

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KALİTE FONKSİYONLARINI GELİŞTİRME, OLASI HATA TÜRÜ VE
ETKİLERİ ANALİZİ VE DENEYLERİN TASARIMI TEKNİKLERİNİN
ENTEĞRE KULLANIMI**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Derya ÇİVİTCİOĞLU KARAKUŞ
(506971121)**

101386

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ocak 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Şubat 2001

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Yılmaz TAPTIK

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Kutsal TÜLBENTÇİ (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Ahmet TOPUZ (Y.T.Ü.)

ŞUBAT 2001

ÖNSÖZ

Tezimin konusu olan Kalite Fonksiyonları Geliştirme, Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Deneylerin Tasarımı tekniklerinin entegre kullanımı üzerinde çalışmamı sağlayarak, bakış açımı genişleten, gerek lisans gerekse lisans üstü çalışmalarım boyunca benden destek ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde inanılmaz yardımlarını gördüğüm Uzel Makine San. A.Ş. personeline ve özellikle Satınalma Md. Mehmet ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın tamamlanması evresinde beni sabırla destekleyen Goldaş Kalite Md. Yavuz YAĞCI' ya, çalışma arkadaşlarım Ercan ŞİDİM' a ve Onur AÇI DOĞAN' a ve arkadaşım Zeynep VURAL' a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her konuda beni sevgileri ile destekleyen ÇİVİTCİOĞLU ailesine sonsuz teşekkürler.

Bu çalışmamın başlangıcından sonuna kadar beni sevgisi ve sabrıyla destekleyen sevgili eşim, Özgür KARAKUŞ' a sonsuz teşekkürler.

Şubat, 2001

Derya ÇİVİTCİOĞLU KARAKUŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
KISALTMALAR	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. KALİTE KAVRAMI	3
2.1. Kalitenin Tarihçesi	3
2.2. Kalitenin Tanımı	4
2.3. Kalite Faaliyetlerinin Gelişimi	5
2.3.1. Kalite Kontrol	5
2.3.2. Toplam Kalite Kontrol	5
2.3.3. Kalite Güvencesi	6
2.3.3.1. Kalite Kontrol ile Kalite Güvencesinin Farkları	6
2.3.3.2. Kalite Güvence Sisteminin Kazandırdıkları	7
2.3.4. Toplam Kalite Yönetimi	7
2.3.4.1. Toplam Kalite Yönetimine Sistem Yaklaşımı	8
3. KALİTE FONKSİYONLARINI GELİŞTİRME TEKNİĞİ	10
3.1. Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniği İle Neler Sağlanabilir?	13
3.2. Kalite Fonksiyonları Geliştirme Matrisi Kavramının Anlaşılması	14
3.3. Kalite Fonksiyonları Geliştirme Tekniğinin Uygulanması	16
3.4. Birleştirilmiş Kalite Fonksiyonları Geliştirme Yaklaşımı	18
3.4.1. Sistem Matrisinin Oluşumu	18
3.4.2. Birleştirilmiş Planın Oluşumu	18
3.4.3. Fonksiyonel Akış Geliştirme	19
3.4.4. Sistem Alternatiflerinin Belirlenmesi	19
3.4.5. Alternatiflerin Değerlendirilmesi	19
3.4.6. Kavram Matrisinin Oluşturulması	19
3.4.7. Proses Matrisinin Oluşturulması	20
3.4.8. Kontrol Matrisinin Oluşturulması	20
3.4.9. Birleşik Planın Revizyonu	20

4. OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ	21
4.1. Olası Hata Türü ve Etkileri Analizinin Çeşitleri	23
4.2. Tasarım OHTEA' nın Aşamaları	26
4.2.1. Başlangıç ve Tanımlama Safhası	26
4.2.2. Hata Türünün Tanımlanması	27
4.2.3. Hatanın Şiddeti	28
4.2.4. Sebeplerin Tanımlanması	30
4.2.5. Hata / Sebep Olasılığı	31
4.2.6. Kontrol Önlemlerinin Tanımlanması	32
4.2.7. Hatanın Keşfedilebilirliği	34
4.2.8. Risk Öncelik Faktörü	37
4.2.9. Önerilen İyileştirme	38
5. DENEYLERİN TASARIMI	39
5.1. Deneylerin Tasarımının Tarihçesi	43
5.2. Deneylerin Tasarımının Amaçları	43
5.3. Deneysel Tasarım Aşamaları	44
5.3.1. Problemin Durumu ve Tanımlanması	44
5.3.2. Faktörlerin Belirlenmesi ve Seviyelendirilmesi	45
5.3.3. Sonuç Değişkenlerin Seçimi	45
5.3.4. Deneysel Tasarım Yöntemlerinin Seçimi	46
5.3.5. Deneylerin Yürütülmesi	47
5.3.6. Deney Analizi	50
5.3.7. Sonuçlar ve Tavsiyeler	50
5.4. Deneylerin Tasarım Yöntemleri	50
5.4.1. Sistem Tasarımı	52
5.4.2. Parametre Tasarımı	52
5.4.3. Tolerans Tasarımı	54
5.5. Sinyal Faktörleri (Hedef Kontrol Faktörleri)	54
5.6. Gürültü Faktörleri	55
5.6.1. Küçük Olan İyidir	56
5.6.2. Büyük Olan İyidir	57
5.6.3. Nominal Değer En İyidir	58
5.7. Faktörler Arası Etkileşim	59
5.8. Ortogonal Diziler	60
5.9. Lineer Grafikler	59
6. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	64
SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR	83



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Ürün Geliştirmede Tasarım Yaklaşımı	2
Tablo 4.1. Tasarım OHTEA İçin Şiddet Derecelendirme Tablosu	29
Tablo 4.2. Tasarım OHTEA İçin Şiddet Olasılık Tablosu	32
Tablo 4.3. Tasarım OHTEA İçin Şiddet keşfedilebilirlik Tablosu	36
Tablo 6.1. Hedef Müşteri Özelliklerinin ve Rakip Ürünlerin Belirlenmesi	65
Tablo 6.2. Müşteri İhtiyaçlarının Belirlenmesi	65
Tablo 6.3. Müşteri Memnuniyet Seviyelerinin Analizi	66
Tablo 6.4. Korelasyon Matrisi	67
Tablo 6.5. Teknik Özellikler Arasındaki İlişki Matrisi	68
Tablo 6.6. Rakip Firmalarla Karşılaştırma ve Yeni Modelin Belirlenen Teknik Özellik Değerleri	68
Tablo 6.7. Kalite Fonksiyonları Geliştirme Matrisi	69
Tablo 6.8. Jant İçin Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi	72
Tablo 6.9. Kaynak Parametre Seviyeleri	75
Tablo 6.10. $L_8 (2^7)$ Dizini	75
Tablo 6.11. Deney Verileri ve Analizi	76
Tablo 7.1. Ömür Değerleri İçin Sonuç Tablosu	77
Tablo 7.2. S/N (Gürültü Faktörü) İçin Sonuç Tablosu	78
Tablo 7.3. L_8 Hesaplama Tablosu	79
Tablo 7.4. AB Etkileşimi	81

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Ürün Geliştirmede Analitik Yaklaşım	1
Şekil 2.1 : Toplam Kalite Yönetiminde Tamamlanmış Organizasyonel Sistem	9
Şekil 3.1 : Kalite Fonksiyonları Geliştirme Matrisi	15
Şekil 5.1 : Kalite Mühendisliği Bileşenleri	49
Şekil 5.2 : Tasarım Proses Bileşenleri ve Hedefleri	51
Şekil 5.3 : Taguchi Yönteminin Akış Şeması	54
Şekil 5.4 : Küçük Olan İyidir Durumu İçin Kayıp Fonksiyonu	56
Şekil 5.5 : Büyük Olan İyidir Durumu İçin Kayıp Fonksiyonu	57
Şekil 5.6 : Nominal Olan İyidir Durumu İçin Kayıp Fonksiyonu	59
Şekil 5.7 : L_4 Lineer Grafik	62
Şekil 5.8 : $L_{16} (2^{15})$ İçin Lineer Grafikler	63
Şekil 6.1 : Toplam Önem-Teknik Özellikler Arasındaki İlişki	70
Şekil 6.2 : Komple Jant Üretim Prosesi İçin Sebep-Sonuç Diyagramı	70
Şekil 6.3 : Tozaltı Kaynak Donanımı	73
Şekil 7.1 : Normal Olasılık Grafiği	80
Şekil 7.2 : AB Etkileşim Grafiği	81

KISALTMALAR

KFG	: Kalite Fonksiyonları Geliştirme Tekniği
OHTEA	: Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi
DT	: Deneylerin Tasarımı
S/N	: Gürültü Oranı
KxG	: KontrolxGürültü
GxG	: GürültüxGürültü
RÖG	: Risk Öncelik Faktörü
OS	: Olasılık
K	: Keşfedilebilirlik
S	: Şiddet



KALİTE FONKSİYONLARINI GELİŞTİRME, OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ VE DENEYLERİN TASARIMI TEKNİKLERİNİN ENTEĞRE KULLANIMI

ÖZET

Son yıllardaki üretim teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak iletişim teknolojisindeki gelişmeler, evrensel dünyadaki mesafeleri yok etmekte, dünyanın her yerinde üretilen mal ve hizmetleri tüm dünya tüketicilerinin kullanımına sunmaktadır. Bu mal ve hizmet akışı uluslararası rekabeti gündeme getirmektedir. Firmaların böylesine bir ortamda varlıklarını sürdürebilmeleri için gereken tek şey “Kalite” dir.

Firmalar, müşteri isteklerine en uygun mal ve hizmet üretimini sağlayabilmek, benzer rakipleri arasından sıyrılabilme ve sektörde lider duruma gelmek için; pazara yüksek kalitede ve düşük fiyatta mal veya hizmet sunmak durumunda kalmışlardır. Bütün bunların gerçekleştirilebilmesi içinde, belirli arayışlara girmişlerdir. Bu arayış çerçevesinde ISO 9000 standardının tek başına yeterli katkıyı sağlayamadığı, bununla birlikte kalite araç ve tekniklerinin etkin bir şekilde kullanılmasının gerekli olduğu görülmüştür.

İlk defada doğru yapmayı hedefleyen Toplam Kalite Yönetimi açısından ürün geliştirme prosesine bakıldığında, müşteri ihtiyaçlarının ve beklentilerinin sistematik bir biçimde değerlendirildiği ve bu ihtiyaçların/beklentilerin doğrudan tasarım hedeflerini oluşturacağı bir yapıya ihtiyaç duyulur. Bu açıdan tasarımda ulaşılabilecek en optimize noktayı elde edebilmek için çeşitli kalite tekniklerini kullanmak bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu kalite teknikleri şunlardır:

Kalite Fonksiyonları Geliştirme Tekniği

Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi

Deneyleerin Tasarımı

Bu çalışmada eşzamanlı mühendislik çerçevesinde yürütülen faaliyetlerde, optimize noktayı elde edebilmek için; Kalite Geliştirme Fonksiyonları, Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Deneyleerin Tasarımı tekniklerinin entegre kullanımının bir zorunluluk halini almış olduğunu vurgulanmıştır.

Eşzamanlı mühendislik kavramı kapsamında, Kalite Fonksiyonları Geliştirme, Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi tekniklerinin entegre bir kullanılarak, otomotiv sanayiinde üretimi yapılmakta olan jant üzerinde ömür değerinin uzatılması için, kaynak parametreleri optimize edilmiştir. Öncelikle müşterinin sesine kulak verme ilkesi doğrultusunda yapılan Kalite Fonksiyonları Geliştirme çalışmasında ömür

değerinin uzatılması gerektiği saptanmıştır. Ömür üzerinde en büyük etkiye kaynağın sebep olduğu yapılan Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi çalışması ile belirlenmiştir. Daha sonraki aşamada, kaynak parametreleri ve seviyeleri belirlenmiş ve Taguchi' nin “Nominal En İyidir” mantığından hareket ederek, her parametre için S/N bulunarak, parametreler optimize edilmiştir. Yapılan doğrulama deneyi sonucunda ömür değerinin uzadığı görülmüştür.



THE INTEGRATION OF THE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT, FAILURE MODE EFFECTS ANALYSIS AND DESIGN OF EXPERIMENT TECHNIQUES

SUMMARY

Besides the developments in the manufacture technology in recent years, the developments in the information technology destroy the distances in the universal world, present the goods and the services offered from all around the world to the world-wide consumers. The flow of the goods and the services bring up the international competition. The only thing for the companies to survive in such a circumstance is "Quality".

In order to offer the goods and the services that are most appropriate to the customer demands, overcome the competition and to be the leader in their sector, the companies have come to a position to offer high quality goods or services at low prices. And they have been in search for the way to achieve this. Within this search it is seen that the ISO 9000 Quality Assurance standard was not good enough alone, and the efficient usage of quality instruments and methods were essential.

Regarding the product development process in view of Total Quality Management which aims to make the correct product at first try, a structure, in which the customer needs and the expectations are evaluated systematically and these needs/expectations form the design goals directly, is needed. Therefore in order to obtain the optimum point to be achieved during design, using various quality methods has become a must. The quality methods mentioned are as follows:

Quality Function Deployment
Failure Mode Effects Analysis
Design of Experiment

In this study it has been emphasised that in order to obtain the optimum point in activities within concurrent engineering, integrated usage of Quality Function Deployment, Failure Mode Effects Analysis and Design of Experiment has become a must.

Within the scope of concurrent engineering concept, in order to obtain longer lifetime for a rim which is manufactured in the automotive industry, welding parameters have been optimised by integrated usage of Quality Function Deployment and Failure Mode Effects Analysis. First it was determined during the Quality Function Deployment study which is done in accordance with the principle of listening the customer, that to obtain a longer lifetime was essential. Then it was determined during the Failure Mode Effects Analysis study that the welding has the greatest effect on the lifetime. In the next step, the welding parameters and their levels have been determined and by taking the Taguchi's logic "Nominal is the best" into consideration, S/N has been found for each parameter and parameters have

been optimised. As a result of the confirmation experiment, it was seen that the longer lifetime has been obtained.

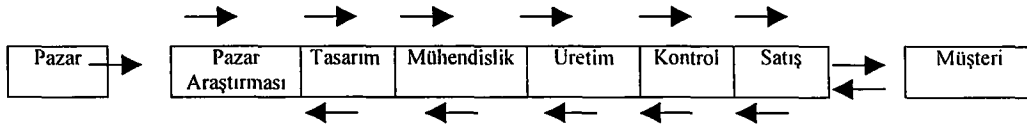


1. GİRİŞ

Müşteri tatminini, müşterinin gelişen ve değişen ihtiyaçları doğrultusunda sağlayabilmek için tasarım/ürün geliştirme yoluna gidilir. Tasarım/ürün geliştirme neticesinde elde edilmek istenen, pazarda mevcut ürüne nazaran müşteri gereksinimlerine daha uygun bir ürünün piyasaya sürülmesidir.

Tasarım/ürün geliştirme prosesi, müşterinin mevcut ürün ile ilgili görüşleridir ki, bunlar müşterinin ürünün kullanımında tesbit ettikleri problemler olan “negatif kalite” şikayetleri veya kullanımda avantaj sağlayacak “pozitif kalite” önerileri olabilir, değerlendirilmesi ile başlar.

Müşteri taleplerinin tespiti, pazar araştırması ile yapılır. Bu bilgilerin sırasıyla tasarım, mühendislik, üretim ve kontrol departmanlarında değerlendirilmeleriyle ürün geliştirme faaliyeti devam eder. Müşteri şikayetleri ise, satış birimince değerlendirilir ve satış biriminden başlayarak geriye doğru bir akışla gerekli düzeltici faaliyetlerin sürekliliği sağlanır. Bu yaklaşım reaktif bir görünümündedir; amaca ulaşılması uzun zaman gerektiren ve müşteri isteklerini tam olarak değerlendirildiği bir analitik yaklaşım ortaya çıkar.(Şekil 1.1)



Şekil 1.1. Ürün Geliştirmede Analitik Yaklaşım

İlk defada doğru yapmayı hedefleyen Toplam Kalite Yönetimi açısından ürün geliştirme prosesine bakıldığında, müşteri ihtiyaçlarının ve beklentilerin sistematik bir biçimde değerlendirildiği ve bu ihtiyaçların/beklentilerin doğrudan tasarım hedeflerini oluşturacağı bir yapıya ihtiyaç duyulur. Bu açıdan tasarımda ulaşılabilecek en optimize noktayı elde edebilmek için çeşitli kalite teknikleri kullanmak bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bu kalite teknikleri şunlardır:

- Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniği (QFD)
- Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)
- Deneylerin Tasarımı (DoE)

Tablo 1.1. Ürün Geliştirmede Tasarım Yaklaşımı

PAZAR	Pazar Araştırması/ Tasarım	Mühendislik		MÜŞTERİ
	KFG	OHTEA	DT	
	Müşteri ihtiyaçlarının sistematik bir şekilde incelenerek ürünle ilgili teknik özelliklere dönüştürülmesi	Hata kaynaklarının önceden belirlenerek giderilmesi için gerekli önlemlerin alınması	Sistemi optimize ederek hata kaynaklarının giderilmesini sağlar.	

Bu kalite tekniklerinden faydalanarak, otomotiv sektöründe kullanılan jant için hedef tüketici özelliklerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi, benzer ürün veya firmalarla karşılaştırması, bunları kullanarak tasarımdaki kritik ve zayıf noktaların belirlenmesi ve bu zayıf noktaların iyileştirilmesi çalışmaları amaçlanmıştır.

2. KALİTE KAVRAMI

2.1. Kalitenin Tarihçesi

Hızla değişen dünyamızda çağı yakalamak ve rekabet koşullarına ayak uydurmak, endüstri ve hizmet sektörlerinde, hem üretilen ürün hem de verilen hizmet kalitesinin devamlılığının sağlanması açısından oldukça önemlidir. Küreselleşme ve iletişim araçlarındaki hızlı gelişmelere özellikle bilgisayar teknolojisi akıl almaz ilerleyişi, hemen hemen her alanda olduğu gibi rekabette stratejik bir araç haline gelen kalite olgusunu da yakından ilgilendirmektedir.

Kalitenin tarihçesi, çok eski çağlara dayanmaktadır. Nüfusun artması ve toplumların gelişmesi insanların gereksinimlerini artırmış ve çeşitlendirmiştir.

Kalite kavramı 2.Dünya Savaşı sonrasında çok daha önem kazanmıştır. Ürün kalitesinin iyileştirilmesi gerekliliği, kalite kontrol konusunda çalışmaların artmasına ve bilginin daha çok paylaşılmasına yol açtı. 1946 yılında ABD’de kurulan Amerikan Kalite Kontrol Derneği (American Society for Quality Control), izleyen yıllarda dünyanın çeşitli ülkelerinde benzer amaçla kurulan ulusal organizasyonların ilk örneğini oluşturdu. Bilgi paylaşımına dayalı kalite sağlama uygulamalarının yaygınlaştırılması amacıyla kurulmuş olan bu dernek, yaptığı yayınlarda kalitenin maliyet, fiyat ve rekabet üzerindeki önemli etkilerine dikkat çekmiştir. Tedarikçi değerlendirme programları, hata analiz ve sorun çözme teknikleri yardımı ile girdi temini, tasarım, imalat, sevkiyat ve satış sonrası alanlarda, yeni bir kalite kontrol anlayışı ve bunlara bağlı uzmanlaşmalar gelişmeye başladı.

Dış rekabet 1970’li yıllarda Amerikan şirketlerini tehdit etmeye başladı. Özellikle bu dönemde baş gösteren enerji krizleri ile otomobil ve beyaz eşyadaki Japon kalitesi, Amerikan ürünlerini bastırmaya başladı. Tüketiciler satın alma kararlarını verirken, ürünün uzun-verimli yaşamı ile fiyat ve kaliteyi de göz önüne almaya başlamışlardı. Tüketiciler kalite ile giderek artan bir şekilde ilgilenmeleri ve dış rekabet, Amerikan şirketlerinin kaliteye daha fazla önem vermelerine yol açtı.

80'li yılların sonlarına doğru kalite, işletmelerin ve hizmet kuruluşlarının tüm fonksiyonlarına (finans, satış, personel, bakım, yönetim, imalat ve hizmet) girmeye başladı. Yalnızca imalat hattına değil, tüm sistem üzerine odaklandı. Yönetim, verimliliğin azaldığı, yüksek maliyetlerin, grevlerin ve işsizliğin olduğu bir ortamda yaşamını sürdürebilmek için kalite iyileştirme çalışmalarına öncelik verdi.

Günümüzde ise özel ve kamu sektör işletmelerinin kalite sistemlerine ve sürekli iyileştirme çalışmalarına olan ilgileri, büyük bir hızla devam etmektedir.

2.2. Kalitenin Tanımı

Herkesin genel olarak uzlaşacağı bir kalite tanımını yapmak oldukça zordur. Kalitenin çok boyutlu olması değişik şekillerde tanımlanmasına sebep olur.

Kalite, tasarımcı açısından daha iyi yapabilme yeteneği, imalatçı açısından standart ve/veya spesifikasyonlara uygunluk, müşteri açısından ise, performans, kullanıma uygunluk veya müşteri ihtiyaçlarının karşılanma derecesidir.

Kalite stratejik bir araçtır; temel hedef müşteri taleplerini karşılamak ve faaliyetlerini/iş akışlarını sürekli olarak iyileştirerek bu yeteneği geliştirmektedir. Müşterilerin tatmini, istenilen şartların tüm yönleriyle tam anlaşılması ve bu şartlara uygun ürün/hizmetin sağlanması ile mümkündür. Bir organize kuruluşun rekabet edilmesi, faaliyetlerinin sürekli iyileştirilmesi ile mümkündür.

Bütün ekonomik sistemler tüketiciyi tatmine yönelik olduğundan, müşterilerin kaliteyi seviyelendirirken üzerinde durdukları 8 kriterin açıklanması ile kalite doğrudan anlam kazanacak ve bu kavramdaki değişikliklerde kalite üzerine yapılan çalışmaların çıkış noktasını oluşturacaktır. 1984 yılında D. Garvin kalitenin 8 boyutunu aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

1. Performans : Üründe bulunan birincil özellikler
2. Özellik : Ürünün çekiciliğini sağlayan ikincil özellikler
3. Güvenilirlik : Ürünün kullanım ömrü içinde performans özelliklerinin sürekliliği
4. Uygunluk : Spesifikasyonlara, belgelere ve standartlara uygunluğu
5. Dayanıklılık : Ürün ömrünün ekonomik ve teknik olarak ölçüsü
6. Servis : Ürüne ilişkin sorun ve şikayetlerin kolay çözülebilirliği

7. Estetik : Ürünün albenisi ve duyulara seslenebilme yeteneği
8. İtibar : Ürünün ya da diğer üretim kalemlerinin geçmiş performansı [1].

2.3. Kalite Faaliyetlerinin Gelişimi

Kaliteli ürün üretmenin temel şartı kaliteyi bir yaşam tarzı haline getirmektir. Bu da ancak kalite kavramı ile tüm şirket çalışanlarının tanışması ve benimsemesi ile mümkündür [2]. Şirketlerde kalite uygulamalarındaki gelişmeler kalite kavramındaki değişimlere paralel olarak oluşmuştur. Kalitenin şirketlerdeki uygulaması kalite kontrol faaliyetlerinden Toplam Kalite Yönetimi ilkelerinin uygulamalarına kadar uzanır [2].

2.3.1. Kalite Kontrol

Önceleri şirketlerde kaliteden söz edildiği zaman ilk akla gelen ürün kalitesi idi. Bu amaçla üretilen ürünün kalitesi tarafından hem üretilip hem de kontrol ediliyordu.

Daha sonraları bir işi yapanın kendi yaptığı işi doğru olarak kontrol etmesinin çok zor olduğu anlayışının benimsenmesi ile bu işi yapmak için üreten kişilerin dışında bir başkası görevlendirilmiştir. Bu görevli sağlam ürünlerden hatalı olanları ayırmakla görevlendirilmiş ve ürünler bu kontrolden sonra sevk edilmişlerdir. Kalite Kontrol faaliyetleri bu uygulamalar ile başlamıştır.

Kalite Kontrol; belirlenen spesifikasyonlara uygun olarak üretim yapan ve bunu gerçekleştirebilmek için istatistiki teknikleri kullanan bir anlayıştır. Bu anlayış daha sonra gelişerek yerini yeni uygulamalara bırakmıştır [2].

2.3.2. Toplam Kalite Kontrol

Kalite Kontrol' den bir sonraki aşama Toplam Kalite Kontrol anlayışıdır. Toplam Kalite Kontrol anlayışında Kalite Kontrol' e ek olarak firma organizasyonunda yer alan diğer bölümlerinde kalite çalışmalarına katılımın sağlanmış olmasıdır. Yönetim kadrosunun üretim kontrol kadrosuna katılma konusundaki ilk atılımları Toplam Kalite Kontrol anlayışı ile sağlanmıştır. Bu anlayışla, kalitenin sadece üretenlerin değil, aynı zamanda yönetenlerin sorumluluğu olduğu ortaya çıkmıştır.

Toplam Kalite Kontrol tasarım, imalat, pazarlama, satış ve diğer bölümlerarası ikili bilgi alışverişinin zorunluluğuna inanan bir felsefeyi savunur [2]. Toplam Kalite

Kontrol anlayışında daha iyiye ulaşmak için kalite araç ve tekniklerinin kullanımı yaygındır.

2.3.3. Kalite Güvencesi

Kalite Kontrol hatalı olanların ayırdığı ve proses sürecinde spesifikasyonlara uygun üretim için kontrollerin yapıldığı anlayışken; Kalite Güvencesi, yönetim, üretim ve servis döngüsünde kalite kontrolün sağlanması ve bunun varolan kalite standartlarına göre belgelenmesini içine alır.

Kalite Güvencesi' nin sağlanması için tüm müşteri gereklilikleri öncelikle bilinmelidir. Herhangi bir çalışma başlamadan önce müşteriden yeterli bilgi toplanmalı, bütün çalışmalar planlanmalı ve gerekli talimatlar detaylı bir şekilde hazırlanmalıdır. Kalite Güvence bir işletmenin bütün fonksiyonlarının toplam olarak bütünleştirilmesini ve kontrolünü gerektirir. Kalite Güvence, yönetimin devredemeyeceği fonksiyonlardan birisidir. Ayrıca standartlara ve prosedüre uygun iyi bir kalite sistemi de Kalite Güvencesinin vazgeçilmez bir boyutudur.

Dikkat edilmesi gereken bir nokta, Kalite Güvencesi bir kez başlatıldığında, kendi dayanıklılığını ve sürekliliğini devam ettirecek bir sistem olmadığıdır. Etkinliğin sağlanabilmesi için de Kalite Güvencesi, hammaddelerin ve parçaların temininden üretilen ürünün müşteriye sunulması ve sonrasında yürütülecek faaliyetlere kadar tüm safhalarda, kalitenin sağlanabilmesi için her faktörün her aşamada değerlendirilmesini gerekli kılar.

2.3.3.1. Kalite Kontrol ile Kalite Güvencesinin Farkları

Kalite Kontrol ile Kalite Güvencesi kavramları arasındaki en önemli fark, birincisinin ürün üzerinde ikincisinin ise üretim sistemi üzerinde odaklanmasıdır. Başka bir ifade ile, fark “üründe kalite özellikleri” ile “sistem özellikleri” nin sağlanması ile açıklanabilir. İlk bakışta, kalite kontrol doğrudan, kalite güvencesi ise dolaylı bir bakış tanımlamaktadır. Her ne kadar bu tanım yanlış değilse de esas önemli öğeyi içermemektedir. Daha doğru bir tanım yaparsak, kalite kontrolün “iş işten geçtikten sonra” etkisini gösterdiğini, yani ürün üretildikten sonra gerçeği meydana çıkarmayı hedeflediğini söylenebilir.

2.3.3.2. Kalite Güvence Sisteminin Kazandırdıkları

Klasik kalite sisteminde uygulanan hataların aranması yerine, bunların nedenleri üzerine gidilmesi ve hata kaynaklarının ortadan kaldırılmasını hedefleyen kalite Güvencesi ile sağlanan faydaları şöyle sıralamak mümkündür:

- Kalitede süreklilik
- Daha iyi rekabet olanağı
- Müşterinin güven duygusu
- Zaman içerisinde ve sistemin başarısı oranında kalite kontrol işleminin kapsamına girerek daraltılması
- Yüksek verim
- Çağdaş bir çalışma ortamı
- Çalışanlarda yüksek motivasyon
- Minimum maliyet
- Maksimum güvence

2.3.4. Toplam Kalite Yönetimi

Bugünün uluslararası rekabet koşullarındaki başarı, en üst düzede kaliteye sahip ürünün tüketici isteklerine göre çeşitlendirilerek, en uygun fiyatlar herkesten önce piyasaya sunulması ve rekabet gücünü geliştirmeyi amaçlayan yeni bir yönetim sisteminin benimsenmesi ile sağlanabilmektedir. Toplam Kalite Yönetimi (TKY), kalitenin yükseltilmesi, maliyetlerin düşürülmesi, üretkenliğin geliştirilmesi ve toplam müşteri tatmininin artırılması için ürünlerin, metotların ve hizmetlerin devamlı gelişimini içeren rekabetçi bir stratejidir.

Toplam Kalite Yönetimi, müşteri ihtiyaçlarını ve isteklerini tatmin etmek amacıyla üretim ve hizmet metotlarını kontrol edecek, kantitatif metotların, yönetim tekniklerinin, sistem mühendisliği araçlarının ve metotlarının kullanımını içerir [3].

Toplam Kalite Yönetimi, insanlar ve makinalarda dahil olmaklaştıyla organizasyon içinde birbirleri ile etkileşimde olan tüm olguları ele alır. Toplam kalite kontrol programları, üretim tasarımları kavramına, üretim metotlarının temel yapısına ve ürün hizmetlerinin faaliyet alanlarına derinlemesine girmektedir. Üretimde olduğu

gibi pazarlama ve mühendislik fonksiyonlarında da müşteri yönlendirmeli kalite disiplinlerini yerleştirmektedir. Bu şekilde üst yönetimden, üretim personeline kadar herkes, bireysel olarak kalite yönetimine hizmet verebilecektir.

Toplam Kalite Yönetiminin birçok tanımı yapılmıştır, bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Bir kuruluştaki üretilen mal ve hizmetlerin, işletme süreçlerinin ve personelin sürekli iyileştirilmesi ve geliştirilmesi yolu ile optimum maliyet düzeyinde önceden belirlenmiş olan müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin tüm çalışanların katılımı ve kendilerinden beklenen yükümlülükleri yerine getirmeleri yolu ile karşılanarak işletmenin toplam performansının iyileştirilmesi stratejisidir.
- Toplam Kalite Yönetimi, organizasyonun etkinliğindeki, verimliliğindeki ve süreçlerindeki devamlı gelişme ve müşteri tarafından yönlendirilen öğrenmeyi sağlayan veya kendisini tamamen müşteri tatminine adanmış organizasyonları kuran bir yöntem felsefesidir.
- Toplam Kalite Yönetimi, müşterinin ekonomik düzeyde tam olarak tatmin edilmesi için, şirket içindeki pazarlama, mühendislik, satınalma, üretim kontrol, satış ve servis faaliyetlerinin organize edilerek, kalitenin oluşturulmasını, sürekliliğini, geliştirilmesi ve takibini temin edecek etkin bir sistemin gerçekleştirilmesidir.
- Toplam Kalite Yönetimi, müşteri beklentilerini her şeyin üstünde tutan ve müşteri tarafından tanımlanan kaliteyi tüm faaliyetlerin yürütülmesi sırasında ürün ve hizmet bünyesinde oluşturan bir yönetim biçimidir.
- Toplam Kalite Yönetimi, müşterilerin şu an olduğu kadar gelecekteki beklenti ve ihtiyaçlarını da tespit edip, bunları karşılayarak aşmayı ve mutlak müşteri memnuniyetini hedef alan bir yönetim felsefesi ve iş yapma biçimidir [4].

Sonuç olarak diyebiliriz ki Toplam Kalite Yönetimi, bir organizasyonun sistematik bir yapı içerisinde, kalitede oluşacak artışları yakalayabilmek için göstereceği çabaları tanımlayan geniş anlamlı bir kavramdır.

2.3.4.1. Toplam Kalite Yönetimine Sistem Yaklaşımı

Sistemi, bir bütünlük oluşturacak biçimde bir arada bulunan unsurlar, bu unsurlar arasındaki ilişkiler ve bunların birbirleriyle ve çevreleriyle ilişkili veya bağıntılı olan nitelikler dizisi olarak tanımlayabiliriz [5].

Bir üretim sistemi içindeki alt sistemler; destek verici, işbirlikçi eylemleri ve sistem içindeki zayıf noktaları dengeleme vazifesi görür. Toplam kalite yönetim sisteminin kavramsal modeli, kalite hedefleri ile ilgili olarak organizasyondaki pekçok alt sistemin entegrasyonunu içerecek biçimde Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Toplam Kalite Yönetimi; tasarım, planlama, üretim ve dağıtım hizmetlerini kapsamına alan ürün çevrimi içerisindeki tüm fonksiyonların sistem ile bütünleşmesini sağlayacak bir yapıda olmalıdır. Toplam Kalite Yönetimi; bütünleşme, ileri teknoloji, şirket kültürünün yenilenmesi, üretim alt yapısının modernizasyonu ve insan becerilerinin kullanımı konularının da kapsamalıdır. Sistem yaklaşımını önemli kılan, yönetim kalitesinin insan unsurudur [6].

3. KALİTE FONKSİYONLARINI GELİŞTİRME TEKNIĞİ (KFG)

Kalite Fonksiyonları Geliştirme (KFG) tekniğı, Toplam Kalite Yönetimi ve eşzamanlı mühendislik uygulamaları çerçevesinde gerçekleştirilen, ürün ve kalite geliştirme çalışmalarında müşteri ile firma arasında iyi bir iletişim aracı olarak kullanılmasında büyük faydası olan bir kalite tekniğıdir [7].

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğı, tasarımı yapılan veya kalitesi geliştirilmek istenen ürünle ilgili olarak müşterinin sesine kulak verilmesine ve onun isteklerinin görüntülenmesine olanak sağlar [7].

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğı, müşteri taleplerini analiz eden, geliştiren, tasarım, üretim, servis ve ilgili diğer tüm işletme faaliyetlerini müşteri odaklı anlayış çerçevesinde bütünleştirmeyi hedefleyen sistematik bir anlam taşır.

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğı, ilk kez 1972’de Mitsubishi-Kobe Tersanesi’nde Dr. Yoji Akao tarafından uygulanmıştır. Bu yaklaşımı daha sonra Toyota ve yan sanayileri değişik biçimlerde geliştirmişlerdir. Japonya’ da tüketim elektroniğı, ev eşyaları, giyim, tekstil, sentetik lastik, inşaat makinaları, tarım makinaları gibi imalatçı sektörlerde başarı ile kullanılmıştır. Japon tasarımcıları bu tekniğı yüzme okulları, parekende satış mağazaları hatta, konut planlaması gibi hizmet sektörlerinde bile kullanmaktadır.

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğı 1980’lerden itibaren Amerika’ da da kullanılmaya başlanmıştır. 3M, Eastman Kodak, Martin Marietta Aerospace Group, Westinghouse Corporation, AT&T, Bell Labs, Digital Equipment Company, Ford Motor Company, General Motors ve Procter&Gamble başta olmak üzere, birçok sanayi dalında hizmet veren ünlü kuruluşlar Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğine kalite sistemlerinde aktif olarak yer vermişlerdir[7]. İşletme içinde mükemmel bir takım çalışması sonucunda geliştirilen bir ürünün mutlak suretle pazarda başarıyı yakalayacağı söylenemez. Bu yolla çok değişik, çok fonksiyonlu bir ürün geliştirilebilir ama pazarda alıcı bulmayabilir. Bu başarısızlık genellikle ürün geliştirme çalışmalarında müşterinin sesine kulak verilmemiş olmasından kaynaklanır [7].

Küresel pazarda rekabet edebilir bir konumda olmak için, kuruluşlar ve işletmeler günümüzde sistematik yaklaşımlarla bazı ürün ve kalite koşullarını yerine getirmeye çalışmaktadırlar. Bu koşullar:

- Müşteri beklentileri doğrultusunda odaklanmak,
- Müşterinin en belirgin taleplerini karşılayacak şekilde kaynakları optimize etmek,
- Kritik prosesleri iyileştirme yoluna gitmek,
- Analitik teknikler kullanarak performansın geçerliliğini korumak,
- Yüksek iş gücünün oluşması için çalışanların eğitimini sağlamak,
- Yönetim organları ve üretimi gerçekleştirenler arasında anlaşma ve iletişimi sağlamak,
- Verimli pazar araştırması ve bilgisini teknolojiyle üretimde harmanlamak [7].

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği, tüm koşulları bünyesinde barındıran ve kuruluşa rekabet edebilir stratejileri üretmeye olanak sağlayan danışmanlık görevini üstlenir.

Kısacası Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği, bir ürün, proses veya hizmetin tasarlanması esnasında o ürün, proses veya hizmetin üretilmesinden veya sunulmasında rol oynayan tüm üretici ve tedarikçi firmaların, müşteri talep ve ihtiyaçlarını dikkate alıp bir takım çalışması yürüterek sonuca ulaşmalarını sağlayan bir kalite tekniğidir. Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği, ürün geliştirme sürecinin ilk aşamasında (Ürün Kavramlaştırma) kullanılabilecek en etkin eşzamanlı mühendislik metodolojisidir. Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği, müşteri beklentilerini ve pazar araştırmalarını teknik lisana (teknik parametrelere dönüştürür) ve yani ürün proje hedeflerini verir. Müşteriye en iyi ve onun ihtiyaçlarını tam olarak karşılayabilecek ürünü sunmayı amaçlar. Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği, üreticilerin yüksek kalitede ürünler üretmelerini ve hizmetlerde çok daha becerikli olmalarının sağlanması ve maliyetlerin aşağı çekilmesi için güçlü bir araçtır. Takım çalışması yaparak, müşteri istek ve gereksinimlerinin ortaya konması, problem belirleme ve çözme, karar verme ve doğru planlama yapma temeli üzerinde geliştirilmiştir.

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği, yeni ürün kavramı geliştirmek veya mevcut ürünü iyileştirmek için kullanılan çapraz fonksiyonel bir takım yaklaşımıdır. Bu teknik, müşterinin beklediği kalite, ürünü veya hizmeti üreten fonksiyonlar ve ürünü

veya hizmeti sağlayabilmek için gerekli tüm kaynakların geliştirilmesini, yayılımını sağlamak temeline oturur.

Kısa vadede Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği, müşteri sesini tanımlamak, anlamak ve ürün geliştirme prosesinin her aşamasına taşımak için oluşturulmuş bir disiplindir. Bu disiplin yatay bir hiyerarşide pazarlama, ürün planlama, mühendislik, üretim, servis ve diğer bölümlere yayılabilir. Uzun vadede ise üretim sürecini kısaltma, maliyetleri azaltma ve verimliliği arttırma konusunda firmalara destek sağlar.

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği, firmanın müşterinin sesini kendi anlayacağı dile çevirmesi ve tüm ürünle ilgili bölümlere ulaştırmasını sağlar. Ayrıca ürün geliştirme aşamasında planlama ve önleme faaliyetlerinin tasarımı için kullanılır. Böylece hata oranı daha ürün planlama aşamasından azaltılmış olur.

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği, kullanımında büyük esneklikler içeren bir yöntemdir. Planlama faaliyeti büyük çapta veya küçük bir detayda yürütülebilir. Ürün planlama aşamasının başlangıcında veya ürün ve tasarımın alt seviyelerinde kullanılabilir.

Ürün geliştirme prosesi, müşterinin tanımlanması ile başlar. Hedef pazar belirlenir ve çalışmalar, müşteri istek ve ihtiyaçlarının belirlenmesine odaklanır. Genel anlamda ürün tanımı ve içeriği, pazarlama stratejileri, beklenen talep, olası rakipler ve benzeri ögeler belirlenir. Tanımlama adımı genellikle alternatif kavramların belirlenmesi adımı izler. Bu alternatiflerin arasından en uygunu seçilir. Bu adımlar, önleyici planlamanın tüm olanaklarının kullanıldığı aşamadır ve simulasyonlar veya prototiplerle desteklenebilir. Bu sayede, tek bir kavrama bağlı kalıp birçok test ve deneylerden sonra uygun olmadığının anlaşılması neticesinden yaşanan zaman ve para kaybını önler.

Ürün geliştirme prosesinin geriye kalan kısmı genellikle her firma için aynıdır. İhtiyaçlar belirlenir ve tasarım geliştirilir. Prototipler üretilir ve test edilir. Tasarım en son şeklini alır ve üretim başlar. Üretim sonrası satış, servis gibi hizmetler hayata geçirilir.

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğine göre, işletmenin eylemlerini yönlendiren ögeler, müşterilerin gereksinimleri tarafından yönlendirilmelidir. Müşteriler ve istekleri konusuna verilen önem, her geçen gün daha da artmaktadır. Bu odaklama sonunda proses, müşterilerin daha iyi anlaşılmasını ve memnuniyet dereçelerinin yükseltilmesini sağlar.

3.1. Kalite Fonksiyonları Geliştirme Tekniği ile Neler Sağlanabilir?

Bir ürün veya hizmette kalite denince akla gelen ilk ve en önemli tanımlamalar:

- Gereksinimlerin tam olarak karşılanması
- Tam zamanında üretim ve teslimat
- Uygun maliyetler

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği sayesinde:

- Geliştirme sürecinin daha kısa olması sağlanır. Uygulanan takım çalışmaları, yapılan planlamalar, problemlerin belirlenip, çözülmesinde önemli kolaylık sağlar.
- Üretim ve proses maliyetleri aşağı çekilerek üretilen ucuz ürünlerde gerekli kalitenin yakanamayacağı, ancak yapılan büyük harcamalarla kaliteye ulaşabileceği şeklinde olan anlayışın Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğinin kullanılması sayesinde yersiz olduğu ortaya çıkar. Üretimde ya da proses dizaynında Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği kullanılarak hem maliyetlerin aşağıya çekilebileceği, hem de maksimum performans elde edilebileceği saptanmıştır.
- Proseslerde, teçhizat ve malzemede yapılan değişiklikler sayesinde üretilen ürünlerin daha kolay şekilde yapılması , daha ucuza maledilmesi ve yüksek kalitede yapılması sağlanmıştır.
- Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği stratejik düşüncelerin aydınlatılması ve amaçların bütünleştirilmesi için basit bir iskeleti teşkil eder.
- Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği karşıt görüşlü dataların birçok kaynaktan toplanması, belirli müşteri beklentilerini, müşteri hakkındaki raporları, rekabetçi pazar analizlerini, uzman mühendisliği, imalat kapasiteleri, kuruluş kaynaklarını, stratejik amaçlarını ve maliyet anlayışı açısından bir araya getirilmesinde yardımcı olur.
- Bir işletme Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğini kullanmada deneyimli hale gelince, bu model devamlı olarak gelişme için tarihi bir kaynak haline gelir.

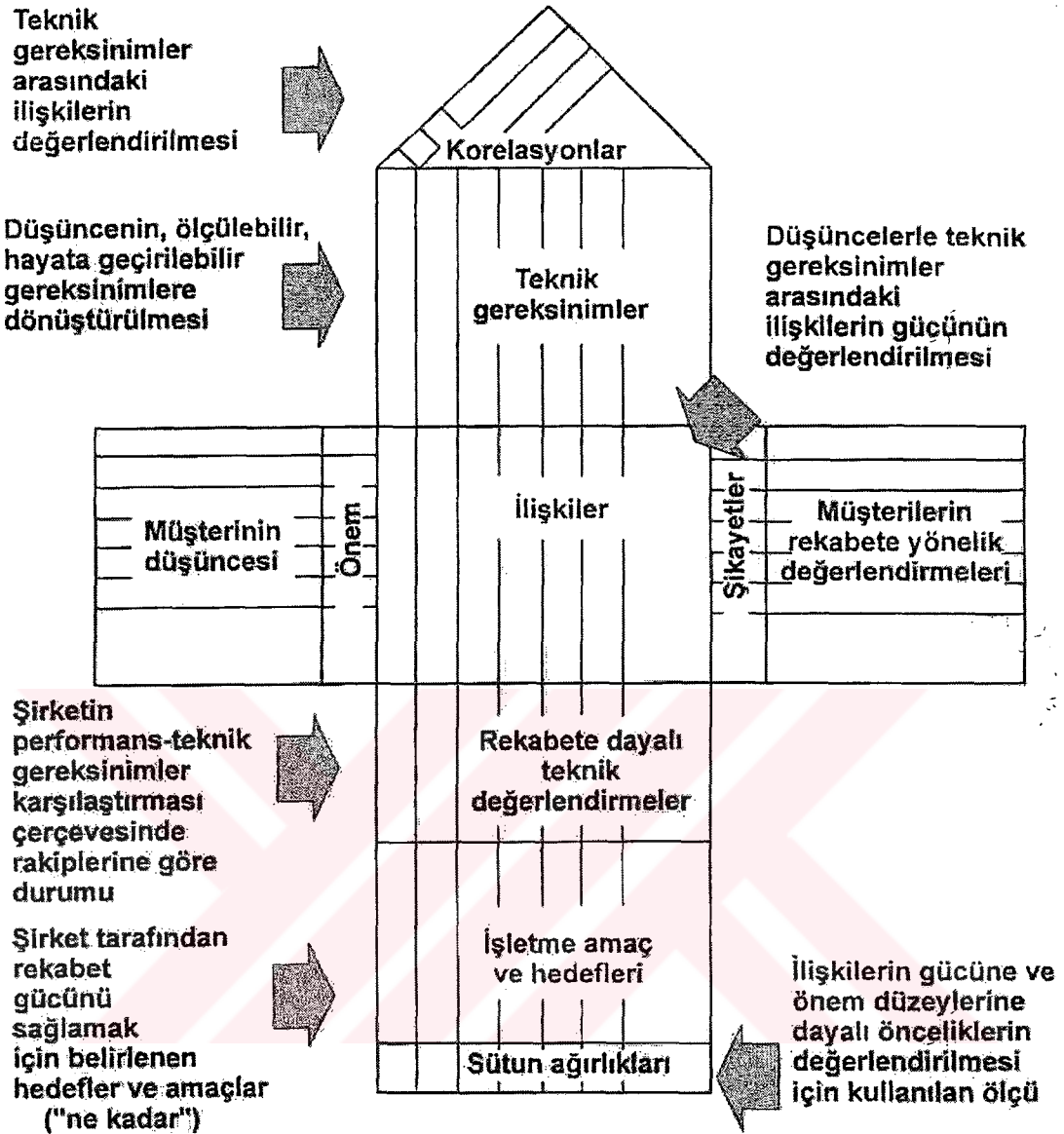
- Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniği için toplanan bu datalar ürünlerin revizyonu ya da yeni ürünlerin veya hizmetlerin tanıtımı için kullanılabilir. Aynı zamanda bu datalar diğer teknikler için de (örneğin Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Deneysel Tasarım) veri tabanı oluşturur.
- Kalite Fonksiyonları Geliştirme matrisleri prosesin iyileştirilmesi, düzeltilmesi ve ileride çıkacak gereksinimlerin giderilmesini sağlayacak bir referans olarak kullanılabilir.
- Takıma yeni katılan birinin çok çabuk olarak takımın amacını ve prosesi anlamasını sağlayacak bir dökümantasyon sistemi olarak kullanılabilir.

3.2. Kalite Fonksiyonları Geliştirme Matrisi Kavramının Anlaşılması

Başarılı işletmeler, planlama proseslerinde daima veri ve bilgilerden faydalanır. Yeni bir ürünün planlanmasında, mühendisler, daima mevcut ürünün geçmiş dönemlere ait imalat ve performans verilerini incelerler, laboratuvar veya saha testlerinden elde edilen verileri kullanarak, ürünlerini rakip ürünlerle kıyaslarlar. Müşterilerin memnuniyet derecelerine ilişkin mevcut her türlü bilgi gözden geçirilir [8].

Ancak, bu bilgilerin büyük çoğunluğu, genellikle eksiktir ve destekleyici veya ters düşen diğer verilerle karşılaştırılmaksızın, bireysel veriler olarak ele alınırlar [8].

Bunun tersine olarak, Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğinde uygun ve planlama prosesi açısından hayati önem taşıyan bir çok hususu içeren bir matris formatı kullanılır. Matris, bu konuları, işletme mevcut bilgilerin çok yönlü bir biçimde incelendiği genel bir çerçeve sağlar. Bu durum, takımın incelemelerine ve uygun verilerin birleştirilmesine dayanan etkin kararlar alınmasını teşvik eder [8].



Şekil 3.1. Kalite Fonksiyonları Geliştirme Matrisi [8]

3.3. Kalite Fonksiyonları Geliştirme Tekniğinin Uygulanması

Yeni bir girişimi veya mevcut bir girişimde yapılacak revizyonları planlarken, işletmeler, ürünlerini ve hizmetlerini satın alacak olan kimselerle temasta olma ihtiyacını duyarlar. Müşterilerinin düşüncelerini belirleme isteği duyarlar. Müşterinin düşünceleri, bir Kalite Fonksiyonları Geliştirme projesinin başlatılabilmesi için gerekli olan en temel girdidir. Müşteri ihtiyaçları belirlenirken kullanılabilecek kaynaklar şunlardır:

- Hedef kitle üzerinde Pazar araştırması
- Focus Grup Analizi
- Müşteriler ile yüz yüze görüşmeler
- Müşteri anketleri
- Şirket çalışanlarının görüşleri
- Fuar veya teşhirlerde müşterinin görüşleri
- Var ise bayi ve satış ekiplerinden gelen görüşler

Müşterilerin talep ve ihtiyaçları (düşünceleri) bir kez bilindikten sonra, işletme, müşterilerle ilgili gerekli diğer bilgileri de elde edebilir. Kendi ürünleri ile rakiplerinin ürünlerini kullanan müşterilerin sayısını da belirleyebilir. Bu da , hem işletmenin, hem de başlıca rakiplerinin performansı konusunda, müşterilerinin yapmış olduğu değerlendirmeleri verir.

Bu bilgiler bir kez elde edildikten sonra, Kalite Fonksiyonları Geliştirme matrisinin, düşey müşteri bilgi kısmının içine yerleştirilir ve organize edilir. Müşterilerin düşünceleri talep ve ihtiyaçlarını temsil eder. Bunlar matrisin girdileridir. Müşterilerin düşüncelerine verdiği önem dereceleri de matrisin ilgili kısmına kaydedilir.

Kalite Fonksiyonları Geliştirme ekibi, daha sonra, matrisin teknik özellikler kısmını geliştirmeye başlar. Teknik özellikler, ölçülebilir ve müşterinin düşünceleri ile ilişkili olmalıdır. Teknik özelliklerde belirlenerek, Kalite Fonksiyonları Geliştirme matrisinin ilgili kısmına kaydedilir.

Müşteri düşünceleri ile Kalite Fonksiyonları Geliştirme ekibinin belirlediği teknik özellikler arasındaki ilişkiler incelenir. Her bir teknik özellik, müşterinin

düşüncelerini etkileyip etkilemediğini, etkiliyor ise ne kadar etkilediğini bulmak için teker teker incelenmelidir. Ve bu inceleme sonucu Kalite Fonksiyonları Geliştirme matrisinin ilişkiler kısmı doldurulur. İlişkiler kısmı “Boş” ise “İlişki Yok”, “1” ise “Zayıf”, “3” ise “Orta”, “9” ise “Güçlü” anlamına gelecek şekilde doldurulur.

Bilgi bir kez elde edildikten sonra, ekip, her bir teknik özellik için oluşturulacak hedef değeri belirlemek için çalışmalara başlayabilir. Amaç, sonraki kuşak ürünün gerçekten rekabet edilebilir olmasını ve müşterilerin talep ve ihtiyaçlarını karşılamasını sağlamaktır. Müşterilerin rekabete ilişkin derecelendirmeleri ve teknik özelliklerin karşılaştırılması, organizasyonun bu hedefleri belirlemesine yardımcı olacaktır. Bu durum, aynı zamanda bir çok boyutlu uygulamanın daha belirgin hale geldiği bilgilerin incelenebilmesi olayıdır. Müşterilerinin değerlendirmelerinin, ürünün teknik rekabet edebilme değerlendirilmesiyle karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan çelişkiler, müşteri tatminini sağlamak amaçlı giderilmelidir. Hedef değerler, matrisin ilgili alanına kaydedilir.

Teknik özellikler arasındaki korelasyonda incelenir. Amaç, birbiri ile çelişen özelliklerin gündeme getirilmesidir. Eğer bir teknik özellik, diğer bir teknik özelliğe zarar verirse, ortaya çıkan olumsuz etkinin çözüme kavuşturulması gerekir. Diğer yandan, bir teknik özellik ile ilgili yapılan iyileştirmeler, diğer bir teknik özellik için de bir avantaj olabilir. Korelasyon kısmı “Boş” ise “İlişki Yok”, “+3” ise “Pozitif Zayıf”, “-3” ise “Negatif Zayıf”, “+9” ise “Pozitif Güçlü”, “-9” ise “Negatif Güçlü” anlamına gelecek şekilde doldurulur.

Sütun ağırlıkları, bir satırdaki teknik özelliklerin mutlak ağırlıkla çarpımının toplamıdır. Bunlar, ürün üzerinde, en geniş nispi etkiye sahip olan teknik özelliklerin belirtilmesinde bir endeks olarak görev görürler.

Matris tamamlandığında, analiz aşaması başlar. Asıl ilgi matrisin müşteri bilgileri kısmının üzerinde olmalıdır. Matris, hangi müşteri gereksinimlerinin en çok dikkati gerektirdiğinin belirlenmesi açısından incelenmelidir. Bu, müşterilerin rekabete ilişkin değerlendirmelerini, önem derecelerini ve şikayetlerini kapsayan entegre bir karardır. Seçilen teknik özelliklerin sayısı, işletme içinde bulunan kaynaklarla, önemleri arasında dengeyi oluşturacaktır.

İyileştirme için seçilen teknik özellikler, müşteri tatminini artırmak için özel projeler olarak işleme tabi tutulabilirler. Organizasyon tarafından, yüksek öncelikli konular için normal prosedürler sonrasında ele alınabilirler. Seçilen teknik özellikler yeni bir matrisin indeksi olabilirler.

3.4. Birleştirilmiş Kalite Fonksiyonları Geliştirme Yaklaşımı

Bu konuda makaleler yayınlamış olan tüm yazarların zor anlaşılan ve uygulanan Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğini daha anlaşılır ve kolay duruma getirmek için geliştirdikleri bir metodolojidir [7].

Amaç; yeni veya mevcut üretimlerin, servislerin ve proseslerin geliştirilmesi için gerekli hayal gücünü ve yaratıcılığı ön plana alan tasarımları ortaya çıkarmaktadır [7].

Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğini birleştirilmiş Kalite Fonksiyonları Geliştirme yaklaşımı ile uygulayarak 9 adımda gerçekleştirmek olasıdır [7].

3.4.1. Sistem Matrisinin Oluşumu

İlk adımın ve bu aşamada oluşturulacak ilk matrisin esası müşteri beklenti ve gereksinimlerini üretim, servis ve iş yönetim operasyonlarına göre algılamak ve şema veya harita şeklinde ortaya koymaktır [7].

Müşteri beklenti ve kişisel yaklaşımları teker teker araştırılarak değerlendirilir ve ortak beklentiler belirlenir. Bu adım Kalite Fonksiyonları Geliştirme tekniğinin esasını ve temelini temsil eden adımdır [7].

3.4.2. Birleştirilmiş Planın Oluşumu

Sistem matrisinin oluşumundan sonra birleştirilmiş planın oluşumuna yönelik olarak yapılan değerlendirmeler oldukça önemlidir. Çünkü bu aşamada en fazla hataya düşülen noktalar ve sistem analistlerini yanıltabilecek parametreler ortaya çıkarılır. Bun sonuca ancak önceki matristeki sonuçlar incelenip değerlendirildikten sonra yapılacak iki aşamalı bir Birleştirilmiş Plana erişilebilir [7].

Birleştirilmiş Planın oluşturulmasına yönelik olarak öncelikle bir birleşik plan taslağı hazırlanır. Tüm bilgi ve verileri kusursuz ve uzmanca toparlayan Kalite Fonksiyonları Geliştirme takımı çapraz fonksiyonlu olarak gözden kaçabilecek tüm püf noktaları değerlendirir. Böylece hatasız bir değerlendirmeye yönelik olasılık yükseltilmiş olur. Gerektiğinde spesifik amaçlarında değerlendirilebileceği yeni ek parametrelerin de kullanılacağı ikinci bir Birleşik Plan da hazırlanabilir [7].

3.4.3. Fonksiyonel Akış Geliştirme

Birleştirilmiş Planın hazırlanmasından sonra gelecek adım, Fonksiyonel Analiz' e yol göstermek amacıyla her türlü gereksinim ve talebe yönelik olarak hazırlanması gereken Fonksiyonel Akış Geliştirme adımıdır [7].

Bu adımda Kalite Fonksiyonları Geliştirme takımının görevi, olayın teknik boyutunu göz önüne alarak önceden belirlenen gereksinim ve beklentilerin işletme veya organizasyon içinde yer alan fonksiyonlarla nasıl ve hangi işlevsellikle karşılanacağını bildiren akış diyagramlarını oluşturmaktadır [7].

3.4.4. Sistem Alternatiflerinin Belirlenmesi

Her zaman belirli bir yöntem veya çalışma yoluna alternatif başka yollar veya yöntemler mevcuttur. Ancak müşteri gereksinimlerinin hangi yöntem veya yolla uygun olarak tatmin edileceği hakkında optimum değerlendirme yapılması gerekmektedir [7].

İşte bu adımda takımın görevi sistem matrisinin oluşumu ile belirlenen veriler ve fonksiyonel akış diyagramları çerçevesinde en uygun alternatif çalışma yöntemine karar vermektir [7].

3.4.5. Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Bu adımda bir önceki adımda belirlenen sistem alternatifleri ürün sistemi, servis, metot ve iş operasyonları alternatiflerine göre karşılaştırılarak tamamlanır ve bundan sonra gelecek adımlar için tek bir ana sistem değerlendirilmesi sağlanır [7].

Bu adımda sisteme yönelik ürün, servis ve iş operasyonlarının gereksinimlerini belirleyen değerlendirmeler daha sonraki adımlarda detaylandırılır [7].

3.4.6. Kavram Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda Parça/Mekanizma, Servis Dağıtımı ve Dağıtım Metotları, Operasyonel Yönetim Görevleri ve İş Akım Elemanlarına karşı gereksinimler şematik olarak gösterilir [7].

3.4.7. Proses Matrisinin Oluşturulması

Kavram matrisini temel alan ve uygulamaya yönelten proses matrisinin oluşturulmasında üretim, servis, yönetim prosedürleri çerçevesinde var olan bilgilerden faydalanılır. Kavram matrisinde ortaya konan müşteri gereksinimlerinin proses matrisi aracılığı ile uygulamaya geçirilmesi sağlanır [7].

Matrisin sol tarafındaki gereksinimlerin prosedür gereksinimleri ile nasıl karşılanacağını açıklayan ve belirleyen adımdır. İzlenebilirliğin tam olduğu düşüncesinden hareketle izlenen yol sayesinde müşteri memnuniyetinin sergilendiği birinci matrise yanıt verilebilir [7].

3.4.8. Kontrol Matrisinin Oluşturulması

Tüm prosedürler tamamlanınca, son adımda kontrol ve ölçüm değerlendirmelerinin yapıldığı proses kontrol aşamasına gelinir. Bu aşama, müşteri gereksinimlerine yanıt verebilecek verilerin kontrolünün detaylı olarak ele alındığı adımdır [7].

3.4.9. Birleşik Planın Revizyonu

Modelin devamlı geliştirilmesine yönelik olarak bu aşamada ikinci adımdan itibaren tüm ana elemanlar son kez gözden geçirilir [7].

4. OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

İşletmelerin rekabet edebilmeleri için, piyasa ve teknolojilerdeki değişiklikler sonucu ortaya çıkan, çeşitli operasyonlardaki hatalarını önleme veya risklerini azaltmaları mecburiyeti gerekli olmaktadır.

Zaman içinde müşteri beklentilerinin süratle değişmesi ve yasal sorunlar nedeniyle endüstrinin olası problemlerini belirlemek ve önlemeye yönelik bir tekniğin sistemli bir şekilde kullanılmasına olan ihtiyaç eskiye göre daha da artmıştır.

Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi, bilinen veya potansiyel hataların, problemlerin, yanlışlıkların vs. Müşteriye ulaşmadan önce sistem, dizayn, proses ve/veya serviste tanımlanması ve ortadan kaldırılması için kullanılan bir mühendislik tekniğidir.

Tam olarak uygulanıp sonuçlandırılmış bir Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi çalışması, çıkabilecek pek çok hata türünün önlenmesini sağlamaktadır.

Kurulmuş bir prosesin, üretime hazır hale gelmesinin ardından veya üretime geçmiş bir proste, önemli olan prosesin veya ürünün güvenilirliğini sağlamaktır. Güvenilirlik ürünlerin veya prosesin önemli bir özelliğidir. Aynı zamanda müşteri tatmini sağlamakta etkisi çok fazla olan bir faktördür. Müşteriler kullandıkları ürünün hizmet süresinin uzun ve aynı zamanda sorunsuz süreçler olmasını isterler [9].

Bu bağlamda ürünün veya prosesin güvenilirliğini sağlamak için atılacak adım ortaya çıkabilecek olan hataların türlerini ve bunların ürün ya da prosese etkilerini belirleyebilecek bir risk analizinin yapılması ve kurulacak veya kurulmuş olan bir prosesin güvenilirliğinin kontrol altına alınmasıdır [9].

Güvenilirlik (Öngörülen kalitenin ve bağlı olduğu sistemin sağlanması ve sürekliliğinin korunması), ürünlerin en önemli karakteristiği olduğu gibi, müşteri tatmininin de önemli bir göstergesidir. Müşteriler satın aldıkları ürünün hizmet süresinin mümkün olduğu kadar fazla olmasını istemektedirler. Bir ürünün güvenilirliğini garanti altına almak için; bir güvenlik programının geliştirilmesi, tedarikçi firmaların izlenmesi ve kontrol edilmesi, bir hata raporlama sisteminin oluşturulması, uygun hata analizinin yapılması, düzeltici faaliyetlerin yürütülmesi,

hata arama sisteminin yapılandırılması ve ayrımının, tahmin ve olası hata türleri ve etkilerinin analizini tam olarak uygulaması gerekmektedir [10].

Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi, ilk olarak NASA tarafından, uzay uygulaması için inşa edilen aracın, istenilen güvenilirlik karakteristiklerine sahip olmasını sağlayacak yöntem olarak geliştirilmiştir. Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi, kalitatif bir güvenilirlik tahmin yöntemi olarak önemsenebilir.

1960-1965 yılları arasında NASA tarafından, 1969 yılında aya insan indirecek olan APOLLO projesinde uygulanmaya başlanmıştır. Aya insan indirecek olan ürün bir tane ve çok pahalı olması nedeniyle, hiçbir parça veya sistemin arıza yapmaması isteniyordu. Bunu sağlamak için Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi yapılmıştır. Bu yöntemin yapılmaması halinde, APOLLO projesindeki sistemleri yedeklemek gerekiyordu.

1965-1970 yılları arasında, ABD Silahlı Kuvvetlerinde MIL_STD (Askeri Standart) olarak, problemleri toplama ve analiz etme yolu olarak kullanılmış, 1970 yılında ÇOK GİZLİ olma özelliği kaldırılmıştır.

1970-1975 yılları arasında, ABD Uçak Sanayi' sinde kullanılan Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi' nin ilk endüstriyel uygulamasını 1975 yılında Japon NEC firması başlatmış ve daha sonra bu uygulama bütün dünyada yaygınlaştırılmıştır.

1980 yılında FORD tarafından otomotiv sanayiinde uygulaması başlatılmış, sistemde değişiklik yapılarak çok karmaşık olan askeri uygulama basitleştirilmiştir. Bu yöntem, Fransız Renault ve Citroen otomotiv şirketlerinde AMDEC (Analyse des Modes de Defaillance, de leurs Effets, et de leur Cricite) olarak isimlendirilmiştir.

1985 yılından itibaren, FORD uygulamasından farklı olmayan bir şekilde İtalyan FIAT şirketinde uygulanmaya başlanmıştır.

Otomotiv başta olmak üzere, çelik, habersizme, savunma, elektrik ve elektronik, beyaz eşya gibi birçok sanayi kolundaki kuruluşlar tedarikçilerinin de yöntemi uygulamalarını istemektedirler.

Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi' nin ürün geliştirme faaliyetlerinde kullanılmasına yönelik ilk şart aslında tüm tekniklerin ve eşzamanlı mühendislik faaliyetlerinin ön şartlarından biri olan takım çalışmasıdır.

Takım diğer tüm tekniklerde olduğu gibi tecrübe ve bilimsel verilere dayalı olarak yoğun iletişim ortamı içinde çalışmalı ve hata türlerini, etkilerini, hataların oluşma olasılıklarını ve hataların tesbit edilebilme zorluğunu belirlemelidir. Takımda bulunanların, incelenmekte olan ürünün tasarım, imalat, montaj ve kontrol işlemleri konularında sorumlu ve deneyimli olmaları gerekmektedir.

Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi özellikle ürün geliştirme çalışmaları sürecinde tasarımdan servise tüm aşamalarda uygulandığında iyi bir katalog oluşturulmasına yardımcı olduğu gibi hata sebeplerinin araştırılmasına yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda takımlar arası koordinasyonu artırır ve bölümler arası iletişimsizlik duvarlarını ortadan kaldırılır.

Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi aynı zamanda diğer kalite tekniklerine ve tasarım tekniklerine veri tabanı oluşturur.

4.1. Olası Hata Türü ve Etkileri Analizinin (OHTEA) Çeşitleri

OHTEA analizi dört ayrı kısma ayrılmaktadır.

- Sistem OHTEA
- Tasarım OHTEA
- Proses OHTEA
- Servis OHTEA

Sistem OHTEA, tasarım ve kavramların ön aşamalarında sistem ve alt sistemleri analiz ederek, sistem eksikliklerinden doğan sistem fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerini belirlemeye odaklanır [10].

Sistem OHTEA' nın faydaları şunlardır:

- Potansiyel problemlerin bulunabileceği alanlar daralır,
- Sistem seviyesindeki teşhis prosedürleri için bir temel oluşturulmasına yardımcı olur,
- Fazlalıkların tespit edilmesine yardım eder,
- Optimum sistem tasarım alternatifinin seçilmesine yol gösterir.

Sistem OHTEA etkin bir şekilde uygulandığında; hata türü ile güvenlik konularını ortadan kaldıracak ve hataları azaltacak potansiyel tasarım faaliyetlerinin listesi, potansiyel hata türlerinin RÖG tarafından ağırlıklandırılmış bir listesi ve aynı zamanda potansiyel hata türlerini tespit edebilecek potansiyel sistem fonksiyonlarının bir listesi elde edilebilir [10].

Tasarım OHTEA, tasarım hatalarından doğan hata türlerine yönelik olarak üretime başlanmadan önce ürünlerin analiz edilmesinde kullanılır [10].

Tasarım OHTEA' nın faydaları şunlardır:

- Tasarım geliştirme faaliyetleri ile ilgili önceliklerin belirlenmesi,
- Ürün hatalarının, ürün tasarım aşamasında iken belirlenmesinin sağlanması,
- Potansiyel güvenlik konularının belirlenerek ortadan kaldırılmasına yardım etmesi ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesinin sağlanması,
- Önemli ve kritik özelliklerin belirlenmesine yardım etmesi,
- Ürünlerle ilgili tasarım ve doğrulamaların testi sırasında kullanılabilecek bilgilerin sağlanması.

Tasarım OHTEA' nın uygulanması sonucunda; potansiyel kritik veya önemli özelliklerin bir listesi ile potansiyel hata türlerinin Risk Öncelik Faktörü tarafından ağırlıklandırılmış bir listesi elde edilir.

Test, kontrol veya teşhis yöntemlerinden kullanılabilecek potansiyel parametrelerin listesi ile kritik ve önemli özelliklere yönelik, tavsiye edilen potansiyel faaliyetlerin listesi yardımıyla hata türü ve güvenlik konularını ortadan kaldıracak veya hataları azaltacak potansiyel tasarım faaliyetlerini tespit etmek mümkün olabilir [10].

Proses OHTEA, bu analiz üretim veya montaj prosesindeki eksikliklerden doğabilecek hata türlerini ortadan kaldırmak ve üretim ve montaj proseslerini analiz etmek amacına hizmet etmektedir [10].

Proses OHTEA' nın kullanımının sağladığı yararları şöyle özetleyebiliriz: Üretim veya montaj prosesinin analizine yardımcı olması ve düzeltici faaliyetlerinin önceliklerini belirlemesi, kritik veya önemli olan özellikleri tespit etmede ve kontrol planı oluşturmada yardımcı olması; proses aşamasında ortaya çıkacak hataları belirlemesi ve düzeltici faaliyetlerle ilgili plan sunması [10].

Bu tekniğin uygulanmasıyla potansiyel kritik veya önemli özelliklerin bir listesi hazırlanarak, bunlara yönelik öngörülen potansiyel faaliyetlerin listesi yapılır. Potansiyel hata türlerinin risk öncelik faktörü ile belirlenen listesi üzerinde, bu hata türlerinin sebeplerini ortadan kaldıracak, ortaya çıkan hataları azaltacak ve Cpk katsayısı yardımıyla ölçülen proses yeterliliğinin geliştirilemediği durumlarda, hata nedenlerinin ve belirlenmesinin etkinliğini arttıracak potansiyel bir liste oluşturulur [10].

Servis OHTEA, müşteriye servis henüz ulaşmadan analiz edilmesinde yardımcı olur. Bu analizin uygulanmasıyla; geliştirme faaliyetleri arasında önceliklendirme yapılması ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesi sağlanır. İş akışının, sistem ve proses analizinin etkin bir şekilde yapılmasında, işteki hataların ve kritik önemli işlerin belirlenmesinde ve kontrol planlarının oluşturulmasında yol göstermesi gibi avantajlar sağlar [10].

Analizin uygulanmasıyla sistem ve prosesi takip etmek için liste oluşturularak, potansiyel kritik veya önemli iş ve proseslerin RÖG ile ağırlıklandırılmış listesi yardımıyla sınırdaki potansiyel servis ile ilgili hataların yok edilmesinin sağlanması mümkün olmaktadır[10].

Tasarım OHTEA' nın tamamlanmış olarak kabul edilmesi, ancak üretim için onay ve bir başlangıç tarihinin verilmesi ile olabilir[10].

Proses OHTEA' nın tamamlanmış olarak kabul edilmesi için bütün operasyonların belirlenerek değerlendirilmesi ve kontrol planlarında ise kritik olan bazı önemli özelliklerin oluşturulmasıyla mümkün olabilir [10].

OHTEA bir defa başladıktan sonra yaşayan bir doküman olmakta ve tasarım ile proseste önemli sayılabilecek değişikliklerle uyum sağlanarak güncel duruma tekrar uyarlanmaktadır. Bu sözü edilen değişikliklerin ürün üzerindeki etkileri de sürekli değerlendirilerek üretim ile montaj prosesi yetersizliklerinin tespitine çalışılmaktadır [10].

Proses OHTEA, proseste yapılan değişikliklerde mevcut proseste önemli hatalar görüldüğünde ve her yeni proseste tekrardan başlatılır [10].

En etkin haliyle bir OHTEA, bir prosesin geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerinin özetlenmesidir. Bunu yaparken, geçmiş tecrübelerden yararlanılarak yanlış gidebilecek her nokta tek tek analiz edilecektir. Bu sistematik yaklaşım, proses şartlarını geliştirirken izlediği düşünce disipliniyle aynı paraleldedir. Proses OHTEA' ları aynı zamanda yeni bir makine veya ekipman proseslerinin geliştirilmesinde de

yardımcı olur. Bu durumda kullanılacak olan metot aynı olup, yalnızca dizayn edilmekte olan makine veya ekipman, mamul kabul edilmelidir [10].

4.2. Tasarım OHTEA' nın Aşamaları

4.2.1. Başlangıç ve Tanımlama Safhası

Toplanan verilerin incelenmesi ve tartışılması.

Ürünün fonksiyonları ile ilgili incelemenin gerçekleştirilmesi, ürün fonksiyonunun belirlenmesi.

Fonksiyon analizinde ürünün birincil ve ikincil fonksiyonları alt alta sırayla yazılır.

Birincil fonksiyonlar, bu ürünün var olmasının esas nedenlerini ortaya koyan gerekçelerdir. Biz bu ürüne neden ihtiyaç duyarız, sorusuna cevap oluşturan ifadelerdir [11].

İkincil fonksiyonlar ise, bu ürünün varlığı nedeniyle sağlayacağı diğer fonksiyonlardır. Biz bu fonksiyonları istemesek bile, ürün bunları kendi varlığı nedeniyle saklamaktadır. Bunun anlamı daha az önemli olmaları demek değildir, tanım anlamıyla bazen çok önemli de olabilirler [11].

Ürün fonksiyonlarını yerine getiren parçaların belirlenmesi.

Her bir parçanın fonksiyonunun belirlenmesi.

Bir parçanın fonksiyonu, onun tasarım amacı veya mühendislik gereksinimleridir. Fonksiyonlar, istekleri, gereksinimleri ve/veya beklentileri temsil eder [11].

Öncelikle, parçadan istenenlerin, gereksinimlerin veya gerekliliğinin listesi yapılır. Bunlar Kalite Fonksiyonları Geliştirme Tekniği (KFG) çalışmalarından, Müşteri Gereksinimleri Elkitabından ve uygulanabilir yararlı bilgi kaynaklarından yararlanılarak belirlenebilir [11].

Parçanın fonksiyonları, parçanın fonksiyonunu kaybetmesi halinde ortaya çıkacak olan etkinin şiddetine göre büyükten küçüğe sıralanarak önceliklendirilebilir. En yüksek şiddet değerine sahip parça fonksiyonundan analize başlanır. Genelde bunlar, ürünün emniyetli kullanılışını, yasal kuralları ve müşteri tatminini etkileyen fonksiyonlar olacaktır. Fonksiyonlar ölçülebilir ifadelerle tanımlanır [11].

Parçanın fonksiyonunu yerine getirebilmesini sağlayacak özelliklerin belirlenmesi.

Parça için belirlenen her bir fonksiyon için, bu fonksiyonu yerine getirebilecek özellikleri belirleyen tasarım çalışması yapılır ve fonksiyonların gerçekleştirilmesi sağlanır.

4.2.2. Hata Türünün Tanımlanması

Etki, hata türünün bir sonucudur. Ürünü son kullanan, yani müşteri üzerine ne tür bir etki yaratacağı araştırılır.

Hata meydana geldiğinde müşteri üzerine ne tür etki yaratacağı ve müşterinin neyi fark edilebileceği veya başına ne geleceği tanımlanır. Her bir hata türü için bir etki veya sonuç tanımlanır. Bunlar daima sistem veya ürün performansı açısından ifade edilmelidir. Eğer hata sonuçları yasal gereksinimleri karşılamıyorsa bu uygun bir ifade halinde belirtilmelidir [11].

Bir hatanın etkisi; hata türünün, parçanın bulunduğu grup, sistem, ürün, müşteri ve/veya yasalar üzerinde yarattığı sonuçtur.

Önceki ve Tasarım OHTEA' lar, garanti verilir, saha servis raporları ve diğer uygulanabilir belgeler gözden geçirilerek, geçmişte karşılaşılan hata türü etkileri belirlenir.

“Eğer parça arıza yaparsa, aşağıdaki durumlarda ne tür sonuçlar yaratır?” sorusunu sorarak olası etkileri konusunda “Beyin Fırtınası” yapılmalıdır:

Parçanın çalışmasında, fonksiyonunda ve durumunda.

Parçanın bulunduğu grubun çalışmasında, fonksiyonunda ve durumunda.

Parçanın bulunduğu sistemin çalışmasında, fonksiyonunda ve durumunda.

Ürünün çalışmasında, kullanılmasında ve emniyetinde.

Müşterinin görecekları, hissedecekleri ve başına gelecekler.

Yasalarla ilgili uyumsuzluklar.

Belirlenen her bir hata türü için sonuçlar tanımlanır:

- Parça
- Parçanın bulunduğu grup

- Sistem
- Ürün
- Müşteri
- Yasalar

4.2.3. Hatanın Şiddeti

Hatanın şiddeti müşteriye etkisi yönünden 1 ile 10 arasında derecelendirilir. Hata şiddeti dereceleri için hatanın müşteri üzerine etkisi esas alındığından, belirli bir hatanın bütün olası sebeplerine aynı şiddet derecesi verilmelidir. Hatanın şiddetini azaltmak için, parçayı yeniden tasarlamak gereklidir. Çünkü şiddet derecesi, sadece parça/ürün tasarımında alınacak önlemlerle değiştirilebilir.

Şiddet, bir olası hata türü etkisi(leri)nin ciddiyetinin karşılığı olan bir derecelendirme değildir. Şiddet sadece bir hata türünün etkisiyle uygulanır.

Parçaya, alt gruba, sisteme, ürüne, müşteriye ve yasalara karşı olarak listelenen her bir olası hata türü etkisinin ciddiyeti değerlendirilir. Şiddet sadece ve sadece etkiye uygulanır.

Tasarım OHTEA takımı, Tasarım OHTEA için Şiddet Derecelendirme Tablosu kullanarak, listelenen her bir etki için Şiddet derecesi konusunda anlaşmalıdır. En ciddi etkinin derecesi yazılmalıdır.

Tablo 4.1. Tasarım OHTEA için Şiddet Derecelendirme Tablosu

ETKİ	ŞİDDET DERECESİ	KİSTAS
ETKİSİ YOK	1	Etkisi yok.
ÇOK ÖNEMSİZ ETKİ	2	Ürün performansı üzerine çok önemsiz etki. Müşteri rahatsız olmuyor. Bazen önemsiz kusurlar gözlenmektedir.
ÖNEMSİZ ETKİ	3	Ürün performansı üzerine önemsiz etki. Müşteri birazcık rahatsız oluyor. Uzun zaman süresince önemsiz kusurlar gözlenmektedir.
KÜÇÜK ETKİ	4	Ürün performansı üzerine küçük etki. Kusurun onarılması gerekmiyor. Müşteri ürün veya sistem performansı üzerinde küçük etkileri farkına varacaktır. Yaşamsal olmayan kusurlar sürekli gözlenmektedir.
ORTA ŞİDDETTE ETKİ	5	Ürün performansı üzerine orta şiddette etki. Müşteri ürün kullanımında bazı tatminsizlikler yaşamaktadır. Yaşamsal olmayan ürünlerdeki hata onarım gerektirir.
ÖNEMLİ ETKİ	6	Ürün performansının derecesi düşmüştür, fakat ürün çalışmaktadır ve emniyetlidir. Müşteri ürün kullanımı esnasında rahatsızdır. Yaşamsal olmayan bir parçası çalışmıyordur.
BÜYÜK ETKİ	7	Ürün performansı ciddi olarak etkilenmiştir, fakat kullanılabilir ve emniyetlidir. Müşteri tatmin olmamaktadır. Üründe bir alt sistem çalışmıyordur.
ÇOK BÜYÜK ETKİ	8	Ürün kullanılmamaktadır, fakat emniyetlidir. Müşteri tatminsizliği çok fazladır. Sistem çalışmıyordur.
CİDDİ ETKİ	9	Olasılıkla tehlikeli etki. Bir kaza olmaksızın ürünün kullanılmasını durdurur-kısmi arıza. Tehlikeli durumda yasalarla uyumlu.
TEHLİKELİ ETKİ	10	Tehlikeli etki. Emniyetle ilgili-ani arıza. Yasalarla uyumsuz bir arıza.

4.2.4. Sebeplerin Tanımlanması

Hatanın sebebi, sonuçta bir hata türüne neden olacak, tasarım zayıflığı şeklinde tanımlanır. Her bir hata türüne sebep olabilecek bütün olası sebepler liste halinde sıralanmalıdır. Listeye alınan sebepler mümkün olduğu kısa/özlü ve tam olmalıdır ki, düzeltici yönde sarf edilecek çabalar uygun sebeplere yönlendirilebilsin. Özet olarak; sebepler hataları yaratır, hatalar da müşteri üzerine olan etkileri (sonuçları) yaratır.

Tasarım OHTEA ekibi hata türlerinin sebeplerini iki varsayım altında göz önüne almalıdır. Birinci varsayım; hata türleri tasarım yetersizliği sonucudur ve parça mühendislik spesifikasyonları içerisinde üretilmiş/monte edilmiştir. İkinci varsayım hata türleri yanlış üretim/montaj sonucudur, fakat bu yanlışlıklara tasarım yetersizliği neden olmuştur. Diğer bir deyişle, bir tasarım yetersizliği bir üretim ve montaj prosesi hatasına neden olmaktadır. Buna uygun olarak, sebeplerin belirlenmesi aşağıdaki iki hususta ele alınmıştır.

Parçanın mühendislik spesifikasyonları içerisinde üretildiği / monte edildiği varsayıldığında; önceki ve benzer Tasarım OHTEA' lar, garanti verileri, güvenilirlik raporları, geri alınan ürün raporları, saha servis raporları ve diğer uygulanabilir belgeler gözden geçirilerek hata türlerinin geçmişte karşılaşılan ve bilinen nedensel faktörler listelenir.

Her bir hata türü için “Beyin Fırtınası” yapılarak, olası sebeplerin bulunması amacıyla şu sorular sorulur:

- Bu hareket tarzında, parçanın arıza yapmasına ne sebep olabilir?
- Parçanın bu fonksiyonu yerine getirmesine hangi koşullar engel olabilir?
- Mühendislik spesifikasyonlarını karşılarlarken parça nasıl veya niçin başarısız oldu?
- Parçanın amaçlanan fonksiyonunu sağlamadaki başarısızlığın nedeni ne olabilir?

Ana sebeplerin belirlenmesindeki neden, çare oluşturan tasarım faaliyetlerine odaklanmak içindir. Ana sebeplerin oluşumunun önüne geçilmesi veya azaltılmasına odaklanıldığında, en etkili yol çare oluşturan tasarım faaliyetleridir. Örneğin, birincil sebebe yönlendirilen bir tasarım faaliyeti, ana sebebe yönlendirilen bir tasarım faaliyeti kadar etkili olmayacaktır.

Parça tasarımının yetersizliği nedeniyle üretim veya montaj prosesinde kabul edilemez değişikliklere sebep olabileceği varsayıldığında; geçmişteki, üretim ve

montaj yanlışlıklarına ve dolayısıyla da bir hata türüne sebep olan tasarım yetersizlikleri gözden geçirilir.

Kabul edilemez türde üretim/montaj değişikliklerine sebep olabilecek tasarım yetersizlikleri belirlendiğinde, bunlar listelenmeli ve bunlara çare olacak tasarım faaliyetleri önerilen iyileştirmeler olarak saptanmalıdır.

4.2.5. Hata / Sebep Olasılığı

Sebebin ve onun yarattığı hatanın beraberce meydana gelme olasılığıdır. Olasılık sebepler ve hata türleri ile ilişkilidir.

Olasılık, bir parçanın verilen bir sebep için tasarım ömrü boyunca ortaya çıkacak tahmin edilen parça hatalarının kümülatif sayısına tekabül eden derecelendirir.

Olasılık tahmin edilirken, hata türü sebeplerini keşfetmek için kullanılacak Tasarım Değerlendirme Teknikleri (Kontrol Önlemleri) göz önüne alınır. Bu teknikler hata türü sebebinin ortaya çıkma olasılığını doğrudan azaltabilir veya önleyebilir. Eğer sebebin ortaya çıkma olasılığı Teknik uygulanarak azaltılabiliyorsa, Olasılık derecesini tahmin ederken azaltma göz önüne alınır.

Bazı durumlarda, tasarım Değerlendirme Teknikleri bir hata türü sebebinin ortaya çıkma olasılığını dolaylı olarak önler veya azaltabilirler. Örneğin, bir teknik sonradan olasılığın ortaya çıkmasını azaltacak bir tasarım faaliyetinin yapılmasını sağlayabilir. Bu durumda, azaltılmış olasılık derecesi İyileştirilen Koşullar' daki olasılık değeri sütununa yazılır.

Listelenen her bir olası sebep için, Olasılık Derecelendirme Tablosundan bir derece sayısı bulunarak Tasarım OHTEA için Olasılık sütununa yazılır.

Tablo 4.2. Tasarım OHTEA için Olasılık Derecelendirme Tablosu

OLASILIK	DERECE	KISTAS
HEMEN HEMEN OLANAKSIZ	1	Hata olası değil. Olasılık derecesi demek, hiç bir hata türü yok demektir ve hem (a) tasarımın beklenen üretim/montaj değişikliklerini karşılayabileceğini, hem de (b) normal kontrollerin ürünlerin tasarım beklentilerine göre üretildiğini sağlayacaktır.
UZAK	2	Ender sayıda hata olası.
ÇOK ÖNEMSİZ	3	Çok az sayıda hata olası.
ÖNEMSİZ	4	Az sayıda hata olası.
DÜŞÜK	5	Seyrek sayıda hata olası.
ORTA	6	Orta sayıda hata olası.
BİRAZ YÜKSEK	7	Biraz yüksek sayıda hata olası.
YÜKSEK	8	Yüksek sayıda hata olası.
ÇOK YÜKSEK	9	Çok yüksek sayıda hata olası.
HEMEN HEMEN KESİN	10	Hata olasılığı hemen hemen kesin. Önceki veya benzer tasarımlarla ilgili geçmişteki pek çok hatalar.

4.2.6. Kontrol Önlemlerinin Tanımlanması

Kontrol önlemleri ürün hatalarının müşteriye giderek bir zarar vermemesi için üretici şirket tarafından konulan filtre önlemidir.

Olası hataların tasarım sebeplerinin oluşumunu ve sonuç hata türünü önlemek veya ortaya çıkarmak için uygulanacak bütün kontroller listelenmelidir. Bu mevcut kontroller (mühendislik talimatları, tasarımın gözden geçirilmesi, kalite kontrol talimatları, laboratuvar test talimatları, prototip testleri, saha testleri, satın alma talimatları ve standartları, vb.), daha önce aynı veya benzer, parça-tasarımları

üzerinde uygulanmış veya uygulanmakta olan kontrol türleridir. Hatanın ortaya çıkma ve keşfedilebilirliği için başlangıç olasılık değerleri bu kontrollere dayandırılacaktır. Listelenen kontroller, doğrudan doğruya hatanın özel sebeplerini önlemeye veya ortaya çıkarmaya yönelik olmalıdır. Tasarımcı, Tasarım OHTEA' da uygulanacak tüm listelenen kontrol sistemlerinin geçerliliğinin teyidini diğer bölümlerden ve yan sanayiden sağlamalıdır.

Tasarım Değerlendirme Teknikleri yöntemi ile; olası bir hata türünün birincil sebebini ortaya çıkarmak ve bir hata türünü ortaya çıkarmak için kullanılır.

Tasarım Değerlendirme Teknikleri yani Kontrol Önlemleri, birinci olarak bir hata türünün sebepleri ve ikinci olarak da hata türünün kendisi için göz önüne alınması gerekir. Bunun nedenleri şunlardır:

- Olası sebeplerin belirlenmelerinden sonra değerlendirmeleri gereklidir. Bir tasarım değerlendirme tekniği uygulamasının istenen sonucu, olası bir tasarım yetersizliğini meydana çıkarmaktır. Bundan sonra, sebebi ortadan kaldırmak veya ortaya çıkma olasılığını azaltmak için düzeltici tasarım faaliyetleri gerçekleştirilebilir. Eksiksiz bir Tasarım OHTEA, etkili bir Tasarım Doğrulama Test programına öncülük eder.
- Eğer olası bir sebep gözden kaçırıldı ise, tasarım yetersizliğine sahip bir ürünün üretim kararı verilebilir. Gözden kaçan bir sebebin varlığını belirlemenin bir yolu, bunun neden olduğu hata türünü belirlemektir. Eğer hata türü belirlenirse, bundan sonra Tasarım Mühendisinin gözden kaçan belirsiz bir sebebi araması gerekir. Eğer gözden kaçan bir bilinmeyen sebep belirlenebilirse, bundan sonra, düzeltici tasarım faaliyetleri gerçekleştirilebilir.

Tasarım Değerlendirme Tekniklerinin asıl amacı, ürünün üretim izni verilmeden önce olası tasarım yetersizliklerini belirlemek içindir. Tasarım yetersizlikleri, bir ürün hata türüne sebep olabilecek “eksik tasarlanmış” parça özelliklerine tekabül eder. Olası hata türlerini önlemek için, olası tasarım yetersizliklerini ürün tasarım çevriminin başlangıcında ortaya çıkarmak veya keşfetmek önemlidir. Bu yolla, yetersizlikleri önlemek için çare olan tasarım faaliyetleri gerçekleştirilebilir. Yetersizlikleri ortadan kaldırarak, sebep önlenabilir veya olasılık derecesi azaltılabilir. Hata türünü önlemenin en etkili yöntemi budur.

Tasarım Değerlendirme Tekniklerinin örnekleri şunlardır:

Tasarım İnceleme Teknikleri (sebepleri keşfetmek için)

- Modellemeyle/Benzetişimle Kanıtlama
- Malzeme Bağdaşması
- Tasarımın Gözden Geçirilmesi

Geliştirme Test Teknikleri (Sebepleri veya hata türlerini keşfetmek için)

- Yan sanayice niteliklendirilmiş malzemeler
- Deney Tasarımı
- En kötü durum deneyi
- Mühendislik prototip örneklerinin istatistiksel olarak önemli miktarı
- Seri üretim öncesi üretilen az miktardaki numuneler
- Benzer parçalar kullanarak yapılan modeller
- Ürün tasarımını doğrulama testleri

4.2.7. Hatanın Keşfedilebilirliği

Filtreleme, sebeplerin ve hata türlerinin müşteriye ulaşmasını durdurur. Bu tamamen işletmede uygulanan kontrol önlemlerine bağlıdır.

Her bir hata sebebi için, değerlendirme tablosunda verilen kıstasa göre; parça/ürün müşteriye ulaşmadan önce hatanın keşfedilebilme derecesi 1 ile 10 arasında tahmin edilir. Hatayı oluşmuş gibi varsayıp, mevcut bütün kontrol önlemlerinin hatayı müşteriye gitmeden önce keşfetme verimleri değerlendirilmelidir.

Keşfedilebilirlik derecesinin geliştirilmesi için, kontrol önlemlerinin iyileştirilmesi veya artırılması gereklidir. Bazı durumlarda, keşfedilebilirlik olasılığını tasarım değişikliği de artırılabilir.

Keşfedilebilirlik, önerilen Tasarım Değerlendirme Tekniğinin, bir parçanın üretim kararı verilmeden önce, parça hata türünün keşfetme olasılığının aynı derecesidir.

Önce bir hata türü sebebini keşfetmek için kullanılabilecek Tasarım Değerlendirme Tekniği olup olmadığı kararlaştırılır. Öyle ise, o zaman olasılık derecesi etkilenebilir.

Daha sonra, listelenmiş hata türlerini keşfetmek için kullanılabilecek her bir Tasarım Değerlendirme Tekniğinin etkililiği tahmin edilir. Hata türünü keşfetmek için, her bir Tasarım Değerlendirme Tekniğinin yeteneği tahmin edilir. Hata türünün ortaya çıktığı varsayılır. Toplam etkililiğe dayanarak Keşfetme Tekniği derecelendirilir.

Belirli bir hata türü için birkaç Kontrol Önlemi yazıldığında, her bir teknik için bir Keşfetme Derecesi tahmin edilir. En düşük (en iyi) derecelendirme seçilir.

Tasarım Doğrulama Programları, Tasarım Değerlendirme Tekniklerinin toplam etkililiğe dayandırılmalıdır.

Keşfedilebilirlik, bir hata türünü veya hata türü sebebini keşfetmek için, Tasarım Değerlendirme Tekniğinin her birinin yeterliliği ile ilgili, OHTEA ekibinin topluca yargılarının derecelendirilmesidir.

Tablo 4.3. Tasarım OHTEA için Keşfedilebilirlik Derecelendirme Tablosu

KEŞFEDİLEBİLİRLİK	DERECE	KISTAS
HEMEN HEMEN KESİN	1	Uygulanabilir her bir sınıfta en yüksek etkililiğe sahip
ÇOK YÜKSEK	2	Çok yüksek etkililiğe sahip
YÜKSEK	3	Yüksek etkililiğe sahip
ORTA ŞİDDETE YÜKSEK	4	Orta şiddette yüksek etkililiğe sahip
ORTA	5	Orta etkililiğe sahip
DÜŞÜK	6	Düşük etkililiğe sahip
ÖNEMSİZ	7	Çok düşük etkililiğe sahip
ÇOK ÖNEMSİZ	8	Uygulamadaki her bir sınıfta en düşük etkililik
PEK ZAYIF	9	Kanıtlanamaz, güvenilemez etkililiği bilinmiyor
HEMEN HEMEN OLANAKSIZ	10	Mevcut Tasarım Değerlendirme Tekniği yok veya hiç planlanmamış

Keşfedilebilirliğin tahmini aşağıdaki hususlar göz önüne alınarak gerçekleştirilir:

- Planlanan Kontrollerin Türleri (Gözle, Aletlerle, Otomatik, vb.)
- Keşfetme Frekansı

Proses için kolaylıkla açıklanabilir: %100 muayene, her vardiyada, her saatte kontrol. Tasarım OHTEA için kolay değil. Tasarımın Gözden Geçirilmesi veya bazı parçaların kontrol edilmesiyle sağlanır.

- Sebep değişkenliği/Tekrarlanabilirliği

Aynı sebepler/hatalar kolaylıkla keşfedilebilir. Değişkenlik biliniyorsa, keşfedilebilirliği bilmek kolaydır. Diğer durumlar; sebep değişkenliği biliniyor veya aniden oluşursa, tekrarlanma alternatif olarak değil ve bunun sonucunda keşfedilebilirlik kolay ve mümkün değildir.

4.2.8. Risk Öncelik Faktörü

Risk öncelik faktörü (RÖG), her bir hata sebebi için, saptanan olasılık (O), şiddet (Ş) ve keşfedilebilirlik (K) değerlerinin çarpılması ile bulunur.

Risk öncelik faktörü, hata sebeplerinin birbirlerine nazaran göreceli önemini gösterir. Bu değer, tasarımdaki endişeleri büyükten küçüğe doğru sıralamak için kullanılmalıdır. Risk öncelik faktörü büyük ve şiddet derecesi yüksek olan sebeplere, düzeltici önlemlerin başlatılmasında öncelik verilmelidir. Risk öncelik faktörünün başka bir değer veya anlamı yoktur, olası sebebin düzeltilmesinde öncelik tayini amacıyla kullanılır.

$$RÖG = O \times \text{Ş} \times K$$

Unutulmaması gerekir ki, Derecelendirmelerin ve RÖG sayılarının kendi başlarına bir önemi yoktur. Derecelendirmeler ve RÖG sayıları sadece, tasarımı daha güçlü (üretim değişikliklerine karşı daha az duyarlı) yapmak ve/veya kritikliği azaltmak amacıyla olası tasarım hatalarını (ana sebeplerini) büyükten küçüğe doğru sıralamada kullanılmalıdır.

4.2.9. Önerilen İyileştirmeler

Hata türleri sebepleri en büyük RÖG' den başlayarak, büyükten küçüğe doğru sıralandıktan sonra, iyileştirme faaliyeti, kritik maddeler de göz önünde bulundurularak, en yüksek değerde olan hususlara yönlendirilmelidir.

Önerilen iyileştirme faaliyetleri kısaca tanımlanmalıdır. Her bir önlem açıkça belirlenmeli ve saptanmalıdır.

Düzeltilici faaliyetlerden her birinin amacı, olasılık, şiddet ve/veya keşfedilebilirlik derecelerinden birini veya tamamını azaltmaktır.

Kontrol önlemleri faaliyetlerinin arttırılması, sadece keşfedilebilirlik sayısının azaltılması ile sonuçlanacaktır. Tasarım değişikliğiyle, hata sebeplerinden biri veya birkaçı kontrol edilerek veya ortadan kaldırılarak, sadece olasılık sayısı etkilendirilebilir ve bir azalma sağlanabilir. Şiddet sayısında azalma ise sadece tasarım değişikliği ile sağlanır. Aşağıdaki faaliyetler düşünülebilir:

- Deney tasarımı (Bilhassa çoklu veya birbirine etkili olan sebepler var olduğunda)
- Değiştirilmiş Test Planı
- Değiştirilmiş Tasarım
- Değiştirilmiş Malzeme Şartnamesi

Düzeltilici önlemler müspet olmalı ve o duruma özgü olarak belirlenmelidir. Eğer önerilen iyileştirmeler, yüksek bir maliyet ve uzun bir gerçekleştirme süresini gerektiriyorsa, birkaç alternatif çözüm önerilmeli ve böylece karar vericiye en uygun çözümü seçme olanağı sağlanmalıdır.

5. DENEYLERİN TASARIMI

Deneylerin Tasarımı özellikle Ar-Ge faaliyetlerinde yoğun olarak kullanılan bir kalite tekniğidir. Ar-Ge çalışmalarının önemli bir kısmını oluşturan ürün geliştirme çalışmalarında ve öngörülen kalitede ürün üretmeye yönelik optimizasyonlarda yoğun olarak kullanılır. [7]

Bu teknik, değişik matematikçi ve istatistikçiler tarafından deneylerin sayısını azaltma ve deneylere etki eden parametrelerin tek başlarına ve diğer parametrelerle birlikte deney sonuçlarını nasıl etkilediklerini görüntülemek amacıyla geliştirilmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda daha verimli, hızlı ve anlamlı bir deneysel çalışma gerçekleştirilmesine olanak verir. [7]

Ürün geliştirme çalışmalarının önemli bir kısmını oluşturan deneysel çalışmalar eşzamanlı mühendislik faaliyetleri çerçevesinde diğer bölümlerle olduğu gibi diğer tekniklerle bütünleşik olarak uygulanmalıdır. [7]

Deneysel Tasarım tekniği ürünün oluşumunda önemli bir yer alan deneysel çalışmalarda yoğun olarak kullanılan ve değişimleri, değişimlerin nedenlerini araştırarak azaltmayı, müşteri memnuniyetini ve sistemin güvenilirliğini artırmayı hedefler. [7]

Müşteri memnuniyetini ve/veya kalitenin yetersizliği nedeniyle oluşan ekonomik kaybı ortadan kaldırmak için incelenen sistemdeki değişimleri azaltmak gereklidir.

Kalite yetersizliğinin neden olduğu kayıp, satış fiyatının % 10-25'ini oluşturur. Bu durumu aşmanın yolu ürünün ve prosesin değişimleri azaltmayı hedef alan bir anlayışla ele alınıp doğru tasarımı ve optimizasyonundan geçmektedir. [7]

Değişim, üründe ve/veya proseste olması gereken özelliklerin veya davranışların bazen belirlenebilen, bazen de belirsiz faktörlerin etkisinde değişmesi anlamında olup genelde istenmeyen bir olaydır.

Üründe ve proseste var olan değişimlerin sebepleri yönetimin zayıflığı, yetersiz ürün ve/veya proses spesifikasyonları, yetersiz kalite sistemi, yetersiz tedarikçi malzemeleri ve operatör hataları olarak sınıflandırılabilir. [7]

Ürün geliştirme çalışmalarında veya diğer Ar-Ge çalışmalarında değişimlerin sebepleri ortaya çıkartılıp azaltılamıyorsa ürün ve/veya prosesin bu yetersizlikler veya zayıflıklar sonucu çıkabilecek değişimlere karşı güçlendirilmesi gereklidir.

Deneyisel Tasarım tekniğinin uygulanması ile ürün geliştirme çalışmaları sürecinde ortaya çıkan değişimlerin sebepleri araştırılıp sebeplere etki eden faktörler belirlenerek değişimleri azaltacak faktörler ve bu faktörlerin büyüklükleri ortaya çıkarılır.

Deney, genel anlamda ürün, proses veya servis hakkında yeni bilgiler elde etmek veya hipotezleri ortaya çıkarmak veya çürütmek amacıyla planlanmış yöntemler olarak tanımlanır. [7]

Verimli deney ise, kaynakların minimum düzeyde kullanılması ile istenilen bilginin elde edildiği deneylerdir. Deney ile verimli deney arasındaki bu temel fark en az kaynak tüketimi ile yani en az maliyetle en yüksek kaliteye ulaşmak olarak özetlenebilir.

Bu özellikle işletme koşullarında yapılan deneyler için oldukça geçerli bir yaklaşımdır. Çünkü salt bilimsel gelişmeyi öngören çalışmalarda kullanılan deney yöntemlerinin bu anlayışla yürütülmesi her zaman doğru sonuçlar vermeyebilir. [7]

İstatistiki deneyisel tasarım bu kesin ayırımın bir sonucu olarak geliştirilen sistematik yaklaşımla sonuçların anlamlı analizinin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Deney ve verimli deney arasındaki farkın ürün geliştirme takımı tarafından tam anlaşılması uygulamalar açısından önem taşır. [7]

Deneyisel çalışmalrda istenen en enömlü özellikler, deneylerin kısa sürede anlamlı ve tekrar edilebilir sonuçlar vermesi ve bu sonuçların sadece laboratuvar çalışmalarıyla sınırlı kalmayıp güncel üretim hayatına da aynı şekilde yansımalarının sağlanmasıdır.

Deney tasarımının önemini gösteren önemli bir araştırmanın sonucunda tasarlanmadan, ön çalışma olmaksızın gerçekleştirilen çalışmalarda, probleme hemen atlama yaklaşımı ile çözülmeye çalışılan problemlerde, problemin çözüm şansı %20 iken, doğru çözüm şansı %30 ve ilk çözümden yeni problemlerin oluşma olasılığı %70 olarak belirlenmiştir. [7]

Bu tür bir anlayışla ele alınan problemlerde veya ürün geliştirme çalışmalarında yapılan deneyler basit olmasına rağmen sonuçlarının analizi oldukça zor olup başarıya ulaşmak için uzun zaman gereklidir.

İstatistiki tasarım kullanılarak yapılan çalışmalarda ise problemin çözüm şansının ve bulunan çözümün doğru olma olasılığının %95 ve aynı zamanda ilk çözümden yeni problem doğma olasılığının çok düşük olduğu belirlenmiştir.

İstatistiki deney tasarımlarının düzensiz deneylerden daha verimli olmaları Ar-Ge çalışmalarında ürün ve kalite geliştirme amacıyla kullanılmaları zorunlu hale getirmiştir.

Böylece tesadüfen ulaşılan yüksek kaliteyi oluşturan sebepleri geriye dönerek tekrar araştırmak için harcanan zaman, para ve riski ortadan kaldırmak mümkün olur.

Bilinçli olarak yapılan deneylerin tasarımı çalışmaları sonuçlar üzerinde yeterli ve anlamlı analiz yapmayı kolaylaştırırken aynı zamanda sonuçların tekrarını yani kalitenin sürekliliğini de sağlar.

Deneylerin tasarımı çalışmaları disiplinler arası takım çalışmasını gerektirir. Deneylerin tasarımı çalışmalarında takım elemanlarının aynı dili konuşması ve aralarındaki iletişimin maksimum düzeyde olması gereklidir. [7]

Deneysel Tasarım yöntemlerinde problem ister yeni ürün veya üretim sisteminin tasarlanması ister varolanların geliştirilmesine yönelik çalışmalarda ortak bir dilin kullanılması hem deney tasarımı hemde istatistiki analizleri kolaylaştırmaktadır. Ayrıca bazı deneyisel tasarımlarda deneyi tasarlayan ve sonuçların analizini gerçekleştirenlerin farklı olması bu durumu zorunlu hale getirmektedir.

Gerek bilinçsiz olarak tasarlanmış deneylerde ve gerekse sistematik deney tasarımlarında kullanılan terimlerin anlaşılabilirliğinin sağlanması, deney tasarımlarının verimliliğini artırmaktadır. Ar-Ge çalışmalarında önemli olan sistematik ve düzenli olarak çalışmaktadır. Bu yüzden herşeyden önce deneylerin hangi değişkenlerle ve hangi şartlarda yapılacağının ve sonuçta hangi değişkenin ölçülmesinin gerekli olduğunu bilmek gerekmektedir.

Deneysel Tasarım yöntemlerinde daha öncede belirtildiği gibi deney matrisleri farklı olmasına rağmen kullanılan ortak dil genelde aynıdır. Ancak tasarımcıların bazı kavramlar üzerinde daha hassasiyetle durmaları deney oluşum felsefesinde temel ayırımları ortaya çıkarmaktadır.

Deneylerde kullanılan ortak kavramlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

Sonuç değişken; deneylerde gözlemlenen, ölçülen değer yani deneyin çıktısıdır. Sonuç değişken bazen bağımlı değişken, bazen proses performansının ölçümü bazen

ise bir kalite karakteristiğidir. Deneyler bir veya daha fazla çıkış değişkenine yani kalite karakteristiğine sahip olabilirler.[12]

Faktör; kontrol edilebilen parametrelere faktör denir. [13] Bağımsız veya güncel değişken olarak da adlandırılır. Deneylerde kontrollu olarak sonuç değişken üzerinde etkilerini gözlemlemek için devamlı değiştirilirler. Faktörler kalitatif veya kantitatif olabilir. Kalitatif faktörler sürekli skalada ölçülen faktörler olup sıcaklık örnek olarak verilebilir. [12] Kantitatif faktörler ise sürekli skalada ölçülemezler örnek olarak hammadde tedarikçileri verilebilir. Kantitatif faktörler için değer aralıkları, nasıl ölçülmesi gerektiği deney esnasında kontrol edilebilecek seviyeler önceden belirlenmelidir. [13]

Gürültü faktörü; bazen geri plan değişkeni veya bloklama değişkeni olarakta adlandırılabilir. Bu değişkenler; deneylerde sonuç değişkeni etkilerler ama faktör olarak ele alınmazlar. Tipik geri plan değişkenleri zaman, operatör, kalıptaki boşluk ve donanım türü olarak sayılabilir. [12]

Deney birimi; deneyde kullanılan malzemelerin en küçük miktarıdır. Örnek olarak yığınlar, malzemenin bir kilogramı verilebilir. Diğer bir ifade ile malzemenin imalat aşamasında veya serviste bir denemedeki miktarıdır. [12]

Seviye; deneydeki kalitatif veya kantitatif faktörlerin özel seçenekleri veya verilen değerleridir. [12]

Deneme; deneysel tasarım terminolojisinde faktör seviyelerinin sonuç değişken üzerine etki eden belirli bileşimlerine denir. Kimyasal bileşiğin kazancına etki eden faktörlerin fırın sıcaklığı ve hammaddenin satıcıları olduğu varsayılırsa, buna bağlı olarak bu iki faktörün değişik seviyelerinin ele alındığı kombinasyonların her biri bir denemedir.

Etki; faktörün bir seviyeden öteki seviyeye değişmesi durumunda sonuç değişken üzerinde görülen değişimdir. [12]

Etkileşim; etkilerin lineer olmaması durumudur. [12]

Özellikle sonuç değişkenler, faktörler ve geri plan değişkenleri arasındaki ayırım deney planlamada oldukça önemlidir. Faktörler ve geri plan değişkenleri sebep olarak ve sonuç değişkenleri ise etki olarak ele alınırsa bu ayırım kolaylaşır. [12]

Deneylerde ortak bir dilin kullanılmasının yanısıra deneylerde hata oluşma olasılığını azaltmak ve deney sonuçlarının doğru analizini yapmak ve parametrelerin

optimizasyonu için gereklidir. Bu doğrultuda değişik deneylerin tasarım özelliklerinin deneysel tasarım yöntemlerinde kullanılması gereklidir. Bunlardan en önemlisi tesadüfleme, bloklama ve tekrarlamadır.

5.1. Deneylerin Tasarımının Tarihçesi

Deney Tasarımı, 1920'lerde istatistik bilimin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için bugünkü klasik sayılan "Varyans Analizi" yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünya lideri konumuna gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama seviyelerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır. [14]

Deney Tasarımı daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları, 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amerika'da imalat sektörü, 1980'lerin başında, deney tasarımını Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deney Tasarımı o tarihlerde Japonya'da profesör Genichi Taguchi'nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmaktaydı. Taguchi deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemiştir. Ancak üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır. [14]

5.2. Deneylerin Tasarımının Amaçları

Deneysel Tasarım ürünün imal edilebilirliğinin araştırılmasında ve/veya varolan ürünün performansının geliştirilmesinde ve güvenilirliğinin devamlılığının sağlanmasında ürün maliyetinin aşağı çekilmesinde ve ürün geliştirme sürecinin kısaltılmasında etkin rol oynar. [15]

Kalitenin ve maliyetin ortak düşmanı sistem ve/veya ürün özelliklerinde görülen değişimlerdir. Değişkenlik değişik kalite araç ve teknikleri ile belirlenebilir. Deneysel Tasarım yöntemlerinin amacı değişkenliği azaltarak veya değişkenliğin azaltılmasının mümkün olmadığı veya çok yüksek maliyet gerektirdiği durumlarda ise sistemini/ürünü bu değişkenlere karşı güçlendirerek yüksek kalite ve düşük maliyeti sağlamaktır.

Deneyleerin Tasarımını amaçları;

- Sonuç değışken üzerine en etkili değışkeni belirlemek.
- Nominal isteklere yakın sonuç değışken üzerine değışkenlerin etkisini saptamak.
- Sonuç değışken üzerindeki küçük değışikliklere neden olan değışkenlerin etkisini saptamak.
- Kontrol edilemeyen değışkenleri minimize etmek amacıyla diğere değışkenlerin etkilerini belirlemek olarak sıralanabilir. [15]

Deneysel tasarım gerek imalat proseslerini ve gerekse ürünün performansını geliştirmek veya proses arızalarına ve gürültü değışkenlerine karşı sistemi güçlendirmek için kullanılan mühendislik aracıdır. Yeni proseslerin gelişmesinde de deneysel tasarım geniş uygulamaya sahiptir. Proses gelişiminde bu tekniklerin uygulanması ile; kazanç gelişimi, değışken azaltma ve nominala yakın uygunluk sağlama, geliştirme zamanını azaltma, düşük maliyet elde edilebilir.

5.3. Deneysel Tasarımı Aşamaları

Deneysel tasarım konusu bir bütün olarak temelde tüm tasarım uygulamalarındaki yaklaşımla eşdeğer olarak problemin çözümüne yönelik adımları içerir.

- Problemin durumu ve tanımlanması,
- Faktörlerin ve seviyelerin seçimi,
- Sonuç değışkenlerin seçimi,
- Deneysel tasarım yönteminin seçimi,
- Deneyleerin yürütülmesi,
- Verilerin analizi,
- Sonuçlar ve tavsiyeler.

5.3.1. Problemin Durumu ve Tanımlanması

Deney tasarımına başlamadan önce amaç ve ilkelerin açıkça tanımlanmış olması gereklidir. Problem sistemde ve/veya üründe ürünü kullanan müşteri veya üretici

tarafından belirlenen bir hata veya eksiklik olabileceği gibi rekabet gücünü artırmak için ürün veya üretim sisteminde yapılması istenen bir Ar-Ge faaliyeti de olabilir [7].

Problemin tanımlanmasından sonra deneylerin tasarımının hazırlık safhasında önemli olan diğer bir konuda problemin analizidir. Problemin analizi için öncelikle gerek üretim sistemi ve gerekse ürünün özelliklerinin çok iyi bilinmesi gereklidir [7].

Problemin analizi için kalite araçlarından yoğun şekilde yararlanılmalıdır. Öncelikle proses akış diyagramı ve balık kılçığı hazırlanmalıdır [7].

Hazırlanan balık kılçığındaki sebepler probleme etki eden faktörler deneyde araştırmacının değişkenleri olarak ele alınırken sonuçlar deneylerde gözlenmesi gereken özellikler olarak ele alınır [7].

Balık kılçığında tespit edilen faktörlerin (sebeplerin) hepsinin kullanılması imkansız ve gereksizdir. Bu amaçla sonuçlara etki edebilecek faktörlerin en önemlilerinin seçilmesi gereklidir [7].

5.3.2. Faktörlerin Belirlenmesi ve Seviyelendirilmesi

Ürün geliştirme çalışmaları esnasında belirlenen özellikler üzerine en etkili faktörlerin seçilip indirgenmesinden sonraki aşama bu faktör seviyelerinin belirlenmesidir [7].

Seviye; deneylerdeki faktörlere verilen özel değerler olarak tanımlanır. Seviyelerinin belirlenmesinde bilimsel verilerden çıkarılacak ip uçlarından faydalanılabileceği gibi deneyimlerden de faydalanılabilir [7].

Seçilecek deneylerin tasarım yöntemine bağlı olarak faktörlerin yanı sıra faktörler arası etkileşimlerin de ortaya konması gereklidir. Faktörler arası etkileşimlerin deneylerin tasarımında kullanılması oldukça önemlidir. Etkileşim faktörler arası ilişkiler olarak bilinir [7].

Deneyde etkili faktörler A ve B olarak belirlenmiş olsun. Bu faktörler deney sonucu üzerinde her biri tek bir etkiye sahipken her ikisi birlikte deneyde sonuç üzerine etki edebilir. Bu yüzden bu etkinin belirlenmesi gereklidir [7].

5.3.3. Sonuç Değişkenlerinin Seçimi

Sonuç değişkeni deneyin çıktısı, deneyde araştırmacının gözlemlediği değişken, sistem veya ürünün kalite karakteristiği olarak bilinir [7].

Sonuç değişkenlerin seçiminde balık kılçığının sonuç bölümünde ortaya çıkan değişkenler ele alınır. Sonuç değişkenlerin belirlenmesi aşamasında aynı zamanda bu değişkenlerin doğru görüntülenebileceği ölçüm yöntemlerinin de belirlenmesi gereklidir [7].

5.3.4. Deneylerin Tasarım Yöntemlerinin Seçimi

Deneylerin tasarım yöntemleri istatistiki ve matematiksel yaklaşımların yoğun olarak kullanıldığı yaklaşımları içerir. Bu yaklaşımların ortak amaçları faktörlerin optimizasyonu; dolayısıyla ürün ve üretim proseslerinin optimizasyonunu sağlayarak değişimleri azaltmaktır [7].

Gerçekte aynı amaca hizmet etmekle beraber yaklaşımların farklılığı nedeniyle deneylerin tasarım yöntemleri kabaca klasik ve modern tasarım yöntemleri olarak ayrılır [7].

Klasik Tasarım Yöntemleri;

- Bir defada bir faktör
- Tam faktöriyel
- Kısmi faktöriyel

tasarım yöntemleri olarak ayrılırken,

Modern Tasarım Yöntemleri;

- Shainin yöntemi
- Taguchi yöntemi

olarak ayrılır.

Deney tasarım yöntemlerinin seçimi anlaşılır ve verimli sonuçlar elde etmek açısından oldukça önemlidir. Ürün ve/veya üretim sistemi geliştirme amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda amaç, gerek maliyet gerekse teknolojik açıdan gerçekleştirilebilir kaliteli tasarımı elde etmektir [7].

Yüksek kalite ve düşük maliyete ulaşmanın yolu, deney tasarım yöntemidir. Deney tasarım yönteminin seçiminde karar organı, deneyi tasarlayan takım olup bu takım hedeflerine en uygun yaklaşımı seçmekte özgürdür [7].

5.3.5. Deneylerin Yürütülmesi

Deneylerin tasarım yöntemleri temelde aynı amaca hizmet etmekle birlikte problem çözümünde izlenmesi gereken adımlar konusunda küçük farklara sahiptirler [7].

Deneylerin yürütülmesinde seçilen deneylerin tasarım yöntemde, belirlenen plan yani deney matrisi üzerinden hareket edilir. Bu matriste önceki aşamalarda seçilen faktörlerin belirlenen değişik seviyelerinin hangi sırada ve hangi kombinasyonda ele alınması gerektiği gösterilmiştir. Deneyler, bu planlarda belirlenen şartlar üzerinden gerçekleşir ve sonuçlar kaydedilir [7].

Klasik anlayışta deney matrisinin oluşturulması aşamasında keskin ve karmaşık uygulamalar benimsenmiştir. Bazı hallerde klasik anlayışta var olan ve analizde kullanılan matematiksel yaklaşımın karmaşıklığı nedeni ile deneyi tasarlayan ve analizi gerçekleştiren kişilerin farklı oluşu, deney tasarımında hata olasılığı artırmaktadır [7].

Klasik yöntemleri uygulamak için gerekli sürelerin uzun olmasının yanı sıra uzman personel gereksinimi söz konusu yöntemlerin güçlükleri arasındadır [7].

Bir defada bir faktör değiştirme esasına dayalı deney tasarım yöntemi, en eski ve en çok kullanılan deneylerin tasarım yöntemidir. Bu yöntem, adından da anlaşılacağı gibi her deneyde sadece bir faktörün değiştirilip diğer faktörlerin sabit tutularak sonuç değişkenlerin ölçüldüğü deney tasarım yöntemidir [7].

Bu yöntemle faktörler arası etkileşimler incelenmediği gibi deney sayısı, faktörlerin sayısının ve faktörlerin seviyesinin çarpımı ile elde edilir. Örneğin iki seviyeli yedi faktör için deney sayısı $7 \times 2 = 14$ 'tür.

Kısmi faktöriyel deney tasarım yönteminin ortaya çıkış nedenlerinin arasında zaman ve maliyet kavramları gelmektedir.

Bu tasarım yönteminin avantajı faktörler arası tüm etkileşimlerin ele alınması iken, dezavantajı deneylerin boyutunun üstel olarak faktör sayısı ve seviyeleri ile artmasıdır. Örneğin, iki seviyeli yedi faktör için deney sayısı $2^7 = 128$ dir.

Kısmi faktöriyel deney tasarım yönteminin ortaya çıkış nedenlerinin başında zaman ve maliyet kavramları gelmektedir. Tam faktöriyel olarak tasarlanan deneylerde maksimum bilgi ve kazanç elde edilirken deneylerin yürütülmesi sırasında geçen zaman ve harcanan para da maksimum düzeydedir [7].

Kısmi faktöriyel tasarımlar bilgi ve maliyet arasındaki dengeyi en iyi şekilde oluşturmak amacıyla istatistiki yaklaşımlarla deney sayısını azaltmaktadır. Kısmi faktöriyel tasarımında deney sayısının azaltılmasının temelinde faktörler arası etkileşimlerin bazılarının eliminasyonu yer alır [7].

Örneğin, sadece faktörler arası ikili ve üçlü etkileşimler ele alınırsa iki seviye, yedi faktörün kısmi faktöriyel tasarımda deney sayısı $2^{7-1}=64$ 'e indirilebilir.

Modern deney tasarım yöntemlerinden Taguchi ve Shainin yöntemleri ise deney matrisinin oluşumundan çok, ön hazırlık safhası üzerinde çok zaman harcamışlar ve özellikle iyi anlaşılan ve doğru analiz edilen sistemlerde deney tasarımının çok daha kolay yapılabilineceğini savunmuşlar ve bireysel çalışmadan çok grup çalışması üzerinde yoğunlaşmışlardır [7].

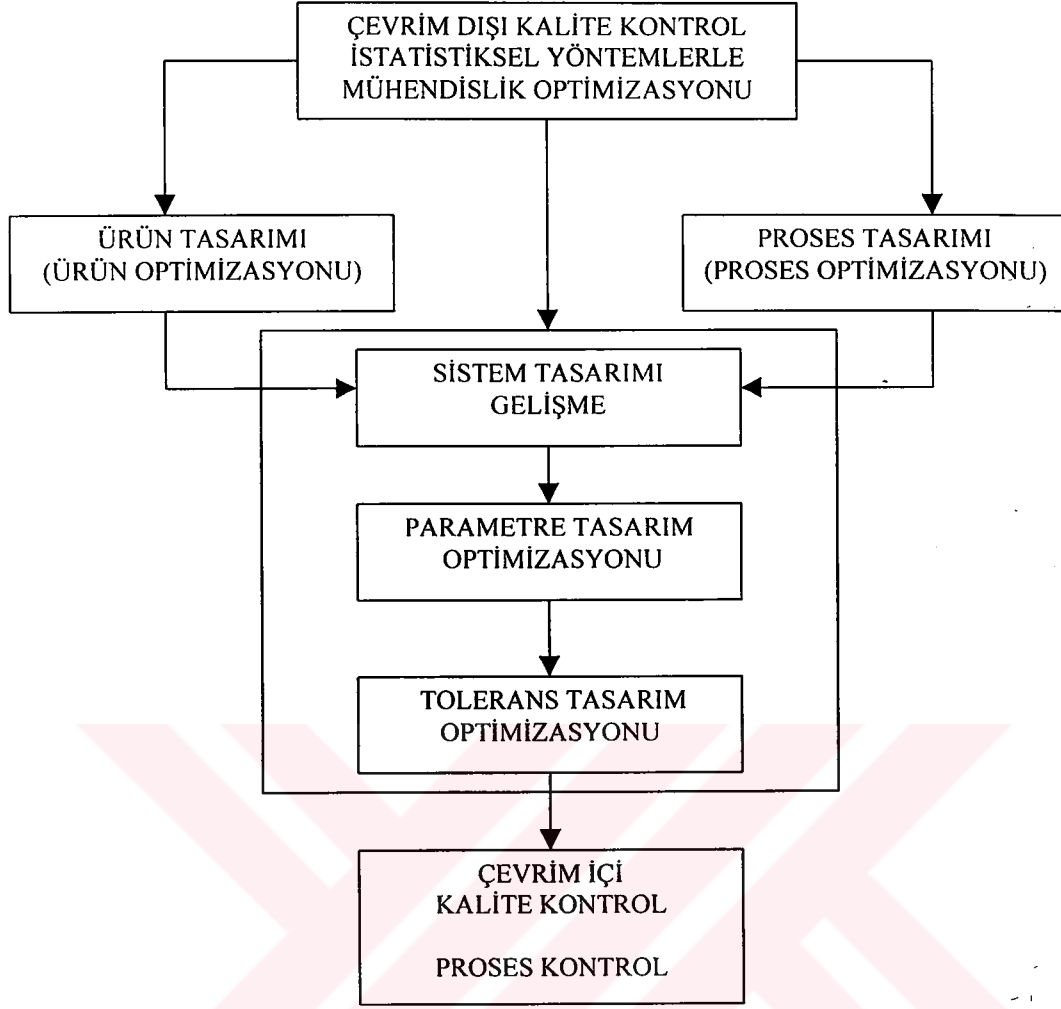
Shainin'in geliştirilmiş olduğu deney tasarım yönteminin matrisinin oluşumu temelde kısmi faktöriyel tasarım yöntemi ile benzeşmekte ise de faktörlerin ve sonuç değişkenlerin belirlenmesi aşamalarında kullanılan yöntemlerin farklılığı nedeniyle kısmi faktöriyel tasarımdan ayrılır [7].

Taguchi deney tasarım metodu, gerçekte Taguchi'nin kalite anlayışı ile bütünleşen metotlardan sadece biridir. Taguchi kaliteyi, ürün müşteriye ulaştıktan sonra ortaya çıkan kayıp olarak tanımlamıştır [7].

Her zaman için müşteri istek ve ihtiyaçlarının ilk sırayı aldığı Taguchi anlayışında kalitenin yüksekliği, üretilen ürünün fonksiyonlarını istenilen şekilde yerine getirmesi ile orantılıdır, aksi takdirde kalite kaybıdır. Bu kayıp, ancak üretim sistemi ve ürün değişiklikleri azaltılıp ürün karakteristiklerinin hedef değere yaklaştırılması ile azaltılabilir [7].

Taguchi metotları ürün ve/veya üretim sistemi parametrelerinin ve toleranslarının tasarımı, kalite kayıp fonksiyonu, çevirim içi kalite kontrol ve çevirim dışı kalite kontrol olgularını ve ortogonal kolonların kullanılarak oluşturulan deneylerin tasarımını ve ölçüm sistemlerini değerlendirmek için uygulanan metodolojileri kapsar [7].

Taguchi yaklaşımı sadece hedef değerlere ulaşılması için yapılan deneylerle ilgili değildir. Taguchi'nin kalite felsefesi "Kalite Mühendisliği" olarak isimlendirilebilir. Kalite mühendisliği ürün Ar-Ge' leri, ürün tasarımı, üretim sistemi tasarımı, üretim ve müşteri memnuniyetini temel alınarak oluşturulmuş kalite kontrol faaliyetlerini kapsar [7].



Şekil 5.1. Kalite Mühendisliği Bileşenleri [16]

Bu faaliyetler gelişmeleri, hızlı problem çözmelerini, mali verimliliği ve kalite kazançlarının devamlılığını sağlanacak tüm amaçları destekleyici olması nedeniyle iki kategoride incelenir [17].

1. Çevrim içi kalite kontrol
2. Çevrim dışı kalite kontrol

Çevrim içi kalite kontrol faaliyetleri, ürünün üretim sürecini içerirken; çevrim dışı kalite kontrol ise, müşteri istek ve gereksinimlerinin doğru olarak tanımlanması ile başlayan ve bu gereksinim ve isteklere göre üretim sistemi, ürün tasarımının yapılması bu tasarımın ekonomik olarak üretimi ve bu üretime uygun açık yazılmış spesifikasyon, standart ve prosedürlerin hazırlanmasına kadar uzanan geniş çalışma alanını kapsar.

Taguchi çevrim dışı kalite kontrol de ürün ve üretim sistemi tasarımı aşamalarından her biri için sistem, parametre ve tolerans tasarımından oluşan üç aşama belirlenmiştir.

Taguchi deney tasarım yöntemi, parametre ve toleransların tasarımı çalışmalarında yoğun olarak kullanılan bir yöntemdir. Diğer yöntemlerden hem ön hazırlık hem de deney matrisinin hazırlanması safhalarındaki yaklaşımlarından dolayı oldukça farklıdır.

Bu fark iki seviyeli yedi faktörün optimizasyonuna yönelik tasarlanmış deney sayısının sadece 8 olması gereğinden açıkça görülebilir.

5.3.6. Deney Analizi

Deneylerin gerçekleştirilmesinden sonra sonuç değişkenlere yönelik olarak belirlenmiş ölçüm yöntemlerinden, değişimlerin gözlenmesi ve değişimleri azaltma yönünde faktörleri optimize etmek amacıyla elde edilen verilerin analizi aşamasıdır [7].

Bu analiz, çok basit olarak faktörlerin veya etkileşimlerin etkisinin hesaplanıp daha sonra bu sonuçların grafiklerle gösterilmesine yönelik gerçekleştirilebileceği gibi daha karmaşık ve daha anlamlı olan Varyansların Analizi (ANOVA) adı verilen istatistiki yaklaşımla da gerçekleştirilebilir [7].

5.3.7. Sonuçlar ve Tavsiyeleri

Her faktör veya faktörler arası etkileşimlerin etkilerinin elde edildiği grafikler ve deneylerin analizi sonucunda elde edilmiş veriler yardımı ile takım hangi faktörlerin hangi seviyede ele alınması gerektiğine karar verir. Aynı zamanda sonuçta çıkan faktör seviye kombinasyonunun doğrultusunu kontrol etmek için doğrulama deneylerinin yapılması gereklidir [7].

5.4. Deneylerin Tasarım Yöntemleri

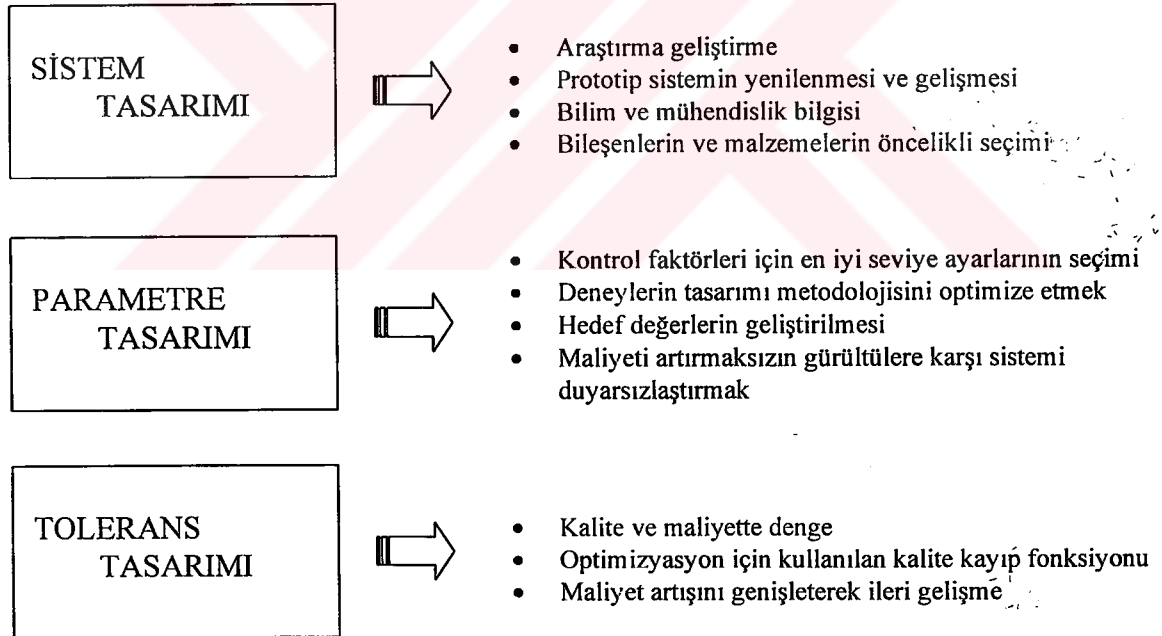
Deneylerin tasarımında araştırılan sisteme etki eden faktörlerin optimum seviyelerini belirlemek ortak amaç olmasına rağmen uygulama biçimlerrindeki farklılık sonuçta değişik yöntemlerin ortaya çıkmasında neden olmaktadır. Uygulama şekillerine göre deneylerin tasarım yöntemleri:

1. Klasik Yöntemler
2. Taguchi Yöntemi
3. Shainin Yöntemi
4. Genetik Algoritme Yöntemi olarak dört grupta incelenebilir.

Dr. Genichi Taguchi önerdiği yönteminde diğer yöntemlerden farklı olarak genel istatistik ve ileri matematik çalışmalarını istatistik teknikleri ve mühendislik bilgilerini birleştirerek uygulamıştır [17].

Ürün kalitesinin mühendislikte içine girilmelidir. Bu gerek ürün tasarımı, gerek operasyon tasarımı safhalarını kapsayan Dr. Taguchi'nin off-line kalite kontrol aktivitelerinin dayanağıdır. bir ürünün veya tasarımının mühendislik optimizasyonu yapımındaki üç yaklaşım şunlardır:

1. Sistem Tasarımı
2. Parametre Tasarımı
3. Tolerans Tasarımı



Şekil 5.2. Tasarım Proses Bileşenleri ve Hedefleri [16]

Taguchi kalite anlayışı çerçevesinde tanımladığı kalite mühendisliği kapsamında hedef değere yaklaşmak için önce ürün kalite karakteristiklerinin belirlenmesi gereklidir. Performans karakteristiklerinin hedef değerlere ulaşması, etkili olan faktörlerin tasarımının en uygun şekilde yapılması ile orantılıdır.

5.4.1 Sistem Tasarımı

Bilimsel ve mühendislik bilgileri kullanarak müşteri beklentilerine cevap veren prototip geliştirilmesi aşamasıdır. Malzeme, parça ve imalat teknolojisinin seçimi bu aşamada gerçekleştirilir. Taguchi metodunda yer alan sistem tasarımını batı araştırma geliştirme bölümündeki prototip tasarımından ayıran en önemli fark Taguchi'nin temel yaklaşımı egzotik pahalı parçalar ve son teknolojiyi kullanmaksızın düşük fiyatlı parçalara müşteri gereksinimleri doğrultusunda varolan teknolojiyi ispat etmesidir [18].

Sistem tasarımı yeni ürün veya proses gelişiminin kavramsal safhasıdır. Sistem tasarımı arkasındaki strateji yeni fikirler almak ve çalışır hale getirmektir [17].

Kavramlar önceki deyimleri, bilimsel ve mühendislik bilgilerini ve yeni gelişmeleri ve bunların her üçünün uygun kombinasyonlarını temel alır. Sistem tasarımı kavramındaki strateji yeni fikirleri alıp çalışır hale getirmektir [17].

5.4.2 Parametre Tasarımı

Taguchi parametre tasarımı araştırma geliştirme esnasında üretkenliği geliştirmek için kullanılan mühendislik metodudur. Böylece yüksek kalitede ürün çabuk ve düşük maliyette üretilir.

Tasarım mühendisliğinin duyarlılığını değişimin kaynağına indirmek için ürün veya proses parametrelerinin lineer olmayan etkilerinin performans karakteristikleri üzerindeki kullanımı parametre tasarımının esasıdır. Çünkü parametre tasarımı değişimin kaynağının etkisini kontrol etmek yerine azaltır. Bu mühendislik tasarımını geliştirmek için oldukça tasarruflu bir yoldur [19].

Parametre tasarımı güçlendirilmiş tasarım olarak da bilinir. Güçlendirilmiş tasarım fikri kontrol edilmesi kolay faktörlerin seviyelerini seçmek, kontrol edilmesi zor olanların etkilerini minimize etmek böylece proses veya ürünü gürültü faktörlerine karşı güçlendirmektir [20]. Ürün veya proseste kalite gelişimini veya yeni kaliteli ürün üretimini maliyeti de birlikte ele alarak sağlamak eğilimindedir. Güçlendirilmiş tasarım ürün performans değişiminin nasıl azaltılacağı ile ilgilidir. Özellikle gürültü faktörlerinin etkilerini azaltan kontrol faktörlerinin değerlerinin seçimi ele alınır.

Müşteri bazında ürün fonksiyonu değişiminin ekonomik olarak nasıl azaltılabileceği ve yine müşteri bazında ve imalat doğrulayıcı laboratuvar deneylerinin optimum sonuçlarının kararları konularında güçlendirilmiş tasarım istatistiksel deney verilerine yeni boyut kazandırmıştır.

Shinin, Taguchi'ye göre parametre tasarımının amacı sistemi karakterize etmek değil fonksiyonu güçlendirmektir ve mühendisin bu aşamadaki en önemli görevi veri olarak değerlendirilebilecek verimli karakteristiklerin doğru ve etkisiz seçimidir.

Parametre tasarımı Ragaha Kacker'e göre kalite felsefesi, mühendislik metodolojisi, deneysel tasarım ve veri analizi olmak üzere dört kategori içinde incelenir.

Taguchi parametre tasarımı adımları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

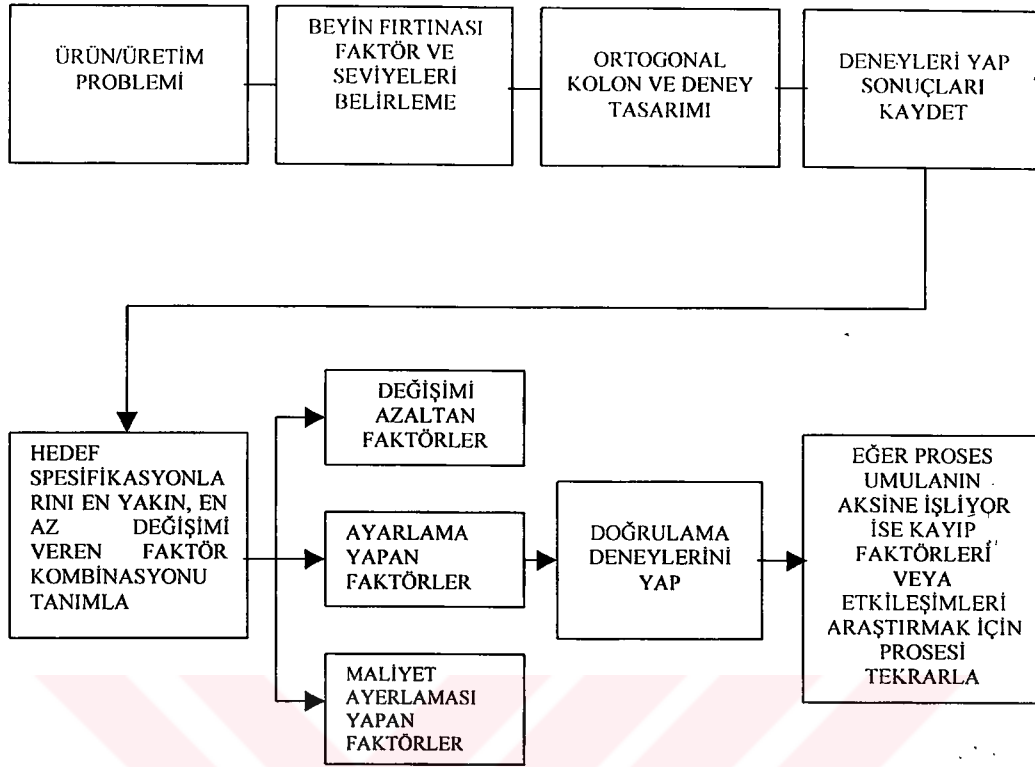
1. Faktörleri ve/veya etkileşimleri tanımlamak.
2. Her faktörün seviyelerini tanımlamak.
3. Uygun ortogonal dizin kolanlarının seçimi
4. Faktör veya faktörler arası etkileşimleri sütunlara yerleştirmek.
5. Deneyi yürütmek.
6. Optimum seviyeleri saptamak ve verileri analiz etmek.
7. Doğrulayıcı deneyleri yürütmek.

Doğrulayıcı deneyler sonuçları doğrulamada önemlidir. Eğer sonuçlar doğru değil veya memnuniyet verici değilse ek deneyler yürütülmelidir.

Parametre tasarımı; ürün parametrelerinin optimal kümesinin belirlenmesi aşamasıdır.

Taguchi parametre tasarımında sebep-sonuç diyagramları ve diğer araçlar parametre seçim takımına yardım eder. Parametreler kalite ve verimliği etkilediklerinden her proses ve parametreleri analiz edilir ve sadece önemlileri görüntülenir.

Parametre tasarımına eşdeğer olarak Taguchi yönteminin akış şeması Şekil 5.3'de görüldüğü gibidir [21].



Şekil 5.3. Taguchi Yönteminin Akış Şeması [21].

5.4.3 Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımının amacı parametre tasarımında belirlenen nominal değerler civarında değişkenleri kabul edilebilir aralıklarda belirlenmesidir. Anova bu verileri yorumlanmasını sağlarken deneylerin tasarım aracı (DT) proses veya ürün çalışmalarında kullanılır [17].

Çok dar toleranslar imalat maliyetini artırırken geniş olanlar da performans değişimini artırır. Bu sebepten tolerans tasarımında performans değişiminden dolayı müşterinin zararı ve imalat fiyatındaki artış arasında bir ilişki vardır [19].

5.5. Sinyal Faktörleri (Hedef Kontrol Faktörleri)

Hedef veya sinyal kontrol faktörleri sonucun sadece ortalamasını etkiler. Sinyal faktörü giriş sinyal değerlendirilmesinde kullanılırlar ve S ile gösterilirler. Dinamik karakteristikler için çıkışın gereksinimlerini gerçekleştirmekte kullanılan sinyal karakteristikleri aktif sinyal faktörleri olarak isimlendirilirler.

5.6. Gürültü Faktörleri

Değişime sebep olan tüm faktörlere gürültü faktörleri denir. Gürültü faktörleri rahtsız edici değişkenler olup kontrol edilmesi pahalı, mümkün olmayan ve zor olan faktörlerdir.

Genelde üç tür gürültü Faktörü vardır:

1. Dış Gürültü
2. İç Gürültü
3. Ürün arasında gürültü.

Bir enjeksiyon döküm operasyonunda sıcaklık ve nem dış gürültü, imalat eksiklikleri ara ürün gürültülerinden (problemlerinden) sorumlu olduğu sürece, tezgahların yaşlanması ve proses faktörleri toleransları iç gürültü (problem) olabilir.

Gürültü faktörleri doğrudan imalatçının kontrolünde olmayıp kullanımla ve müşterinin kullanım ortamı ile ilgilidir [22]. Gürültü faktörleri imalat veya operasyon esnasında kalite karakteristiklerinde ve ölçülen sistemin performansındaki değişime sebep olan ve kontrol edilmesi pahalı veya imkansız olan faktörlerdir. Sistemi ortalama istenen hedef seviyesinde oluşturacak birçok kontrol faktörü ayarlamaları bu aşamada yapılabilir. Bunların arasında gürültü değişkenlerindeki değişim duyarsız sistemler oluşturmakta yer alabilir. Parametre tasarımıdaki temel fikir, kontrol ve gürültü faktörleri arasında oluşan etkileşimleri kontrol edilemeyen faktörlerin yarattığı değişimleri uygun kontrol parametrelerini ayarlayarak gerçekleştirmektir. Bu yüzden bu yaklaşıma parametre tasarımı denir. Burada sözü edilen tasarım kelimesi istatistiksel deney tasarımı anlamında değildir.

Parametre tasarımının başarısı kontrol ve gürültü faktörleri arasındaki etkileşimlerin varlığına ve mühendisin etkileşimde yer alan faktörleri tanımlamasına bağlıdır. Kontrol ve gürültü faktörleri arasındaki etkileşimler değişkenliği azaltmak için kullanılırlar. Çok sayıda gürültü faktörünün olması durumunda gürültü değişkenlerinin durumlarını ölçen birleşik gürültü faktörleri kullanılır. Birleşik gürültü faktörlerine karşı güçlendirilmiş tasarımlar tüm gürültülere karşı da güçlenirler.

Güçlendirilmiş tasarım, istatistiksel deney tasarımının matematiksel temel ilkeleri oluşumunu kullanır. Fakat proses fikri etkileşimlerin rolü, kalite karakteristiklerinin

3.

Year	Japan	Germany	France	Italy	Canada	Sweden	United States	Australia
1950	12	10	8	7	6	5	4	3
1960	14	12	10	9	8	7	5	4
1970	16	14	12	11	10	9	7	5
1980	18	16	14	13	12	11	9	6
1990	20	18	16	15	14	13	11	7
2000	22	20	18	17	16	15	13	9
2010	23	21	19	18	17	16	14	10
2020	24	22	20	19	18	17	15	11
2030	24	22	20	19	18	17	15	11
2040	24	22	20	19	18	17	15	11
2050	24	22	20	19	18	17	15	11

•

-
- | Year | Japan | Germany | France | Italy | Canada | Sweden | United States | Australia |
|------|-------|---------|--------|-------|--------|--------|---------------|-----------|
| 1950 | 12 | 10 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 |
| 1960 | 14 | 12 | 10 | 9 | 8 | 7 | 5 | 4 |
| 1970 | 16 | 14 | 12 | 11 | 10 | 9 | 7 | 5 |
| 1980 | 18 | 16 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 |
| 1990 | 20 | 18 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 7 |
| 2000 | 22 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 | 13 | 9 |
| 2010 | 23 | 21 | 19 | 18 | 17 | 16 | 14 | 10 |
| 2020 | 24 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 15 | 11 |
| 2030 | 24 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 15 | 11 |
| 2040 | 24 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 15 | 11 |
| 2050 | 24 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 15 | 11 |

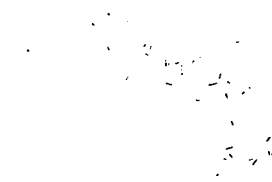
Küçük olan iyidir karakteristiklerinin hedef değeri Şekil 6.13’de görüldüğü gibi sıfır olduğu için bunların m den sapmalarının karesi y^2 olarak alınır ve kayıp aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır.

$$L=k \sigma^2 \quad (5.1)$$

N gözlem sayısında küçük olan iyidir karakteristiği için σ^2 ;

$$L=k \sigma^2 \quad (5.1)$$

N gözlem sayısında küçük olan iyidir karakteristiği için σ^2 ;



Kalite mühendisliğinde σ^2 tersi S/G (sinyal/gürültü) oranı olarak gösterilir. S/G oranının logaritması 10 ile çarpılırsa S/G oranı ondalık olarak;

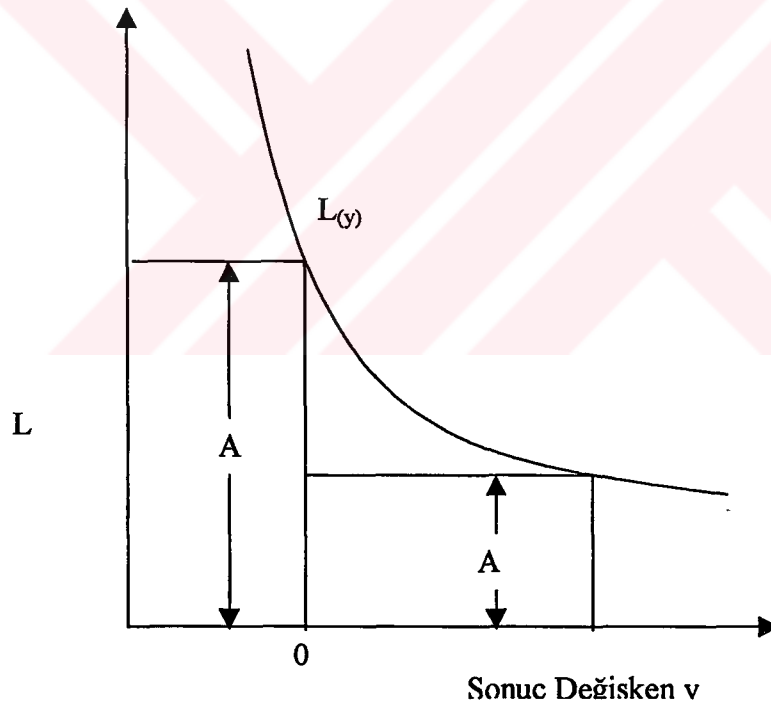
$$\eta = 10 \log \frac{1}{\sigma^2} = -10 \log \sigma^2 \quad (5.3)$$

olarak verilir. η, σ^2 nın tersidir veya S/G oranının ters logaritmasıdır [24].

S/N oranı devrelerde sinyal gürültü oranının tanımlandığı iletişim mühendisliğinde kullanılan terminolojidir. Kalite mühendisliğinde kalite birim başına değişkenliğin tersi ile ölçülür. Küçük olan iyidir anlayışında oranı birim başına değişimin oranıdır [24].

5.6.2. Büyük Olan İyidir

Kalite seviyesi arttığında büyük olan iyidir karakteristiği için kayıp azalır [24].



Şekil 5.5. Büyük Olan İyidir Durumu İçin Kayıp Fonksiyonu [24].

Şekil 5.5.'te verilen büyük olan iyidir durumu için kayıp fonksiyonuna göre imalat toleransları dışında kalan (Δ) ürün üretimi için kayıp A dır [24].

$$L(\infty) = 0$$

$$L'(\infty) = 0$$

Kayıp fonksiyonu; $L(y) = \frac{1}{y^2}$ $y = \Delta_0$ olduğunda $L(y)$ kayıp A_0 dır [24].

$$A_0 = k / \Delta_0^2$$

Buradan $k = A_0 \Delta^2$ kayıp, $\frac{1}{y^2}$, σ^2 olarak algılanırsa;

$$L(y) = A_0 \Delta_0^2 \frac{1}{y^2}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} (\frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \dots + \frac{1}{y_n^2}) \quad (5.4)$$

$$L(y) = k \cdot \sigma^2$$

olarak yazılır [24].

Küçük olan iyidir yaklaşımında olduğu gibi S/N oranı σ^2 'nintersini temsil eder ve ondalık birime çevrildiğinde;

$$\eta = 10 \log \frac{1}{\sigma^2} = -10 \log \sigma^2 \quad (5.5)$$

elde edilir [24].

5.6.3. Nominal Değer En İyidir

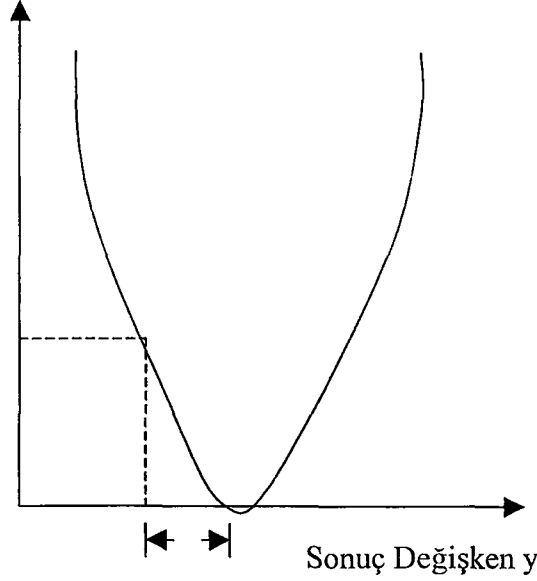
Kalite karakteristiği y ; hedef değer m ise kayıp fonksiyonu; [24]

$$L = k (y - m)^2 \quad (5.6)$$

$$L = k \sigma^2 \quad (5.7)$$

olarak elde edilir [24].

Kaliteyi geliştirmek için, $(y - m)^2$ 'nin ortalaması olan σ_0^2 'yi minimize etmek önemlidir. Ancak $-10 \log \sigma^2$ 'yi S/N oranı olarak tanımlamak, S/N oranının kalite gelişimlerini saptamakta kullanılması nedeniyle yetersizdir. Prosesi optimize etmek için σ^2 yi minimize etmek yeterli değildir. Özel hedef değerler eklenmeksizin proses için gerekli optimum imalat veya tasarım şartlarını belirlemek önemlidir. Hedeften sapma olduğunda önceden belirlenen hedeften sapmayı azaltmak için prosesi ayarlamak gerekli olacaktır. Genelde böyle ayarlamalar ayarlama faktörü adı verilen tek değişken kullanılarak yapılır [24].



Şekil 5.6. Nominal Olan İyidir Durumu İçin Kayıp Fonksiyonu

5.7. Faktörlerarası Etkileşimler

Her faktör diğer faktörlerden bağımsız olarak sonuç değişimine katkıda bulunur. Parametre tasarımında faktörler arası etkileşimlerin varlığının bilinmesi ve faktörlerin tanımlanması önemlidir. Ürün özelliklerinde etkili faktörler kontrol ve gürültü faktörleri olarak bilinirler. Bunların arasındaki etkileşimler kontrolxkontrol ($K \times K$), kontrolxgürültü ($K \times G$), ve gürültüXgürültü ($G \times G$) olmak üzere üç kategoride incelenebilir.

Parametre tasarımında gürültü faktörlerine çok az duyarlı ve hedef değere uygun olarak ayarlanabilen kontrol faktörlerinin seviyelerinin seçimi önemlidir. $K \times G$ etkileşimi bu amacı oluşturmak için ele alınır. $G \times G$ etkileşimleri ürün performansının gürültü faktörlerine duyarlılığı üzerinde çok küçük rol oynarlar.

Çok sayıda $K \times K$ etkileşimleri aşağıdaki sebepler nedeniyle istenmezler. Çünkü;

1. Etkileşimlerin varlığı aynı sayıda kontrol faktörü ile çalışma gerekliliği nedeniyle çok sayıda deney gerektirir.
2. Çok sayıda $K \times K$ etkileşiminin varlığı kompleks ürün tasarımında değişik mühendis grupları tarafından aynı anda incelenen küçük görevlerin oluşturulması zordur. Bu şekilde yapılan çalışmalarda Ar&Ge maliyetleri ve ürün geliştirme aralıkları artar.

3.Tasarım laboratuvar aşamasından imalata ve kullanıcıya ulaştırmak çok önemlidir. Bu durumda deneyleri üç aşamada yapmak gerekir. Eğer güçlü KxK etkileşimleri laboratuvar deneyleri esnasında gözlenirse bu kontrol faktörleri deney şartları ile etkileşebilir. Bu durumda laboratuvardaki optimum ayarlamalar imalat ve kullanımdaki optimumu yakalayamaz. Bu da ürünün geri dönmesine yeniden işleme miktarının ve maliyetin artmasına yansırken tasarımın değişmesine sebep olabilir.

Sonuç olarak KxK etkileşimleri elimine veya minimize edilerek güçlü tasarımın gerçekleştirilmesi olasıdır ve kalite karakteristiklerinin, istenildiği şekilde optimizasyonu ancak kontrol faktörleri ve seviyelerinin akıllıca seçimi ile gerçekleştirilebilir.

5.8. Ortogonal Diziler

Taguchi ortogonal dizini sadece ortalama sonuçlar üzerine faktörlerin etkisini ölçmekle kalmayıp aynı zamanda ortalama sonuçlardan değişimi irdelemiştir.Taguchi deneysel faktörleri haritalamak için lineer grafik geliştirilmiştir [17].

Her kolon $L_A(B)^C$ şeklinde gösterilir. Ortogonal dizin latin kareden türetildiği için L latin kareyi gösterir. A, deneylerin sayısını veya deneyde kullanılan faktörlerin kombinasyonlarını içerir. B her kolondaki seviyelerin sayısını gösterir. C ise, ortogonal L dizinindeki kolonların sayısını gösterir [17].

En az iki seviyeden en çok beş seviyeye kadar değişen seviyelerde ortogonal dizinler mevcuttur. Amaca göre iki veya üç seviyeyi içine alan dizinler yeterlidir. Fakat bazen ilkelere ve belirlenen stratejiye göre iki ve üç seviyeyi beraber ele alan dizinler de kullanılabilir [17].

2^n serileri tüm sütunlarında iki seviye yer alan dizinlerdir. $L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_{12}(2^{11})$; $L_{16}(2^{15})$ en sık kullanılan dizinlerdir. Daha büyük kolonlarda mevcuttur. Fakat deney matrisinin boyutunun büyümesi karışıklık yaratacağı için ya yanlış veri veya yanlış deneysel kombinasyonların kurulmasına neden olacaktır [19].

$L_4(2^3)$; temelde tam faktöriyel deney tasarım matrisi olup iki temel faktör ve aralarındaki iletişimi ele alır. Eğer mühendis etkileşimin zayıf olduğuna karar verirse yerine üçüncü bir faktörü alabilir [19].

$L_8 (2^7)$; faktörler arası etkileşimlerin görüntülenmesinde esnek bir matristir. Yedi faktöre kadar olan faktörleri ve etkileşimleri matriste yer alabilir [17].

$L_{12} (2^{11})$; etkileşimlerin etkileri tüm dizinler arasında uygun olarak dağıldığı için özel bir ortogonaldır. Bu özelliği ile faktörlerin ve etkileşimlerinin karışması en aza indirilir. Diğer taraftan etkileşimler bu ortogonal dizine dahil edilmezler. Eğer deney matris boyutu olarak $L_{12} (2^{11})$ yeterli fakat faktörlerarası etkileşimler söz konusu ise bu durumda $L_{16} (2^{15})$ ortogonal dizinin kullanılması gereklidir [17].

$L_{16} (2^{15})$ ve $L_{32} (2^{31})$ ortogonal dizinleri büyük matrislerdir ve faktörler ve etkileşimlerin birarada kullanma imkanı verirler [19].

3^n serileri genelde üç seviyeli sütunları içeren dizinlerdir. $L_9 (3^4)$, $L_{18} (2^1 \times 3^7)$ ve $L_{27} (3^{13})$ en sık kullanılan çeşitleridir.

$L_9 (3^4)$; dört faktörün veya iki faktör ve bir etkileşiminin incelenebileceği bir ortogonal kolondur [17].

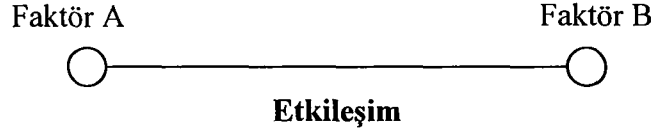
$L_{18} (2^1 \times 3^7)$; birkaç durumdan dolayı tektir. Birincisi ilk sütun iki seviyelidir ama diğer 7'si üç seviye içerir. İkincisi $L_{12} (2^{11})$ ortogonal dizinine benzer olarak birinci ve ikinci sütun arasındaki ilişki haricinde etkileşimlerin etkisi diğer sütunlar arasında dağılmıştır. Üçüncüsü sütun bir ve iki arasında özel bir ilişki mevcuttur. Bu iki kolonun yerleşimi açısından aralarındaki etkileşim bir başka sütuna ihtiyaç duymaksızın kendi sütunlarından birinde ele alınır [17].

$L_{27} (3^{13})$; çok kullanılan bir ortogonal dizin olup her sütununda üç seviye ele alınır. Maksimum 13 faktör yer aldığı kolonda en çok 3 etkileşim yer alabilir. Etkileşim sayısının artması faktörlerin azalması anlamına gelir [17].

5.9 Lineer Grafikler

Etkileşimlerin ortogonal kolonlara rastgele yerleştirilmesi doğru olmayan analizlere ve hatalı sonuçlara yol açar. Taguchi deneysel tasarım hatalarının oluşumunu önlemek için ortogonal kolonların uygun sütunlarında faktörleri ve faktörlerarası etkileşimleri görüntülemek için bir sistem geliştirmiştir. Deneyi yapan kişi faktörlerarası temel faktörleri ve etkileşimleri grafik olarak oluşturarak karmaşadan korkmadan ortogonal kolonlardaki sütunlara sistematik olarak atar. Bu grafik gösterimlere lineer grafikler denir [17].

Lineer grafikler birbirine bağı noktalar veya çemberlerden oluşur. Her nokta veya çember ortogonal kolondaki temel etkileri veren faktörlerin atandığı sütunu gösterir. Bu noktaları birbirine bağlayan çizgiler ise iki faktör arasındaki etkileşimleri gösterir. Şekil 5.7’te iki faktör arasındaki etkileşim lineer grafik olarak gösterilmiştir [17].

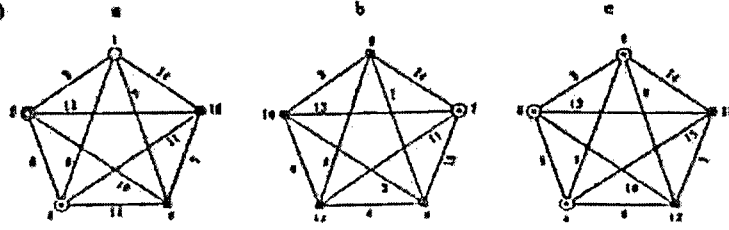


Şekil 5.7 L_4 Lineer Grafik[16]

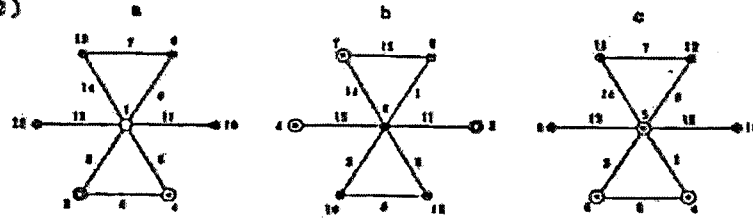
Ortogonal dizinin boyutuna göre bir veya daha çok lineer grafik olabilir. $L_4 (2^3)$ için bir grafik olmasına rağmen $L_{16} (2^{15})$ için birkaç değişik grafik mevcuttur. Büyük ortogonal kolonlardaki ek bir özellikte aynı lineer grafiğin değişik gösterimlerinin mevcudiyetidir. Şekil 5.8’ da aynı şekle sahip lineer grafiklerde her sütunu ifade eden noktaların veya çizgilerin numaralarının değiştiği görülür. Bu değişik gösterimler deneylerin daha verimli olarak gerçekleşmesini sağlar [17].

Bu ayrıcalık faktörlerden seviyelerinin değiştirilmesi zor, zaman alıcı ve pahalı olanın deney esnasında işlemde işleme değişimin en az olmasını sağlar.

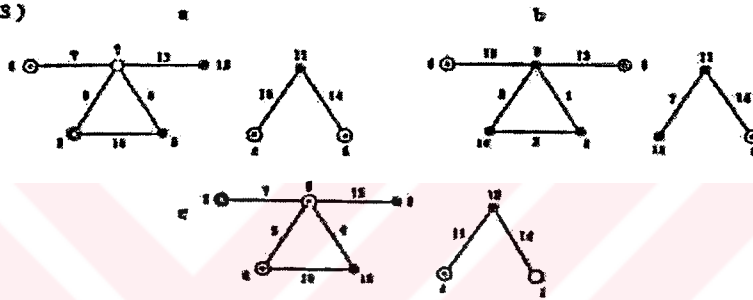
(1)



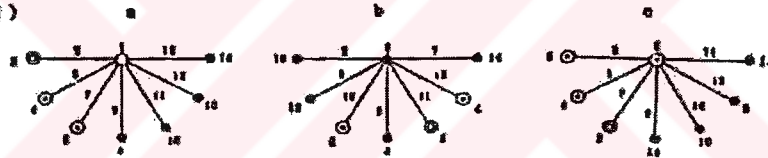
(2)



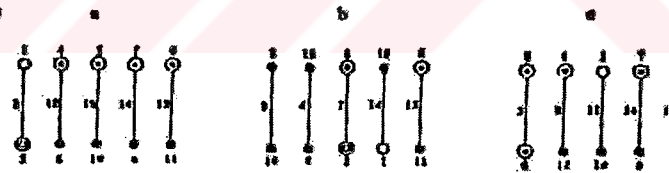
(3)



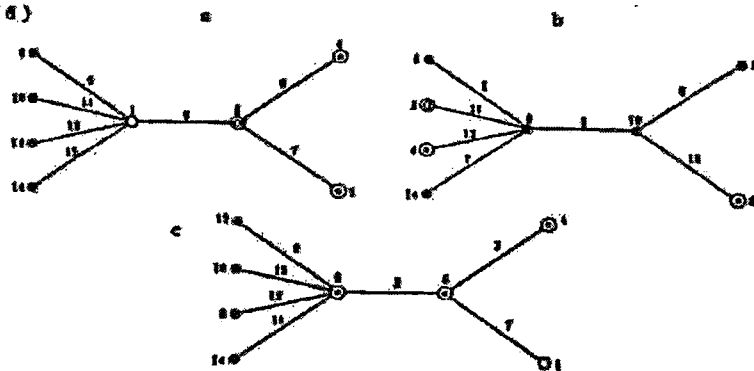
(4)



(5)



(6)



Şekil 5.8. $L_{16}(2^{15})$ İçin Lineer Grafikler

6. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışma ana faaliyet alanı Tarım Makinaları ve Otomotiv olan Uzel Makine Sanayi A.Ş.' de gerçekleştirilmiştir. Dünyanın en büyük 10 traktör üreticisinden bir olan Uzel, traktörün yanı sıra dizel motor, jant, yaprak yay, helisel yay ve denge çubuğu üretimi yapmaktadır.

Bu çalışmada, Eşzamanlı Mühendislik çerçevesinde yürütülen tasarım faaliyetinin Kalite Tekniklerinin desteği olmaksızın yürütülemeyeceği, hatta optimum noktanın yakalanabilmesi için entegre bir şekilde çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Bu çerçevede, otomotiv sektöründe kullanılan jant için hedef tüketici özelliklerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi, benzer ürün veya firmalarla karşılaştırması, bunları kullanarak bir ürün tasarımı ve tasarımdaki kritik ve zayıf noktaların belirlenmesi, ve bu zayıf noktaların iyileştirilmesi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma için Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniği, Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi Tekniği ve Deneylerin Tasarımı Tekniklerinden faydalanılmıştır.

Hedef tüketici özelliklerinin belirlenebilmesi, değerlendirilmesi, benzer ürün veya firmalarla karşılaştırılması için Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniğinden yararlanılmıştır.

Birinci adımda hedef müşteri özelliklerinin ve rakip ürünlerin belirlenmesi gerekir.

Bunun için; pazarlama unsurları olan, insan, coğrafik bölge (dağılım), ürün ve fiyat unsurlarını göz önünde bulundurularak;

- Ürün nerede satılabilir?
- Ürünü satın alacak müşteri profili nasıl? (Hedef kitlenin / segmentin tanımı)
- Aynı segmente hitap eden rakipler kim? Pazar payları ve ürün özellikleri neler?
- Yeni model ile ilgili şirket stratejisi nedir?
- Rakiplerin ürünleri ile ilgili stratejileri nedir?

sorularının cevapları düşünülerek yapılan anketler ve yüz yüze görüşmeler çerçevesinde Tüketici Memnuniyet Seviyeleri 1 ile 10 arasında olacak şekilde derecelendirilir.

Tablo 6.1 Hedef Müşteri Özelliklerinin ve Rakip Ürünlerin Belirlenmesi

Mevcut Model	A Firması (Michelin Jant)	B Firması (lemmertz Jant)	Yeni Model (Hedef)	İyileştirme Oranı	Satış Katkısı	Mutlak Ağırlık
--------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------	-------------------	---------------	----------------

Müşteri Memnuniyet Seviyeleri (1 – 10)

İkinci adımda müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi gerekir. Müşteri ihtiyaçları, müşteriler ile yüz yüze görüşmelerle, tüketici anketleri ile, şirket çalışanlarının görüşleri ile, fuar ve teşhirlerde tüketicinin görüşleri ile, ayrıca bayi ve satış teşkilatından gelen görüşler doğrultusunda belirlenmiştir. Önem seviyesi 1 ile 10 arasında olacak şekilde derecelendirilmiştir.

Tablo 6.2. Müşteri İhtiyaçlarının Belirlenmesi

	Önem Seviyesi
Direksiyon Titremesin	9
Araç Titremesin	9
Ömrü Uzun Olsun (Dayanım)	10
Paslanmasın	8
Hafif Olsun	9
Hava Kaçırmasın	9
Boya Görüntüsü (Yüzey İyi Olsun)	8
Montaj Kolay Olsun	8

Üçüncü adım ise, müşteri memnuniyet seviyelerinin analizidir. Bu adımda belirlenen müşteri ihtiyaçları için; iyileştirme oranı, satış katkısı ve mutlak ağırlıkla beraber mevcut model, rakip firmalar ve hedef model değerleri belirlenir.

Tablo 6.3 Müşteri Memnuniyet Seviyelerinin Analizi

	Önem Seviyesi	Mevcut Model	A Firması (Micheln Firması)	B Firması (Lemmertz)	Hedef Model	İyileştirme Oranı	Satış Katkısı	Mutlak Ağırlık
Direksiyon Titremesi	9	8.5	8.4	7.9	8.5	1.0	1.0	9
Araç Titremesi	9	7.5	7.5	7.5	7.5	1.0	1.0	9
Dayanım	10	9	9	8.5	9	1.0	1.0	10
Paslanma	8	9.4	9.4	9.4	9.4	1.0	1.0	8
Hafiflik	9	7.8	9.8	7.8	9.8	1.3	1.5	17.55
Hava Kaçırma	9	6.5	8	6.5	9.2	1.4	1.5	18.9
Boya Görüntüsü	8	8.4	8.4	8.1	8.4	1.0	1.0	8
Montaj Kolaylığı	8	7	9.8	7	9.9	1.4	1.5	16.8

İyileştirme Oranı; müşteri beklentilerinde eski modele nazaran yeni modelde ne kadarlık bir iyileşme olacağının belirlenmesidir. Bu değer; yeni model değerinin, mevcut model değerine oranıdır.

Satış Katkısı ; 1.0-1.2-ve 1.5 olarak verilir.

1.5 → Ürünün maliyetini arttıran ve müşterinin istediği, standart olarak sunulabilecek bir özellik. (Tüketicinin söz konusu özelliğe verdiği önemi arttıracaktır. Reklam ve satış faaliyetlerinde üzerinde 1.derecede durulacak bir unsur.)

1.2 → Müşterinin ilgi gösterebileceği bir özellik fakat bu, fiyatla bağlantılı bir opsiyon olabilir. (Tüketicinin söz konusu özelliğe verdiği önemi arttıracaktır. Reklam ve satış faaliyetlerinde 2.derecede durulacak bir unsur.)

1.0 → Eski modelden farklı olarak herhangi bir değişiklik yok.

Mutlak Ağırlık = Önem Seviyesi x İyileştirme Oranı x Satış Katsayısı

Yeni model için belirlenen memnuniyet seviyeleri Kalite Fonksiyonları Geliştirme çalışmasının Hedef Müşteri Memnuniyetlerini verir.

Dördüncü adım teknik özelliklerin belirlenmesidir. Teknik özellikler müşterinin sesi ile ilişkili olmalı ve ölçülebilir olmalı.

Yalpa Salgı - mm

Balansızlık -gr.cm

Ömür - çevrim

Korozyon dayanımı -saat

Ağırlık - kg

Sızdırmazlık -ppm

Düzlemsellik - mm

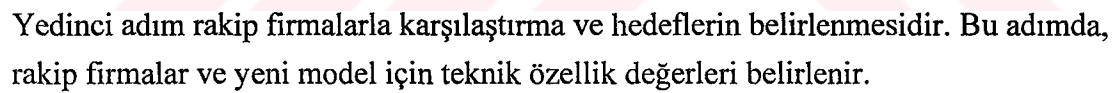
Malzeme - HR 60

Beşinci adımda ise; müşteri ihtiyaçları ile teknik özellikler 0 (İlişki Yok), 3 (Zayıf İlişki), 9 (Güçlü İlişki) şeklinde ilişkilendirilerek korelasyon matrisi oluşturulur.

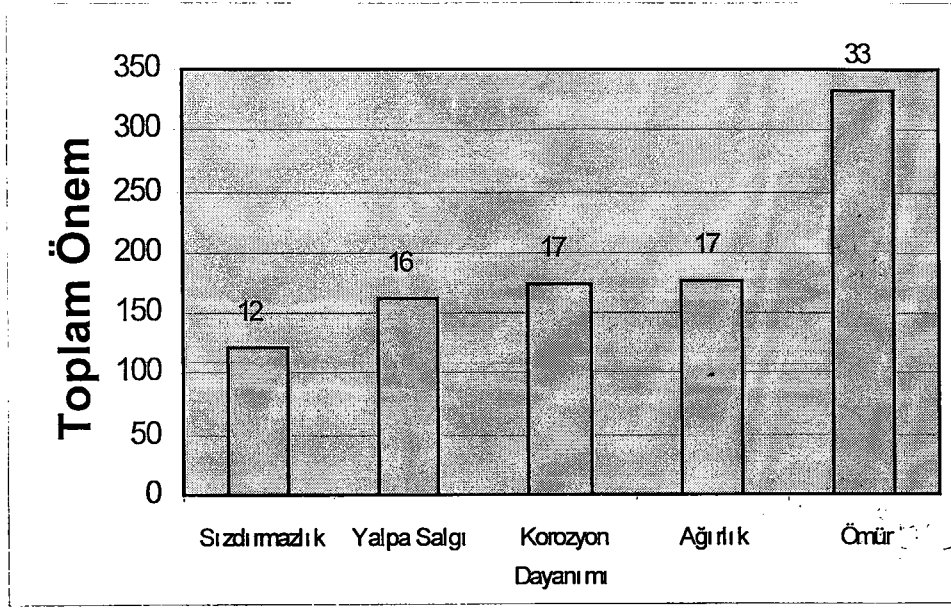
Tablo 6.4. Korelasyon Matrisi

	Yalpa Salgı	Balansızlık	Minimum Ömür	Korozyon	Dayanım Ağırlık	Sızdırmazlık	Düzlemsellik	Malzeme
Direksiyon Titremesi	9	3	0	0	3	0	3	0
Araç Titremesi	9	9	0	0	3	0	3	0
Dayanım	0	0	9	3	0	0	0	3
Paslanma	0	0	9	9	0	0	0	3
Hafiflik	0	9	3	0	9	0	0	9
Hava Kaçırma	0	0	3	0	0	9	0	0
Boya Görüntüsü	0	0	3	9	0	0	0	0
Montaj Kolaylığı	0	0	3	0	0	0	0	0

Tablo 6.5. Teknik Özellikler Arasındaki İlişki Matrisi



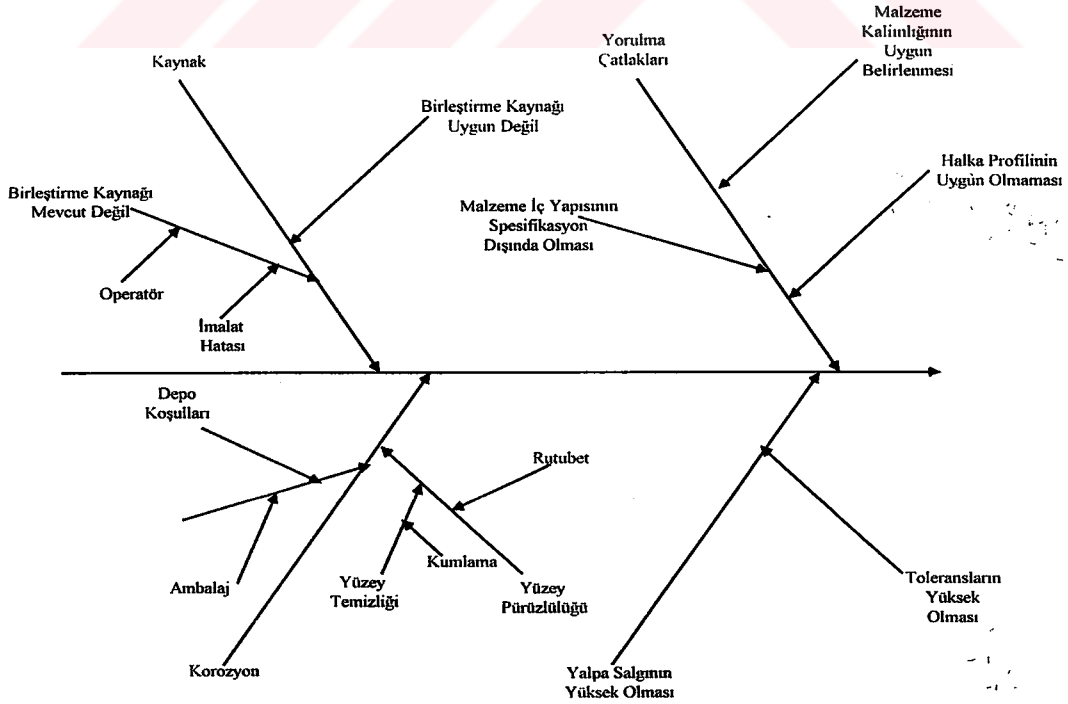
	Yalpa Salgı	Balansızlık	Minimum Ömür	Korozyon Dayanımı	Ağırlık	Sızdırmazlık	Düzensellik	Malzeme
A Firması	0,7/0,8	360	250000000	1000	7	50	0,1	HR60
B Firması	0,7/0,8	360	250000000	1000	7,7	250	0,1	FeF420
Yeni Model	0,7/0,8	360	250000000	1000	7	50	0,1	HR60



Şekil 6.1. Toplam Önem – Teknik Özellikler Arasındaki İlişki

Kalite Fonksiyonları Geliştirme Matrisi göz önünde bulundurularak elde edilen Pareto Analizinde öncelikle çözülmesi gereken problemin “Ömür” olduğu açıkça görülmektedir.

Ömrü etkileyen faktörleri bulmaya yardımcı olmak için jantın bileşenlerinden olan halka ve disk içinde Sebep-Sonuç Diyagramı çıkartılmıştır.



Şekil 6.2. Komple Jant Üretim Prosesi için Sebep-Sonuç Diyagramı

Oluşturulan balık kılçıklarından, Olasılık, şiddet ve Keşfedilebilirlik tablolarından faydalanarak jant için Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi Tablosu elde edilmiştir. (Tablo 6.3.)

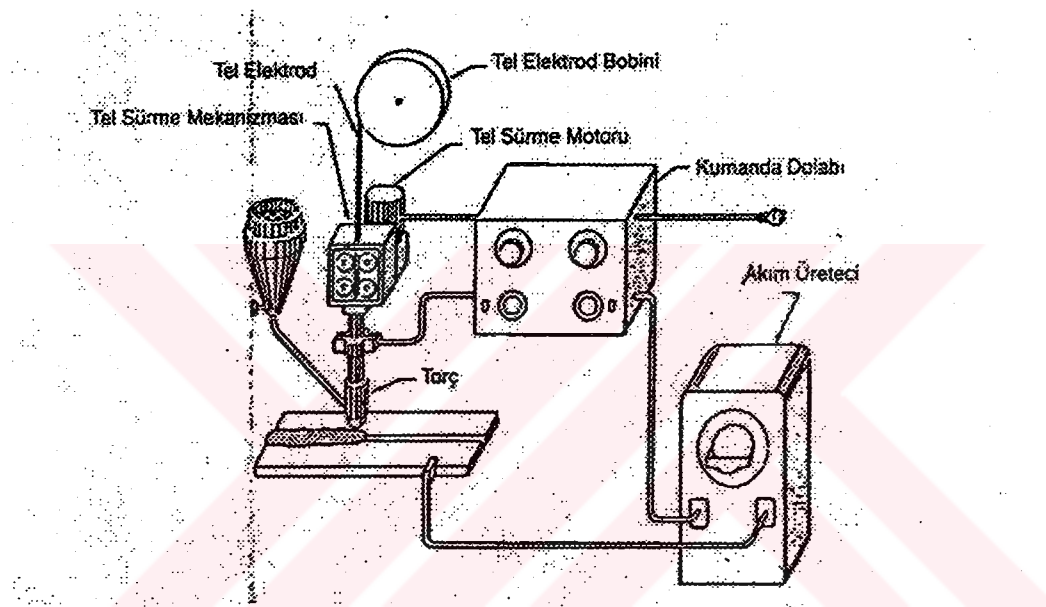


Tablo 6.8. Jant için Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi

Parça Alt Sistem	Hata Türü	Hata Etkileri	Hata Sebepleri	Mevcut Durum					Önerilen iyileştirmeler	Tamamlama ve sorumluluk	İyileştirilmiş Durum			
				Kont. Ön.	O S	S	K	R Ö G			Yapılan İyi	O S	K	RÖG
Komple	Birleştirme kaynağı mevcut değildir	Kazaya sebep	İmalat hatası	Göze %100 kontrol	2	1 0	2	40						
	Birleşme kaynağı uygun değil	Dayanım zayıflığı kazaya sebep	İmalat hatası	Örnekleme ile kaynak kontrol parametre etkileri	5	9	4	180	DeneySEL Tasarım					
	Yalpa salgısının yüksek olması	Sürüş esnasında titreme	Toleransların in yüksek olması	%100 kontrol	3	6	3	36						
	Korozyon	Paslanma	İmalat hatası	Boyama parametreleri nin kont.	3	7	4	84						
				Boyama performanste stleri	3	7	4	84						

Tablo 6.8.' de de görüleceği gibi, risk öncelik faktörü en yüksek 180 olarak belirlenmiştir. Bu da “Birleştirme Kaynağı Uygun Değil” hata türüne karşılık gelmektedir. Bu sebepten dolayı birleştirme kaynağının özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Uzel Makine’ de halka ve diski birleştirmek Tozaltı Kaynağı kullanılmaktadır. Temel olarak elektrik ark kaynağına benzeyen tozaltı kaynağında otomatik olarak kaynak yerine gelen çıplak bir elektrod ile iş parçası arasında meydana gelen ark neticesinde kaynak metali erir. Aynı zamanda kaynak yerine devamlı olarak bir toz püskürtülür ve ark bu toz filminin altında yanar.



Şekil 6.3: Tozaltı Kaynak Donanımı

Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan tozların ergime sıcaklıkları kaynak metalinin ergime sıcaklığından düşüktür. Böylece kaynak işlemi esnasında kaynak banyosu içerisine ergimemiş toz partiküllerinin girmesi engellenir. Ayrıca tozun özgül ağırlığı ile viskozitesinin düşük olması sebebiyle kaynak banyosunun üstünde kalır ve hava ile teması önleyerek deoksidasyonu sağlar.

Tozaltı kaynak yöntemi özellikle demir ve alaşımlarının kaynağında yüksek üretim hızı, yüksek nüfuziyet (kalın parçaların tek pasoda kaynaklanabilmesi), kaynak kalitesi ve koruyucu tedbirlere gerek kalmaksızın iş güvenliğini sağlaması dolayısı ile yarı ve tam otomatik olarak geniş kullanım alanına sahiptir. Düşük çaplı elektrotlara yüksek akım uygulanabildiğinden ve elektrot ucuna yakın mesafeden özel bir bakır temas lülesi tarafından akım verildiğinden akım yoğunluğu ve ısı girdisi çok yüksek olan bir kaynak yöntemidir.

Kaynak tozunun arkın üzerinde koruyucu bir film oluşturması sebebiyle ısı kaybı önlenerek ısı kaynak havuzuna yoğunlaşır. Ark bir toz örtüsü altında olduğundan etrafa ışı nım yapmaz ve bu şekilde ark enerjisinin yaklaşık % 64' ü doğrudan doğruya kaynak için tüketilmiş olur [4]. Elektrod ve esas metalin hızlı ergimesi yanında ana metalde de derin nüfuziyet oluşur. Derin nüfuziyetin sağlanması sebebiyle daha küçük kaynak ağzına ihtiyaç gösterir ve böylece kaynak metali sarfiyatı azalarak kaynak hızı artar. Hızlı kaynak imkanı toplam ısı girişini azaltarak çarpılmaları minimize eder ve ince saçların tek pasoda kaynaklanmasının yanında kalın saçların kaynağı bile bir pasoda yapılabilir. İki taraftan birer paso ile 20 mm kalınlığındaki bir sacı kaynak ağzı açmadan kaynatmak mümkündür.

Koruyucu film altında kaynak yapılması sebebiyle kaynağın tokluk, darbe direnci ve kaynak yüzey görünümü mükemmel olup mekanik özellikleri en az esas metalin mekanik özellikleriyle aynı seviyededir. Tozaltı kaynak yönteminde tek pasolu kaynaklarda kaynak banyosundaki esas metal miktarı ilave metale nazaran daha fazla olup kaynağın mekanik ve kimyasal özellikleri büyük ölçüde esas metalin özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle birçok düşük alaşımlı çeliğın kaynağında ilave metalin özelliklerinin esas metalin kimyasal bileşimi ve özellikleriyle aynı olması gerekmez. Çok pasolu kaynaklarda ise kaynağın kimyasal kompozisyonu ve özellikleri esas metalden çok elektrodun özelliklerine, kullanılan kaynak tozuna ve kaynak koşullarına bağlıdır.

Tozaltı kaynak yönteminde akım, voltaj ve kaynak hızının optimizasyonu ile istenilen seviyelerde nüfuziyet ve kaynak boyutu ayarlaması yapmak ve düz kaynak elde etmek mümkündür.

Kaynak parametreleri çok sıkı kontrol altında tutulmalıdır. Çünkü kaymak işlemi esnasında kaynak tozu örtücülük görevi yaptığından izlemek ve müdahale etmek imkansızdır. Bundan dolayı seri imalattan önce mutlaka denemeler yapılmalı ya da akım, kaynak hızı, kaynak ağzı ve voltaj gibi faktörlerin kombinasyonunu içeren bir dizi deney yapmak gerekir. İşte bu noktada sisteme etki eden faktörlerin optimum çalışma değerlerini belirlemek amacıyla Denelerin Tasarımı Tekniğı' ne başvurulmuştur.

Kaynağa etki eden parametrelere bakıldığında; gerçekte 7 parametrenin etki ettiğı görülmüştür. Bunlar; kaynak hızı, amper, voltaj, toz cinsi, torç açısı ve yüzey temizliğıdir. Bu parametreler için Tablo 6.4' deki gibi seviyeler belirlenmiştir.

Tablo 6.9. Kaynak Parametre Seviyeleri

	I. Seviye	II. Seviye
A-Kaynak Hızı	17 ^{mm} / _{sn}	20 ^{mm} / _{sn}
B-Amper	750 A	850 A
C-Voltaj	28 V	30 V
D-Toz Cinsi	Lincoln	Oelikon
E-Torç Açısı	-5°	0°
F- Kaynak Ağzı	10°	0°
G-Yüzey Temizliği	Az Kirli	Temiz

7 parametre ve bu parametrelerde 2 seviyeli olduğu için, $L_8 (2^7)$ dizininden faydalanılmıştır.

Tablo 6.10. $L_8 (2^7)$ Dizini

Deney No	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	2	2	2	1
2	1	1	2	2	1	1	2
3	1	2	1	1	2	1	2
4	1	2	2	1	1	2	1
5	2	1	1	1	1	2	2
6	2	1	2	1	2	1	1
7	2	2	1	2	1	1	1
8	2	2	2	2	2	2	2

Ömür değerlerinin saptanması ve böylece gerekli tedbirlerin alınmasını temin ederek kalitenin yükselmesini sağlamak amacıyla jantların lastikli halde dinamik radyal (rolling) yorulma testleri belirtilen seviyelerde 2 kere yapılmıştır. Ve tüm deney sonuçları için;

$$S/N = 10 \cdot \log [y^2/s^2 - 1/n]$$

Formülünden yararlanılarak S/N yani gürültü faktörleri hesaplanmıştır.

Tablo 6.11. Deney Verileri ve Analizi

DENEY NO	KONTROL PARAMETRELERİ							TEST SONUÇLARI		D _{ortalama}	GÜRÜLTÜ ORANI
	A	B	C	D	E	F	G	D1	D2		S/N
1.Deney	1	1	1	2	2	2	1	2000000	2233000	2165000	16,6
2.Deney	1	1	2	2	1	1	2	1866000	1920000	1893000	15,5
3.Deney	1	2	1	1	2	1	2	2675000	2733000	2704000	18,6
4.Deney	1	2	2	1	1	2	1	2593000	2658000	2625000	18,3
5.Deney	2	1	1	1	1	2	2	2187000	2339000	2263000	17
6.Deney	2	1	2	1	2	1	1	2051000	2113000	2082000	16,3
7.Deney	2	2	1	2	1	1	1	2310000	2396000	2353000	17,4
8.Deney	2	2	2	2	2	2	2	2771000	2803000	2783000	18,8

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada öncelikle çelik jantın kalite karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla müşteriler ile yüz yüze görüşmeler, bayi ve satış ekiplerinden gelen görüşler ve müşteri anketleri yapılarak öncelikle müşteri isteklerinin neler olduğu incelendi.

Bu isteklerden yola çıkarak, müşteri isteklerinin teknik özelliklere dönüştürülmesi, kıyaslamalar ve hedef model için değerlerin belirlenmesi çalışmaları sonucu hedef model için üstünde önemle durulması gereken konunun ömür olduğu belirlenmiştir.

Müşteri beklentilerini karşılamak ve ömür değerinin yükseltilmesi için öncelikle ömrü etkileyen parametreleri incelemeye yönelik olarak jant üretim prosesi için balık kılçığı oluşturuldu. Hazırlanan balık kılçığından faydalanarak hem jant için Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi yapılmıştır.

Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi çalışması sonucunda ortaya çıkan ve ivedilikle halledilmesi gereken konunun “Birleştirme Kaynağı Uygun Değil” hata türünden kaynaklandığı görüldü. Hata sebebine bakıldığında ise “İmalat Hatası” olduğu görüldü. İmalat hatasından kaynaklanan bu sorunu gidermek için kaynak parametrelerinin iyileştirilmesine karar verildi.

Bu amaçla klasik deneyler yapmak yerine maliyetleri, işçiliği ve zamanı aşağıya çekmek için Taguchi yaklaşımından doğan $L_8(2^7)$ dizininden faydalanarak, 8 adet rolling yorulma deneyi, 2 kez tekrarlanarak Tablo 6.11.’ de bulunan ömür sonuçları elde edilmiştir.

Kaynak parametreleri ve seviyeleri için yapılan deneyler sonucunda her parametrenin iki seviyesi için de ömür değerleri belirlenmiştir. (Tablo 7.1.)

Tablo 7.1. Ömür Değerleri İçin Sonuç Tablosu

	A	B	C	D	E	F	G
1. Seviye	2339000	2100000	2298000	2393000	2433000	2459000	2306000
2. Seviye	2370000	2623000	2418000	2345000	2283000	2258000	2410000
Fark	31000	523000	120000	48000	150000	201000	104000

Ayrıca her parametre ve seviyesi için;

$S/N = 10 \cdot \log [y^2/s^2 - 1/n]$ formülünden faydalanarak S/N (Gürültü Oranı) hesaplanmıştır. (Tablo 7.2.)

Tablo 7.2. S/N (Gürültü Oranı) için Sonuç Tablosu

	A	B	C	D	E	F	G
1. Seviye	17,24	16,35	17,08	17,38	17,58	17,69	17,14
2. Seviye	17,38	18,27	17,54	17,24	17,04	16,93	17,48

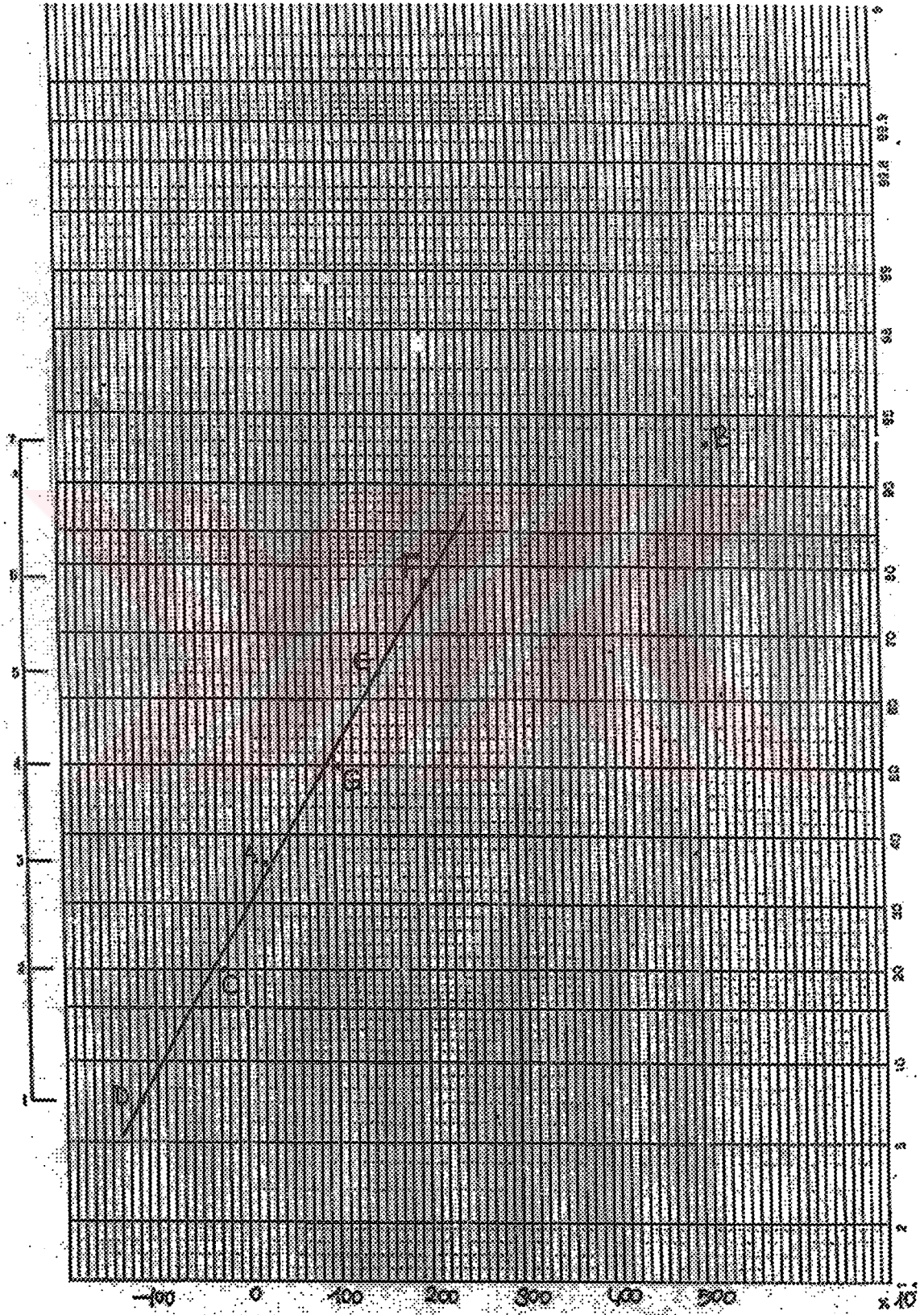
Parametre dizaynının tam amacı; düşük maliyette maksimum ürün performansını elde etmek için gürültü faktörlerinden en az seviyede etkilenen kontrol faktörleri için nominal değerleri tespit etmektir. Parametre dizaynı safhasında ürün ve operasyon safhasında faktörler optimize edilmeli ve gürültü faktörleri (problem) minimize edilmelidir. Gürültü oranı veri analizinde performansın ölçülmesinde kullanılır.

Son yıllarda deneysel tasarım kullanımının yaygınlaşması sonucu, hesaplamayı kolaylaştırmak için bazı tablolar geliştirildi. Bu tablolardan biriside L_8 hesap tablosudur. (Tablo 7.3.) Deney sonucu elde edilen değerler “gözlem değeri” kolonuna işaretlenir. Gözlem kolonunun her satırındaki değer, boş hanelere kopya edilir. Daha sonra, her kolonun toplamı alınarak “toplam” satırı bulunur. Her kolonun toplamı, “sayı” satırındaki rakamla bölünerek sonuç “ortalama” satırına işaretlenir. Son basamakta, faktörlerin ve etkileşimlerin etki değerini bulmak için, her ana kolondaki 2.kolonun ortalamasından 1.kolonun ortalaması çıkarılır ve sonuç ortalama işaretlenir.

Tablo 7.3. L₈ Hesaplama Tablosu

Std. Sıra	Göz.değ.	A	B	C	D	E	F	G
1	2.165.000	2.165.000	2.165.000	2.165.000	2.165.000	2.165.000	2.165.000	2.165.000
2	1.893.000	1.893.000	1.893.000	1.893.000	1.893.000	1.893.000	1.893.000	1.893.000
3	2.704.000	2.704.000	2.704.000	2.704.000	2.704.000	2.704.000	2.704.000	2.704.000
4	2.625.000	2.625.000	2.625.000	2.625.000	2.625.000	2.625.000	2.625.000	2.625.000
5	2.263.000	2.263.000	2.263.000	2.263.000	2.263.000	2.263.000	2.263.000	2.263.000
6	2.082.000	2.082.000	2.082.000	2.082.000	2.082.000	2.082.000	2.082.000	2.082.000
7	2.353.000	2.353.000	2.353.000	2.353.000	2.353.000	2.353.000	2.353.000	2.353.000
8	2.783.000	2.783.000	2.783.000	2.783.000	2.783.000	2.783.000	2.783.000	2.783.000
Toplam	18.868.000	9.387.000	8.403.000	9.383.000	9.674.000	9.734.000	9.032.000	9.225.000
Sayı	8	4	4	4	4	4	4	4
Ort.	2.358.500	2.346.750	2.100.750	2.345.750	2.418.500	2.433.500	2.258.000	2.306.250
Etld		23.500	515.500	-25.500	-120.000	150.000	201.000	104.500
		3	7	2	1	5	6	4

Bu tablodaki etki satırındaki parametreleri istatistiksel açıdan önemli (stastically significant) olduğuna karar vermek içinde Normal Olasılık Grafiği kullanıldı.



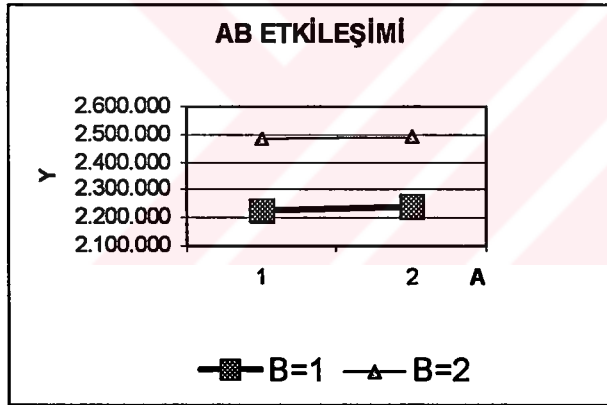
Şekil 7.1. Normal Olasılık Grafiği

Respons değişken yani ömür üzerine en fazla B ve D (AB) faktörlerinin etkin olduğu görülmüştür. AB etkileşiminin önemliliğinin saptanmış olması, bu etkileşimi oluşturan A ve B faktörlerinin birlikte dikkate alınmasını gerektirmektedir. Etkileşimlerin yorumunu yapmak için A ve B'nin düzeylerine göre dört gruba ayrılmış şekilde ortalamasının alınması sonucu Tablo 7.4 elde edilir.

Tablo 7.4. AB Etkileşimi

A	B	
	1	2
1	2.223.750	2.481.500
2	2.235.500	2.493.250

Bu tablodan yararlanarak elde edilen AB etkileşim grafiğinden (şekil 7.2.) mr değerinin A=2 ve B=2 olduğunda elde edileceği görülmektedir.



şekil 7.2. AB Etkileşim Grafiği

Bununla beraber gürültü oranını yükseltmek, maliyeti azaltmak ve kaliteyi yükseltmek anlamına gelmektedir. Gürültü oranı yüksek çıkan yeni parametre seviyeleri şunlardır:

- (A2) Kaynak Hızı : 20 mm/sn
- (B2) Amper : 850 Amper
- (C2) Voltaj : 30 Volt
- (D1) Toz Cinsi : Lincoln
- (E1) Torç Açısı : 5⁰

(F1) Kaynak Ağız :10⁰

(G2) Yüzey Temizliği : Temiz

Belirlenen bu parametrelere göre yeniden 2 adet doğrulama deneyi yapılarak ömür değerleri 2620000 ve 2800000 çevrim olarak bulunmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] **Bozkurt, R., Odaman, A.**, 1990. ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara.
- [2] **Zairi, M.**, 1993. Total Quality Management, Gulf Publishing Company.
- [3] **Edosomwan, J.A., Savage-Moore, W.**, 1991. Asses Your Organizatoins TQM Posture And Readiness To Successfully Compete For The Malcolm Baldrige, Industrial Engineering, Vol:23, No:2.
- [4] **Mersin, D.N.**, 1996. Kalite Güvence Sistemleri, İstanbul.
- [5] **Barutçugil, İ.S.**, 1998. Üretim Sistemleri ve Yönetim Teknikleri, Bursa.
- [6] **Öztürk, Y.**, 1993. Kalite Yönetimi, İstanbul.
- [7] **Taptık, Y., Keleş, Ö.**, 1998. Kalite Savaşı, Kalder Yayınları, No:23, İstanbul.
- [8] **Day, Ronald, G.**, 1993. Quality Function Deployment, ASQC Quality Press.
- [9] **İTÜ-TTGV Kalite Araştırma – Geliştirme Merkezi İnternet Web Sitesi**, 1998. Kalite Teknikleri; OHTEA, İPK, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [10] **Akın, B.**, 1998. Hata Türü ve Etkileri Analizi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul
- [11] **Çiğdem., S.**, 1995. Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi Eğitim Notları, Çayırova.
- [12] **Ronald, D., Thomas, W.N., Lioyd, P.P.**, 1991. Improving Quality Through Planned Experimentation, McGraw-Hill.
- [13] **Mitra, A.**, 1993. Fundamentals of Quality Control and Improvement, Macmillion Publishing Company.
- [14] **Şirvancı, M.**, 1997. Kalite İçin deney Tasarımı “Taguchi Yaklaşımı”, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [15] **Montgomery, C.D.**, 1985. Statistical Quality Control, John Willey&Sons Inc.
- [16] **Kusiak, A.**, 1993. Concurrent Engineering, John Willey&Sons Inc.

- [17] **Peace, G.S.**, 1994. Taguchi Methods, addison Wesley Publishing Company.
- [18] **Bendell, A., Disney, J., Pridmore, W.A.**, 1989. Taguchi Methods, IFS Publications.
- [19] **Nackar, R.N.**, 1986. Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Comentary, Quality Progress.
- [20] **Shoemaker, A.C., Tsui, K.L., Jeff, WU, C.F.**, 1991. Economical Experimentation Methods for Roboust Design, Technometrichs, Vol:33.
- [21] **Lanche, A.E.**, 1994. Quality by Design, American Supplier Institue Press.
- [22] **Ross, F.J.**, 1989. Taguchi Tecniques for Quality Engineering, McGraw-Hill Book Company.
- [23] **Roy, R.K.**, 1990. Primer on taguchi Methods, van Nostran Reinhold, Newyork.
- [24] **Taguchi, G., Yokohama, Y., Wu, Y.**, 1993. Taguchi Methods, American Supplier Institue.

ÖZGEÇMİŞ

Derya ÇİVİTCİOĞLU KARAKUŞ, 1975 yılında Çankırı' da doğdu, ilk ve orta tahsilini Çankırı' da, lise tahsilini ise Konya' da tamamladı. İ.T.Ü. Kimya – Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümünde 1993 yılında başladığı lisans öğrenimini 1997 yılında Metalurji Mühendisi olarak tamamladı. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ABD Malzeme Programına başladı. Halen Goldaş Kuyumculuk San. İth. İhr. A.Ş.' de Kalite Güvence Sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

