29.04.09
- Creveling, Clyde M, J.L. Slutsky: “Design for Six Sigma: In Technology and Product Development”, **Safari Books Online**, Pearson Educating Prentice Hall PTR, (Çevrimiçi)
<http://proquest.safaribooksonline.com/0130092231/pref01>,
Erişim: 03.03.2009, s.9
- _____ TMMOB Gıda Mühendisleri Odası Merkezi Haftalık Faaliyet Raporu 12 – 18 OCAK 2009 (Çevrimiçi)
– www.gidamo.org.tr/showdoc2.php?id=1634 Erişim:06.05.09
- _____ Stat-Ease (Design-Expert 6 User's Guide, Section 12- Statistical Details: Analysis, Erişim: 26.03.10
– www.statease.com/x6ug/Dx12-Details-Analysis.pdf
- _____ Stat-Ease, (Design-Expert ®-Help) (Çevrimiçi)
– <http://www.statease.com/>
Erişim: 12. 03.2010
- Kraber Shari: Stat-Ease, (Design-Expert) Response Surface Optimization,
www.statease.com/webinars/multiple_response_optimization.pdf,
Erişim: 12. 03.2010

EKLER

Ek 1 Amerikan Tedarikçiler Enstitüsü'nün Taguchi Yöntemi Kullanan Müşterileri

http://www.amsup.com/taguchi_methods/client_list.htm

21.09.2008 The American Supplier Institute

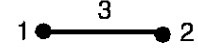
- 3M O-CEL-O
- Accuride Canada
- Aerojet Ordnance
- Allied Signal Corp
- Amdahl
- American Business Teams Inc.
- Anchor Hocking Packaging
- Anheuser-Busch Company
- Applied Materials
- ASME Washington Center
- AT&T Bell Laboratories
- Automotive Products
- Automotive Systems Laboratories
- Awrey Bakeries, Inc.
- Baker Oil Tools
- Baxter Microscan
- Beta Technology, Inc.
- Black & Decker
- Boston University
- Cameron Forge Company
- Canon Business Machines
- Case Corporation
- Chrysler Corporation
- Clemar Manufacturing
- Contech
- Crown Cork & Seal
- Curtis Wright Flight Systems
- Cyprus Sierrita
- DataMyte
- Dow Chemical
- DuPont
- Eastman Kodak Company
- Fasco Controls
- FMC Corporation
- Ford Motor Company
- Ford of Europe
- General Dynamics
- General Electric Company
- G.E. Aircraft Engines
- General Instrument
- General Motors - Inland Fisher Guide
- General Motors - N.A.T.P.
- Goodyear
- GTE Laboratories, Inc.
- GTE Products Corporation
- GTE Valenite Corporation
- Honeywell
- Howmet Corporation
- Hughes Aircraft Company
- IBM Corporation
- IBM Brazil
- ITT
- Jacobs Vehicle Equipment Company
- James River Corporation
- John Deere Harvester Works
- Kaiser Electronics
- Kemet Electronics
- Kimberly-Clark Corporation
- Kraft General Foods
- Lexmark International, Inc.
- Lockheed-Martin
- LSI Logic
- Massachusetts Institute of Technology
- McDonald's
- McDonnell Douglas Corporation
- McKenna Group
- Melroe Company
- Methode Electronics
- Michigan Technological University
- Miles, Inc.
- Miller Brewing Company
- Mitutoyo Mexicana
- Motorola, Inc.
- NASA Marshall Space Flight Center
- Naval Weapons Center
- Navistar
- Newport News Shipbuilding
- Oakridge National Laboratories
- OEM Miller
- Otis Elevator
- Philips
- Phillips 66 Company
- Pinkerton Tobacco
- Procter & Gamble
- Republic Engineered Steel
- Rocketdyne
- Rock Island Arsenal
- Rockwell International
- Schlumberger
- Siemens Automotive
- Sprague Electronics
- Strombecker Corporation
- SSI Technologies
- Stryker Endoscopy
- Tenneco Automotive
- Texas Instruments - Philippines
- The Aerospace Corporation
- The Budd Company
- The Dial Corporation
- The Wiremold Company
- Toyota Motor Corporate Services
- TRW Advanced Systems Division
- U.S. Army Headquarters
- U.S. Army Materiel Systems
- Unified Technologies Center
- United Technologies
- Whirlpool Corporation
- Wyman Gordon Forging
- Xerox Corporation

Ek 2 Standart Ortogonal Dizin ve Grafiklere Örnekler

1. $L_4(2^3)$ Ortogonal Dizini

No	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

$L_4(2^3)$ Doğrusal Grafiği



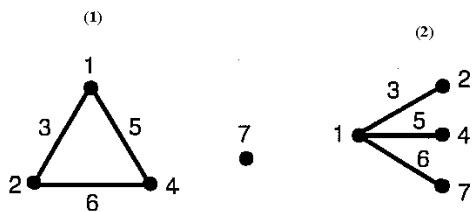
2. $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini

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

$L_8(2^7)$ Üçgen Tablosu

No	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

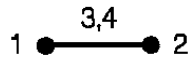
$L_8(2^7)$ Doğrusal Grafikleri



3. $L_9(2^4)$ Ortogonal Dizini

No	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

$L_9(2^4)$ Doğrusal Grafiği



4. $L_{12}(2^{11})$ Ortogonal Dizini

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

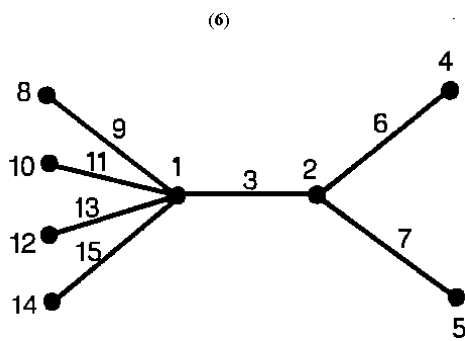
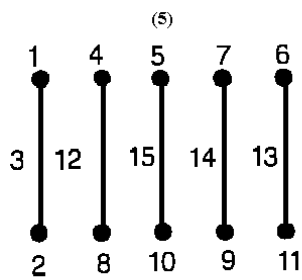
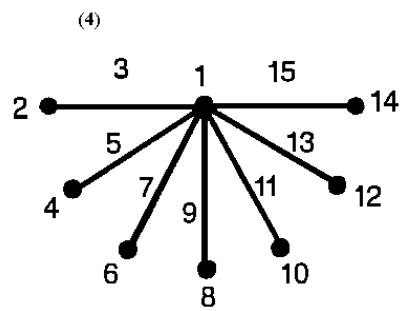
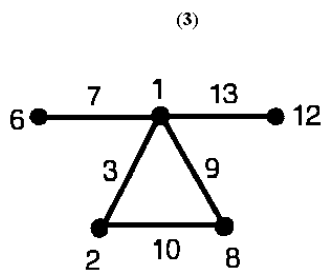
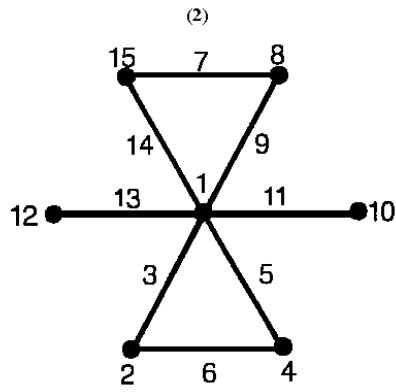
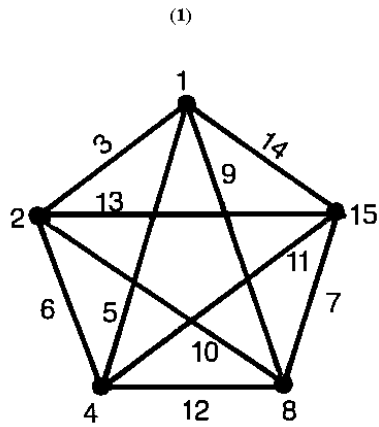
5. $L_{16}(2^{15})$ Ortogonal Dizini

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

$L_{16}(2^{15})$ Üçgen Tablosu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	(1)	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14
2		(2)	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13
3			(3)	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12
4				(4)	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11
5					(5)	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10
6						(6)	1	14	15	12	13	10	11	8	9
7							(7)	15	14	13	12	11	10	9	8
8								(8)	1	2	3	4	5	6	7
9									(9)	3	2	5	4	7	6
10										(10)	1	6	7	4	5
11											(11)	7	6	5	4
12												(12)	1	2	3
13													(13)	3	2
14														(14)	1
15															(15)

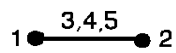
$L_{16}(2^{15})$ Doğrusal Grafikleri



6. $L_{16}(4^5)$ Ortogonal Dizini

No	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

$L_{16}(4^5)$ Doğrusal Grafiği



7. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ Ortogonal Dizini

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

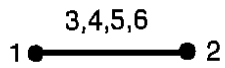
$L_{18}(2^1 \times 3^7)$ Doğrusal Grafiği



8. $L_{25}(5^6)$ Ortogonal Dizini

No	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5	5
6	2	1	2	3	4	5
7	2	2	3	4	5	1
8	2	3	4	5	1	2
9	2	4	5	1	2	3
10	2	5	1	2	3	4
11	3	1	3	5	2	4
12	3	2	4	1	3	5
13	3	3	5	2	4	1
14	3	4	1	3	5	2
15	3	5	2	4	1	3
16	4	1	4	2	5	3
17	4	2	5	3	1	4
18	4	3	1	4	2	5
19	4	4	2	5	3	1
20	4	5	3	1	4	2
21	5	1	5	4	3	2
22	5	2	1	5	4	3
23	5	3	2	1	5	4
24	5	4	3	2	1	5
25	5	5	4	3	2	1

$L_{25}(5^6)$ Doğrusal Grafiği



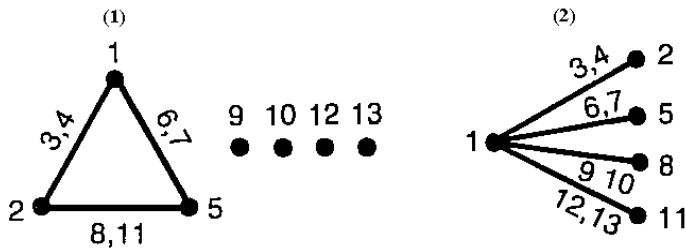
9. $L_{27}(3^{13})$ Ortogonal Dizini

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	3	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	2	3

$L_{27}(3^{13})$ Üçgen Tablosu

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	(1)	3	2	2	6	5	5	9	8	8	12	11	11
		4	4	3	7	7	6	10	10	9	13	13	12
2		(2)	1	1	8	9	10	5	6	7	5	6	7
			4	3	11	12	13	11	12	13	8	9	10
3			(3)	1	9	10	8	7	5	6	6	7	5
				2	13	11	12	12	13	11	10	8	9
4				(4)	10	8	9	6	7	5	7	5	6
					12	13	11	13	11	12	9	10	8
5					(5)	1	1	2	3	4	2	4	3
						7	6	11	13	12	8	10	9
6						(6)	1	4	2	3	3	2	4
							5	13	12	11	10	9	8
7							(7)	3	4	2	4	3	2
								12	11	13	9	8	10
8								(8)	1	1	2	3	4
									10	9	7	6	5
9									(9)	1	4	2	3
										8	7	6	5
10										(10)	3	4	2
											6	5	7
11											(11)	1	1
												13	12
12												(12)	1
													11
13													(13)

$L_{27}(3^{13})$ Doğrusal Grafikleri

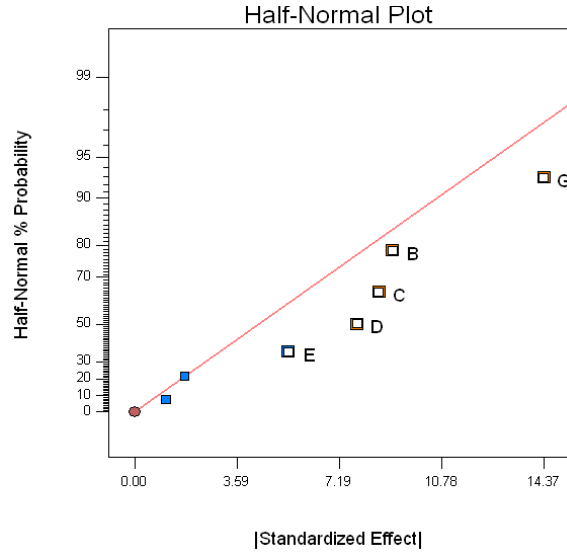


(Phadke, 1989: 285-295).

Ek 3 No: 22 Ürünü İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü

Ek 3.1 Mikrobiyolojik Yük (MY) İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü

a) Model değişkenlerinin seçilmesi



b) Ortalama ve Varyans Analizi

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	A	B	C
1	-81,66	-87,07	-86,44
2	-83,41	-78,01	-78,63
Delta	1,75	9,06	7,81
Rank	3	1	2

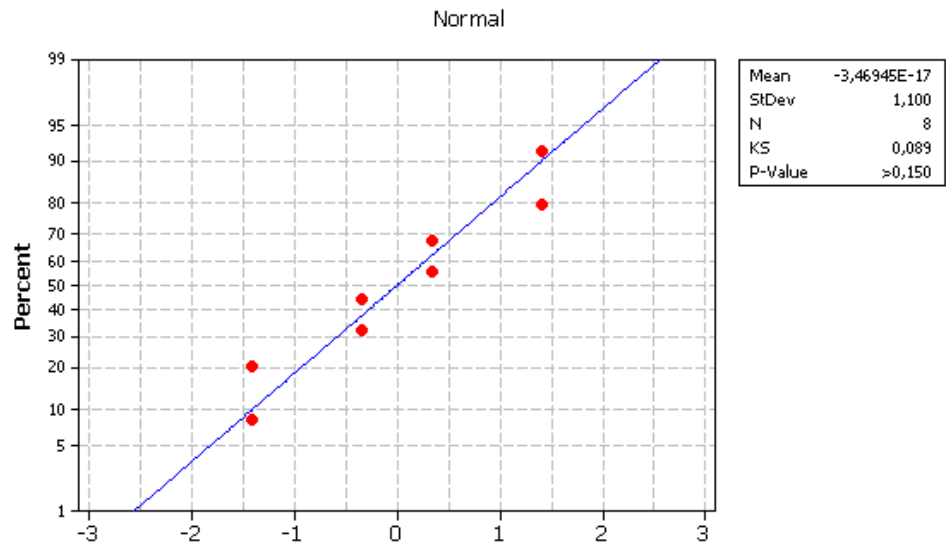
	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Model	904,77	5	180,95	42,72	0.0230	significant
B-B	164,23	1	164,23	38,77	0.0248	
C-C	147,20	1	147,20	34,75	0.0276	
D-D	122,03	1	122,03	28,81	0.0330	
E-E	58,28	1	58,28	13,76	0.0656	
G-G	413,02	1	413,02	97,50	0.0101	
Residual	8,47	2	4,24			
Cor Total	913,24	7				

c) **Modelin yeterliliği**

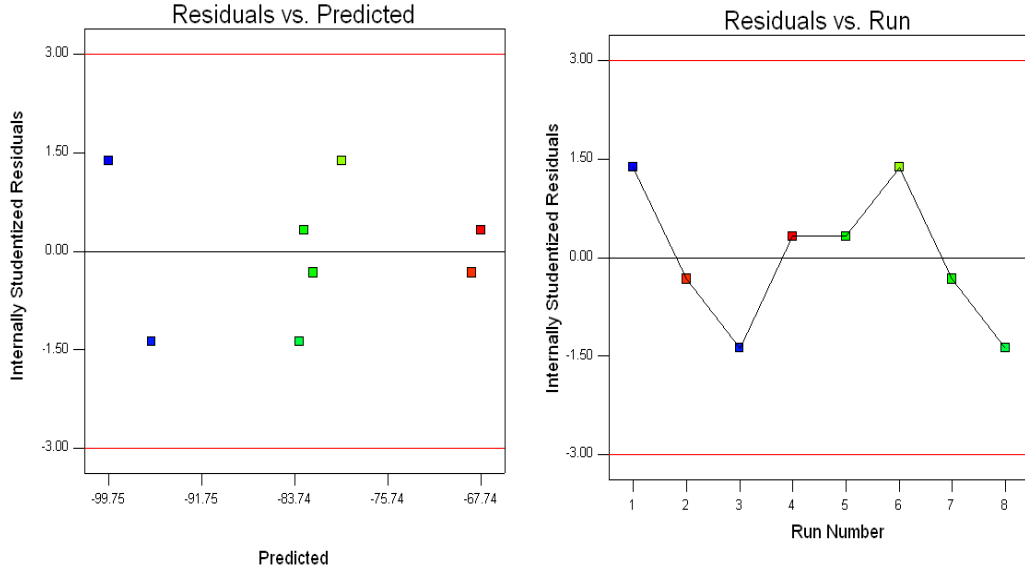
Std. Dev	2,0582	R-Squared	0,9907
Mean	-82,5372	Adj R-Squared	0,9675
C.V. %	2,4937	Pred R-Squared	0,8516
PRESS	135,5581	Adeq Precision	17,9592

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	T	VIF
	-82,5372	1	0,7277	-113,4245	
B-B	4,5309	1	0,7277	6,2265	1
C-C	4,2895	1	0,7277	5,8948	1
D-D	3,9057	1	0,7277	5,3673	1
E-E	-2,6990	1	0,7277	-3,7090	1
G-G	7,1852	1	0,7277	9,8741	1

d) **Normallik Varsayımı**



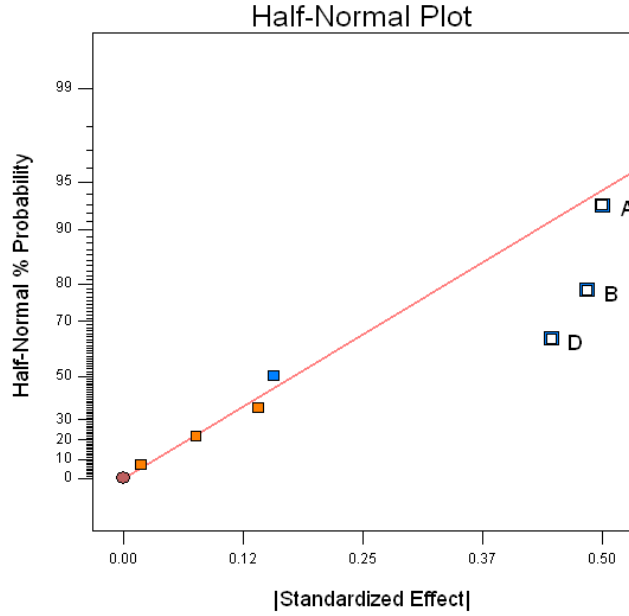
e) **Bağımsızlık, Eşit varyanslılık ve Uçdeğer Olmaması Varsayımları**



Standard Order	Actual Value	Predicted Value
1	-98.33	-99.75
2	-82.63	-82.97
3	-67.40	-67.74
4	-78.28	-79.70
5	-82.53	-82.20
6	-84.78	-83.36
7	-97.50	-96.09
8	-68.84	-68.51

Ek 3.2 Merkez Sıcaklığı (MS) İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü

a) Model değişkenlerinin seçilmesi



b) Ortalama ve Varyans Analizi

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	A	B	D
1	-38,84	-38,85	-38,87
2	-39,34	-39,33	-39,31
Delta	0,50	0,48	0,45
Rank	1	2	3

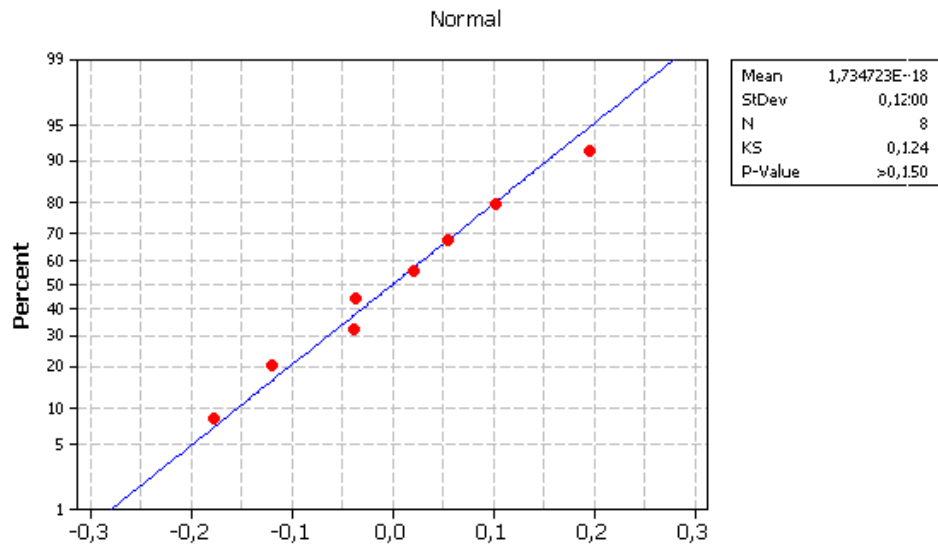
	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Source					Prob > F	
Model	1,36	3	0,45	17,98	0.0087	significant
A-A	0,50	1	0,50	19,69	0.0114	
B-B	0,47	1	0,47	18,48	0.0127	
D-D	0,40	1	0,40	15,77	0.0165	
Residual	0,10	4	0,03			
Cor Total	1,46	7				

c) **Modelin yeterliliği**

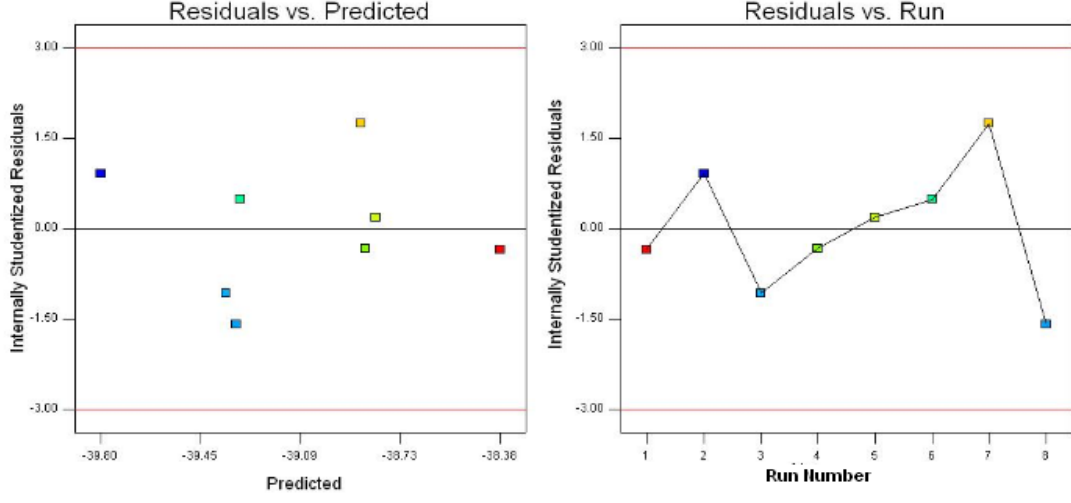
Std. Dev	0,1588	R-Squared	0,9310
Mean	-39,0915	Adj R-Squared	0,8792
C.V. %	0,4062	Pred R-Squared	0,7239
PRESS	0,4033	Adeq Precision	12,7072

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	T	VIF
	-39,0915	1	0,0561	-696,3926	
A-A	-0,2491	1	0,0561	-4,4378	1,0000
B-B	-0,2413	1	0,0561	-4,2988	1,0000
D-D	-0,2229	1	0,0561	-3,9706	1,0000

d) **Normallik Varsayımı**



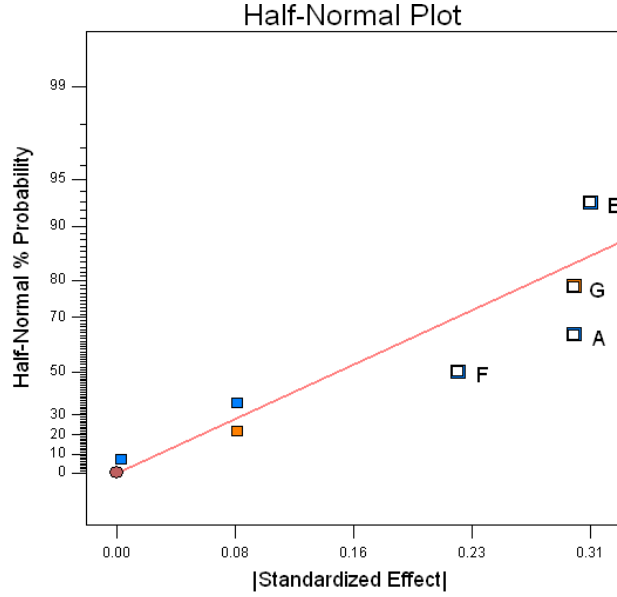
e) Bağımsızlık, Eşit varyanslılık ve Uçdeğer Olmaması Varsayımlar



Standard Order	Actual Value	Predicted Value
1	-38.42	-38.38
2	-38.80	-38.82
3	-38.90	-38.86
4	-39.25	-39.31
5	-38.68	-38.88
6	-39.50	-39.32
7	-39.48	-39.36
8	-39.70	-39.80

Ek 3.3 Ağırlık (AG) İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü

a) Model değişkenlerinin seçilmesi



b) Ortalama ve Varyans Analizi

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

Level	A	B	D
1	25,75	25,56	25,64
2	25,44	25,64	25,56
Delta	0,30	0,08	0,08
Rank	1	2,5	2,5

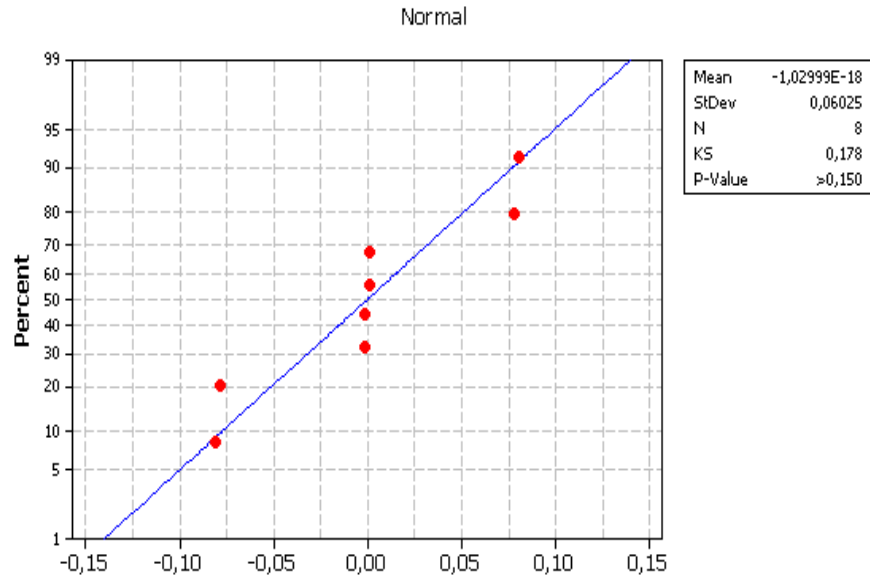
	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Model	0,66	4	0,17	19,59	0.0173	significant
A-A	0,18	1	0,18	21,60	0.0188	
E-E	0,20	1	0,20	23,15	0.0171	
F-F	0,10	1	0,10	12,02	0.0404	
G-G	0,18	1	0,18	21,60	0.0188	
Residual	0,03	3	0,01			
Cor Total	0,68916	7,0				

c) **Modelin yeterliliği**

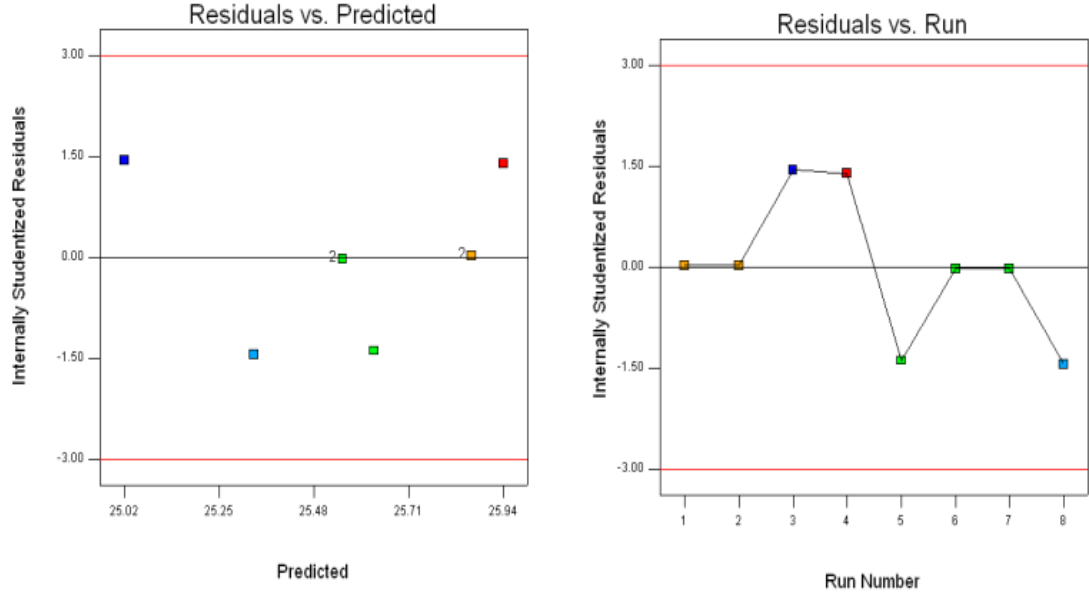
Std. Dev	0,0920	R-Squared	0,9631
Mean	25,5962	Adj R-Squared	0,9140
C.V. %	0,3595	Pred R-Squared	0,7378
PRESS	0,1807	Adeq Precision	12,6171

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	T	VIF
Intercept	25,5962	1	0,0325	786,6608	
A-A	-0,1512	1	0,0325	-4,6473	1
E-E	-0,1566	1	0,0325	-4,8117	1
F-F	-0,1128	1	0,0325	-3,4671	1
G-G	0,1512	1	0,0325	4,6473	1

d) **Normallik Varsayımı**



e) Bağımsızlık, Eşit varyanslılık ve Uçdeğer Olmaması Varsayımları

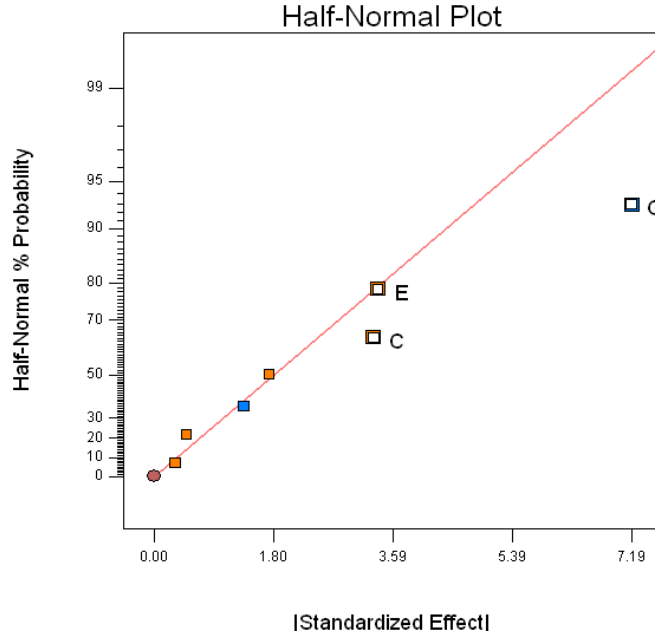


Standard Order	Actual Value	Predicted Value
1	25.87	25.87
2	25.55	25.63
3	26.02	25.94
4	25.55	25.55
5	25.55	25.55
6	25.26	25.34
7	25.11	25.02
8	25.87	25.87

Ek 4 No: 41 Ürünü İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü

Ek 4.1 Mikrobiyolojik Yük (MY) İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü

a) Model değişkenlerinin seçilmesi



b) Ortalama ve Varyans Analizi

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	A	B	D
1	-93,31	-91,77	-92,69
2	-91,58	-93,12	-92,20
Delta	1,73	1,35	0,48
Rank	1	2	3

	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Model	147,9677	3,00	49,32	19,15	0.0078	significant
C-C	21,8368	1,00	21,84	8,48	0.0436	
E-E	22,74009	1,00	22,74	8,83	0.0411	
G-G	103,3908	1,00	103,39	40,15	0.0032	
Residual	10,30141	4,00	2,58			
Cor Total	158,2691	7,00				

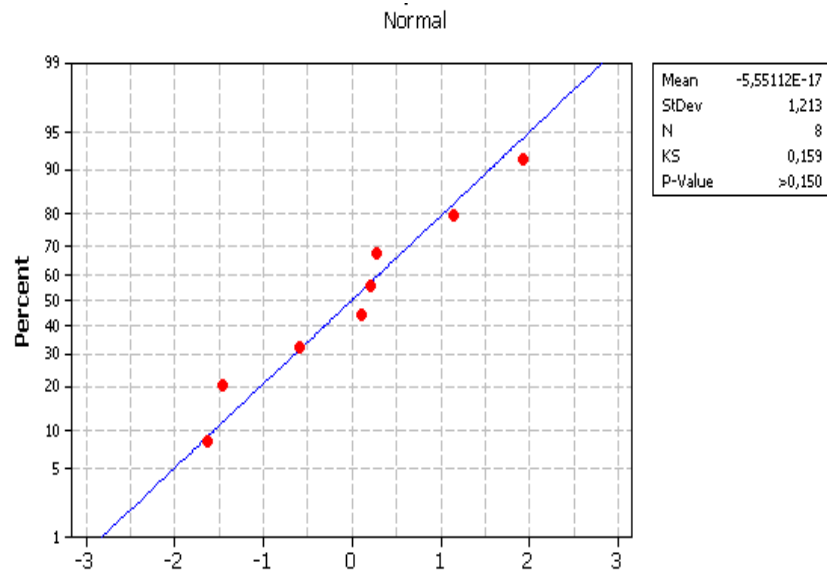
c) Modelin yeterliliği

Std. Dev	1,6048	R-Squared	0,9349
----------	--------	-----------	--------

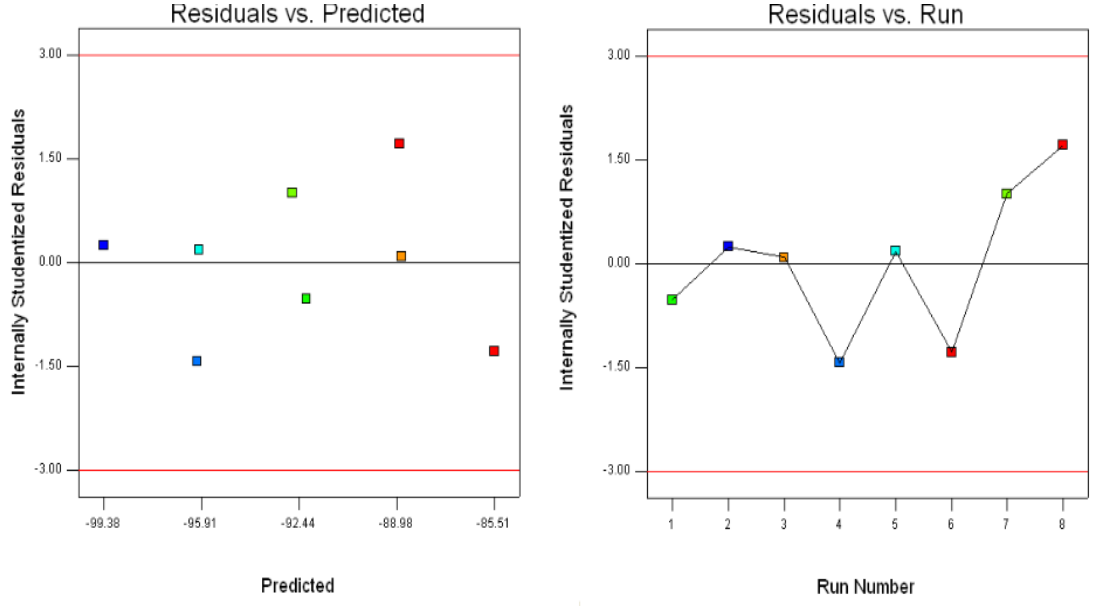
Mean	-92,4431	Adj R-Squared	0,8861
C.V. %	1,7360	Pred R-Squared	0,7396
PRESS	41,2056	Adeq Precision	12,2195

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	T	VIF
	-92,4431	1	0,5674	-162,9301	
C	1,6522	1	0,5674	2,9119	1
E	1,6860	1	0,5674	2,9715	1
G	-3,5950	1	0,5674	-6,3361	1

d) Normallik Varsayımı



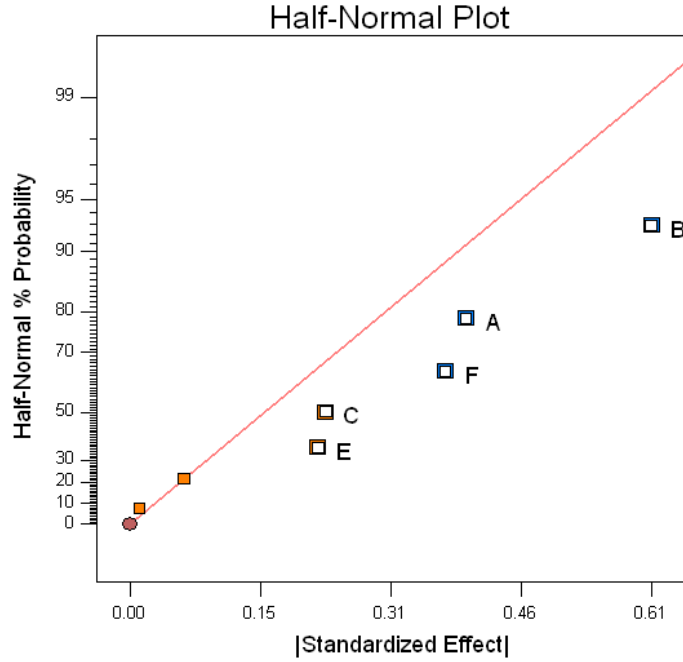
e) Bağımsızlık, Eşit varyanslılık ve Uçdeğer Olmaması Varsayımları



Standard Order	Actual Value	Predicted Value
1	-92.77	-92.19
2	-95.80	-96.00
3	-97.70	-96.07
4	-86.96	-85.51
5	-91.56	-92.70
6	-86.94	-88.88
7	-88.71	-88.81
8	-99.10	-99.38

Ek 4.2 Merkez Sıcaklığı (MS) İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü

a) Model değişkenlerinin seçilmesi



b) Ortalama ve Varyans Analizi

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	A	B	D
1	-38,56	-38,45	-38,76
2	-38,95	-39,06	-38,75
Delta	0,39	0,61	0,01
Rank	2	1	3

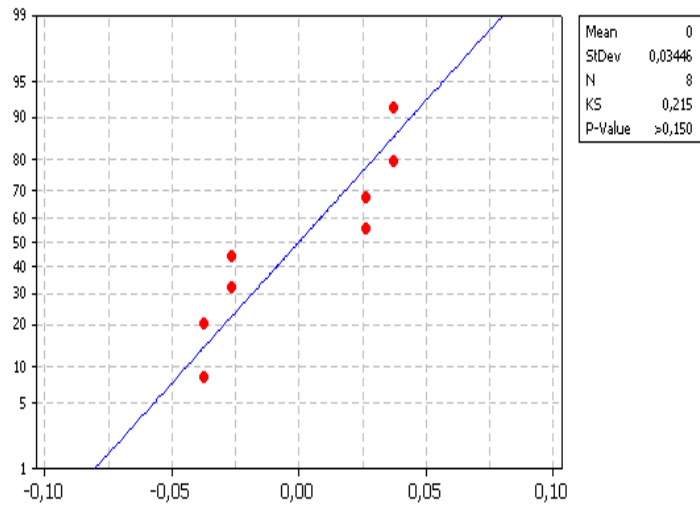
	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Model	1,5	5	0,306943	73,83023	0.0134	significant
A-A	0,3	1	0,31063	74,71706	0.0131	
B-B	0,7	1	0,747987	179,9164	0.0055	
C-C	0,1	1	0,105249	25,31592	0.0373	
E-E	0,1	1	0,097196	23,37906	0.0402	
F-F	0,3	1	0,273652	65,82268	0.0149	
Residual	0,0	2	0,004157			
Cor Total	1,5	7				

c) **Modelin yeterliliği**

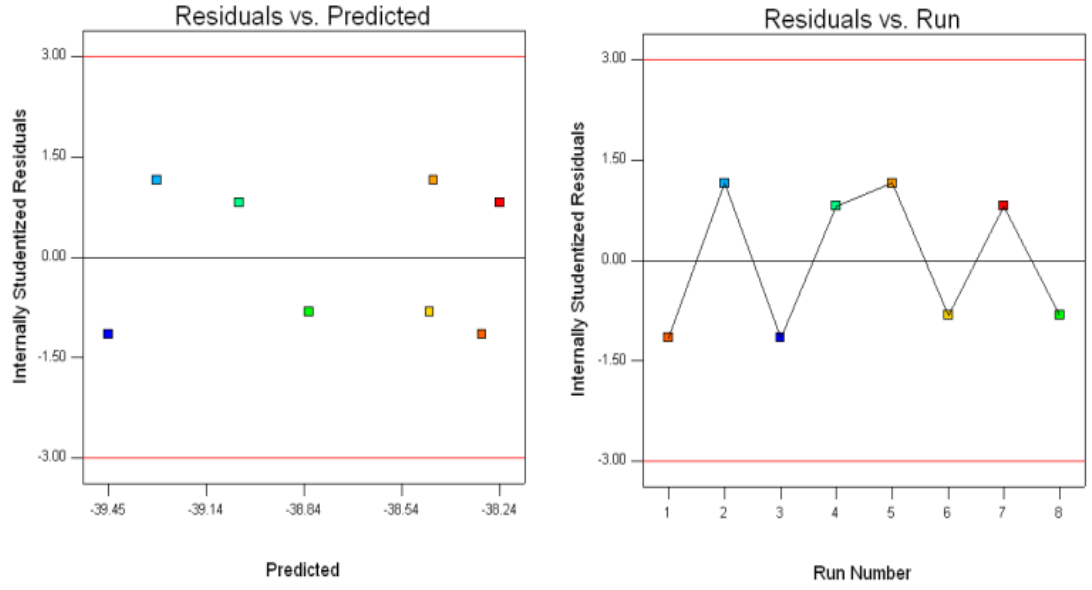
Std. Dev	0,0645	R-Squared	0,9946
Mean	-38,7551	Adj R-Squared	0,9811
C.V. %	0,1664	Pred R-Squared	0,9138
PRESS	0,1330	Adeq Precision	21,6844

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	T	VIF
	-38,755125	1	0,02279642	-1700,0535	
A-A	-0,19705	1	0,02279642	-8,6439	1
B-B	-0,305775	1	0,02279642	-13,4133	1
C-C	0,1147	1	0,02279642	5,0315	1
E-E	0,110225	1	0,02279642	4,8352	1
F-F	-0,18495	1	0,02279642	-8,1131	

d) **Normallik Varsayımı**



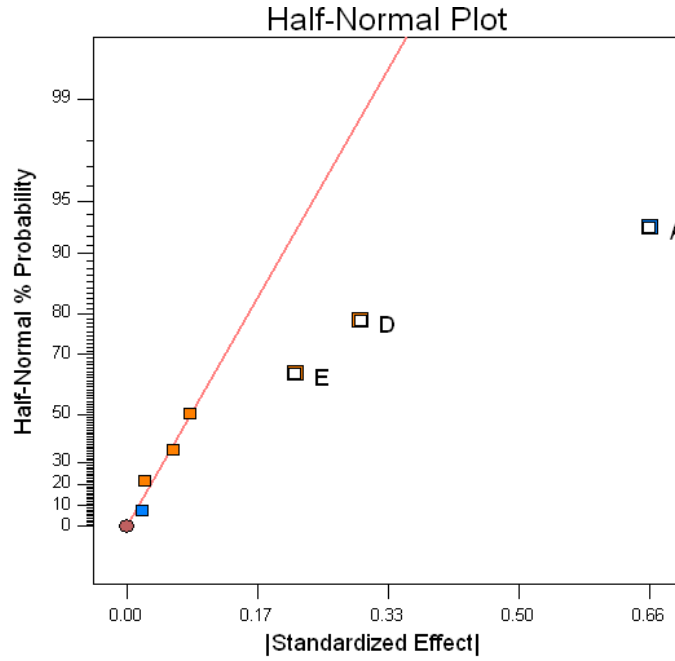
e) **Bağımsızlık, Eşit varyanslılık ve Uçdeğer Olmaması Varsayımları**



Standard Order	Actual Value	Predicted Value
1	-38.33	-38.29
2	-38.40	-38.44
3	-39.02	-39.04
4	-38.48	-38.45
5	-38.21	-38.24
6	-38.85	-38.83
7	-39.48	-39.45
8	-39.26	-39.30

Ek 4.3 Ağırlık (AG) İçin Model Kurma ve Yeterlilik Kontrolü

a) Model değişkenlerinin seçilmesi



b) Ortalama ve Varyans Analizi

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

Level	A	B	D
1	34,59	34,23	34,11
2	33,93	34,29	34,41
Delta	0,66	0,06	0,30
Rank	1	3	2

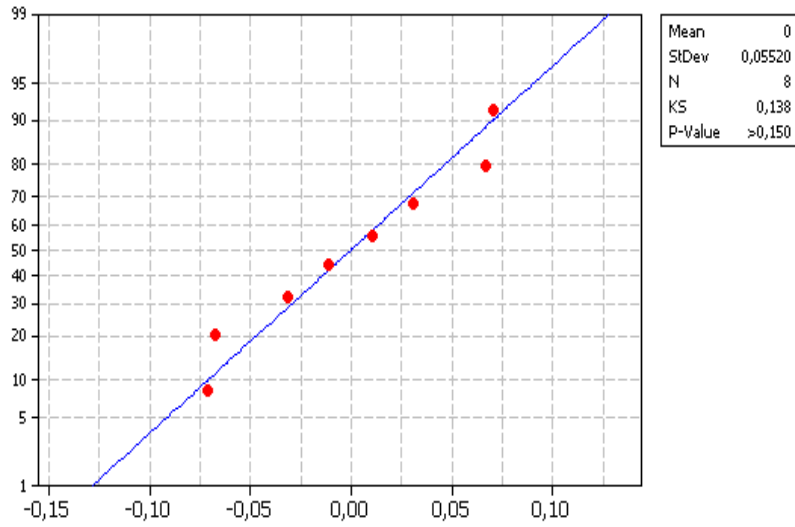
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	Prob > F
Model	1,1	3	0,380424	71,34275	0.0006	significant
A-A	0,9	1	0,875363	164,1609	0.0002	
D-D	0,2	1	0,175321	32,87874	0.0046	
E-E	0,1	1	0,090589	16,98857	0.0146	
Residual	0,0	4	0,005332			
Cor Total	1,2	7				

c) **Modelin yeterliliği**

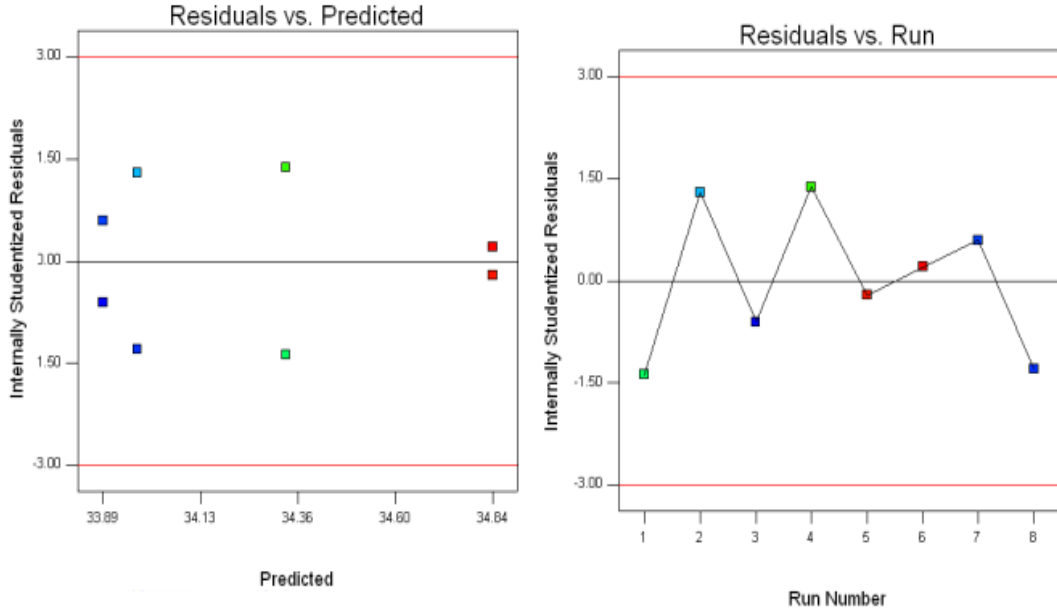
Std. Dev	0,0730	R-Squared	0,9817
Mean	34,2581	Adj R-Squared	0,9679
C.V. %	0,2132	Pred R-Squared	0,9266
PRESS	0,0853	Adeq Precision	18,5465

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	T	VIF
	34,2580625	1	0,0258175	1326,9319	
A-A	-0,3307875	1	0,0258175	-12,8125	1
D-D	0,1480375	1	0,0258175	5,7340	1
E-E	0,1064125	1	0,0258175	4,1217	1

d) **Normallik Varsayımı**



e) Bağımsızlık, Eşit varyanslılık ve Uçdeğer Olmaması Varsayımları



Standard	Actual	Predicted
Order	Value	Value
1	34.26	34.33
2	34.83	34.84
3	34.41	34.33
4	34.85	34.84
5	33.92	33.89
6	33.90	33.97
7	33.85	33.89
8	34.04	33.97

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Özlem HASGÜL

Doğum Yeri: Bandırma-BALIKESİR

Doğum Tarihi: 11.11.1980

Eğitim Durumu:

2002 – 2005 Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,

İşletme ABD, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı,

Yüksek Lisans

1998 - 2002 Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,

Mühendislik Mimarlık Fakültesi,

Endüstri Mühendisliği Bölümü

1997 - 1994 Bandırma Şehit Mehmet Gönenc Lisesi

1994 - 1991 Bandırma Şehit Süleymanbey Ortaokulu

Yabancı Dil: İngilizce

