

**HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA) VE TAGUCHI
METODU' NUN BONFIGLIOLI A.Ş.' DE ORTAK UYGULAMASI**

Osman Muzaffer BAYRAKDAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2009

ANKARA

Osman Muzaffer BAYRAKDAR tarafından hazırlanan HATA T  RLER   VE ETK  LER   ANAL  Z   (HTEA) VE TAGUCHI METODU' NUN BONFIGLIOLI A.  .' DE ORTAK UYGULAMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr.Ömer FARUK BAYKOÇ

.....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu   alı  ma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ertan GÜNER

.....

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer FARUK BAYKOÇ

.....

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa YURDAKUL

.....

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih : 24/ 12/ 2009

Bu tez ile G.  . Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Osman Muzaffer BAYRAKDAR

**HATA T RLER  VE ETK LER  ANAL Z  (HTEA) VE TAGUCHI
METODU' NUN BONFIGLIOLI A. . DE ORTAK UYGULAMASI**
(Yüksek Lisans Tezi)

Osman Muzaffer BAYRAKDAR

GAZ   N VERS TES 
FEN B L MLER  ENST T S 

Aralık 2009

ÖZET

Firmalar, rekabetin daha fazla hissedilir olduğu son yarım yüzyıl içerisinde müşterilerin talep ve isteklerini belirlemek ve zamanında karşılamak amacıyla bir dizi kalite kontrol metotları geliştirmişlerdir. Bu doğrultuda geliştirilen metotlardan ikisi ise; Hata Türleri Ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Yöntemidir. HTEA firma bünyesinde meydana gelen hatanın müşteriye ulaşmadan hata kaynağının tespit edilerek ortadan kaldırılmasına yönelik bir analiz aracıdır. Taguchi Yöntemi ise tespit edilen hata kaynağının deney tasarımı metodu kullanılarak c z mlenmesini amaçlayan bir yaklaşımdır.

Bu c   mada redüktör imalatı yapan İtalyan bir firmada HTEA ile müşteri memnuniyetini bozucu faktörler belirlenerek bu faktörlerin etkileri Taguchi Yöntemi ile minimize edilmeye c    lmı tır.

Bilim Kodu : 906.1.070
Anahtar Kelimeler : Hata Türleri ve Etkileri Analizi, Taguchi Yöntemi, Deney Tasarımı, Ortogonal Dizinler
Sayfa Adedi : 102
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ömer Faruk BAYKOÇ

**COMMON APPLICATION OF FAILURE MODE AND EFFECTS
ANALYSIS (FMEA) AND TAGUCHI METHOD IN BONFIGLIOLI INC.**

(M.Sc. Thesis)

Osman Muzaffer BAYRAKDAR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

December 2009

ABSTRACT

During the last half century, when competition became more and more intense, firms have developed a series of quality control methods and procedures with an aim to determine and respond to the demands and needs of customers in a timely manner. Two of the developed methods within this scope are Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Taguchi Method. FMEA is an analysis tool, which aims to determine the source of error that occurs within the firm before it is conveyed to the customer. Taguchi Method, on the other hand, is an approach that aims to resolve the determined source of error using the experimental design method.

In this study, the aim has been to determine the factors that affect customer engagement in an Italian firm, which produces gear units, using FMEA and minimize the effects of these factors by Taguchi Method.

Science Code : 906.1.070

**Key Words : Failure Modes and Effects Analysis, Taguchi Method,
Experiment Design, Orthogonal Arrays**

Page Number : 102

Adviser : Prof. Dr. Ömer Faruk BAYKOÇ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Ömer Faruk BAYKOÇ' a ve değerli Müdürüm Cezmi EZER' e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ	3
2.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Türleri	9
2.2. Hata Türü ve Etkileri Analizi' nin İşlerliğinin Kontrolü	13
2.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi Değerlendirme Kriterleri	15
2.4. Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin Yararları ve Güçlükleri	28
3. DENEY TASARIMI VE TAGUCHİ METODU	30
3.1. Deney Tasarımı İlkeleri ve Kullanım Alanları	31
3.2. Deney Tasarımının Uygulama Aşamaları ve Türleri	34
3.3. Taguchi Metodu Felsefesi ve Gelişimi	41

Sayfa

3.4. Taguchi metodunda Kalite Kontrol Sistemi	42
3.5. Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı	47
3.5.1. Temel çalışma biçimi	48
3.5.2. Deney tasarımı	50
3.5.3. Uygulama prosedürleri	52
4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	60
5. HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ VE TAGUCHİ METODU ÇALIŞMASI : BONFIGLIOLI UYGULAMASI	63
5.1. Firma Tanımı.....	63
5.2. Problemlerin Tespiti ve Grafiksel Gösterim Metodu ile Analizi.....	64
5.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi Tekniği ile Problem Analizi	66
5.4. Taguchi Metodu Uygulaması	69
5.4.1. L8 pilot deneyi	70
5.4.2. L16 deneyi.....	79
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR.....	96
EKLER.....	99
EK-1 Müşteri memnuniyet anket örneği.....	100
EK-2 Sonsuz vidalı ürün memnuniyet anket örneği	101
ÖZGEÇMİŞ	102

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Proses HTEA formu örneği	14
Çizelge 2.2. THMEA' da kullanılan oluşum derecelendirme çizelgesi	16
Çizelge 2.3. THMEA' da kullanılan şiddet derecelendirme çizelgesi	17
Çizelge 2.4. THMEA' da kullanılan belirleme derecelendirme çizelgesi	18
Çizelge 2.5. PHMEA' da kullanılan oluşum derecelendirme çizelgesi	22
Çizelge 2.6. PHMEA' da cpk değerleri için belirlenmiş oluşum derecelendirme çizelgesi.....	25
Çizelge 2.7. HTEA' da kullanılan şiddet derecelendirme çizelgesi.....	26
Çizelge 2.8. HTEA' da kullanılan belirleme derecelendirme çizelgesi.....	28
Çizelge 3.1. Tesadüf blokları DT örneği.....	36
Çizelge 3.2. Latin karesi DT örneği.....	38
Çizelge 3.3. İmalat endüstrisi için latin karesi DT örneği	39
Çizelge 3.4. Tam faktöriyel tasarım örneği.....	40
Çizelge 3.5. Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar.....	50
Çizelge 3.6. Taguchi'nin sinyal/gürültü oranları	51
Çizelge 3.7. 2^k ve Taguchi dizaynı deney planları.....	55
Çizelge 5.1. Proses HTEA çizelgesi	68
Çizelge 5.2. Parametre değerleri	69

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.3. Tam eşleşme gösterimi	69
Çizelge 5.4. L8 deney eşleme gösterimi	70
Çizelge 5.5. L8 deney çizelgesi.....	71
Çizelge 5.6. Optimum gerilme mukavemeti hesaplama çizelgesi	72
Çizelge 5.7. Keçe markası-Fırın sıcaklığı etkileşim çizelgesi	74
Çizelge 5.8. Varyasyonu hesaplama çizelgesi	76
Çizelge 5.9. Fırın sıcaklığı-Fırında bekleme süresi etkileşim çizelgesi.....	78
Çizelge 5.10. L16 Deney çizelgesi.....	80
Çizelge 5.11. Optimum gerilme mukavemeti hesaplama çizelgesi	81
Çizelge 5.12. Keçe markası-Fırında bekleme süresi etkileşim çizelgesi	83
Çizelge 5.13. Fırın sıcaklığı- Fırında bekleme süresi etkileşim çizelgesi.....	85
Çizelge 5.14. Varyasyonu hesaplama çizelgesi	88
Çizelge 5.15. Fırında bekleme süresi-Fırındaki redüktör sayısı etkileşim çizelgesi	90
Çizelge 5.16. Keçe markası-Fırında bekleme süresi etkileşim çizelgesi	91
Çizelge 6.1. HTEA sonuç çizelgesi.....	95

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. HTEA süreci	6
Şekil 3.1. Tesadüf blokları DT örneği.....	37
Şekil 3.2. Taguchi'nin üretim-kalite çemberi	42
Şekil 3.3. Taguchi metodunun sistematığı	44
Şekil 5.1. Genel anket sonuçları	64
Şekil 5.2. Ürünlerin kullanım oranları	65
Şekil 5.3. Sonsuz vidalı ürün memnuniyet anketi.....	66
Şekil 5.4. Normal olasılık grafiği.....	73
Şekil 5.5. Keçe markası – Fırın sıcaklığı etkileşim grafiği	74
Şekil 5.6. LOG(S) Normal olasılık grafiği.....	77
Şekil 5.7. Fırın sıcaklığı-Fırında bekleme süresi etkileşim grafiği	78
Şekil 5.8. Normal olasılık grafiği.....	83
Şekil 5.9. Keçe markası-Fırında bekleme süresi etkileşim grafiği.....	84
Şekil 5.10. Fırın sıcaklığı- fırında bekleme süresi etkileşim grafiği.....	85
Şekil 5.11. LOG(S) Normal olasılık grafiği.....	89
Şekil 5.12. Fırında bekleme süresi-Fırındaki redüktör sayısı etkileşim grafiği	90
Şekil 5.13.Keçe markası –Fırında bekleme süresi etkileşim grafiği.....	91

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. BONFIGLIOLI Fabrikaları.....	63

SİMGE VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
A	Amper
A x B	A ve B faktörünün etkileşimi
Kısaltmalar	Açıklama
DT	Deney Tasarımı
FEGG	Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi
HAA	Hata Ağacı Analizi
HTEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi
HTEKA	Hata türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi
KA	Kritiklik Analizi
OD	Ortogonal Dizinler
PHMEA	Proses Hata Modu ve Etkileri Analizi
RÖS	Risk Öncelik Sayısı
S/N	İşaret / Gürültü
THMEA	Tasarım Hata Moda ve Etkileri Analizi

1.GİRİŞ

Günümüzde rekabet koşulları, küreselleşmenin ve teknolojinin de artmasıyla daha fazla hissedilir seviyeye gelmiştir. Bu rekabet koşullarında ayakta kalmak ve sürekliliğin devamı için takip edilmesi gereken yollardan biri ise kalite felsefesinin yönetimce benimsenmesidir. Firmalar bu şekilde pazardaki yerlerini güçlendirebilir ve de müşterilerini memnun edebilir. Kalite felsefesini benimsemiş firmalar pazardan gelen talep ve istekleri karşılamak ve önceden belirlemek amacıyla bir dizi yöntemler geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu yöntemler, firma bünyesinde kalite eksikliğinden doğan hata kaynaklarının belirlenmesinde etkin bir rol üstlenir ve tespit edilen bu hata kaynaklarının etkilerini enküçüklenerek ederek gerek porses gerekse ürün kalitesinin artmasını sağlar. Bu doğrultuda belirlitilen yöntemlerden ikisi ise Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Metodudur.

HTEA potansiyel hataların henüz oluşmadan veya mümkün olduğunca erken önlenmesini amaçlayan, iyileştirme faaliyetlerine nereden başlanacağı noktasında yol gösteren bir kalite tekniğidir. Taguchi Metodu ise kontrol edilebilen faktörlerin ayarlanması ile zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerine karşı duyarsız ürün ve süreç tasarımını gerçekleştiren deney tasarımı yöntemidir.

Bu çalışma üç bölümden oluşmakta olup ilk bölümde; redüktör imalatı yapan İtalyan bir firmada özellikle sonsuz vidalı tip redüktörlerde meydana gelen yağ kaçağı şikayetleri üzerine, müşterilerin öneri ve şikayetlerini belirleme amacıyla anket düzenlenmiştir. İkinci bölümde ise; yapılan bu anketlerden elde edilen sonuçlar grafiksel gösterim metodu ile analiz edilmiş ve risk öncelik sayılarının ve önem sıralarının tesipiti için HTEA yöntemi uygulanarak hata kaynakları tespit edilmiştir. Hata kaynakları arasında en önemli etkiye sahip olanın, yağın redüktör içindeki muhafazasını sağlayan keçenin gerilme mukavemetini yitirmesi sonucunda ortaya çıkan yağ kaçağı olduğu saptanmıştır. Yağ kaçağına sebebiyet veren keçelerin gerilme mukavemetinin redüktörü boyama işleminin hemen ardından fırınlama işleminde yer alan fırın sıcaklığı, fırında bekleme süresi, keçe markası ve fırındaki

redüktör sayısı parametrelerine bağılı olarak etkilendiğı varsayılmıştır. Üçüncü ve son bölümde ise, varsayılan parametrelere alt ve üst değerler verilerek taguchi metodu uygulanmıştır. İlk önce L8 pilot deneyi uygulanarak sonuçları L16 tam eşlemeli deney sonuçları ile kıyaslanarak aynı sonuçlara ulaşıldığı kanıtlanacaktır. Çalışma sonucunda pilot deneylerin tam eşlemeli deneylere göre üstünlüğü irdelenecek optimum gerilme mukavemet değeri için gerekli olan parametre sınırları tespit edilerek firmanın tespit edilen bu sınırları bundan sonraki proses ve iş sürecinde uygulamasının getireceğı katkılar yorumlanacaktır. Ayrıca 4. bölümde de vurgulanacağı üzere literatür incelendiğinde bu yöntemlerin ortak olarak uygulandığı bir çalışmaya rastlanmaması bu çalışmayı daha önemli hale getirmiştir.

2. HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ

HTEA yönteminde olası hatalar tanımlanır; her bir olası hatanın nedenleri belirlenir, müşteri üzerindeki etkileri değerlendirilir, uygulanan kontroller gözden geçirilir, düzenleyici faaliyetler önerilir ve bunların uygulanması izlenir.

HTEA' nın amacı, bilinen ve potansiyel problemleri müşteriye ulaşmadan önce belirlemek ve önlemektir. Problemlerin farklı öncelikleri vardır. Bu yüzden bu önceliklerin belirlenmesi HTEA metodolojisinin önemli bir uğra ı alanıdır.

Hata önceliklerini belirlemede yardımcı    bileşen vardır [1]:

- Ortaya  ıkma (O)
- Ağırlık (A)
- Saptama (S)

Ortaya  ıkma, hatanın sıklığını; Ağırlık, hatanın ciddiyetini (etkisini); Saptama, hatayı ürün müşteriye ulaşmadan tespit etme yeteneğini gösterir. Bu bileşenlerin değerlerini belirlemede pek çok yöntem vardır. Alışılmış yöntem, nümerik skalaların (risk ölçüt  izelgesi) kullanımınıdır .

Bu aşamada bir HTEA projesine ne zaman ve hangi şartlar altında ba lanılması gerektiği sorusu akla gelebilir. HTEA mümkün olduğunca erken, hatta bütün gerçekler ve bilgiler mevcut değilken başlatılmalıdır. HTEA'yı uygulayan kişiler bütün bilgilerin toplanmasını beklememelidir. Çünkü bütün veri ve bilgilere hiçbir zaman sahip olunamaz

HTEA uygulamasına ba lanabilecek bazı durumlar aşağıda sayılmıştır [2]:

- Yeni sistemler, tasarımlar, ürünler, prosesler veya servisler oluşturulurken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler sebeplerine bakılmaksızın değiştirilirken,

- Mevcut koşullardaki sistem, sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler için yeni uygulamalar bulunurken,
- Mevcut sistem, tasarım, ürün, proses veya servislerin geliştirilmesi düşünüldüğü zaman.

Bu noktada akla gelen bir başka soru da bir HTEA çalışmasının ne zaman sona erdirileceğidir. Normal olarak HTEA yapılan sistem, tasarım, proses veya hizmet var oldukça HTEA devam eder. Sadece sistem, tasarım, ürün, proses veya servisin sona erdirilmesi veya sürdürülmesi kararı verildiğinde son bulur.

HTEA uygulamasının sonlandırılacağı bazı durumlar aşağıda sayılmıştır [3]:

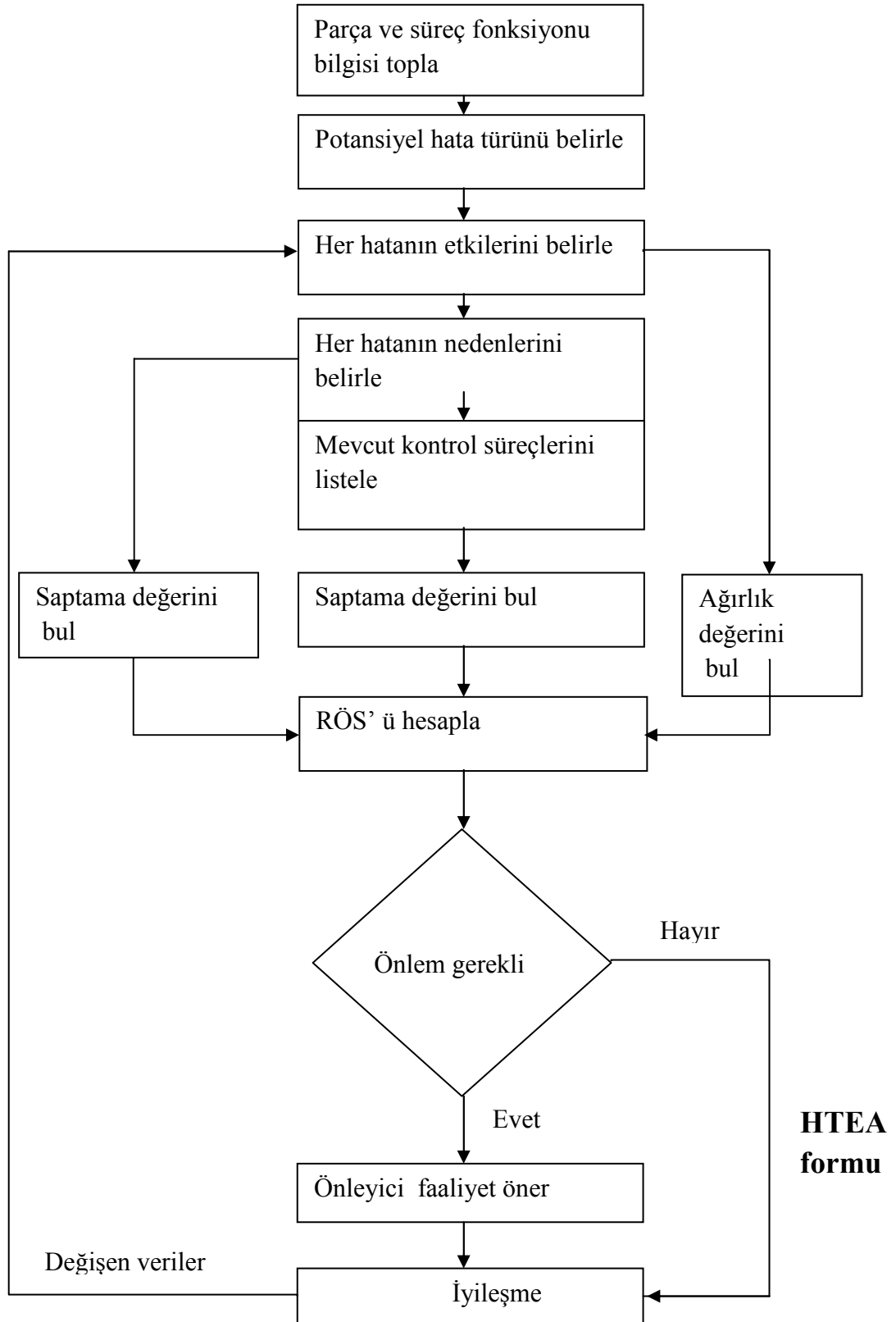
- Sistem HTEA, bütün donanımın belirlendiği ve tasarımın son şeklini aldığı noktada,
- Tasarım HTEA, üretime geçişin kesin tarihi saptandığında,
- Proses HTEA, bütün proseslerin belirlendiği, değerlendirildiği ve bütün kritik ve anlamlı karakteristiklerin kontrol planlarına taşındığı anda.
- Servis HTEA, sistem tasarımı ve bireysel görevlerin tanımlandığı, değerlendirildiği ve bütün kritik ve anlamlı karakteristiklerin kontrol planlarında adreslendiği zaman sona erdirilmesi düşünülebilir.

HTEA uygulamasıyla standart bir uygulama süreci henüz yoktur. Çoğunlukla her işletme kendi organizasyon yapısına göre ve isteklerine göre bir uygulama süreci oluşturmuş ve bunu izlemektedir.

Uygulama süreçlerindeki farklılıklara rağmen genel bir HTEA prosedürü şu şekilde verilebilir (Şekil 2.1):

1. Sistemin tam olarak çalıştığında ne yapması gerektiği tam olarak bilinmelidir.
2. Bileşenleri daha iyi anlayabilmek için sistem alt sistemlere veya parçalara bölünmelidir.
3. Şemalar, akış diyagramları ve benzeri çizelgeler kullanılarak sistemin bileşenleri ve bu bileşenler arasındaki ilişkiler belirlenmelidir.

4. Her sistem parçası için tam bir bileşen listesi oluşturulmalıdır.
5. Sistemi etkileyebilecek operasyonel ve çevresel faktörler belirlenmelidir. Bu faktörlerin tek tek bileşenlerin performanslarını nasıl etkilediği belirlenmelidir.
6. Her bileşene ait hata türü ve bu hata türlerinin sistem parçalarını, alt sistemleri ve tüm sistemi nasıl etkilediği belirlenmelidir.
7. Her hata türü için tehlike derecesi (ağırlık) saptanmalıdır (Bunun için pek çok kalitatif yöntem geliştirilmiştir.)
8. Hata türünün ortaya çıkma ve saptanabilme ihtimali tahmin edilmelidir. Somut istatistiksel verilerin olmadığı durumlarda bu ihtimal kalitatif yöntemlerle saptanabilir.
9. Ortaya çıkma, ağırlık ve saptanabilme değerleri belirlendiğinde her hata türü için Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanabilir.
10. RÖS değerine bakılarak önlem alınması gereken hata türleri kararlaştırılmalıdır.
11. Sistem performansını arttırmak için hata türü ile ilgili çözüm önerileri geliştirilmelidir. Bu öneriler iki kategoriye ayrılır.
Önleyici Faaliyetler: Bir hata durumunun önüne geçmek amaçlanır.
Düzeltilici Faaliyetler: Hata ortaya çıktığında kayıpları en küçükleme amaçlanır.
12. Analiz özetlenir. Bunun için HTEA formları kullanılır.



Şekil 2.1. HTEA süreci

Diğer bir kaynakta HTEA adımları şöyle sıralanmıştır:

- Adım 1. HTEA kapsamının belirlenmesi
- Adım 2. HTEA takımının kurulması
- Adım 3. Sürecin incelenmesi
- Adım 4. Beyin fırtınası ile olası hata türlerinin belirlenmesi
- Adım 5. Her hata türü için potansiyel nedenlerin belirlenmesi
- Adım 6. Potansiyel hata etkilerinin belirlenmesi
- Adım 7. Risk kodlarının atanması
- Adım 8. Riskleri azaltmak için önceliklerin belirlenip önlemlerin geliştirilmesi
- Adım 9. Öngörülen önlemler sonrası hedeflenen risk kodlarının atanması
- Adım 10. Öngörülen faaliyetler için sorumluların belirlenmesi
- Adım 11. Faaliyetlerin ve risk durumunun gözlenmesi

En genel haliyle yöntem beş ana adımda toplanabilir;

- 1) Başlangıç çalışmaları
- 2) Olası hata türü, nedenleri, etkileri ve hatayı saptamak için kullanılan mevcut kontrollerin belirlenmesi
- 3) Ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerleri belirlenerek RÖS belirlenmesi
- 4) RÖS 'ün sıralanarak önlem alınacak hataların ve önlemlerin belirlenmesi
- 5) Belirlenen önlemlerin uygulanması, yeni RÖS değerlerinin hesaplanması

Bu çalışmada yukarıda çizilen çerçevede HTEA yöntemi ele alınmıştır.

Başlangıç çalışmaları; HTEA uygulaması öncesinde yapılması gereken hazırlıklardan oluşur. Bu aşama üç başlıkta incelenebilir.

- HTEA kapsamının belirlenmesi
- HTEA takımının kurulması ve
- HTEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin incelenmesi

Çalışmanın başında HTEA 'nın sınırları ve amacı tam olarak belirlenmelidir.

Çalışma sınırları iki şekilde belirlenir:

- İlk yöntemde tasarım veya üretim sürecinin bütün adımları içerilir, çalışmalar ilerlemeye bağlı olarak zaman içinde gerçekleştirilir.
- İkinci olarak, tasarım veya üretim sürecinin kritik olarak kabul edilen bazı adımları ele alınır. Tasarımda kritik olarak kabul edilen birim, bir parça veya bir alt montaj olabilir. Üretim süreci için ise kritik alan fonksiyonlardan oluşacaktır.

HTEA çalışmalarında dikkat edilmesi gereken önemli bir husus uygulama alanını çok büyük tutmak yerine küçük birkaç parçaya bölmektir. Böylece daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus mevcut durumun ve ulaşılmak istenen hedef değerin sayısal olarak tanımlanmasıdır. Bu şekilde değerlendirme aşamasında önemli kolaylıklar sağlanabilir.

HTEA bir takım çalışmasıdır ve tek başına gerçekleştirilemez. Yöntemin grup yerine tek bir kişi tarafından uygulanması durumunda, analizin tamamlanarak bilgilerin HTEA çizelgesilerinde yer alması sağlanabilmesine rağmen değerlendirmelerde yanlışlık ortaya çıkabileceğinden istenmez [3-4].

Her HTEA çalışması için takımlar özel olarak belirlenir. Takımlar çapraz fonksiyonlu ve çok disiplinli olmalıdır. HTEA takımı oluşturulurken çok çeşitli bakış açıları ve tecrübelerin bir araya getirilmesi amaçlanır.

HTEA çalışmasında [4];

- HTEA konusunda uzman, takımı koordine etmekten sorumlu bir takım lideri olmalıdır.
- Takım elemanları incelenen süreci en iyi bilenlerden seçilmelidir.

Takım elemanlarına tam zamanında eğitim verilmelidir.

- Grubu oluşturan üye sayısı yeteri kadar fikir üretebilecek ve konunun dağılmasına fırsat vermeyecek büyüklükte, örneğin 5 ila 8 kişi arasında olmalıdır.

- Olumlu sonuçların alınabilmesi için üst yönetimden kişilerin de grupta yer alması sağlanmalıdır.

HTEA projelerinin başarıya ulaşabilmesi için incelenen ürün veya sistem hakkında ayrıntılı bilgiye ulaşılmalıdır. Bu amaçla HTEA yapılacak konu ayrıntılı olarak incelenir.

İlk olarak ürün veya sistemin fonksiyonları, çalışma ve üretim şekli belirlenir. Fonksiyonların, ürün veya sistemlerin ne işe yaradıkları ya da var olma sebepleri ile tanımlanır. Kolaylık sağlamak amacıyla, bilgilerin gösteriminde diyagramlardan (akış diyagramları vb.) yararlanılabilir. Test ve değerlendirme, kalite güvencesi, bütünsel lojistik destek, sistem emniyeti, tasarım ve geliştirme alanlarında yapılan çalışmalar da HTEA 'da yararlanılabilecek önemli kaynaklardır.

2.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi' nin Türleri

HTEA uygulama alanlarına bağlı olarak sistem, tasarım, proses ve servis HTEA olarak ele alınır.

Sistem HTEA; tasarım ve kavramaların ön aşamalarında sistem ve alt sistemleri analiz ederek, sistem eksiklerinden doğan sistem fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerini belirlemeye odaklanır.

Sistem HTEA '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 alternatiflerinin seçilmesinde yol gösterir.

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

Tasarım HTEA; tasarım hatalarından doğan hata türlerine yönelik olarak üretime başlamadan önce ürünlerin analiz edilmesinde kullanılır.

Tasarım HTEA 'nın faydaları şunlardır:

- Tasarım geliştirme faaliyetleriyle ilgili önceliklerin belirlenmesi,
- Ürün hatalarının, ürün tasarım aşamasında iken belirlenmesini sağlaması,
- 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 HTEA 'nın uygulanması sonucunda:

- Potansiyel kritik veya önemli özelliklerin bir listesi ile potansiyel hata türlerinin RÖS 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.

Proses HTEA; üretim veya montaj prosesindeki eksiklerden doğabilecek hata türlerini ortadan kaldırmak ve üretim ve montaj prosesini analiz etmek amacıyla hizmet etmektedir.

Proses HTEA'nın kullanımının sağladığı yararları şöyle özetleyebiliriz: Proses HTEA' nın tamamlanmış olarak kabul edilebilmesi için bütün operasyonların belirlenerek değerlendirilmesi ve kontrol planlarında ise kritik olan bazı önemli özelliklerin oluşturulmasıyla mümkün olabilir.

HTEA bir defa başladıktan sonra yaşayan bir doküman olmakta ve tasarım ile proseste önemli sayılabilecek değişiklikler olduğunda ise üretim veya montaj prosesinin analizine yardımcı olması ve düzeltici faaliyetlerin 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.

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

Servis HTEA; 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.

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

Tasarım HTEA' nın tamamlanmış olarak kabul edilebilmesi, ancak üretim için onay

ve bir başlangıç tarihinin verilmesi ile olabilir. Bu değişikliklerle uyum sağlanarak güncel duruma tekrar uyarlanmaktadır.

Proses HTEA, proste yapılan değişikliklerde, mevcut proste önemli hatalar görüldüğünde ve her yeni proste tekrardan başlatılır. En etkili haliyle bir HTEA, bir prosesin geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerinin özetlenmesidir. Bunu yaparken, geçmiş tecrübelerden yararlanılarak yanlış gidilebilecek her nokta tek tek analiz edilecektir. Bu sistematik yaklaşım, proses şartlarını geliştirirken izlediği düşünce disipliniyle aynı paraleldedir. Proses HTEA'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.

Anlatılan dört HTEA çeşidinin dışında bir de Hata Türü Etkileri ve Kritiklik Analizi (HTEKA) yöntemi vardır.

HTEKA, iki analiz tekniğinin birleşmesi ile oluşur [5-6]:

- HTEA
- Kritiklik Analizi (KA)

Olası hata türünün etkileri kritikliklerine göre sınıflandırılırsa, yöntem Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi (HTKEA) olarak adlandırılır. HTKEA, sistemdeki bütün olası hataları, sistemin işlemesi sırasında ortaya çıkması olası olan hata etkilerini hata türü analiziyle belirleyen, hata noktalarını tanımlayan ve hataları kritikliklerine göre sınıflandıran bir yöntemdir .

Kritiklik, hata türü ve onun ortaya çıkma sıklığının sonuçlarının göreceli ölçüsüdür. Kritiklik analizi, HTEA ile belirlenen her bir olası hata türünü, ağırlık ve ortaya çıkma olasılığının her ikisine (birleşimine) göre sınıflandırılmasını sağlar.

2.2. Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin İşlerliğinin Kontrolü

HTEA uygulandıktan sonra aşağıdaki 7 adım takip edilerek işlerliği ve yararlılığı kontrol edilebilir ve HTEA formlarına aktarılabilir (Çizelge 2.1).

1- HTEA 'nın gözden geçirilmesi

Tekniğin uygulama öncesi güdülen amacı gerçekleştirebilme yeteneği kontrol edilmelidir. Bununla birlikte hataların ortadan kaldırılıp kaldırılmadığı konusu ve önerilen tedbirlerin ne şekilde yerine getirildiği dikkate alınmalıdır.

2-Yüksek riskli bölgelerin dikkate alınması

Kritik kolonunun, şiddet kolonunun ve RÖS kolonunun görsel muayenesi ile yüksek risk alanları tanımlanır. Olasılık kolonundaki yüksek risk, şiddet kolonundaki yüksek risk gibi genellikle 7 ve daha yüksek olduğu durumlarda, RÖS kolonunda ise 1 10'luk skalada 100 ve daha yukarı değerlerde olduğu durumlarda açıklanabilir.

3- Kritik, önemli ve büyük karakteristiklerin açıklanması

HTEA 'nın açıklanması konusunda RÖS ve kritik kolonların görsel kontrolü kritik, önemli ve büyük karakteristikleri açıklamaktadır. Kritik kolon, hataların etkisi ve şiddet kolonu arasında doğrudan korelasyonun varlığından emin olmalıyız. RÖS değeri dikkatli incelenmeli çünkü bu numara bir faaliyete girilip girilmemesi konusunda fikir verecektir.

4- Bir kontrol planının varlığının ve takip edilirliliğinin sağlanması.

HTEA 'nın amacı bilinen ve potansiyel hataları müşteriye ulaşmadan önce azaltmak ve ortadan kaldırmaktır. Kritik ve büyük karakteristikler, değişikliklerin; kontrol edilmesi, gelişim ve ele alınması için bir plana dökülmüş olmaları gerekir. Kontrol planı, müşteriye kabul edilebilir bir servis veya ürün yapabilmeye izin verecek bir harita niteliğindedir.

5- Kapasite çalışmalarının idare edilmesi

Öncelikle kabul edilir düzeyde kontrol planları tanımlanmış olmalı ve gelişmeler istatistiksi olarak kontrol edilebilmelidir.

6- CPK 'sı 1,33 proseslerde çalışılması

Proses yeterlilik için 1,33 değeri genellikle kabul edilebilir olsa bile bazı şirketler örneğin Ford şirketi CPK değerini 1,67 ve hatta Motorola CPK değerini 2,00 olarak

2.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi Değerlendirme Kriterleri

Tasarım Hata Modu ve Etkileri Analizi (THMEA): potansiyel hata modları ve ilgili nedenlerini belirleyerek analiz eden, böylece ürün güvencesini sağlayan bir tekniktir. Analizde montaj, bileşenler ve alt bileşenler detaylı olarak değerlendirilmelidir.

THMEA uygulamasında, ürünün tüm kısımlarının çizim ve şartnameye uygun olarak üretileceği kabul edilir. Analizin yapılması için seçilen sistemde, her bileşen analiz edilmelidir.

Analiz, tasarım veya malzeme şartnameleri ile ilgili problemleri kapsar. İmalat veya malzeme kusurları ile ilgili olanlar HTEA konusudur. THMEA' da ürünün performansı ile ilgili iyileştirmeler amaçlanmaktadır [6-7]. THMEA' nın sürekli dökümanite edilmesi gereği, tasarım kavramının gelişmesi ile başlamalı, değişiklikler güncelleştirilmeli, bu işlemler son çizimlere kadar ürün geliştirme aşamaları boyunca düzenli olarak sürdürülmelidir.

Aşağıda HTEA tekniğinde kullanılan analiz değerlendirme kriterlerinin THMEA çalışmalarındaki uygulama biçimlerine yer verilmiştir.

THMEA 'da Oluşum Derecelerinin (O) Saptanması; analiz değerlendirme kriterlerinden biri olan oluşum, hata modu ile sonuçlanacak belirli bir nedenin gerçekleşme sıklığıdır. Gözlemler, tahmin (proses yeterliliği olduğu durumlarda), tasarımcıların hesaplamaları ve belirlenmiş testlerin temel sonuçları temel alınarak oluşum dereceleri saptanır [7].

Potansiyel hata modlarının oluşum derecesi ölçekte 1-10 arasındadır. 1 potansiyel hata modunun meydana gelmesinin çok düşük olduğunu, 10 hata modunun meydana gelmesinin çok yüksek olduğunu gösterir. THMEA ekibi Çizelge 2.2 'den yararlanarak aldığı ortak kararlar doğrultusunda soyut yaklaşım ile derecelendirmeyi yapar. Bu derecelendirmenin yapılmasında;

- (a) Tasarım doğrulama programının yeterliliği.
- (b) Bileşenin, önceki tasarımdaki bileşen ile aynı veya sistemde benzer veya aynı olması.
- (c) Değişikliklerin, önceki tasarımdaki bileşeninden farkı.
- (d) Bileşenin tamamen aynı olması.
- (e) Çevresel değişikliklerin neler olduğu ve beklenen etkiler.
- (f) Benzer parçalar veya montajdaki alan deneyimleri veya verilen hizmetler dikkate alınmalıdır.

Çizelge 2.2. THMEA’ da kullanılan oluşum derecelendirme çizelgesi [8] .

Hata Olasılığı	Olası Hata Oranı	Oluşum Derecelendirme
Çok Yüksek Hata oluşumu kaçınılmaz	$\geq 1/2$	10
	1/3	9
Yüksek Hata oluşumları tekrarlanır	1/8	8
	1/20	7
Orta Arada sırada hatalar oluşur	1/80	6
	1/400	5
	1/2.000	4
Düşük Hata oluşumu az	1/15.000	3
	1/150.000	2
Uzak Hata oluşumu Olanaksız	$\leq 1/15.00.000$	1

THMEA’ nde Şiddet Derecelerinin (S) Saptanması, potansiyel hata modunun müşteri üzerindeki etkisinin derecelendirilmesidir. Sadece hata modunun yarattığı etkiye uygulanır. Ölçekte 1-10 arasında gösterilir. 1 ürün veya alt sistem performansındaki hata modunun müşteriye etkilemediğini, 10 hata modunun ürünün güvenliğini etkilediğini ve/veya kanunlara uygunsuz olduğunu belirtir.

THMEA ekibi Çizelge 2.3’ den yararlanarak geçmişte veya şu anda yaşanan, müşteri üzerinde etkisi hissedilen yada hissedilebilecek olan durumları araştırarak derecelendirmesini yapar. Burada da kullanılan yaklaşım soyut yaklaşımdır.

Çizelge 2.3. THMEA’ da kullanılan şiddet derecelendirme çizelgesi [9] .

Şiddetin Önemi	Şiddet Dereceleri
Çok Düşük : Ürün veya sistem performansı üzerinde hiç etkisi yok. Müşteriye de etki yansıtmıyor.	1
Düşük: Ürünün performansını düşürücü etki yaratmaz. Müşterinin sistem performansında önemsiz bozukluğu fark edebileceği ve kendinin giderebileceği küçük hatalardır.	2-3
Orta : Ürünün performansının düşmesine neden olan hata nedenlerini müşteride hoşnutsuzluk yaratabilir. Müşteri, bazı alt sistem ve üretimdeki bozulmayı fark eder.	4-5-6
Yüksek : Hata nedeniyle müşteri tatminsizliğinin olması, müşteride büyük hoşnutsuzluğa neden olabilir. Hata meydana gelmeden önce çeşitli belirtiler gösterir ve genellikle yüksek tamir maliyeti gerektiren hatalardır.	7-8
Çok Yüksek : Hata meydana gelmeden önce belirti göstermeyen, büyük hoşnutsuzluğa neden olan ve yüksek tamir maliyeti gerektiren hatalar ürünün kullanımını da olanaksız kılar. Önemli sorunlar yaratan potansiyel hata modu, ürün güvenliğini etkiler ve/veya kanunlara uygunsuzluğu kapsar.	9-10

THMEA ’da Belirleme Derecelerinin (B) Saptanması : Belirleme, ürün müşteriye ulaşmadan önce potansiyel tasarım zayıflıklarını tanımlamak için tasarım programının yeteneğinin değerlendirilmesidir. Tasarım zayıflıklarını belirlenmesinde etkili olabilmek için tasarım doğrulama programının geliştirilmesi gerekir.

Tasarım doğrulama; gözlem, ölçüm, test ve diğer ilgili çalışmalarla elde edilen, gerçek verilere dayalı, doğruluğu kanıtlanmış bilgiler ve araştırmanın tasarım için belirlenen isteklerin yerine getirilmesinin onaylanmasıdır. Bu doğrulamaların tasarım zayıflığını belirleyebilme gücü, belirleme ölçeğinde tanımlanır. Programın tasarım zayıflıklarını yeterince belirleyip, belirlemediği yine ekip tarafından eldeki verilere ve programın etkinliğine bakılarak araştırılır ve belirlemenin derecesi 1-10 arasında soyut yaklaşımla ekip tarafından Çizelge 2.4 ' den faydalanılarak saptanır. 1 tasarım zayıflıklarını müşteriye ulaşma olasılığının az olduğunu, 10 kesinlikle ulaşılacağını gösterir.

Çizelge 2.4. THMEA 'da kullanılan belirleme derecelendirme çizelgesi [9] .

Belirleme Önemi	Belirleme Dereceleri
Çok Yüksek : Program tasarım zayıflıklarını kesinlikle belirler.	1-2
Yüksek : Program tasarım zayıflıklarını belirleme şansı yüksektir.	3-4
Orta : Program tasarım zayıflıklarını orta derecede belirleyebilir.	5-6
Düşük : Program tasarım zayıflıklarını belirlemeye uygun değildir.	7-8
Çok Düşük : Program tasarım zayıflıklarını belirleyemez.	9
Kesinlikle Belirleyemez : Program tasarım zayıflıklarını kesinlikle belirleyemez veya program yoktur.	10

RÖS, kritik hata modunun diğerlerine göre önceliğini sağlar. En kritik hata modunu gösteren RÖS ile iyileştirme faaliyetlerinin kesin olarak uygulanması gereken alanlar ve bu faaliyetlerin önceliği saptanır. Oluşum (O), Şiddet (S), Belirleme (B) derecelerinin çarpımı ile her hata modu ve nedenine ilişkin bir RÖS hesaplanır.

$$RÖS = O \times S \times B$$

Tek başına hiçbir anlam ifade etmeyen RÖS, istatistiksel teknik araçlarından Pareto analizi tekniği ile ilişkilendirildiğinde kritik hata modu ve nedenleri için iyileştirme faaliyetlerini tanımlama ve planlamaya yardımcı olur. Riskin belirsiz ve riskin var olduğu durumlarda iyileştirme faaliyetleri tanımlanır ve uygulaması başlatılır. Riskin olmadığı durumlarda iyileştirme faaliyetleri tanımlamak gereksizdir. Hesaplanan RÖS sonuçları bu kıstaslara dayanarak yorumlanır.

THMEA 'da bu faaliyetler tanımlanırken aşağıdakiler dikkate alınmalıdır [9-10].

- (a) Deneyimsel tasarım (özellikle çoklu ve birbirini etkileyen nedenler olduğunda).
- (b) Gözden geçirilmiş test planı,
- (c) Gözden geçirilmiş tasarım,
- (d) Gözden geçirilmiş malzeme şartnamesi.

Ancak riskin belirsiz ve riskin var olduğu durumlarda iyileştirme faaliyetleri tanımlanır. Belirli bir neden için iyileştirme faaliyeti tanımlanmaz ise, bu belirtilmelidir.

Proses Hata Modu ve Etkileri Analizi (PHMEA), parçanın imalatını da kapsayan tüm prosesleri dikkate alan, nelerin yanlış olabileceğini, hatalara karşı güvenlik, hataların oluşum sıklığı ve hataların proses veya parçanın yeniden tasarımıyla nasıl ortadan kaldırılacağını dikkate alır. Analizin amacı, istenilen kalite çıktılarını sağlamada veya sürdürmede olası veya bilinen problemlere dikkat çekerek değerlendirme yapmaktadır. Bir HTEA çalışmasına başlamadan önce, üretim prosesinin hangi parçasının göz önüne alınacağı tam olarak kararlaştırılmalıdır. Verilen bir ürün yada parça için tüm üretim prosesini kapsayacak şekilde HTEA yapmak gerekmez. Söz konusu üretim prosesi, her birinin ürüne belirli bir özellik verdiği bağımsız temel faaliyetler veya kademelere bölünebilir.

HTEA, prosesin akış şemasıyla başlamalıdır. Bu akış şeması, her bir işlemede üretilen ürünün özelliklerini belirlemelidir. Proseste ardarda gelen birçok işlem varsa ve farklı potansiyel hata modlarına sahiptirler, bu işlemlerin her birini

ayrı prosesler gibi listelemek arzu edilebilir. Ürünün/parçanın düzgün olarak üretilmesi veya montajı için gereken bütün proses aşamaları bir akış şeması çizilerek en ince ayrıntısına kadar incelenir. Akış şeması detaylı olarak oluşturulduktan sonra ürünü/parçayı etkileyen birincil (temel) ve ikincil (destek) fonksiyonlar için bir fonksiyon matrisi oluşturulmalıdır [10-11]. Birincil fonksiyonlar; ürün/parçanın varlığının ana nedenidir. Ürünün/parçanın çıktısını, kullanım ihtiyacına göre tanımlar.

Kısacası belli bir ihtiyacı karşılaması amacı ile düşünülen ürünün/parçanın birincil fonksiyonu, söz konusu ihtiyacı karşılamaktadır. İkincil fonksiyonlar ise; birincil fonksiyonları destekleyerek onların oluşmasını sağlarlar. Yani temel fonksiyonların yerine getirilmesini sağlayan destekleyen fonksiyonlardır. Fonksiyon matrisi, ürünün/parçanın birincil ve ikincil fonksiyonları soldan sağa, proses aşamaları da yukarıdan aşağıya doğru yazılarak oluşturulur. Bu matris içerisinde; proses esnasında ürün/parça fonksiyonuna proses tarafından ilave bir etki yapılıyorsa kesiştiği karelerin içerisine kare işareti konulur. Bu fonksiyon matrisi içerisindeki inceleme sonucunda, ürün/parça fonksiyonlarına ilave veya kötü yönde etkisi bulunan proses incelenmek üzere seçilir. Bu matrisin amacı, bütün fonksiyonların göz önüne alındığı konusundaki güvenceyi arttırmak ve bir ürün/parça fonksiyonunu olumlu veya olumsuz etkileyen proses aşamalarının belirlenmesini sağlamaktır. Yapılan çalışmalara dayanılarak, ürünün/parçanın özellikle birincil fonksiyonu etkilemesi açısından en kritik proses aşaması olarak üzerinde HTEA çalışmasını gerçekleştirilmesine karar verilir [12]. HTEA çalışması yapılacak proses aşamasını belirledikten sonra, ilgili proses aşamasına ilişkin proses fonksiyonları, birincil ve ikincil fonksiyonlar olarak sırasıyla listelenir. Proses fonksiyonları olarak; her bir parçanın kusursuz ve düzgün olarak, imalatının yerine gelmesi durumunda, hiçbir hasar verdimeksizin proste yapılan işlemler yazılır.

PHMEA' da da, THMEA 'da olduğu gibi analizi yaparken izlenecek değerlendirme kriterleri aynıdır ancak uygulama biçimleri açısından kimi zaman farklılık gösterir. Aşağıda HTEA uygulamalarında kullanılan analiz değerlendirme kriterleri ve bu kriterlerin HTEA çalışmalarında uygulama biçimlerine yer verilmiştir.

HTEA 'da Oluşum Derecelerinin (O) Saptanması; potansiyel bir hata modunun belirli hata nedenleri ile gerçekleşme sıklığını gösterir. Herhangi bir hata modunun bir ürün yada bir sistem içerisinde oluşması iki sonuç doğurabilir.

(a) Sonuç, ürün ya da sistemin tamamen kullanılamaz olmasına neden olabilir.

(b) Ürün ya da sistemin performansında azalmalar olabilir.

HTEA 'da oluşum derecelerinin belirlenmesinde şu ana kadar kullanılan temel iki yaklaşım vardır;

Soyut Yaklaşım: Proses yeni bir proses ise, proses kararlı değil ise ve/veya sayısal veriler mevcut olmadığında kullanılan yaklaşımdır. THMEA' da olduğu gibi, analizin en başında oluşturulan HTEA ekibi bir araya gelip ilgili hata modunun oluşum sıklıklarını göz önüne alarak ve tecrübelerine dayanarak ortak karar alırlar (Çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve uzak ihtimallerini beyin fırtınası yardımı ile değerlendirerek). Bu kararda tutucu olunur, büyük derece seçilir. Derecelendirme 1-10 arasında Çizelge 2.5 'den yararlanılarak yapılır [12]. Soyut yaklaşım şirketler bazında oldukça yaygın olan bir yaklaşımdır. Ancak sadece yargılara ve tecrübelerle dayandığından ve sayısal bilgilerle desteklenmediğinden bu yaklaşımın özellikle HTEA çalışmasının oluşum derecelerinin saptanması aşamasında çok sağlıklı olmadığı söylenebilir. Kimi zaman şirketler ilgili prosese ait sayısal veriler mevcut olduğunda dahi bu yaklaşımı zamandan tasarruf amacı ile, tecrübelerine güvenerek kullanmaktadırlar.

Çizelge 2.5. PHMEA 'da kullanılan oluşum derecelendirme çizelgesi [13]

Hata Olasılığı	Derece	Olası Hata Oranı	Kıstası
Hemen hemen olanaksız	1	1.500.000' de 1	Hata olasılığı yok
Uzak	2	150.000' de 1	Uzak sayıda hatalar olasılığı
Çok önemsiz	3	15.000' de 1	Çok az sayıda hata olasılığı
Önemsiz	4	2.000' de 1	Az sayıda hata olasılığı
Düşük	5	400' de 1	Seyrek sayıda hata olasılığı
Orta	6	80' de 1	Biraz yüksek sayıda hata olasılığı
Biraz yüksek	7	20' de 1	Sık sık hata olasılığı
Yüksek	8	8' de 1	Yüksek sayıda hata olasılığı
Çok yüksek	9	3' de 1	Çok yüksek sayıda hata olasılığı
Hemen hemen kesin	10	3' de 1' den çok	Hata olasılığı kesin

İlgili proses istatistiksel olarak kontrol altında olduğunda veya istatistiksel proses kontrol uygulanan daha önceki bir prosesin benzeriyse, oluşum derecelendirmesi için ilgili procese proses yeterlilik analizi uygulanır ve Cpk değerleri hesaplanarak Çizelge 2.5 'den yararlanarak 1-10 arasında oluşum dereceleri saptanır [13]. Proses yeterlilik analizinde Cpk indeksinin anlamı oldukça önemlidir. Cpk indeksi üretim esnasında prosesin yeterliliğinin tatminkarlık derecesi:

$$Cpk = (\text{Üst Spesifikasyon Limiti} - \text{Alt Spesifikasyon Limiti}) / 6\sigma$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Cpk değerleri standart normal ve normal dağılışın x ve z eksenleri arasındaki ilişkisine dayanmaktadır. Bu kurala göre ;

$\mu \pm 1$ v değişken değerlerinin %68.27 ' sini,

$\mu \pm 2$ v değişken değerlerinin %95.45' ini,

$\mu \pm 3$ v değişken değerlerinin %99.73 ' ünü,

kapsar. Dolayısıyla prosesin istatistiksel olarak kontrol altında olabilmesi için

en az $\mu \pm 3$ v' lık alanı kapsamalı gerekir.

Standart normal ve normal dağılışın x ve z eksenleri arasındaki ilişkiler dikkate alındığında, normal eğri altında kalan değişkenlerin %68.27' si ortalamanın bir standart sapma sağında ve solunda, %95.45' i ortalamanın iki standart sapma sağında ve solunda, %99.73' ü ise ortalamanın üç standart sapma sağında ve solundadır denir. Normal dağılış (-v ; +v) arasında bir dağılış göstermesine karşın hemen hemen tüm değişken değerleri, $\mu \pm 3$ v aralığına düşecektir (Ortalamanın üç standart sapma sağında ve solunda). Yani bir x değişkeninin bu sınırlar içerisinde olma yüzdesi %100 'dür denilebilir. Böylelikle dağılışın standart sapması v, 6 ile çarpıldığında sürecin doğal toleransı bulunur.

O halde doğal tolerans 6 'dır. Buna karşılık önerilen tolerans ise (Ü.S.L.- A.S.L.) olacaktır ve bu iki değer her zaman birbirine eşit olması beklenmez. Bu nedenle doğal tolerans (6v) ile (Ü.S.L.-A.S.L.) karşılaştırıldığında aralarındaki ilişki aşağıdaki üç durumdan birisi ile açıklanabilecektir.

1- Cpk < 1 ilgili proses yeterliliğinin tatminkar olmadığı durumdur. Çünkü bazı parçaların ölçümleri alt ya da üst spesifikasyon sınırları dışında olduğundan hatalı parça üretilmiş olur. Proses ya da işlem kontrol altında olsa dahi, yine hatalı üretim kaçınılmazdır.

2- Cpk >= 1 olduğunda proses yeterliliğinin tatminkar olduğu durumdur. Ancak yine de kritik bir durumdur. Proses dağılışının uç noktaları spesifikasyon sınırları ile

çakıştığında ve proses kontrol altında olduğunda sorun yok denilebilir. Buna karşılık proses ortalamasında ya da değişiminde olabilecek bir artış sorun yaratabilir.

3- $Cpk \geq 1,33$ olduğunda proses yeterlilik kapasitesi için belirlenmiş en uygun durumdur. Böyle bir sonuç elde ettiğimizde prosesin yeterliliği konusunda gayet rahat olabiliriz. Doğal tolerans (Ü.S.L.-A.S.L.) 'den az olduğunda, proses ortalamasında kaymalar olsa bile bu hatalı üretime neden olmayacaktır .

4- Cpk sütununu altındaki veriler için, prosesin istatistiksel proses kontrol kullanılarak kontrol edildiği ve prosesin kararlı olduğu varsayılmıştır. HTEA ' da oluşum derecelerinin saptanmasında yukarıda verilen iki yaklaşımın haricinde istatistik teorisine dayalı olan yeni bir yaklaşım da sunulabilir. “Poisson süreci yaklaşımı” olarak adlandırılan bu yaklaşımın amacı, prosesin istatistiksel olarak kontrol altında tutulmadığı, istatistiği verilerin proses yeterlilik çalışmalarıyla değerlendirilmediği ya da prosesin kararlı olmadığı durumlarda, hata modlarının ve ilgili nedenlerinin ortaya çıkma olasılıklarının istatistiksel teoriye dayalı olarak saptanmasıdır. Derecelendirmede Çizelge 2.6.' den yararlanılacaktır [13].

Çizelge 2.6. PHMEA 'da Cpk değerleri için belirlenmiş oluşum derecelendirme çizelgesi [13]

Hata Olasılığı	Derece	Cpk	Kıstası
Hemen hemen olanaksız	1	$\geq 1,67$	Hata olasılığı yok
Uzak	2	$\geq 1,50$	Uzak sayıda hatalar olasılığı
Çok önemsiz	3	$\geq 1,33$	Çok az sayıda hata olasılığı
Önemsiz	4	$\geq 1,17$	Az sayıda hata olasılığı
Düşük	5	$\geq 1,00$	Seyrek sayıda hata olasılığı
Orta	6	$\geq 0,83$	Biraz yüksek sayıda hata olasılığı
Biraz yüksek	7	$\geq 0,67$	Sık sık hata olasılığı
Yüksek	8	$\geq 0,51$	Yüksek sayıda hata olasılığı
Çok yüksek	9	$\geq 0,33$	Çok yüksek sayıda hata olasılığı
Hemen hemen kesin	10	$< 0,33$	Hata olasılığı hemen hemen kesin

Şiddet potansiyel hata modlarının müşteriye olan etkisinin önem ve tehlikesinin derecelendirilmesidir. Hata modundan etkilenen, tüketici, ürünü kullanan veya imalatçı ise, şiddeti değerlendirmede proses mühendisliği alanının bilgi ve deneyimi dışında kalabilir. Bu gibi durumlarda, THMEA çalışmaları, tasarım mühendisi ve/veya izleyen imalat veya montaj mühendisliğinin görüşleri alınmalıdır [13].

Hatanın şiddeti; müşteriye olan etkisi yönünden 1-10 arasında derecelendirilir. Şiddet derecesi saptanırken sadece hatanın etkisi esas alındığından, belirli bir sonuç yaratan tüm hatanın tüm olası nedenleri de aynı şiddet derecesine sahiptirler. Üretim mühendisliği verilerine veya tasarım ile ilgili bilgilere başvurularak HTEA ekibi, soyut yaklaşım ile hata moduna ilişkin en ciddi şiddetin derecesini Çizelge 2.7 yardımıyla saptar. Derecelendirmede 1 hatanın müşteriye etkisinin olmadığını, 10 hatanın müşteriye etkinin çok fazla olduğunu ifade eder.

Çizelge 2.7. HTEA 'da kullanılan şiddet derecelendirme çizelgesi [13].

Şiddetin (etkinin) önemi ve kıstasları	Şiddet dereceleri
Etkisi yok : Ürün veya sistem performansına, daha sonraki proses ve/veya montaj işlemleri üzerine hiç etkisi yok.	1
Çok önemli etki : Ürün performansı veya proses işlemesi üzerine çok önemsiz etki. Müşteri olasılıkla hatanın farkında olmayacaktır. Bazen önemsiz kusurla gözlenmektedir.	2
Önemsiz etki : Ürün performansı veya proses işlemesi üzerine önemsiz etki. Müşteri biraz rahatsız. Pek çok zaman sürecinde önemsiz kusurlar gözlenmektedir.	3
Küçük etki : Ürün performansı veya proses işlemesi üzerine küçük etki. Kusurun onarılması gerekmiyor. Müşteri ürün veya sistem performansı üzerinde küçük etkilerin farkına varacaktır. Yaşamsal olmayan kusurlar sürekli gözlenmektedir.	4
Orta şiddette etki : Ürün performansı veya proses işlemesi üzerine orta şiddette etki. Müşteri ürün kullanımında bazı tatminsizlikler yaşamaktadır. Yaşamsal olmayan parçadaki hata onarım gerektirir.	5
Önemli etki : Proses üzerine önemli etki. Parçanın yeniden işlemesine/onarılmasına neden olabilir. Ürün performansının derecesi düşmüştür; fakat ürün çalışmaktadır ve emniyetlidir. Müşteri ürün kullanımında rahatsızdır. Yaşamsal olmayan bir parçası çalışmıyordur.	6
Büyük etki : Proses üzerinde çok büyük etki. Ekipman hasar görmüştür. Ürün kullanılmamaktadır, fakat emniyetlidir. Müşteri tatmin olmamaktadır. Üründe bir alt sistem çalışmıyordur.	7
Çok büyük etki : Proses üzerine çok büyük etki. Ekipman hasar görmüştür. Ürün kullanılmamaktadır; fakat emniyetlidir. Müşteri tatminsizliği çok fazladır. Sistem çalışmıyordur.	8
Ciddi etki : Büyük olasılıkla tehlikeli etki. Bir kaza olmaksızın ürünün kullanılmasını durdurur. Emniyetle ilgili düşük düzeyli tehlike durumunda yasalarla uyumlu arıza.	9
Tehlikeli etki : Tehlikeli etki. Emniyetle ilgili-ani ve yasalarla uyumsuz bir arıza.	10

HTEA 'da belirleme derecelerinin (B) saptanması; parçanın veya bileşenin montajı yapılmadan, imal edilmeden ve müşteriye ulaşmadan önce, önerilen proses kontrollerle hata modunu bulma olasılığının 1 ile 10 arasındaki derecelendirme düzeyine göre değerlendirilmesidir. Potansiyel hata modları için mevcut bütün kontrol önlemlerinin, hata moduna sahip ürünün sevk edilmesini önleme yeteneğinin değerlendirilmesidir. Hata modunun oluşum derecesinin düşük olması, belirleme sırasını azaltmaz, fakat düşük frekanslı hata modlarını belirlemek veya onların prosesin daha sonraki aşamalarına gitmelerini önlemek için proses kontrollerinin yetenekleri değerlendirilmelidir. Tesadüfi kalite kontroller izole edilmiş hataları belirleyemez, bu nedenle belirleme sıralamasındaki değişme fark edilmez. İyileştirici faaliyetlerden sonra yapılan proses kontrollerde belirleme sıralaması düşmeyebilir, deneyimler proses kontrolün hatayı bulmada sadece %80 yeterli olduğunu göstermektedir. Diğer metot ise, otomatik proses kontrolleri yapmada hatasız aletlerin kullanılmasıdır. Burada ilgili ölçü aletinin durumu, kalibrasyonu, ölçme sistemindeki değişiklik, ölçü aletinin hata olasılığı ve ölçü aleti sisteminin kasten kullanılmama olasılığı ekip tarafından dikkate alınmalıdır [14].

HTEA 'da belirleme derecesini saptamak amacı ile Çizelge 2.8 kullanılır. Hata modunu belirlemeyi amaçlayan kontroller Çizelge 2.8 yardımı ile değerlendirilir ve belirleme derecesi 1-10 arasında gösterilir. 1 hatanın müşteriye ulaşma olasılığının az olduğunu, 10 kesinlikle ulaşacağını gösterir. Eğer hata modlarını belirleyecek kontrollerin yetenekleri bilinmiyorsa veya tahmin edilemiyorsa, bu durumda belirleme derecesi 10 kullanılır. Bunun yanında belirli bir hata modu için birkaç kontrol birden listelenirse, içlerinden en iyi derecede (en düşük olanı) saptanır. Seçmeli olarak, eğer bütün kontroller kullanılacaksa, kontroller beraberce göz önüne alınarak karma bir belirleme derecesi saptanır.

Çizelge 2.8. HTEA 'da kullanılan belirleme derecelendirme çizelgesi [13]

Belirlemenin önemi ve kıstasları	Belirleme dereceleri
Çok yüksek : Proses kontroller hatayı kesinlikle belirler.	1-2
Yüksek : Proses kontrollerin hatayı belirleme şansı yüksektir.	3-4
Orta : Proses kontroller hatayı orta derecede belirleyebilir.	5-6
Düşük : Proses kontroller hatayı belirlemeye uygun değildir.	7-8
Çok düşük : Proses kontroller kusuru belirleyemez.	9
Kesinlikle belirleyemez : Proses kontroller hatayı kesinlikle belirleyemez veya bilinen hiçbir proses kontrol mevcut değil.	10

HTEA 'da RÖS 'ün hesaplanması ve yorumlanması; Hata modu ve nedenlerine ilişkin hesaplanan RÖS 'ler iyileştirme faaliyetlerinin önceliğinin belirlenmesinde çok büyük rol oynarlar. Oluşum, Şiddet ve Belirleme derecelerinin çarpımı ile hesaplanan RÖS bir sıralama amacı ile kullanılır, kendi başına hiçbir anlam ifade etmez.

HTEA' nde tasarım amacını sağlamaya yönelik tüm ölçümler ve kontroller tam olarak yapılmadığı durumda, tanımlanan hata modları ile ilgili problemler imalat sırasında ortaya çıkacaktır. Özellikle yeni proseslerde, potansiyel hata modları deneyim yetersizliği nedeniyle görülemeyebilir, ancak fark edildiğinde dikkate alınmalıdır.

2.4. Hata Türleri ve Etkileri Analizinin Yararları ve Güçlükleri

HTEA' nın sağladığı avantajlar incelendiğinde bu tekniğin, firmaların pazarda yüksek güvenilirliğe sahip, kaliteli ürünleri düşük maliyet ile tasarlamasını ve üretmesini sağladığı ve kötüye giden operasyon maliyetlerini kontrol altına alarak

hataların müşteriye yansımadan en erken biçimde önlenmesine yardımcı olduğu görülmektedir. Bu teknik, geliştirdiği belgelendirme yapısıyla sürekli olarak güncelleştirilebildiğinden, uygulayan firmalara sonsuz bir kalite gelişimi ve müşteri memnuniyeti kazandırmaktadır.

HTEA uygulanmalarında bazı güçlükler ile karşılaşılır. Karşılaşılan bu güçlükler genellikle yöntemin içerdiği teknik açıdan değil, bazı eksiklikler sonucudur. HTEA uygulamalarında karşılaşılan güçlüklerin başlıcaları şunlardır [15];

- Veri kaynaklarının olmaması veya eksik olması
- Ortak bir standart olmamasından dolayı kavram kargaşası
- Yönetim ve organizasyonda yer alan kişilerin yöntemin kullanılmasına isteksizlik duymaları.

Bu yöntemin uygulanmasında karşılaşılan en büyük güçlük veri eksikliğinden kaynaklanmaktadır. HTEA ile ilgili bütün bilgilerin etkin bir şekilde girildiği ve idare edildiği veri tabanlarının olmaması uygulamayı güçleştirir, sağlıklı sonuçlar alınmasını önler. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda HTEA tekniğine çeşitli eleştiriler getirmiştir. Bu eleştirilerden başlıcası uygulama sonucunda aynı RÖS değerine sahip hata türleri oluşabilmesidir. Böyle bir durumda klasik HTEA yaklaşımının önerdiği sıralama önceliği kaynakların gereksiz yere sarf edilmesine yol açabilir. Eleştirilerden bir diğeri, yöntemde risk faktörlerinin ağırlıklarının eşit kabul edilmesi ve önemlerinin farklı olabileceğinin ihmal edilmesidir. Ayrıca verilerin olmadığı durumlarda teknik, risk faktörlerini sayısallaştırmada yetersiz kalabilmektedir. HTEA'nın tekniğinden kaynaklanan bu problemleri gidermek için bulanık mantık yaklaşımından yararlanılmaya başlamıştır.

3. DENEY TASARIMI VE TAGUCHİ METODU

Araştırmacılar tarafından bir sistem veya prosesin belirli bir özelliği veya parçasına ait detayları incelemek üzere yapılan faaliyetlere deney denilmektedir. İstatistikte deney, yeni gerçekler elde etmek, önceki sonuçları doğrulamak veya reddetmek için planlanmış bir iş olarak algılanmaktadır. Gerçekleştirilen deney belirli bir sürecin devamının veya değiştirilmesinin önerilmesi konusunda bir karara ulaşılmasında yardımcı olacaktır.

Deneyler bir veya birkaç soruya yanıt bulmak için gerçekleştirilebilir. Deneyler, kesin ve karşılaştırmalı deneyler ile tek ve çok etmenli deneyler olarak iki farklı türde yapılır. Kesin ve karşılaştırmalı deneyler, bilinmeyen bir ilke veya etkiyi ortaya çıkarmak için yapıldığı gibi, aynı zamanda bilinen veya ileri sürülen bir tezi onaylamak için de yapılan deneylerdir.

Tek ve çok etmenli deneyler ise, bir veya birden çok etmenin bir durum veya proses üzerindeki etkisini belirlemek için sadece o an için tasarlanan şartlarda yapılan deneylerdir. Bu deneyler aynı zamanda çalışmanın konusu olan Deney Tasarımı (DT)' ları için yapılan deney türleridir.

Tasarlanmış deney terimi ise; bir sistem veya prosese ait girdi faktörlerinin amaçlı bir takım değişikliklere tabi tutulması ve bu değişiklikler sonucu oluşan çıktı üzerindeki değişme sebeplerinin belirlenmeye çalışılması için denemeler yapılması demektir. DT kavramı ile ilgili farklı tanımlar yapmak mümkündür. DT; bağımlı faktördeki değişikliğin nedeni olarak ele alınan bağımsız faktörün etkilerinin ölçülmesi işlemini yürütmek için kullanılan tekniktir. DT, bir prosesteki girdi faktörleri üzerine istenilen değişikliklerin sistematik bir şekilde yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi ve yorumlanması olarak da tanımlanabilir.

Kalite mühendisliğinde DT'nin tasarımcıya kazandırdığı en büyük faydalardan birisi de prosesteki değişkenliğin azaltılarak kalitenin geliştirilmesidir. Bilindiği gibi kalite

mühendisliğin temel noktası değişkenliğe neden olan faktörlerin tespit edilip giderilmesi ile prosesteki değişkenliğin en küçüklenmesi veya başka bir ifade ile kararlılığının artırılmasıdır. DT teknikleri, yeni bir proses geliştirmede ve performans artırma amacıyla mevcut prosesi düzeltme çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. DT' nin amaçları kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Sonuç üzerinde en etkin girdi faktörlerini belirlemek.
- Performans karakteristiğini hedef değere en yakın sonuca ulaştıracak girdi faktörlerinin seviyelerini belirlemek.
- Kontrol edilemeyen girdi faktörlerinin çıktı üzerindeki etkisinin en az olacağı kontrol edilebilen girdi faktörleri kombinasyonunu oluşturmak.

DT' de, süreci etkileyen her türlü etken “faktör” olarak adlandırılır. Faktörlerin çeşitli kategorileri, dereceleri ve yoğunlukları ise “seviye” olarak adlandırılır. Bir DT sırasında birden fazla faktör ve seviye grupları bulunabilir [16].

3.1. Deney Tasarımı İlkeleri ve Kullanım Alanları

DT sırasında kullanılan 3 önemli ilke vardır. Bunlar Rassallaştırma, Tekrarlama ve Bloklama ilkeleridir.

Rassallaştırma; çevresel gelişmelerin belli bir kurala ve düzene bağlı olmadan tesadüfi olarak oluşmasıdır. DT 'ye rassallık kavramını getiren ve rassallaştırmanın DT için ne kadar önemli olduğunu anlatan kişi aynı zamanda DT 'nin kurucusu olarak da kabul edebilen Ronald A. Fischer olmuştur. DT için rassallaştırmanın en önemli yolu bağımsız faktörlerin seviyelerinin her bir deney için rassal olarak atanmasıdır. Deneylerin çok sayıda bağımsız faktör seviyelerine atanması durumunda, atanma sırası rassal olarak seçilmelidir. Rassallaştırma aynı zamanda deneysel verilerin toplanması sırasında da uygulanmalıdır. Rassallaştırma, deney sonuçlarını analiz etmede kullanılacak istatistiksel metotlar için gereklidir ve önyargının giderilmesine yardımcı olur. Bunlardan da anlaşılacağı gibi rassallaştırma DT ' de istatistiğin kullanılması için gerekli temellerden birisidir.

Tekrarlama; deneylerin birden fazla kere yapılması demektir. Tekrarlama deney hatasının ölçümünü sağlamak için gereklidir. Hata, tesadüfler ve değişkenliğe katkıda bulunan diğer faktörler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu faktörler denemeye dahil edilmeyen kontrol edilemeyen faktörlerdir. İki veya daha fazla deney parçası aynı teste tabi tutulduğu zaman o deney tekrarlanmıştır. Tekrarlama hata sonuçlarında olası dış etmenlerin etkisinin fark edilmesi için gereklidir. Tekrarlama olmadan yapılan deneyler için her şeyden önce değişkenliğin belirlenmesi söz konusu olamaz.

Tekrarlamanın iki önemli özelliğinden birincisi, araştırmacıya deneysel hataların giderilmesi fırsatını vermesidir. İkincisi ise, eğer örnek kümenin ortalaması, deneydeki herhangi bir faktörün etkisini tahmin için kullanılıyorsa, gözlemciye daha kesin sonuçlar sunmasıdır.

Belirli bir anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilen istatistiksel anlamlılık testinin kesinliği arttırılmak isteniyorsa deneydeki tekrarlama sayısının arttırılması gerekir. Bir deneysel araştırmanın uygun kesinlik derecesine sahip olması önemlidir. İki deney arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmasını sağlayan tekrarlama sayısından fazlasını gerçekleştirmek maliyeti arttıracığından gereksizdir. Diğer taraftan istatistiksel olarak anlamlılık derecesini sağlamayacak kadar deney yapmak da yanlıştır. Bu yüzden en uygun tekrarlama sayısını bulmak şarttır.

Bloklama; bir deneyin hassasiyetini arttırmak için kullanılan bir teknik olup deney alanının bölümlere ayrılması demektir. Her bir bölüm homojen olarak veya farklı etkileri test edebilmek için belirli farklı özelliklerine göre bölünmüş olabilir.

Bloklamada temel düşünce, benzer deneysel birimlerin gruplara bölünmesidir. Bu şekilde yapılmış olan deneylerin sonuçlarındaki değişkenlik, her bir blok içindeki faktör ve seviyelerinin etkilerinin farklılığını ortaya koymaktadır. Çünkü kontrol edilemeyen diğer faktörlerin etkisi minimize edilmiştir. Faktör ve seviyeleri her bloktaki birimlere rassal olarak atanır. Bloklar arasındaki değişkenlik deneysel

hatadan arındırılarak deneyin hassasiyeti arttırılır. Bloklar aynı birimleri içerdiğinden, aynı koşullar altındaki faktör ve seviyelerinin karşılaştırılmasını sağlar.

DT tekniği bir çok kalite tekniğinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Aslında tasarımın prosesin bir parçası olarak görülmesi gerekmektedir. Bu şekilde görülürse DT her türlü üretimde vazgeçilmez araçların birisi olacaktır.

DT' yi sektörel olarak sınırlamak doğal olarak imkansızdır. DT üretim yapılan veya belirli bir proses çevresinde işlem gören her türlü alanda kullanılır. Yeni bir proses geliştirilirken veya varolan prosesin iyileştirilmesinde kullanılan önemli bir araçtır.

DT özellikle aşağıda belirtilen durumlarda etkin olarak kullanılır [16-17].

- Ürün veya proses tasarımındaki kritik kalite problemlerinin çözülmesi,
- Üretim sırasındaki kritik kalite problemlerinin çözülmesi.

DT, “kalite ürünle birlikte tasarlanmalı” anlayışının bir uygulamasıdır. Bu şekilde tüm yeni ürün ve proses tasarımlarında daha üretime geçmeden oluşabilecek tüm kritik hatalardan kurtulabilmek mümkün olabilecektir. DT metodunun mühendislik tasarımında, yeni ürünler geliştirmede ve mevcut ürünlerdeki kalite problemlerinin çözümü uygulamalarına aşağıdaki gibi örnekler verilebilir.

- Temel tasarım kombinasyonlarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması.
- Malzeme alternatiflerinin değerlendirilmesi.
- Değişik çalışma koşulları altında ürünün iyi çalışabilmesi için tasarım parametrelerinin seçimi.
- Ürün performansını etkileyen önemli parametrelerinin belirlenmesi.

DT yöntemleri, incelenen sistemde; değişimlerin nedenlerini araştırmayı, bu değişimleri en aza indirmeyi ve değişimlere karşı güçlü (değişimlerden etkilenmeyen) bir sistem oluşturmayı hedefler. DT' de sistemi etkileyen tüm faktörler ele alındığından birkaç faktörde küçük değişiklikler yapılarak toplamda çok fayda sağlanabilir.

3.2. Deney Tasarımının Uygulama Aşamaları ve Türleri

DT uygulamaları yedi adımdan oluşmakta olup bu adımlar aşağıda açıklanmaktadır.

Problemin tanımlanması kolay bir nokta gibi görünse de tasarımın en önemli adımlarından birisidir. Yapılacak her işte olduğu gibi, DT'den de en iyi alabilmek için yapılacak deneylere konu olan sorunun tam olarak bilinmesi şarttır. İlk bakışta konu ile ilgili bir çok problem olabilir ancak bunların içinden temel sorunu bulmak gerekir. Bunun için beyin fırtınası, balık kılçığı, pareto analizi vb. gibi kalite araçlarından faydalanılabilir. Deneyin amacı ile ilgili tüm fikirler problemin belirlenmesi aşamasında ortaya konulmalıdır. Konu ile ilgili birimlerden (üretim planlama, pazarlama, kalite güvence) gerekli verilerin toplanması gerekir.

Deney tasarımcısı, problemi belirledikten sonra ilk olarak oluşturacağı tasarımın sonucunu belirleyen süreci etkileyen faktörleri ve bu faktörlerin seviyelerini (derece) belirlemelidir. Tasarımcı belirlediği faktörleri ve bu faktörlerin seviyelerini tespit ederken daha önce bu konuda yapılan çalışmalar ile bu konudaki kendi bilgisini göz önünde tutmalıdır. Seviyeler sonuç üzerindeki etkisine göre ve uygun aralıklarla seçilmelidir.

Cevap (bağımlı) değişkeni seçimi'nde; deney tasarımcısı cevap değişkeni olarak seçtiği değişkeni, deneyin amacı hakkında kesin bilgiler verdiği emin olması gerekir. Cevap değişkenin nasıl ölçüleceği ve bu ölçümlerin kesinlik derecelerinin güvenilirliği konusunda dikkatli olunmalıdır. Cevap değişkeni olarak genellikle ölçülen karakteristiğin ortalaması veya standart sapması seçilir.

İlk üç aşamayı doğru olarak yapan deney tasarımcısı ihtiyaç duyduğu bilginin çeşidine ve uygulamayı yapacağı koşullara göre DT tekniğini seçer. Bu aşamada ilk olarak dikkat edilecek konu örnek büyüklüğü, deneylerin yapılış sırası ve tekrarlama sayısına bağlı olarak deneylerin maliyetini de hesaba katmaktır.

Rassallık, tekrarlama ve bloklama gibi DT ilkelerine dikkat edilmelidir. Bu aşamada yapılacak deney hataları deney geçerliliğinin bozulmasına sebep olur.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler çeşitli istatistiksel metotlarla bu aşamada analiz edilir. En çok kullanılan analiz yöntemleri grafiksel yöntem ve varyans analizi yöntemleridir.

Yapılan veri analizinden çıkan sonuçlar bu aşamada değerlendirilir. Bulunan istatistiksel sonuçlar fiziksel olarak da yorumlanabilir olmalıdır. Sonuçların güvenilirliği için bulunan sonuçlarla bir deneme testi yapılmalıdır. Bütün bu aşamalardan sonra tasarlanan deneyin sonuçları proses veya sistem hakkında bize önemli bilgiler sunar.

DT türlerini genel olarak aşağıdaki gibi 5 ayrı grupta incelemek mümkündür [17-18].

- * Tesadüf parselleri DT
- * Tesadüf blokları DT
- * Latin karesi DT
- * Tam faktöriyel DT
- * Kısmi faktöriyel DT

Tesadüf parselleri DT; en basit DT türüdür. Deney birimlerine faktörler tamamen tesadüfi olarak dağıtılır. Bu tür DT'lerin uygulanabilmesi için deney materyalinin tamamen homojen olması gerekir. Örneğin hayvanlarla deneme yapılıyorsa aynı ırk, aynı yaş, aynı cinsiyet olan hayvanlar ele alınmalıdır. Diğer bir ifade ile deneme materyalinin bu gibi özellikleri belli bir grupta diğerlerine göre üstün veya düşük bir etki meydana getirmemelidir. Çok sayıda deneyin uygulanacağı durumlarda böyle bir homojen materyalin bulunması çok zordur. Bu nedenle bu tip DT'leri, imalat alanından çok bazı laboratuvar veya sera çalışmalarında kullanılır.

Tesadüf parselleri DT' de, belirlenen faktörlerin deneylere atanması sırasında rassallık (tesadüflük) önemlidir. Bu yüzden yapılacak deneylerin sırası, tasarımın

hangi denek üzerinde uygulanacağı gibi durumlar rassal sayılar yardımıyla belirlenebilir. Bu sayede yapılacak deney sayısının düşük olması sağlanır.

Örnek olarak; tamamen aynı özelliklere sahip olduğu kabul edilen bir tarla üzerinde tohumların verimliliği üzerine yapılacak bir çalışmada, seçilecek en uygun DT çeşidi, tesadüf parselleri DT'dir. Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi A,B,C ve D gibi dört farklı tohumunun verimliliğinin araştırılacağı bir DT için, tarla 4 eşit bölüme ayrılır. Bu bölümler yapılacak 3 tekrarlama için 3 eşit parsel ayrılır.

Çizelge 3.1. Tesadüf blokları DT örneği

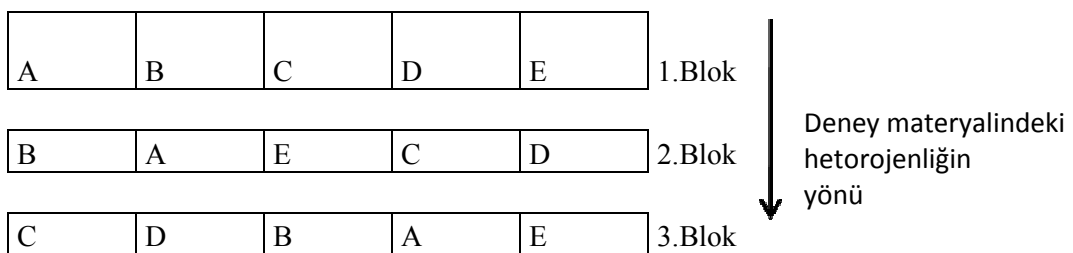
A	B	C	D
A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
A ₂	B ₂	C ₂	D ₂
A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
A ₄	B ₄	C ₄	D ₄
A ₅	B ₅	C ₅	D ₅

Çizelge 3.1.'de X_n (X = A, B, C, D) olarak gösterilen değerler her bir tohum çeşidi için yapılan 5 farklı tekrarlamanın deney sonuçlarıdır. Tesadüf parselleri DT' de, elde edilen veriler, varyans analizi kullanılarak kolaylıkla analiz edilebilmektedir.

Tesadüf blokları DT yöntemi, deney materyallerinin hepsinin homojen olmadığı durumlarda kullanılır. Üzerinde DT uygulanacak olan materyal aynı büyüklük ve şekilde bloklara ayrılır veya mümkün olduğunca homojen özelliklerine göre gruplandırılır. Bu blokların veya grupların sayısı yapılacak tekrarlama sayısı kadardır. Bu bloklar veya gruplar etkisi araştırılacak faktör sayısı kadar parsellere ayrılır. Eğer t faktör sayısı ve r tekrarlama sayısı var ise toplam "r.t" kadar parsel olacaktır.

Bu DT yöntemi heterojen deney materyalleri üzerinde homojen bloklar oluşturarak, deney materyallerinin bloklar içerisinde homojen kalmasını sağlar. Oluşturulan blokların homojen olduğu kabul edilir.

Örnek olarak, etkisi araştırılan A, B, C, D, E gibi 5 faktör olsun, 3 tekrarlı bir tesadüf blokları DT kurmak için, Şekil 3.1'deki gibi 5'er parsel bölünmüş 3 blok oluşturulur ve her blok içindeki parsellere bu 5 faktör rassal olarak atanır.



Şekil 3.1. Tesadüf blokları DT örneği .

Latin karesi DT' de kullanılacak materyaller değişik konularda farklılık gösteriyorsa, faktörlerin deney materyali üzerindeki etkisinin bu farklılıkların etkilerinden arındırılması için latin karesi DT' leri uygulanır. Bu iki farklı özelliği sıra ve sütunlara dağıtarak her bir özellik için diğer özellikten kaynaklanan değişkenliği kontrol altına almak mümkün olacaktır. Böylece hata olasılığı azalır ve buna bağlı olarak hata karesi ortalaması azalacaktır. Bu da faktörlerin etkilerinin daha hassas olarak değerlendirilmesini sağlayacaktır. Latin karesi DT' da sıra ve sütun sayısı, etkisi araştırılacak faktör sayısına ve birbirlerine eşittir. Buna göre latin karesi DT' da faktör sayısının karesi kadar deney yapılacaktır.

DT 'nın ismindeki kare ifadesi buradan gelmektedir. Latin karesi DT genellikle faktör sayısının 5 ila 12 arasında olduğu DT için tercih edilir. 4x4 veya daha küçük latin karesi DT 'larda hata serbestlik derecesi küçük olduğundan, 12x12 ve daha büyük latin karesi DT 'leri için ise deney sayısının çok olması nedeniyle tavsiye edilmez.

Diğer DT' lerde olduğu gibi burada da sıra ve sütunlara atanacak faktörler rassal olarak seçilmelidir. Ancak bu yapılırken her bir sıra ve sütunda faktörlerin yalnız birer kez olması gerekmektedir. Bu yüzden bloklar içinde rassallaştırma uygulanır.

Örnek olarak; A, B, C ve D gibi dört farklı gübre çeşidinin (faktör) bir tarla üzerindeki verimliğe etkisinin araştırılacağı bir DT 'da, tarlanın sağdan sola gidildikçe sulanmasından dolayı ve yukarıdan aşağı geldikçe alacağı rüzgar sebebiyle her bölümünün aynı özelliklere sahip olmadığını farzediliyor. Bu durumda gübrelerin tarla üzerindeki etkisinin en doğru şekilde belirlenebilmesi için tarlaya Çizelge 3.2 'deki gibi 4x4 latin karesi DT uygulanır.

Çizelge 3.2. Latin karesi DT örneği

	1	2	3	4
1	C	D	A	B
2	D	A	B	C
3	B	C	D	A
4	A	B	C	D

Latin karesi DT genellikle ziraat ile ilgili deneylerde kullanılmaktadır. Ancak bu imalat endüstrisinde kullanılmadığı anlamına gelmez. İmalat endüstrisinde Latin karesi DT 'nin kullanımına örnek olarak; aynı malı üretmek için geliştirilen A, B ve C gibi 3 makinenin performanslarının karşılaştırılması verilebilir. Bu örnekte makinelerin operatörlerinin farklılığı ve operatörlerin sabah, öğle ve akşamki çalışma verimliliğinin farklarından dolayı kaynaklanan kontrol edilemeyen etmenler vardır. Böyle bir durumda uygulanacak en iyi DT yöntemi 3x3 latin karesi DT olacaktır.

Çizelge 3.3 'deki gibi düzenlenen 3x3'lük DT sayesinde makinelerin operatör farklılıkları ve zaman farklılıklarından dolayı kaynaklanan performans farklılıkları hesaba katılarak en iyi performansa sahip makine seçilebilecektir.

Çizelge 3.3. İmalat endüstrisi için latin karesi DT örneği

		Operatörler		
Çalışma saatleri		1	2	3
	Sabah	A	B	C
	Öğle	C	A	B
	Akşam	B	C	A

Tam faktöriyel DT 'leri ; seviye sayısı birden çok olan, birden fazla sayıdaki faktörlerin etkilerinin deney materyali üzerindeki etkilerinin ele alındığı DT yöntemleridir. Faktöriyel tasarım, deneydeki her bir faktörün tüm seviyelerinin diğer faktörlerin her bir seviyesini içeren, mümkün olan bütün kombinasyonlarının yapılması ile oluşur.

Örnek olarak 2 seviyeli 7 faktörü olan bir deneyde gerçekleştirilmesi gereken deney sayısı bütün faktör seviyelerinin çarpımına eşittir. Çizelge 3.4 'de görüldüğü gibi $2^7=128$ deney yapılması gerekir.

Çizelge 3.4.'de her biri 2 seviyeli A, B, C, D, E, F ve G gibi 7 faktörün etkisinin araştırılacağı bir faktöriyel DT örneği gösterilmiştir. Burada, çizelge içerisinde yeralan her bir kare bu 7 faktörün her birinin bir seviyesini içeren bir deney kombinasyonudur. Örnek olarak Xi ile olarak gösterilen deney kombinasyonu, A'nın 2., B'nin 1., C'nin 1., D'nin 1., E'nin 2., F'nin 2. ve G'nin 1. seviyelerinin kombinasyonunun etkisini gösteren deneyi ifade etmektedir. Faktöriyel DT 'lerin en önemli avantajı, tüm faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisi ve faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri en kolay ölçülebilen DT yöntemi olmasıdır.

Faktöriyel DT 'ler deneyde mümkün olan bütün kombinasyonları denediği için diğer tasarım türlerine göre zaman ve maliyet kaybına neden olan bir yöntemdir.

Çizelge 3.4. Tam faktöriyel tasarım örneği

				A ₁				A ₂			
				B ₁		B ₂		B ₁		B ₂	
				C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
D ₁	E ₁	F ₁	G ₁								
			G ₂								
		F ₂	G ₁								
			G ₂								
	E ₂	F ₁	G ₁								
			G ₂								
		F ₂	G ₁					X _I			
			G ₂								
D ₂	E ₁	F ₁	G ₁								
			G ₂								
		F ₂	G ₁								
			G ₂								
	E ₂	F ₁	G ₁								
			G ₂								
		F ₂	G ₁								
			G ₂								

Kısmi faktöriyel tasarımı; tam faktöriyel tasarımdaki zaman ve maliyet kaybını azaltmaya yönelik olan bir DT yöntemidir. Bu tür tasarımlarda Ortogonal Dizinler (OD) kullanılır. Her bir deneyde birden fazla sayıda faktörün seviyesi değiştirilerek az sayıda deney ile bütün faktörlerin seviyelerinin denenmesi mümkün olmaktadır.

Kısmi faktöriyel deneylerde amaç deney sayısını azaltmaktır. Ancak bunu yaparken incelenen faktörlerde değil faktörler arasındaki etkileşimlerin sayısında bir azaltma yapmak daha uygun olacaktır. Performans karakteristiği üzerindeki etkisinin az olacağı kabul edilen ve serbestlik derecesi yüksek olan etkileşimlerin sayısında bir azaltma yapılabilir. Kısmi faktöriyel tasarımda deney sayılarının azaltılmasının diğer önemli bir yolu da faktör seviyelerinin mümkün olduğunca ‘yüksek değer’ ve ‘düşük değer’ olarak 2 seviyeli seçilmesidir. Bu şekilde deneylerin tüm kombinasyonlarının

yapılması yerine sadece sonucu etkileyeceği düşünülen faktör ve seviyelerin performans karakteristiği üzerine olan etkisi araştırabilir.

Örnek olarak her biri 2 seviyeli bir DT için kısmi faktöriyel DT kullanılarak 2^k sayıda deney yapmak yerine 2^{k-p} kadar deney yapılır. Aynı zamanda bu DT $1/2p$ kısmi faktöriyel DT olarak adlandırılır.

Kısmi faktöriyel DT en büyük dezavantajı tüm deneylerin yapılmamasından dolayı bazı etkileşimlerin etkilerinin tam olarak anlaşılamamasıdır. Çalışmanın ana konusunu olan Taguchi metodu da bir çeşit kısmi faktöriyel DT türüdür.

3.3. Taguchi Metodu Felsefesi ve Gelişimi

Taguchi'nin felsefesi şu şekilde özetlenebilir [18];

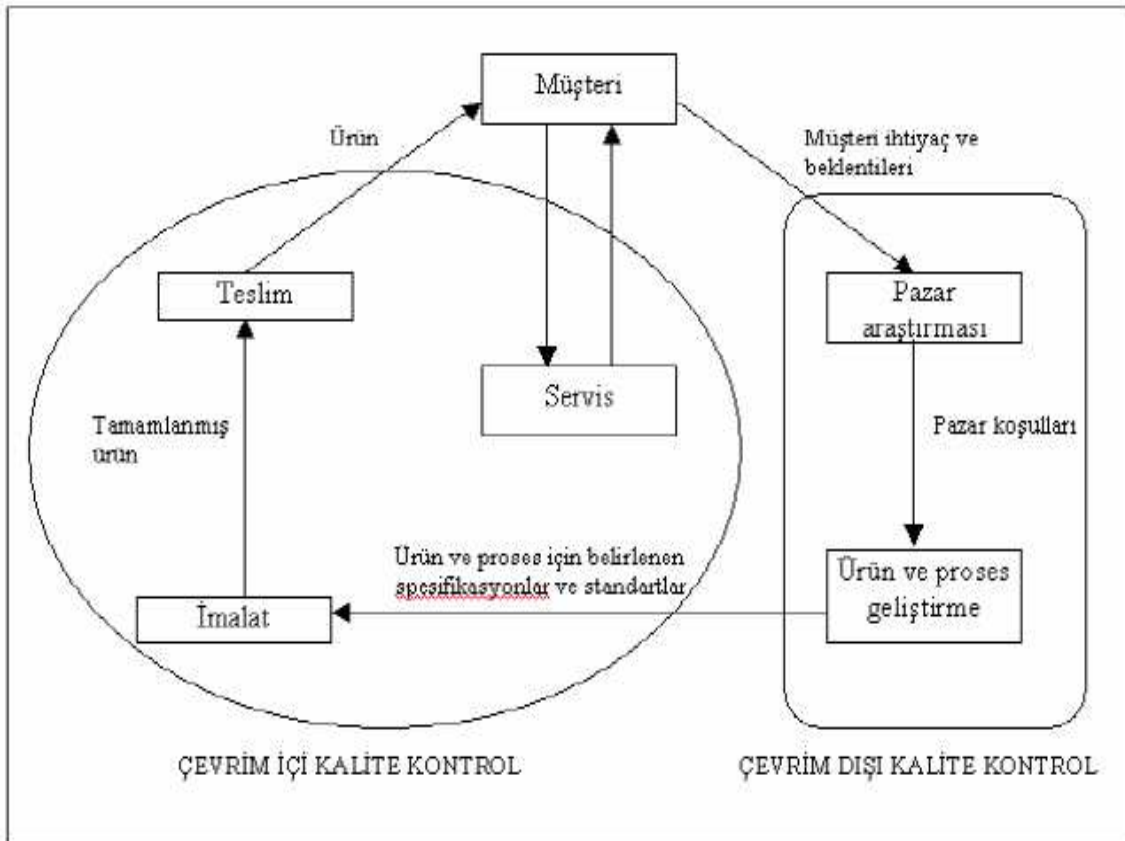
- * Üretilen bir ürünün kalitesine ait önemli bir boyut da o ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır.
- * Rekabetin olduğu bir ekonomide kaliteyi sürekli geliştirmek ve maliyetleri azaltmak işletmenin kalıcılığı için zorunludur.
- * Sürekli bir kalite geliştirme programı ürün hedef değerlerinden sapmaları sürekli azaltmayı içerir.
- * Bir ürünün performansındaki bir sapmadan dolayı tüketicide meydana gelen kayıp yaklaşık olarak o sapmanın karesi ile orantılıdır.
- * Üretilen bir ürünün nihai kalitesi ve maliyeti (geniş bir şekilde) ilgili ürünün tasarım mühendisliği ve üretim prosesi tarafından belirlenir.
- * Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için ürünün performans karakteristikleri üzerinde etkili olan parametrelerin lineer olmayan etkilerini kontrol altına almak gerekir.
- * İstatistiki olarak tasarlanmış deneyler ürün veya proseslere ait performans sapmalarını azaltmak için kullanılır.

İkinci dünya savaşının sonlarına doğru, Japonya'nın günümüze kadar ki, hızlı gelişmesinin temelleri atılmıştır. Bu dönemdeki en önemli projelerden biri Japon

telefon sisteminin geliştirilmesi idi. Projenin amacı A.B.D’de Bell Laboratuvarlarında kullanılan telefon sisteminin aynısının Japonya’ya kurulmasıydı. Ancak Japon Nippon Telefon ve Telgraf Araştırma Merkezi, Bell Laboratuvarlarının ancak %2’si kadardı. Bu nedenle projenin bitirilmesinin 20 yıl süreceği tahmin ediliyordu. Genichi Taguchi, proje süresini kısaltmak amacıyla, tüm araştırma personeli için metodların standardize edilmesini ve faktöryel tasarımların kullanılmasını önerdi. Kabul edilen önerisi sayesinde proje 4 yılda bitirilmiş ve Taguchi çok ünlü olmuştur.

3.4. Taguchi Metodunda Kalite Kontrol Sistemi

Kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler Taguchi tarafından On-line ve Off-line olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. DT, Taguchi’nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde, ürün ve proses tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır. Bu durum Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Taguchi'nin üretim-kalite çemberi [18]

On-line kalite kontrol; ürün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetlerindendir.

Off-line kalite kontrol; pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahale yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır . Off-line kalite kontrol metotları ürünlerin kullanım ömrü, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak, üretilebilirlik ve ürün kalitesini iyileştirmek için kullanılır .

Taguchi Off-line kalite kontrolün her iki aşamasında da kalite güvenilirliğini sağlamaya yönelik 3 aşamalı bir yaklaşım getirmiştir. Kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için tanımlanan kalite aşamaları; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır [18-19]. Taguchi metodunun sistematüğini oluşturan, kalite aşamaları Şekil 3.3 'de gösterilmiştir.

Sistem Tasarımı

- * Pazarın tanımlanması
- * Buluşların değerlendirilmesi
- * Gerekli bilgiler
Bilimsel
Mühendislik
- * Bazı tercihlerin yapılması

**Parametre Tasarımı**

- * Deneysel tasarımı kullanma
- * En iyi faktör kombinasyonunun seçimi
- * Maliyeti yükseltmeden kaliteyi geliştirme

**Tolerans Tasarımı**

- * Dar tolerans kullanma
- * Çıktı kalitesine etkiyen faktörü belirleme
- * Parametre dizaynı yetersiz ise tolerans tasarımını kullanma

Şekil 3.3. Taguchi metodunun sistematığı

Sistem tasarımı, prosesin ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından ürünün istenen fonksiyonlarının sağlanabilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir. Üretilmesi düşünülen ürün ile ilgili pazarın tanımlanması, konu ile ilgili yapılan yeni buluşların değerlendirilmesi, mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Sistem tasarımında hem tüketici gereksinimlerinin hem de imalat süreci gereksinimlerinin anlaşılmış olması gerekir.

Bir ürün, tüketici gereksinimlerine göre tasarlanmamışsa pazarlama aşaması zor olacaktır. Benzer şekilde imalat gereksinimlerini karşılayamıyorsa ürünün üretilmesi mümkün olmaz. Sistem tasarımı daha çok kavramsal yönlü bir aşama olduğu için mühendislik deneyimi gerektirir ve istatistiksel yöntemlerin bu aşamadaki rolü azdır. Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarına yatırıma hazırlık aşaması da denilebilir. Burada temel amaç üretim aşamasında spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en küçük maliyetle mamul üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için Pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir [19].

Parametre Tasarımı; Taguchi'ye göre, ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de proses tasarımı için parametre tasarımı aşamasıdır.

Ürün Parametre Tasarımı, ürün parametrelerinin, malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey örnekleri gibi, optimal değerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Ürün Parametre Tasarımı ve Proses Parametre Tasarımında temel amaç, üründe ve prosesde varyasyon (hedef değerden farklılık yani kalitesizlik) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün ve prodesteki varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına sağlam tasarım demektedir.

Burada sağlam, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara

karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır. Sağlam Tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka bir faktörün ayarlanması sonucu azaltılmaktadır. DT bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyeti artırmadan kaliteyi geliştirmek mümkün olmaktadır .

Ürün ve proses parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerin belirlenmesi ve optimal ayarların yapılması gereken çok sayıda faktör vardır. Üstelik bu faktörlerin bir çoğu birbirleriyle etkileşim durumundadır. Bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel DT yöntemidir. DT aracılığıyla, bir çok faktörün ürün üzerindeki etkisi ekonomik olarak (düşük maliyetle) belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemleri tasarım aşamasına almak mümkün olmaktadır .

Tolerans tasarımı aşamasında, parametre tasarımı aşamasında oluşturulan kalite karakteristiğinin, toleranslarının ölçümü ve iyileştirilmesi yapılır. Parametre tasarımı aşamasında imalat maliyetlerini düşürebilmek için toleranslar oldukça geniş tutulur. Eğer parametre tasarımında değişkenlik istenen seviyeye düşürülmemişse tolerans tasarımına başvurulur.

Tolerans tasarımı, daha yüksek bir ürün kalitesi ve daha güvenilir bir ürün fonksiyonu için toleransları daraltırken aynı zamanda maliyetlerinde artmasına neden olur. Bu yüzden tolerans tasarımı aşaması parametre tasarımı aşamasından sonra gelir. Böylece sadece gerekli olduğu durumlarda ve gerekli olduğu kadar tolerans tasarımı yapılarak ürün tasarımının maliyetinin artmaması istenir. Kalitenin parametre tasarımında sağlanması istenir. Çünkü parametre tasarımında kaliteyi sağlamak, tolerans tasarımına göre daha az maliyetlidir. Tolerans tasarımında değişkenlik, performans karakteristiği üzerinde önemli etkiye sahip olan faktörlerin toleransları ve maliyetleri dikkate alınarak hesaplanır. Toleransın dar olması imalat maliyetlerini, geniş olması da performans değişkenliğini artırır. Parametre tasarımında düşük maliyetli, geniş ölçüde toleransa sahip bileşenler veya faktörler

kullanılabilir. Değişkenliği istenilen değere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa tolerans tasarımı gündeme gelir.

Tolerans tasarımında ürünlerdeki değişkenliğe katkısı en fazla olan faktörler belirlenir. Böylece bütün performans faktörlerinin toleranslarının sıkı olması yerine önemli bileşenlerin performans faktörlerinin toleransları küçük, diğerlerinin ki ise normal bırakılması sağlanır. Böylece tolerans tasarımı için maliyeti düşürülür. Tolerans tasarımı aşamasında toplam ürün varyansı üzerinden yapılacak olan tasarımlar hem maliyeti azaltır hemde kayıp fonksiyonu gibi bir çok alanda verilerin rahatlıkla kullanılmasına olanak sağlar. Tolerans tasarımı, faktör varyansı ile ilgilenilen performans karakteristiği varyansı arasındaki ilişki üzerine kuruludur. Bir miktar ilave harcama yapılarak performans karakteristiğinin varyansı azaltılırsa (kalitesi geliştirilirse) performans varyansı da azalacaktır. Sonuçta birim başına olan toplumsal kayıp da azalacaktır. Bir ürün veya prosesin kalite karakteristiğini belirleyen iki temel özelliği vardır. Bunlardan birincisi ürünün hammaddesinin kalitesi, diğeri ise imalatı sırasında kullanılan metot ve bileşen parçalarıdır. Bu yüzden tolerans tasarımı aşamasında kullanılacak ölçüm aletlerinin seçimi ve kalibrasyonu önemlidir.

3.5. Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı

Genichi Taguchi sağlam parametre dizaynının öncülerinden biri olarak kabul edilmektedir, parametre dizaynı, üretim ve proses dizaynı sırasında, varyasyon ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı olan duyarlılığın azaltılması için kullanılan bir mühendislik metodudur. Taguchi dizaynları uygun bir şekilde kullanıldığı takdirde, çeşitli çalışma koşullarında çok güçlü ve etkili bir metottur. Sağlam parametre tasarımında temel amaç, proses hedef değerini korurken varyasyonu minimize edecek faktör seviyelerini belirlemektir. Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise değişiklikler karşı duyarsız hale getirilmeye çalışılır. Proses tasarımında temel amaç, sürekli aynı çıktıyı üretmektir. Üretim dizaynında ise temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli bir performans ölçüsü yakalamaktır.

3.5.1. Temel çalışma biçimi

Taguchi Metodu, çok sayıda faktörün bağlı olduğu ürün ve prosesin kalitesini artırmak için geliştirilmiştir. Her bir faktörün izin verilen aralıklar içerisinde tüm olabilecek kombinasyonları etkili bir biçimde bu test ve geliştirme stratejisi içerisinde kurulabilmektedir. Mühendislik projeleri çok sayıda faktör içerdiği için, bir grup olabilecek kombinasyon denenemeyecek kadar geniştir. Üstelik özel projeler için etkili faktörler arasında etkileşimlerin olması deneme sayısını artırmaktadır. Test kombinasyonlarını azaltmada geleneksel olarak kısmi faktöryel tasarım kullanılmaktadır. Taguchi faktöryel deneyler için özel bir dizayn geliştirmiştir. Bu dizayn OD 'den oluşmaktadır. Bu dizaynların kullanılması verilen faktörlerin en az sayıda deneyle incelenmesine olanak tanımaktadır.

Tüm faktörlerin sabit seviyeli olduğu ve etkileşimlerin önemsiz olduğu durumlarda standart OD kullanılmaktadır. Faktörlerin karışık seviyeli olduğu ve etkileşimlerin inceliği durumlarda OD'un modifiye edilmesi gerekmektedir.

İçerisinde çok sayıda faktörün olduğu ilk DT planının geliştirilmesi İngiliz Sir R. A. Fisher tarafından 1920 yılında yapılmıştır. Bu metot genelde faktöryel tasarım olarak bilinir. Tam faktöryel tasarım verilen deney seti için tüm olanaklı kombinasyonları denemektedir. Çoğu endüstriyel deney genellikle çok sayıda faktör içerir. Tam faktöryel tasarımda çok geniş bir deney seti incelenir. Örneğin tam faktöryel tasarımda 7 faktörlü ve her bir faktörün 2 seviyeli olduğu bir deney için tam $128 (2^7)$ deneye ihtiyaç vardır

Kısmi faktöryel tasarımda deney sayısını azaltmak için tüm kombinasyonlar arasından belirli grup seçilerek o grup üzerinde inceleme yapılır. Kısmi faktöryel tasarım iyi bir kestirme yol olarak bilinse de uygulamalar ve analiz için belirli kuralı yoktur.

Taguchi metodu bu konuda iki önemli boşluğu tamamlamaktadır [20].

Bunlar;

I. Deney koşullarına uygun olarak seçilebilecek OD'ler net bir şekilde tanımlanmıştır.

II. Sonuçların analizinde standart metotlar belirlenmiştir .

Taguchi yaklaşımı standart DT tekniklerinin ve analiz metotlarının bir kombinasyonudur. Bu kombinasyon diğer istatistiksel metotlarda nadiren bulunan tutarlılık ve yeniden üretilebilirlik özelliklerini taşımaktadır.

Şimdi deney kombinasyonlarının nasıl oluştuğunu anlamada fayda vardır. Örneğin tek bir A(sıcaklık) faktörü ile ilgilendiğimizi düşünelim. A faktörünün eğer 2 seviyesi varsa (200°C ve 400°C) her iki seviye içinde ayrı ayrı deneme yapmak gerekir.

Faktör A: Seviye 1 = A1 (200°C) Seviye 2 = A2 (400°C)

Faktör sayısını 2'ye çıkardığımızda ve her bir faktörde 2 seviye olduğu durumda, kombinasyon sayısı aşağıda gösterildiği şekilde 4' e çıkar. A1B1, A1B2, A2B1, ve A2B2 Faktör sayısı 3 ve her biri 2 seviyeli olduğu durumda $2^3=8$ deneme ile karşı karşıya kalırız.

Bunlar; A1B1C1, A1 B1C2, A1B2C1, A1B2C2, A2B1C1, A1B1C2, A2B2C1, A2B2C2

Görüldüğü gibi bütün kombinasyonların denendiği tam faktöryel tasarımda, faktör seviyesi arttıkça, deney sayısı 2 seviyeli deneylerde ikinin kuvvetleri şeklinde artmaktadır. Farklı faktör ve seviyeli deneyler için tam faktöryel tasarım ve Taguchi metodu için gerekli deneme sayıları Çizelge 3.5 'de verilmiştir. Bakıldığında deney sayılarındaki farklılık görülmektedir.

Çizelge 3.5. Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar

Faktör	Seviye	Deney sayıları	
		Tam faktöryel tasarım	Taguchi metodu
2	2	$4 = 2^2$	4
3	2	$8 = 2^3$	4
4	2	$16 = 2^4$	8
7	2	$128 = 2^7$	8
15	2	$32768 = 2^{15}$	16
4	3	$81 = 3^4$	9

3.5.2. Deney tasarımı

DT içerisinde geçen dizayn kelimesi zihinsel olarak yapılan proje veya planları ifade etmektedir. Tasarımı farklı koşullarda gerçekleştirilebilir. Mühendislikte dizayn denildiği zaman genelde ürün dizaynı ve proses tasarımı akla gelir.

DT yapılmadan önce ürün ve proses hakkında mutlaka yeterli bilgiye sahip olunmalıdır. Deneyde kullanılacak faktörlerin ve onların çıktı üzerine etkileri tanımlanmalıdır. Faktörler hakkında ayrıntılı bir bilgiye sahip olmak için genelde o konu ile ilgili tüm insanlardan bilgi alınır. Taguchi tüm faktörlerin ve bunların seviyelerinin tespit edilmesi için beyin fırtınası tekniğini önemli bir adım olarak görmüştür.

Taguchi dizaynı seçilirken;

- Kontrol faktörü sayısı
- Her bir faktörün seviye sayısı
- Deney çalıştırma sayısı ve
- Diğer şartların sisteme etkileri (maliyet, zaman, üretebilme durumu) göz önüne alınır. Deneyler statik ve dinamik sonuçlu olmak üzere 2 türlü yapılabilmektedir. Statik sonuçlu deneylerde kalite değişkenleri sabit seviyedir. Dinamik sonuçlu deneylerde ise kalite değişkenleri verilen değer aralıklarındadır.

Taguchi metodunun başlıca 2 amacı vardır. Bunlar;

- Kalite değişkenini hedefe mümkün olduğunca yaklaştırmak,

- Varyansı, yani hedef değerden sapmayı minimize etmektir.

Statik sonuçlu tasarımlar kalite değişkeninin sabit seviyeli olduğu tasarımlardır. Bu tür dizaynlarda hedef değerden sapmayı minimize etmek için bir değişim ölçüsü gerekmektedir. İşte bu noktada Taguchi deney sonuçları arasındaki farklılığı minimize etmek için S/N (Signal/Noise) oranlarını geliştirmiştir. Statik bir dizaynda Taguchi tarafından belirlenmiş S/N oranları, sistemden istenen amaçlar doğrultusunda kullanılabilir. Bu aşamada iyi bir mühendislik bilgisi ve sistemin iyi analiz edilmesi çok önemlidir.

Seçilebilecek S/N oranları Çizelge 3.6 'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Taguchi'nin sinyal/gürültü oranları

Seçim	Amaç	Sonuç
En büyük En iyi $S / N = -10(\log (\sum (1 / Y^2) / n))$	Sonucun maksimize edilmesi	Pozitif
Hedef Değer En iyi $S / N = -10 (\log (x^2))$	Sadece standart sapmanın azaltılması	Pozitif, sıfır yada negatif
Hedef Değer En iyi $S / N = 10 (\log (Y^2) / S^2)$	Standart sapmanın ve ortalamasının belli bir hedef değerinde olması	Ortalama sıfır olduğu zaman standart sapmada sıfır
En Küçük En iyi $S / N = -10 (\log (\sum Y^2 / N))$	Sonucun minimize edilmesi	Pozitif

Kalite değişkeninin sabit bir sayı değil de, belirli bir değer aralığında olduğu dizaynlardır. Dinamik sonuçlu bir deney, işleme başlama anı ile sonuç arasındaki fonksiyonel ilişkiyi analiz etmek ve geliştirmek için kullanılır. Genel olarak gürültü faktörünün, kalite değişkenlerinin sistemin giriş anına bağlı olarak belirli değerler aldığı durumlarda kullanılır. Buna Örnek olarak otomobilin ivmelenmesi verilebilir. Burada işleme başlama anı, otomobilin gaz pedalına basılmasıdır ve dinamik sonuç otomobilin hızıdır. İdeal olarak işleme başlama anı ile sonuç arasında doğrusal bir

ilişki olması gerekir. Duyarsızlık bu ilişki içerisinde gürültü faktörleri yüzünden minimum varyasyona ihtiyaç duyar. Bu yüzden dinamik dizaynlarda mümkün olduğunca deneme sayısı fazla tutulmalıdır.

3.5.3. Uygulama prosedürleri

Taguchi metodunun uygulama prosedürleri sırasıyla aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır [21-22].

- I. Problemin belirlenmesi.
- II. Hedeflerin belirlenmesi.
- III. Kalite değişkenleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi.
- IV. Kalite değişkenlerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin tespit edilmesi.
- V. Faktörlerin kontrol ve hata faktörleri olarak ayrılması.
- VI. Etkileşimlerin belirlenmesi.
- VII. Uygun OD'nin seçimi.
- VIII. Kontrol faktörleri ve etkileşimlerin sütunlara atanması.
- IX. Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi.
- X. Veri analizi ve kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerlerinin belirlenmesi.
- XI. Doğrulama deneyinin yapılması

Bilimsel bir problem çözme çalışmasında belki de en önemli aşama problemin belirlenmesi ve tanımlanmasıdır. Çünkü işin başında yapılan bir yanlışlık sonrasında tüm çalışmanın boşa gitmesine neden olabilir. Problemlerin tespit edilmesinde özellikle müşteri şikayetleri ve ilgili mühendislik birimlerinin görüşleri alınmalıdır.

Problemin tespiti çalışmalarında öncelikle daha önceden belirlenmiş kalite değişkenleri kullanılır. Eğer mümkünse müşteri görüşleri ve eğilimlerinden faydalanılarak hedef daha da hassaslaştırılır. Meydana gelen sapmaların ne gibi kayıplar getirdiği iyice belirlenir. Söz konusu kayıplar itibar kaybı, maliyetlerin artması, müşteri tatminsizliği vs. olabilir. Bunlar arasında maliyet kaybını ölçmek kolay iken diğerlerini ölçmek zordur. Tesirleri uzun dönemde ortaya çıkar.

Taguchi'nin üzerinde özellikle durduğu kayıplar da esasen uzun dönemde etkilerini göstermesi beklenen bu tür kayıplardır. Zorlu rekabet şartlarında itibarda ve dolayısıyla müşteride meydana gelebilecek kayıplar uzun dönemde önemli maliyet kayıptan haline dönüşür. Dolayısı ile hedefin bu tür kayıpları önleyebilecek hassasiyette olmasına ve de müşteri tatminini azami derecede sağlayabilmesine özen göstermek gerekir.

Problemler daha önceden tespit edilen büyük problemler olabileceği gibi, Japonların kaizen (sürekli iyileştirme) felsefesince tespit edilen küçük problemlerde olabilir. Unutulmamalıdır ki başlangıçta küçük gibi gözüken bir problem, ilerde büyük sorunlara yol açabilir.

Her işletmenin kendine göre belli hedefleri vardır. Bunlar belli bir üretim sayısına ulaşmak, müşteri beklentilerini karşılamak, maliyeti düşürmek vb. olabilir. Bu noktada Taguchi metodunun uygulandığı bir yerde de başlıca iki hedef vardır. Bunlar kalite değişkeninin istenilen değere getirilmesi ve varyasyonun düşürülmesidir.

Kalite konularına ilişkin olarak varyasyon, hedef değerden sapma olarak tanımlanabilir. Üretim faktörleri deneyde belirtilen seviyelerde yapıldığı takdirde, bu değişkenlerin ortalama değeri optimize olacaktır. Fakat ürünün kalitesi, grup ortalamasından daha çok, grup dağılımıyla temsil edilir. Örneğin, kaynak mukavemetinin ortalama değeri, minimum spesifikasyon sınırının üstünde olduğu halde, grubun önemli bir yüzdesi (%30-%40 gibi) muayeneyi geçemeyip reddedilebilir.

Ürünün müşteri tarafından istenilen fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli ve kalitesini belirleyen özelliklerine kalite değişkeni denir. Bu aşamada hedeflenen kalite değişkenleri belirlenir. Ayrıca kalite değişkenlerinin ölçümü için gerekli aletlerin seçimi ve ölçme metotları ilgili mühendislik birimlerine başvurularak belirlenir.

Faktörlerin seçimi ve faktör seviyelerinin tespiti işlemi, o işle uğraşan kişiler ve o alanda uzmanlaşmış teknik personel tarafından yapılır. Bu aşamada en iyi yöntem beyin fırtınası tekniğidir. Ayrıca akış şeması ve sebep-sonuç diyagramlarının da incelemesi faktör ve faktör seviyelerinin belirlenmesinde büyük fayda sağlar. Beyin fırtınası, işletme problemlerine çözüm aranırken ilgili personelin bir araya gelip, her birinin konu hakkındaki kanaat ve çözüm önerilerini dile getirdiği bir toplantıdan ibarettir. Bu etkin toplantıya her seviyeden iş gören katılabilmektedir. Görüşler ifade edildikten sonra oylama usulü ile etkin çözüme doğru yol alınır.

Oylamaya her görüş dahil edilir. Metot kullanılarak kalite değişkeni üzerinde etkili olan faktörler belirlenir. Mevcut metotlar arasında en etkin olanı çoğunlukla bu metot olmaktadır.

Taguchi tasarımı esas olarak faktörlerin ana etkileri üzerinde çalışmak için tasarlanmıştır. Fakat istenirse 2 yönlü etkileşimler üzerinde de çalışılabilir. İki faktörün etkileşimli olması, faktörlerden birinin etkisinin diğerine bağımlı olmasıdır. A faktörünün etkisinin B faktörünün etkisini değiştirmesi gibi. Bu durum $A*B$ şeklinde gösterilir. Örneğin sıcaklıkla nem arasında insan rahatlığı açısından güçlü bir etkileşim vardır. Sıcaklıktaki bir artış küçük bir rahatsızlık verebilir fakat nem artıkça rahatsızlık daha fazla artar.

Deneyler yapılmadan önce faktörler arasında etkileşim olup olmadığı sadece o zamana kadar elde edilmiş bilgi ve tecrübelerle tahmin edilebilir. Bu noktada çok dikkat edilmelidir. Aksi takdirde tüm sonucu etkileyecek yanlış kararlar alınabilir.

OD 'nin en önemli özelliği, bir çok faktörün minimum sayıda test ile değerlendirilmesini sağlaması ve klasik metottan farklı olarak faktör kademelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermesidir. Normal 2k faktörlü bir deneysel tasarım kurulacaksa Tam Faktöryel tasarım gereği 2k adet denemenin gerçekleştirilmesi beklenir. Kademelerden biri değiştirilip diğeri sabit tutularak deney yürütülür. Fakat Taguchi uzun çalışmalar sonucu standart deneme planları geliştirdi ve bu planların vereceği sonuçla 2k denemenin sonuçları

arasında bir fark olmayacağını iddia etti. Bu iddiasında haklı olduğunu da çalışmalarıyla pratik olarak gösterdi. Söz konusu standart deneme planlarının esası eşzamanlı olarak bir kaç faktörün kademelerini değiştirerek deneme sayısında çok aşın bir azalma yapmasına dayanmaktadır. Örneğin yedi faktörün tespit edildiği bir deney için $2^7=128$ adet denemeyi gerçekleştirme gerekir. Halbuki Taguchi bunun için 8 denemeyi yeterli görmektedir. Bunu şöyle açıklayabiliriz. Çizelge 3.7 'de 2 deneme planı görülmektedir. Buna göre 1 ilk seviyeyi, 2 ise ikinci seviyeyi gösterir. İlk 6 faktör sabit iken 7. faktörde seviye değişikliği yapılmaktadır. Bu yolla bütün faktörler teker teker denenmektedir.

Sonuçta 128 deneme gerçekleşmiş olmaktadır. Halbuki Taguchi dizaynına göre ilk denemeden ikinciye geçilince 7 faktörden 4'ü değiştirilmektedir. Daha sonraki denemeler için de 4'ü 2.seviyede, 3'ü 1. seviyede olmak üzere her seferinde değişiklik yapılmaktadır. Bunda da toplam 8 deneme gerekli bilgiyi verebilmektedir. Sonuçta Taguchi'nin teklifi çok önemli bir maliyet ve zaman tasarrufu getirmektedir.

Çizelge 3.7. 2^k ve Taguchi dizaynı deney planları [22].

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	1	2	1
4	1	1	1	1	1	2	2
5	1	1	1	1	2	1	1
6	1	1	1	1	2	1	2
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
128	2	2	2	2	2	2	2

2^k Dizaynı

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Taguchi Dizaynı

Bu dizilere her faktörde eşit miktarda farklı seviye bulundurduğu için OD denilmektedir. OD 2 seviyeli, 3 seviyeli ve 2 ve 3 seviyeli olmak üzere üç türlü belirlenmişlerdir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi deneysel tasarımının temel taşlarını oluştururlar. Taguchi metodu kullanılarak yapılacak her deney bu standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Şayet başlangıçta faktörlere uygun dizi bulunamadıysa, faktörlerde bir takım yeni düzenlemeler yapıp dizilerden birine uydurmak gerekmektedir. En çok kullanılan diziler 2 seviyeliler için L4, L8, L12 ve L32 iken 3 seviyeliler için L9, L18, L27 dizileri olmaktadır. Her iki seviyenin karışık kullanıldığı dizilerden bazıları L18, L36, L54 dizileridir.

Dizilerin seçimi seviye sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Seviye sayısı dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Eğer seviyelerde karışıklık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerde seviye homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılır. Bir dizinin toplam serbestlik derecesi her bir faktörün ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamına eşittir. Dizide sütunlara atanan faktörler tek başına faktör veya iki faktörün etkileşimi olabilmektedir. Serbestlik dereceleri sırasıyla şöyle hesaplanır:

VA: A faktörünün serbestlik derecesi

VA*B: A ile B etkileşiminin serbestlik derecesi

kA: A faktörü seviye sayısı

$$VA = kA - 1 \quad VA*B = (VA)(VB)$$

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Bu aynı zamanda toplam deney sayısından bir çıkarmakla da bulunur.

VT: Dizinin toplam serbestlik derecesi

N: Dizideki toplam deney sayısı

$$VT = N - 1$$

Serbestlik derecesi belli olmuş bir faktörler grubu için OD seçimi rahatlıkla yapılabilir. Serbestlik derecesi hangi birinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesi en fazla; seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Yoksa eşit olursa o zaman bir üst diziye seçmek zorunda kalınacaktır. O halde mevcut serbestlik derecesine 1 eklendiğinde eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilir. Şayet hiç birine eşit olmuyor da herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir.

Kontrol ve etkileşimlerin sütunlara atanmasında öncelikle etkileşimlerin atanması yapılır. Çünkü bazı sütunlar etkileşim olan diğer sütunlarla karıştırılabilir. Yani bağımsız olarak değerlendirilemeyebilir. Ayrıca iki yönlü etkileşimlerin incelenebilmesi için bazı sütunlara faktör atanmaz ve boş bırakılır.

Etkileşimlerin sütunlara atanmasında etkileşim çizelgeleri kullanılır. Etkileşim çizelgeleri etkileşimlerin olduğu sütunları gösterir. Her bir Taguchi dizaynı için ayrı bir etkileşim çizelgesi vardır.

OD'nin sütunlarına faktörler yerleştirildikten sonra deney planı kurulmuş olur ve deneyleri gerçekleştirmek için gerekli fiziksel şartlar sağlanır. Bu aşamadan sonra deneylerin hangi sırayla yapılacağına karar vermek gerekir.

Deneylerin yapılış sırası belirlenirken çeşitli yöntemler kullanılır. Rassallaştırma en çok kullanılan yöntemlerdendir. Rassallaştırma denemelerin yapılış sırasının numara sırasına göre değil de belli bir rastgelelikte yapılmasıdır. Denemelerden oluşan testlerin uygulanış sırası rassallık içermelidir. Böylece deney sırasında oluşabilecek ve sonuçları olumsuz yönde etkileyebilecek, fakat başlangıçta öngörülmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek mümkündür.

Rassallaştırma çeşitli yöntemlerle yapılabilir. En çok kullanılan yöntemler;

- Tamamen rassallaştırma,
- Basit tekrar

- Bloklar içinde tamamen rassallaştırmadır.

Tamamen rassallaştırma yönteminde, ilk olarak istenilen deney yapılır. Sonrasındaki deneyler rasgele sayılar çizelgesi kullanılarak belirlenen deney sırasıyla yapılır. Tekrarlar söz konusu olduğunda bir test tamamlanana kadar tüm deneyler rassal olarak seçilir ve ikinci tekrar yapılırken deney sırası rassal olarak bir öncekinden farklı sırada seçilir. Deneyler tamamlanıncaya kadar bu yöntem uygulanır.

Basit tekrarda da tüm deneyler ilk test olarak seçilebilmek için eşit şansa sahiptir. Fakat diğerinden farkı, tekrarlar söz konusu olduğunda, seçilen deney için gerekli tüm tekrarlar arka arkaya test edilir. Bu yöntem, deneylerin hazırlanışının zor, zaman alıcı ve pahalı olduğu durumlarda geçerlidir.

Deneylerin yapılabilmesi için her deneme için en azından bir deney yapılmalıdır. Fakat tek gözlem, sonuçlardaki olabilecek değişkenliği temsil etmez. Her bir deneme için birden fazla deney yapılması ile yığının ortalamasında meydana gelebilecek küçük değişkenlerin saptanabilmesi sağlanacaktır. Bazı deneylerde deneme çalışmaları kolaylıkla ve ekonomik bir şekilde tekrarlanmaktadır. Bazıları ise yüksek maliyetli ve zaman alıcıdır. Ekonomik açıdan değerlendirilirse, eğer testler çok pahalı ise bir deneme için bir test yapılır, testler pahalı değilse bir deneme için birden fazla deney yapılır. Deney sonuçlarının kaydedilmesinde en iyi yöntem, bilgisayar ortamında hazırlanan formların kullanılmasıdır. Örneğin Minitab Release 15 paket programı, deneyde kullanılması düşünülen tasarımı, ilgili menüden girildiği takdirde, deney sonuçlarının kaydedilmesi için hazır bir form vermektedir.

Faktörlerin incelenip, en uygun faktör seviyelerinin tespit edilmesi için beş yöntem kullanılmaktadır.

Bunlar;

- Gözlem metodu
- Sıralama metodu
- Sütun farkları metodu

- Varyans analizi metodu ve
- Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi (FEGG) metodudur.

Bu metotlardan ilk ikisi önemli ve de verimli sonuç veremedikleri için pek kullanılmamaktadır. Bu son aşamada deney, seçilen en iyi şartlar altında bir kaç defa tekrarlanır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin ortalaması ve standart sapması bulunur.

Sonuçta;

- Eğer doğrulama deneyi sonucunda elde ettiğimiz değerler, tahmini değerlere yakınsa, daha doğrusu deney istenilen sonuçları vermeye başlamışsa çalışmayı sona erdiririz. Bulduğumuz sonuçları en uygun değerler olarak kabul ederiz.
- Eğer doğrulama deneyi sonucunda elde ettiğimiz değerler, tahmini değerlerden uzaksa o zaman modelde bir başarısızlık var demektir. Bu durumda proses yeni baştan tekrar incelenip hatalar tespit edilmeye çalışılır. Modelde geri besleme ile elde edilen bilgiler doğrultusunda uygun değişiklikler yapılarak model tekrar çalıştırılır.

4. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Çalışmaya başlamadan önce literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş olup HTEA ve Taguchi metotunun ortak olarak uygulandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürde yer alan ilgili çalışmaların bazıları aşağıda gösterilmiştir. Fakat aşağıda yer alan çalışmalarda HTEA ve Taguchi Metodu ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu literatür araştırmasından sonra 5. Bölümde HTEA ve Taguchi Metodunun ortak uygulandığı çalışma bir uygulama ile anlatılacaktır.

- * Layzell ve Ledbetter (1998), Hata türleri ve etkileri analizi yöntemini kaplama, döküm sistemlerinde uygulamış ve ortaya çıkan hata nedenleri ortadan kaldırılarak etkileri minimize edilmiştir [23].
- * Kmenta ve Ishii (1998), davranış modeli kullanarak jeneratör sistem aygıtlarının dinamik değişikliğini incelenmiş ve geliştirilmiş hata türleri ve etkileri analizi ile hata nedenlerini belirlenerek kontrol altına alınmıştır [24].
- * Kartal (2000), Çalışmasında sert maden uçlu kalem ile belirlenmiş kesme hızları, ilerleme miktarları ve talaş derinliklerinde St 33 çelik malzeme ve St 52 çelik malzeme işlenmiş deneylerden elde edilen veriler varyans analizi (ANOVA) ve Taguchi Metodu yardımıyla değerlendirilerek en uygun kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) bulunmuştur. Kesme parametrelerinin optimizasyonu ile çok önemli ölçüde yüzey kalitesinde artış ve takım aşınmasında iyileştirmeler tespit edilmiştir [25].
- * Pillay ve Wang (2002), denizcilik sektöründe müşteri memnuniyetini bozan etkileri HTEA yöntemiyle RÖS belirleyerek hataların etkilerini minimize etmek için bulanık küme yöntemiyle çözüm metotları geliştirmiştir [26].
- * Canıyılmaz ve Kutay (2003), Taguchi metodunun varyans analizi yöntemi ile faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yönteminin bir karşılaştırmasını yapmış ve

elde edilen sonuçlara dayalı olarak problemi, çok amaçlı karar verme problemi şeklinde tekrar modellemişler ve sonuçta Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yönetiminin varyans analizi yöntemine göre daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir [27].

- * Baynal ve Terzi (2004), çok sayıda kalite karakteristiğine sahip bir üretim sürecinin en iyileştirilmesi için, Taguchi metodu ve bulanık mantıklı performans göstergesi kullanmışlardır. Üretim parametreleri, çoklu kalite karakteristikleri göz önüne alınarak en iyileştirilmiştir [28].
- * Tang ve diğerleri (2004), plastik enjeksiyon işlemi yapan bir firmada kusurlu ürünün oluşmasına sebebiyet veren prosesteki parametreleri belirlemiş ve Taguchi metodu uygulayarak kusurlu ürün sayısını azaltmış, bunun sonucunda üründe ve proseste iyileştirme sağlamıştır [29].
- * Durhan (2006), Ankara sincan organize sanayi bölgesinde boru imalatı yapan bir firmada iş sağlığı ve güvenliğini için tehlike yaratan faktörleri HTEA yöntemi ile belirtmiş ve hata etkilerini minimize etmiştir [30].
- * Şanyılmaz (2006), Kaleporselen Elektroteknik Sanayi A.Ş.'de üretilen NH bıçaklı sigorta busonlarında meydana gelen çatlama probleminin çözümü için Taguchi yöntemi kullanılmış ve. L8(27) ortogonal dizini kullanılarak belirlenen şartlarda yapılan deneyler sonucunda, her bir deney konfigürasyonu için Ortalama ve S/N oranı değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler varyans analizi ve Faktör etkilerinin grafiksel gösterim metodu ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre buson gövdesinin basınca karşı mukavemetinin enbüyükleyen faktör seviyeleri tespit edilmiş ve bu sonuçlar Tam Faktöriyel deney tasarımı ile de doğrulanmıştır. Bununla birlikte, Taguchi yöntemi ile aynı sonuçlara daha az sayıda deneyle ulaşılmış olması Taguchi yönteminin Tam Faktöriyel deney tasarımına göre daha avantajlı olduğu gösterilmiştir [31].

- * Ölmez (2006), Bu çalışmada, dishekimliğinde uygulanan işlenmiş saf titanyum porselen adezyon bağlantısı için elektro erezyonla işlemede (EDM) taguchi deney tasarımı yöntemi uygulanarak optimum işleme parametreleri bulunmuştur [32].
- * Gencel (2007), Bu çalışmada, kalite ile ilgili problemlere neden olan değişkenlik kaynakları belirlenerek, kalite karakteristiklerinin en iyilenmesine olanak veren; gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin endüstriyel problemlerinde sık ve etkin olarak kullanılan taguchi yöntemlerini çok yanıtlı problemlerin eniyilemesinde kullanarak, endüstriyel bir uygulama bazında da yaptığı iyileştirmeleri ve etkinliği ortaya konulmuştur [33].
- * Canbolat (2008), Hata türü ve Etkileri Analizi'nde Bulanık Analitik Ağ Süreci uygulaması yapılmıştır. Böylece risk değerlendirmesi sürecinde belirsizlikle başa çıkabilmek için hata türleri ve hata kriterleri arasındaki ilişkilerin gösteriminde bulanık mantık yaklaşımına başvurulmuştur [35].
- * Yaylalı (2008), Çalışmada Hata Türü ve Etkileri Analizi' nin damla sulama borusu ve bu borularda kullanılan damlalıkların üretim prosesinde oluşabilecek olası hata türlerinin ortaya çıkarılması ve bu hataların etkilerinin araştırılarak, önceliklerinin belirlenerek gerekli önlemlerin alınması sonucunda hata etkilerinin azaltılması amacı ile yapılmış ve bu araştırmada dört adet üretim prosesinde oluşabilecek olası hata türleri ve bu hataların etkileri ortaya çıkarılarak, bu hataların meydana gelmeden önlenmesi için gerekli önleyici faaliyetler uygulanmaya çalışılmıştır. Uygulanan önleyici faaliyetler sayesinde altı adet hata türünün tümünün RÖS değeri 40'ın altına düşürülmüştür [36].

5. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ VE TAGUCHİ METODU ÇALIŞMASI : BONFIGLIOLI UYGULAMASI

Bu bölümde çalışmanın uygulandığı firma hakkında kısa bilgi verilip daha sonra HTEA yöntemi ve Taguchi Metodunun ortak olarak uygulandığı çalışma hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir. Daha sonra bu çalışmanın yararları sayısal verilerek ile kanıtlanarak çalışmanın önemi vurgulanacaktır.

5.1. Firma Tanımı



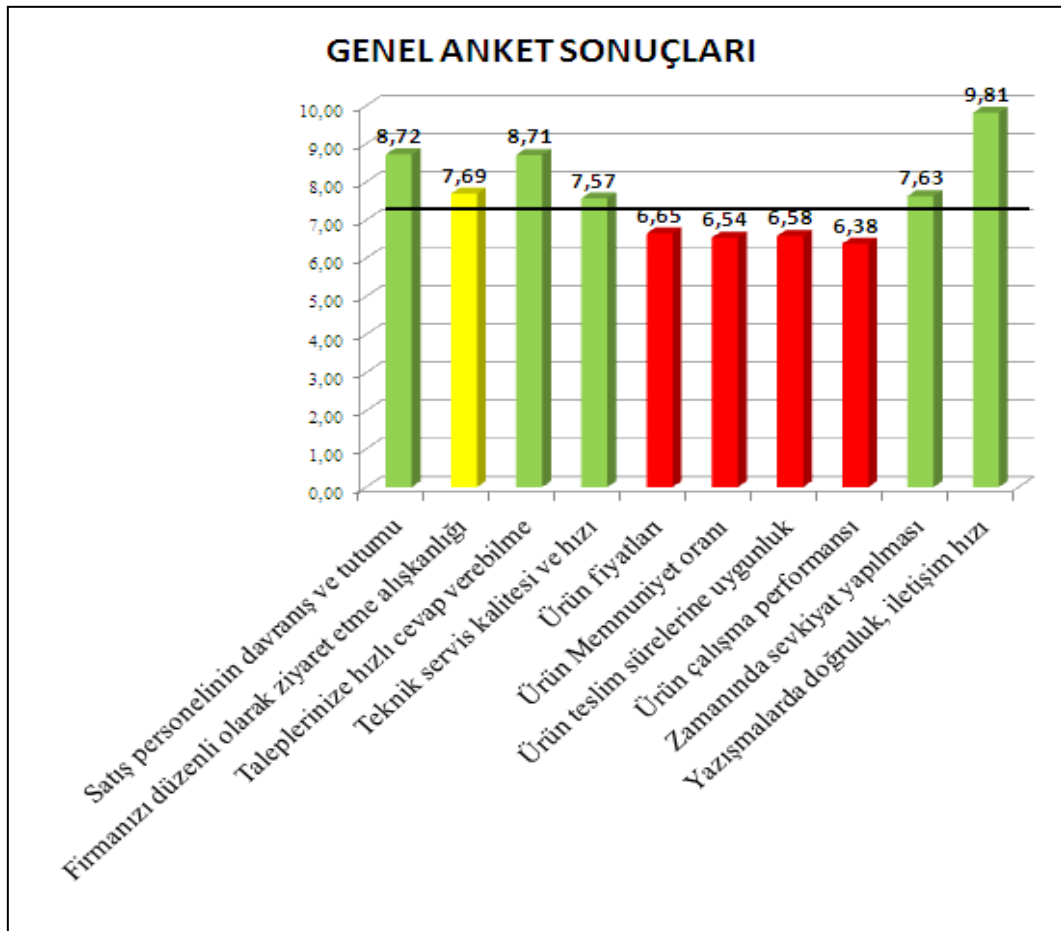
Resim 4.1. Bonfiglioli fabrikaları

Bonfiglioli şirketi 1956 yılında Clementino BONFIGLIOLI tarafından kurulmuştur. Kısa zamanda dünyanın en büyük şirketleri arasında yerini almıştır. Bonfiglioli firması güç aktarma ve otomasyon alanında hizmet vermekte olup yıllık cirosu 1 milyar euro civarındadır. Bunun en büyük sebebi ise; kalite felsefesine dayalı hizmet vermesidir.

5.2. Problemlerin Tespiti ve Grafiksel Gösterim Metodu ile Analizi

Redüktör montajı yapılan bir fabrikada, müşterilerden özellikle bir seride meydana gelen yağ kaçağı şikayetleri üzerine firmada bir çalışma yapılmasına karar alınmıştır. Bu çalışma için müşterilere yönelik Şekil 5.1.'de sonuçları gösterilen anket düzenlenmiştir.

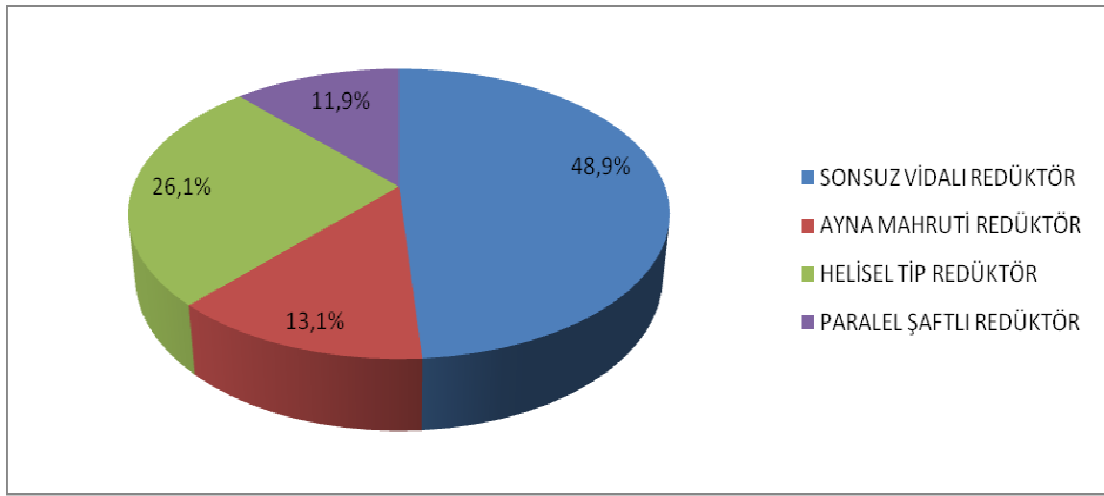
Bu anket müşteri memnuniyetini rahatsız eden sorunların tespiti ve önem düzeyinin belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Firma, müşterilerden her soru için 10 üzerinden bir değer vermesini istemiş ve çıkan sonuçların analizi içinde 7 değerinden az puanlar için kırmızı renk ile, 7 ve 8.5 değerleri arasında puanlar için sarı ve daha üstü için ise yeşil renk kullanmıştır. Firma 7 den aşağı puan alan sorunları inceleme kararı almıştır.



Şekil 5.1. Genel anket sonuçları

Şekil 5.2 'de de görüleceği üzere firmanın portföyünde olan şirketlerin yaklaşık %50 si sonsuz vidalı tip redüktör tercih etmekte ve genel anket sonuçlarına bakıldığında da 'Ürün çalışma performansı' 6,38 gibi en düşük değeri almıştır.

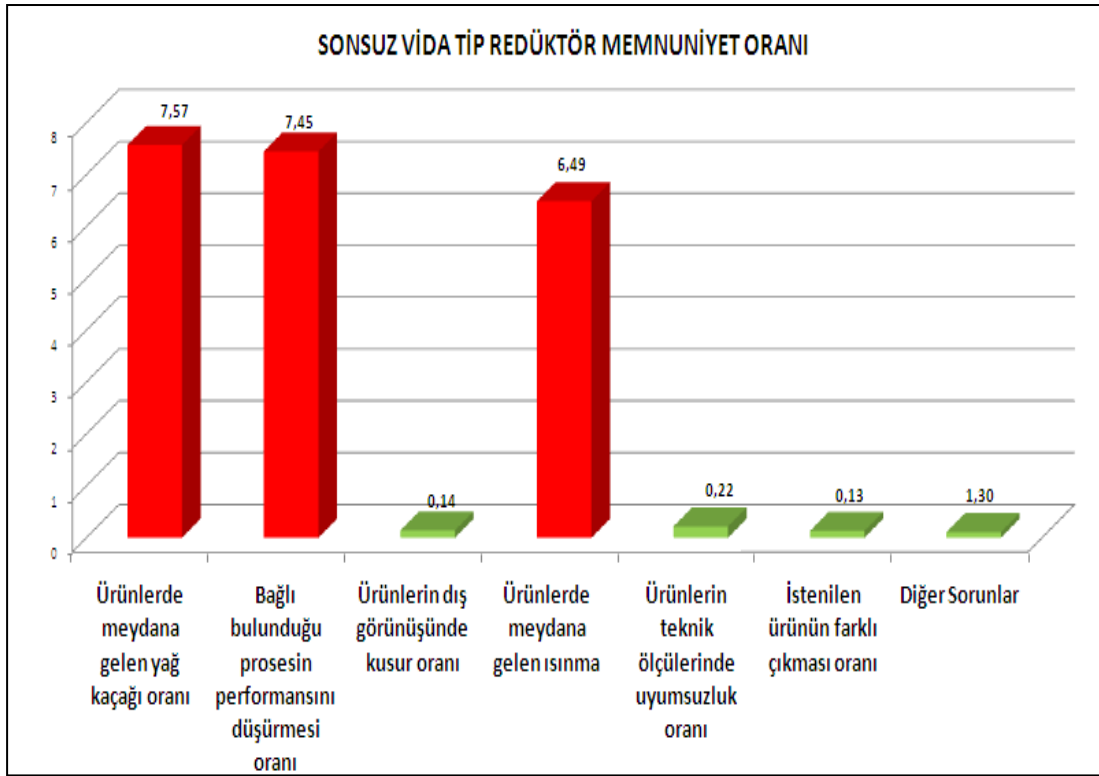
Firma çalışmaya ürünün çalışma performansına etki eden faktörlerin giderilmesinin öncelikli olduğunu saptamıştır. Ayrıca müşterilerin de şikayeti üzerine sonsuz vidalı tip redüktör üzerine çalışma başlatılmıştır.



Şekil 5.2. Ürünlerin kullanım oranları

Çalışmaya son bir anket yaparak başlanmıştır. Sonsuz vidalı ürün memnuniyet anketi düzenlenerek tüm kullanıcılara dağıtılmış ve sonuçlar Şekil 5.3 'de gösterilmiştir. Bu anket sonuçları bir önceki anket formatına göre müşterilerce puanlanarak değerlendirilmiş ve yeşil renkli olarak gösterilen durumların tehlike sınırları altında kaldığı, kırmızı renk ile boyalı durumların ise çözümlenmesi gereken hata kaynakları olarak dikkatte alınmıştır

Firma bundan sonraki aşamada anket sonuçlarında tespit edilen hata kaynaklarının HTEA yöntemini ile analiz etme kararı almıştır.



Şekil 5.3. Sonsuz vidalı ürün memnuniyet anketi

5.3. HTEA ile Problem Analizi

Müşteri şikayetleri doğrultusunda ortaya çıkan bu problemler HTEA yöntemi uygulanarak öncelik sıraları ve önem değerleri belirlenmiştir. Bu yöntemde prosesdeki bir sorunun üründe meydana getirdiği hatalar sebebiyle proses HTEA yöntemi uygulanmış ve başlıca hatalar Çizelge 5.1 'e aktarılarak RÖS değerleri hesaplanmıştır. Kural gereğince RÖS değeri 100'ün üstü değerler önem taşımaktadır ve bu değerlerin iyileştirilerek 100'ün altı bir değer alması sağlanmalıdır.

Analiz sonucunda meydana gelen hata kaynağının yağ kaçağından yani keçelerden meydana geldiği tespit edilmiştir. Keçeler için gerilme mukavemetinin 7 ila 60 N/mm arasında olması gerektiği bilinmektedir. Hatanın ürünleri boyama işleminin hemen ardından fırın işleminde meydana geldiği ve bu sebepten belirtilen değerlerin dışına çıktığı ön görülmektedir.

Hatayı tetikleyen prosesteki parametreler ;

- Kullanılan keçe markası
- Fırın sıcaklığı
- Fırında bekleme süresi
- Fırındaki redüktör sayısı olarak tespit edilmiştir.

Bu aşamadan sonra belirlenen parametrelerin kombinasyonları DT, Taguchi metodu uygulanarak keçe üzerindeki etkileri analiz edilecektir.

Çizelge 5.1. Proses HTEA

RİSK DEĞERLENDİRME FORMU														
RÖS<40; önlem almaya gerek yok, 40<RÖS<100; önlem alınabilir, RÖS>100; önlem alınması gerekli														
Ortaya Çıkma (hata olasılığı;derece): (1/2 ve fazla;10), (1/3;9), (1/8;8), (1/20;7), (1/80;6), (1/400;5), (1/2000;4), (1/15000;3), (1/150000;2), (1/1500000;1)														
Ağırlık (etki;derece): (uyarısız tehlike;10), (uyarısız tehlike;9), (çok yüksek;8), (yüksek;7), (orta;6), (düşük;5), (çok düşük;4), (küçük;3), (çok küçük;2), (çok;1)														
Saptama (fark edilebilirlik;derece): (fark edilemez;10), (çok az;9), (çok düşük;7), (düşük;6), (orta;5), (yüksek ortalama;4), (yüksek;2), (hemen hemen kesin;1)														
İşlem NO	Sıra NO	Tehlike Kodu	Problem Yaratıcı Parça (Yedek Parça)	Etkilenen Ürün (Nihai Ürün)	Yaşanan Sorun	Önem seviyesini belirleyen olay (Sonuç)	Ortaya Çıkma	Ağırlık Saptama	RÖS	İyileştirme Faaliyetleri	İyileştirme Planı (Varsa)	Yeni (O)	Yeni (A)	Yeni (S)
1	1	VFYK-1	Keçe	Sonsuz Vidalı Tip	Yağ Kaçağı	Redüktörün çabuk ısınması	7	7	6 294	Denev tasarımı	Taguchi			
2	2	VFYK-2		Sonsuz Vidalı Tip		Yüzeyde meydana gelen çatlak oranı	2	6	3 36	Önlem almaya gerek yok				
3	3	VFYK-3	Keçe	Sonsuz Vidalı Tip	Yağ Kaçağı	Çalışma sırasında meydana gelen ses seviyesinde artış	5	5	5 125	Denev tasarımı	Taguchi			
4	4	VFYK-4		Sonsuz Vidalı Tip		Ürünün teknik özelliklerinde bir farklılık	3	5	2 30	Önlem almaya gerek yok				
5	5	VFYK-5		Sonsuz Vidalı Tip		Ürünün çıkış devirlerinde farklılık	2	9	2 36	Önlem almaya gerek yok				
6	6	VFYK-6	Keçe	Sonsuz Vidalı Tip	Yağ Kaçağı	Dişlilerde Kırık/Çatlak Meydana gelmesi	5	8	5 200	Denev tasarımı	Taguchi			
7	7	VFYK-7		Sonsuz Vidalı Tip		Ürünün Dış görünüşünde bir kusur	2	9	2 36	Önlem almaya gerek yok				
8	8	VFYK-8	Keçe	Sonsuz Vidalı Tip	Keçenin Özelliğini Kaybetmesi	Yağ Kaçağı	7	10	4 280	Denev tasarımı	Taguchi			

5.4. Taguchi Metodu Uygulaması

Yukarıda belirlediğimiz parametrelerin değerleri Çizelge 5.2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Parametre değerleri

PARAMETRELER	ALT DEĞER	ÜST DEĞER
• Kullanılan keçe markası	ALMAN	İTALYAN
• Fırın sıcaklığı	60°C	90°C
• Fırında bekleme süresi	2,5 dk	3,5dk
• Fırındaki redüktör sayısı	50	100

Bu parametrelerin tam eşleme kombinezon sayısı 2^n ile elde edebiliriz. n = parametre sayısı olduğuna göre $2^4 = 16$ dır (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Tam eşleşme gösterimi

EŞLEŞME SIRO NO	KEÇE MARKASI	FIRIN SICAKLIĞI	FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI
1	ALMAN	60°C	2,5 dk	50
2	ALMAN	60°C	2,5 dk	100
3	ALMAN	60°C	3,5dk	50
4	ALMAN	60°C	3,5dk	100
5	ALMAN	90°C	2,5 dk	50
6	ALMAN	90°C	2,5 dk	100
7	ALMAN	90°C	3,5dk	50
8	ALMAN	90°C	3,5dk	100
9	İTALYAN	60°C	2,5 dk	50
10	İTALYAN	60°C	2,5 dk	100
11	İTALYAN	60°C	3,5dk	50
12	İTALYAN	60°C	3,5dk	100
13	İTALYAN	90°C	2,5 dk	50
14	İTALYAN	90°C	2,5 dk	100
15	İTALYAN	90°C	3,5dk	50
16	İTALYAN	90°C	3,5dk	100

Bu verilerden sonra Taguchi çalışması için ilk önce pilot deney L8 deneyi yapılacaktır. Daha sonra tam eşlemeli yani L16 deneyi yapılarak her iki deneydeki sonuçlar kıyaslanarak pilot deneylerin doğruluğu kanıtlanacaktır.

5.4.1. L8 Pilot deneyi

Çizelge 5.4 'de gösterilen eşlemelerin her biri için 5'er li gözlem yapılmış bu deneylerde kullanılan keçeler tedarikçiye gönderilerek gerilme mukavemet değerleri istenmiştir. Bu değerlerin ortalamaları ve standart sapmalarının logaritması alınarak Çizelge 5.5 'de gösterilmiştir.

Bulunan ortalama, optimum gerilme mukavemeti hesaplama çizelgesine aktarılarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonrasında anlamlı noktalar tespit edilmiştir. Kural gereğince anlamlı noktalar mukavemete etki eden önemli parametreler olarak bilinmektedir.

Bu parametrelerin birbirleri arasındaki etkileşimleri analiz edilerek parametrelere verilmesi gereken değerler belirlenmiştir.

Çizelge 5.4. L8 deney eşleme gösterimi

EŞLEŞME SIRO NO	KEÇE MARKASI	FIRIN SICAKLIĞI	FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI
1	ALMAN	60°C	2,5 dk	50
2	ALMAN	60°C	2,5 dk	100
3	ALMAN	90°C	3,5dk	50
4	ALMAN	90°C	3,5dk	100
5	ITALYAN	60°C	3,5dk	50
6	ITALYAN	60°C	3,5dk	100
7	ITALYAN	90°C	2,5 dk	50
8	ITALYAN	90°C	2,5 dk	100

Çizelge 5.5. L8 deney çizelgesi

KEÇE MÂRKASI	FIRIN SICAKLIĞI	FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI	GÖZLEM-1	GÖZLEM-2	GÖZLEM-3	GÖZLEM-4	GÖZLEM-5	ORTALAMA	STANDART SAPMA	LOG(S)
ALMAN	60°C	2,5 dk	50	26,782	35,764	32,621	23,755	35,015	30,787	5,2797	0,72261
ALMAN	60°C	2,5 dk	100	30,632	21,112	25,125	37,177	24,509	27,711	6,2973	0,79915
ALMAN	90°C	3,5dk	50	115,001	149,784	141,546	103,991	147,844	131,633	20,804	1,31815
ALMAN	90°C	3,5dk	100	132,462	135,742	155,267	137,746	142,007	140,645	8,875	0,94817
ITALYAN	60°C	3,5dk	50	49,909	68,352	50,561	41,09	63,114	54,605	10,9823	1,04069
ITALYAN	60°C	3,5dk	100	55,467	74,643	62,984	47,829	71,412	62,467	11,0884	1,04487
ITALYAN	90°C	2,5 dk	50	88,566	61,894	78,672	109,291	73,2	82,325	17,8896	1,2526
ITALYAN	90°C	2,5 dk	100	92,654	88,123	100,653	98,633	92,765	94,566	5,0498	0,70327

Çizelge 5.6. Optimum gerilme mukavemeti hesaplama çizelgesi

	Y	KEÇE MARKASI		FIRIN SICAKLIĞI		FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		KEÇE MARKASI FIRIN SICAKLIĞI		KEÇE MARKASI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		FIRIN SICAKLIĞI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI	
STANDART	GÖZLEM	A1	A2	150	200	2,5 DK	3,5 DK							50	100
SIRA	DEĞER	-1	1	-1	1	1	2	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
1	30,787	30,787		30,787		30,787			30,787		30,787		30,787	30,787	
2	27,711	27,711		27,711			27,711		27,711	27,711		27,711			27,711
3	131,633	131,633			131,633	131,633		131,633			131,633	131,633			131,633
4	140,645	140,645			140,645		140,645	140,645		140,645			140,645	140,645	
5	54,605		54,605	54,605		54,605		54,605		54,605			54,605		54,605
6	62,467		62,467	62,467			62,467	62,467			62,467	62,467		62,467	
7	82,325		82,325		82,325	82,325			82,325	82,325		82,325		82,325	
8	94,566		94,566		94,566		94,566		94,566		94,566		94,566		94,566
TOPLAM	624,739	330,776	293,963	175,57	449,169	299,35	325,389	389,35	235,389	305,286	319,453	304,136	320,603	316,224	308,515
SAVI	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ORTALAMA	78,09238	82,694	73,49075	43,8925	112,2923	74,8375	81,34725	97,3375	58,84725	76,3215	79,86325	76,034	80,15075	79,056	77,12875
ETKİ		-9,20325		68,39975		6,50975		-38,49025		3,54175		4,11675		-1,92725	
SIRA		2		7		6		1		4		5		3	

Çizelge 5.6’ da parametrelerin etkileri bulunarak küçükten büyüğe göre sıralandırılmıştır. Bu etkilere göre Normal olasılık dağılım grafiği çizilerek anlamlı noktalar tespit edilmiştir.



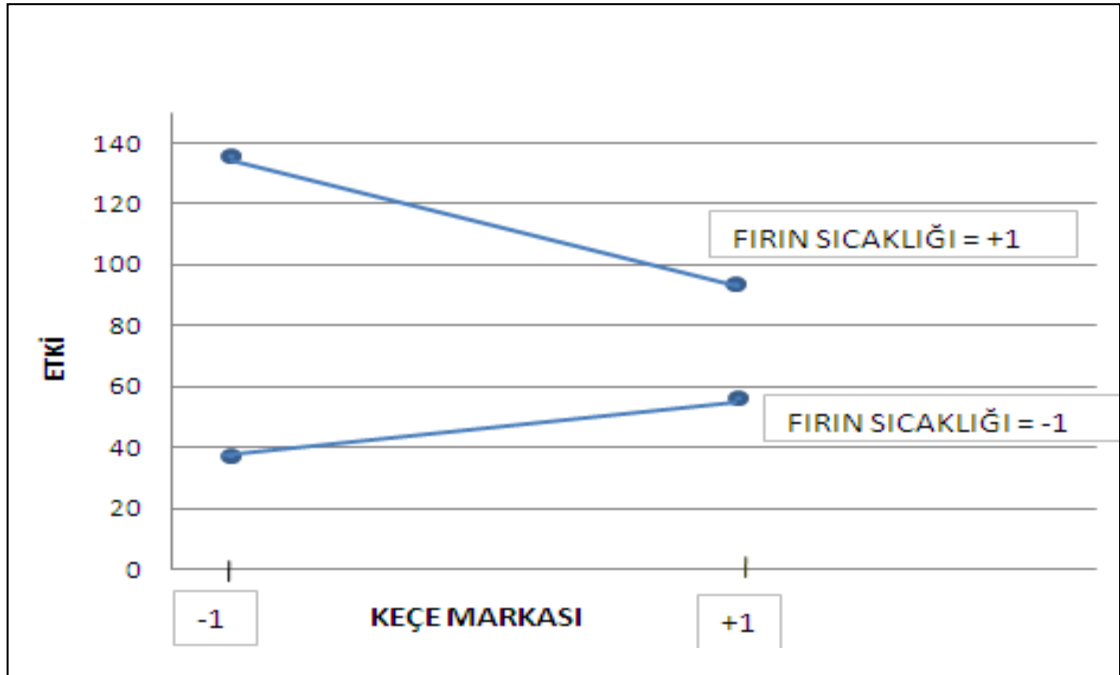
Şekil 5.4. Normal olasılık grafiği

Şekil 5.4 ’de keçe markası-fırın sıcaklığı ve fırın sıcaklığı anlamlı noktalar olarak tespit edilmiştir ve Çizelge 5.7 ’ de etkileşim değerleri bulunmuştur.

Çizelge 5.7. Keçe markası-Fırın sıcaklığı etkileşim çizelgesi

KEÇE MARKASI - FIRIN SICAKLIĞI ETKİLEŞİMİ		
KEÇE MARKASI	FIRIN SICAKLIĞI	
	60°C	90°C
ALMAN	$(30,787 + 27,711)/2 = 29,249$	$(131,633 + 140,645)/2 = 136,139$
İTALYAN	$(54,605 + 62,467)/2 = 58,536$	$(82,325 + 94,566)/2 = 88,4455$

Yukarıdaki etkilere göre etkileşim grafiği (Şekil 5.5) çizilmiştir



Şekil 5.5. Keçe markası – Fırın sıcaklığı etkileşim grafiği

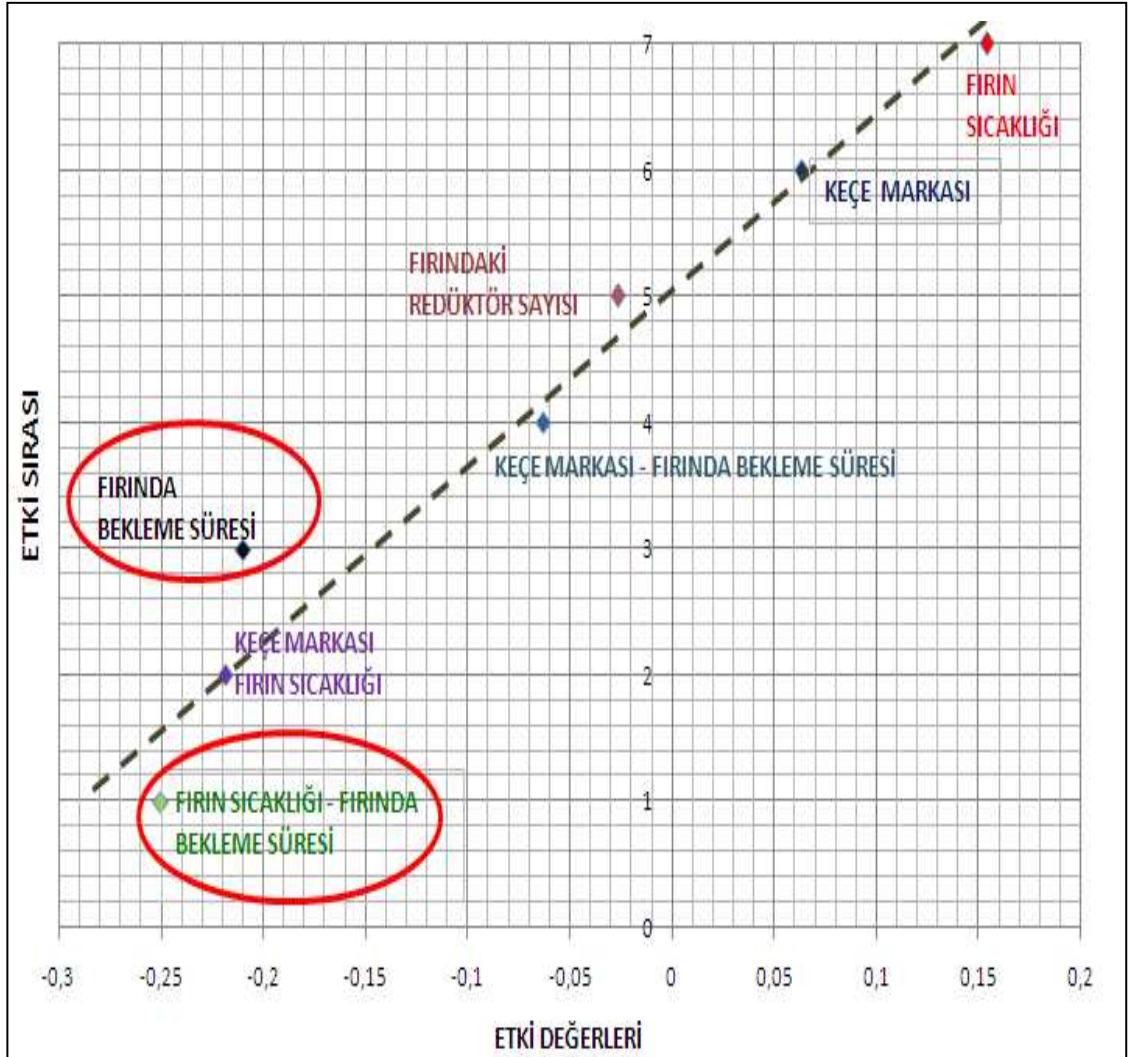
Keçe markası-fırın sıcaklığı etkileşim grafiği analizinde amacımız optimum gerilme mukavemetini sağlayan alt üst değerlerin belirlenmesidir. Bilindiği gibi keçeler için gerilme mukavemetinin 7 ila 60 N/mm arasında olması gerekmektedir. Bu değer arasında olan etki değerleri 29,249 ve 58,536 dır (Çizelge 5.7). Bu iki değer arasında da en optimum etki ise 29,249 dur.

Keçe markası alman (alt değer), Fırın sıcaklığı ise 60°C (alt değer) olması gerekmektedir.

L8 deneyi varyasyon analizinde optimum nokta için gerekli alt ve üst değerler yukarıda seçilmiştir. Bundan sonraki aşama varyasyonun azaltılması aşamasıdır. 5 deneyin gerilme mukavemetlerinin standart sapmaları Çizelge 5.8 'de gösterilmiştir. Çizelge de gösterilen etkilerin analizi Şekil 5.6' da, etkileşim çizelgesi ise Çizelge 5.9' da verilmiştir.

Çizelge 5.8. Varyasyonu hesaplama çizelgesi

	Y	KEÇE MARKASI		FIRIN SICAKLIĞI		FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		KEÇE MARKASI FIRIN SICAKLIĞI		KEÇE MARKASI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		FIRIN SICAKLIĞI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI	
		ALMAN	İTALYAN	60°C	90°C	2,5 DK	3,5 DK							50	100
SIRA	DEĞER	-1	1	-1	1	1	2	-1	1	1	2	1	2	1	2
1	0,72261	0,72261		0,72261		0,72261			0,72261		0,72261			0,72261	
2	0,79915	0,79915		0,79915			0,79915		0,79915	0,79915		0,79915			0,79915
3	1,31815	1,31815			1,31815	1,31815		1,31815			1,31815				1,31815
4	0,94817	0,94817			0,94817		0,94817	0,94817		0,94817		0,94817		0,94817	
5	1,04069		1,04069	1,04069		1,04069		1,04069		1,04069		1,04069			1,04069
6	1,04487		1,04487	1,04487			1,04487	1,04487			1,04487			1,04487	
7	1,2526		1,2526		1,2526	1,2526			1,2526	1,2526		1,2526		1,2526	
8	0,70327		0,70327		0,70327		0,70327		0,70327		0,70327		0,70327		0,70327
TOPLAM	7,82951	3,78808	4,04143	3,60732	4,22219	4,33405	3,49546	4,35188	3,47763	4,04061	3,7889	4,41477	3,41474	3,96825	3,86126
SAYI	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ORTALAMA	0,978689	0,94702	1,010358	0,90183	1,055548	1,083513	0,873865	1,08797	0,869408	1,010153	0,947225	1,103693	0,853685	0,992063	0,965315
ETKİ		0,0633375		0,1537175		-0,2096475		-0,2185625		-0,0629275		-0,2500075		-0,0267475	
SIRA		6		7		3		2		4		1		5	

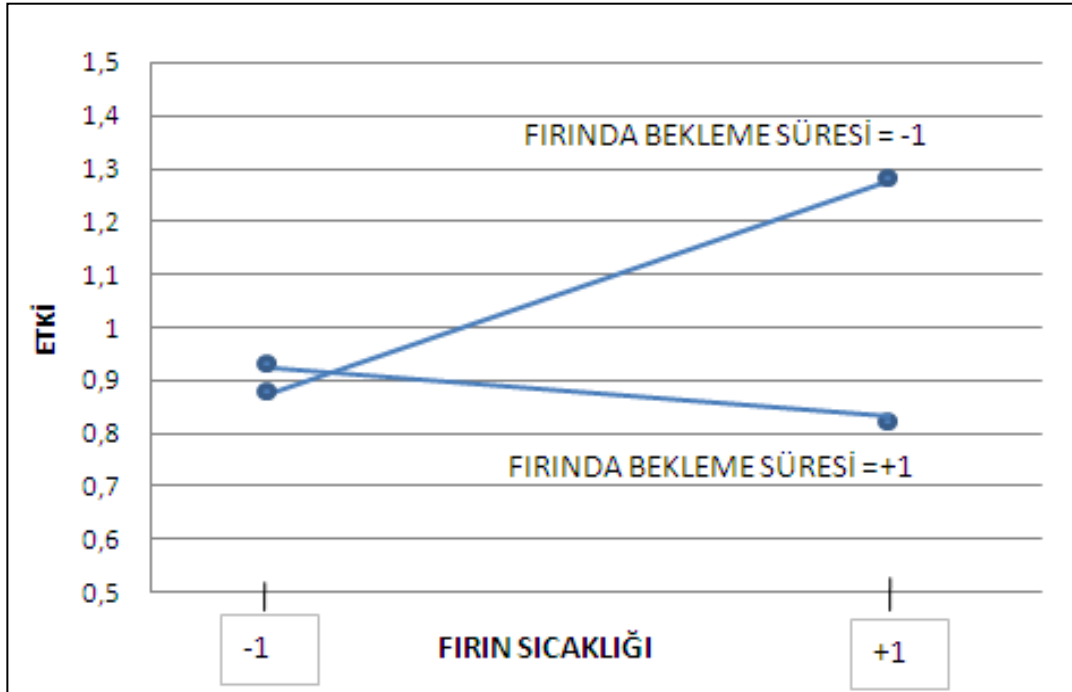


Şekil 5.6. LOG (S) Normal olasılık grafiği

Şekil 5.6 'da görüldüğü üzere fırında bekleme süresi ile fırın sıcaklığı-fırında bekleme süresi noktaları eğriden uzaklığı sebebiyle anlamlı noktalar olarak seçilmiştir. Bu noktaların etkileşim değerleri Çizelge 5.9 'da, etkileşim grafiği ise Şekil 5.7 'de verilmektedir.

Çizelge 5.9. Fırın sıcaklığı-Fırında bekleme süresi etkileşim çizelgesi

FIRIN SICAKLIĞI - FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		
FIRIN SICAKLIĞI	FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	
	2,5 dk	3,5 dk
60°C	$(0,72261+1,04069)/2$ =0,88165	$(0,79915+1,04487)/2$ = 0,92201
90°C	$(1,31815+1,2526)/2$ = 1,285375	$(0,94817 + 0,70327)/2$ = 0,82572



Şekil 5.7. Fırın sıcaklığı-Fırında bekleme süresi etkileşim grafiği

Fırın sıcaklığı-Fırında bekleme süresi etkileşim grafiği analizinde etki değerleri incelendiğinde amaç varyasyonu minimize etmek olduğundan minimum değer olan 0,82572 seçilir. Fakat bu değeri sağlayanlar parametrelerin üst sınırları olduğundan bunların seçilmesi varyasyonu azaltsa da optimum ortalama noktayı arttıracığından seçilmez; ikinci en küçük değer olan 0,88165 seçilir. Bu şekilde hem varyans minimize edilmiş hemde optimum nokta sağlanmış olur.

Fırın sıcaklığı 60°C (alt değer) , Fırında bekleme süresi ise 2,5 dk (alt değer) olması gerekmektedir.

Pilot deneyden elde edilen sonuçlar L16 tam eşlemeli deneyi ile kıyaslanarak doğruluğu analiz edilecektir.

5.4.2. L16 deneyi

L8 deneyi için yapılan tüm çalışmalar L16 deneyi içinde yapılmıştır. Bu kapsamda Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11 hazırlanmıştır. Çizelge 5.11 'de hesaplanan etkiler küçükten büyüğe sıralandırırlarak Şekil 5.8 elde edilmiştir. Şekil 5.8 'de gösterilen normal olasılık grafiği incelendiğinde doğruya uzak olan 4 nokta saptanmıştır.

Bu noktalar;

- * Keçe markası-Fırında bekleme süresi etkileşim noktası
- * Fırın sıcaklığı-Fırında bekleme süresi
- * Fırın sıcaklığı
- * Fırında bekleme süresi noktalarıdır.

Bu belirlenen noktaların etkileşim çizelgesi Çizelge 5.12 ' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. L16 deney çizelgesi

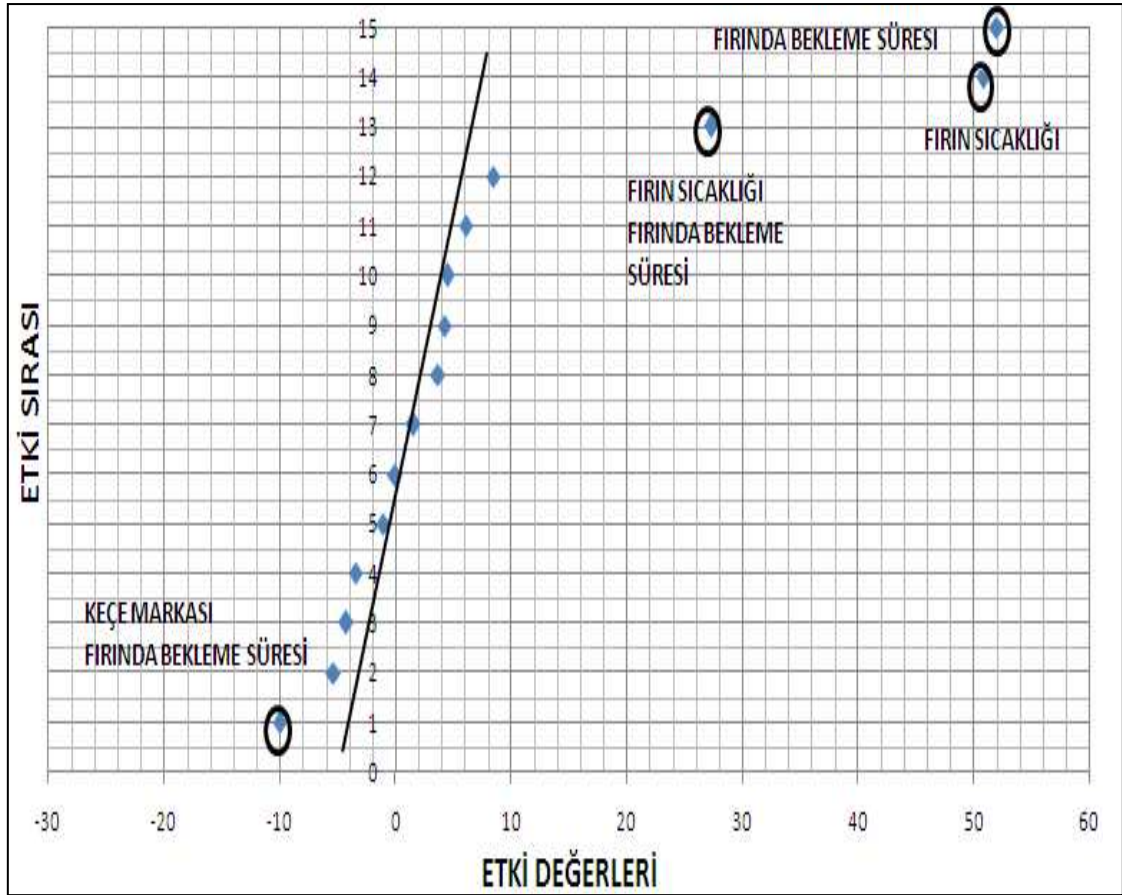
KEÇE MARKASI	FIRIN SICAKLIĞI	FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI	GÖZLEM-1	GÖZLEM-2	GÖZLEM-3	GÖZLEM-4	GÖZLEM-5	ORTALAMA	STANDART SAPMA	LOG(S)
ALMAN	60°C	2,5 dk	50	33,842	47,723	41,043	38,86	48,677	42,029	6,2181	0,79366
ALMAN	60°C	2,5 dk	100	43,653	58,766	53,613	52,868	65,846	54,949	8,1705	0,91225
ALMAN	60°C	3,5 dk	50	61,002	72,777	89,186	79,63	84,822	77,483	11,0589	1,04371
ALMAN	60°C	3,5 dk	100	77,274	69,348	97,748	87,275	69,931	80,315	12,1419	1,08429
ALMAN	90°C	2,5 dk	50	54,487	54,905	72,928	65,114	58,583	61,203	7,8167	0,89303
ALMAN	90°C	2,5 dk	100	49,832	62,522	74,903	66,877	74,918	65,81	10,4029	1,01716
ALMAN	90°C	3,5 dk	50	152,725	148,609	159,672	158,931	171,146	158,217	8,5478	0,93186
ALMAN	90°C	3,5 dk	100	159,632	163,613	143,004	150,803	161,514	155,713	8,6175	0,93538
İTALYAN	60°C	2,5 dk	50	36,631	42,517	52,765	47,112	48,823	45,57	6,2039	0,79267
İTALYAN	60°C	2,5 dk	100	64,151	65,898	73,366	65,506	87,296	71,243	9,6693	0,9854
İTALYAN	60°C	3,5 dk	50	77,056	73,515	88,047	82,006	74,506	79,026	6,0196	0,77957
İTALYAN	60°C	3,5 dk	100	68,622	74,465	80,724	79,218	74,846	75,575	4,7406	0,67583
İTALYAN	90°C	2,5 dk	50	82,861	91,264	96,083	93,646	81,926	89,156	6,4126	0,80704
İTALYAN	90°C	2,5 dk	100	90,541	84,822	92,909	101,597	88,134	91,601	6,339	0,80202
İTALYAN	90°C	3,5 dk	50	144,721	156,964	154,157	160,658	145,803	152,461	6,9746	0,84352
İTALYAN	90°C	3,5 dk	100	153,511	154,522	166,234	158,667	158,315	158,25	5,007	0,69957

Çizelge 5.11. Optimum gerilme mukavemeti hesaplama çizelgesi

	GÖZLEM DEĞERİ	KEÇE MARKASI		FIRIN SICAKLIĞI		FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		KEÇE MARKASI FIRIN SICAKLIĞI		KEÇE MARKASI FIRINDAKİ REDÜKTÖR SÜRESİ		KEÇE MARKASI FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		FIRIN SICAKLIĞI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	
		ALMAN	İTALYAN	60°C	90°C	2,5 DK	3,5 DK	50	100	A1	A2	A1	A2	A1	A2
STANDART															
SIRA		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	42,029	42,029		42,029		42,029		42,029			42,029		42,029		42,029
2	54,949	54,949		54,949		54,949		54,949			54,949		54,949		54,949
3	77,483	77,483		77,483		77,483		77,483		77,483		77,483		77,483	
4	80,315	80,315		80,315		80,315		80,315		80,315		80,315		80,315	
5	61,203	61,203		61,203		61,203		61,203		61,203		61,203		61,203	
6	65,81	65,81		65,81		65,81		65,81		65,81		65,81		65,81	
7	158,217	158,217		158,217		158,217		158,217		158,217		158,217		158,217	
8	155,713	155,713		155,713		155,713		155,713		155,713		155,713		155,713	
9	45,57	45,57		45,57		45,57		45,57		45,57		45,57		45,57	
10	71,243	71,243		71,243		71,243		71,243		71,243		71,243		71,243	
11	79,026	79,026		79,026		79,026		79,026		79,026		79,026		79,026	
12	75,575	75,575		75,575		75,575		75,575		75,575		75,575		75,575	
13	89,156	89,156		89,156		89,156		89,156		89,156		89,156		89,156	
14	91,601	91,601		91,601		91,601		91,601		91,601		91,601		91,601	
15	152,461	152,461		152,461		152,461		152,461		152,461		152,461		152,461	
16	158,25	158,25		158,25		158,25		158,25		158,25		158,25		158,25	
TOPLAM	1458,601	695,719	762,882	526,19	932,411	521,561	937,04	705,145	753,456	712,357	746,244	769,298	689,303	620,169	838,432
SAYI	16	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ORTALAMA	91,16256	86,96488	95,36025	65,77375	116,5514	65,19513	117,13	88,143125	94,182	89,04463	93,2805	96,16225	86,162875	77,521125	104,804
ETKİ		8,39538		50,77763		51,93488		6,03888		4,23588		-9,99937		1,57513	27,28288
SIRA		12		14		15		11		9		1		7	13

Çizelge 5.11. (Devam) Optimum gerilme mukavemeti hesaplama çizelgesi

FIRIN SICAKLIĞI FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI	FIRINDA BEKLEME SÜRESİ FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		KEÇE MARKASI FIRIN SICAKLIĞI FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		KEÇE MARKASI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		FIRIN SICAKLIĞI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		KEÇE MARKASI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		FIRIN SICAKLIĞI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2
	42,029		42,029		42,029		42,029		42,029		42,029	42,029
54,949		54,949			54,949		54,949		54,949		54,949	
	77,483	77,483		77,483		77,483		77,483		77,483		
80,315			80,315		80,315		80,315		80,315			80,315
61,203			61,203		61,203		61,203		61,203		61,203	
	65,81	65,81		65,81		65,81		65,81		65,81		65,81
158,217		158,217		158,217		158,217		158,217		158,217		158,217
	155,713		155,713		155,713		155,713		155,713		155,713	
	45,57		45,57		45,57		45,57		45,57		45,57	
71,243		71,243		71,243		71,243		71,243		71,243		71,243
	79,026	79,026		79,026		79,026		79,026		79,026		79,026
75,575			75,575		75,575		75,575		75,575		75,575	
89,156			89,156		89,156		89,156		89,156		89,156	
	91,601	91,601		91,601		91,601		91,601		91,601		91,601
152,461		152,461		152,461		152,461		152,461		152,461		152,461
	158,25		158,25		158,25		158,25		158,25		158,25	
743,119		750,79	707,811		746,266	712,335		733,591	725,01	711,578	747,023	714,555
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
92,889875	89,43525	93,84875	88,476375		93,28325	89,041875		91,18375	90,62625	88,94725	93,377875	89,319375
-3,45463		-5,37238			-4,24137			-0,04237	-1,07163		4,43063	3,68638
4		2		3		6	5	10		8		

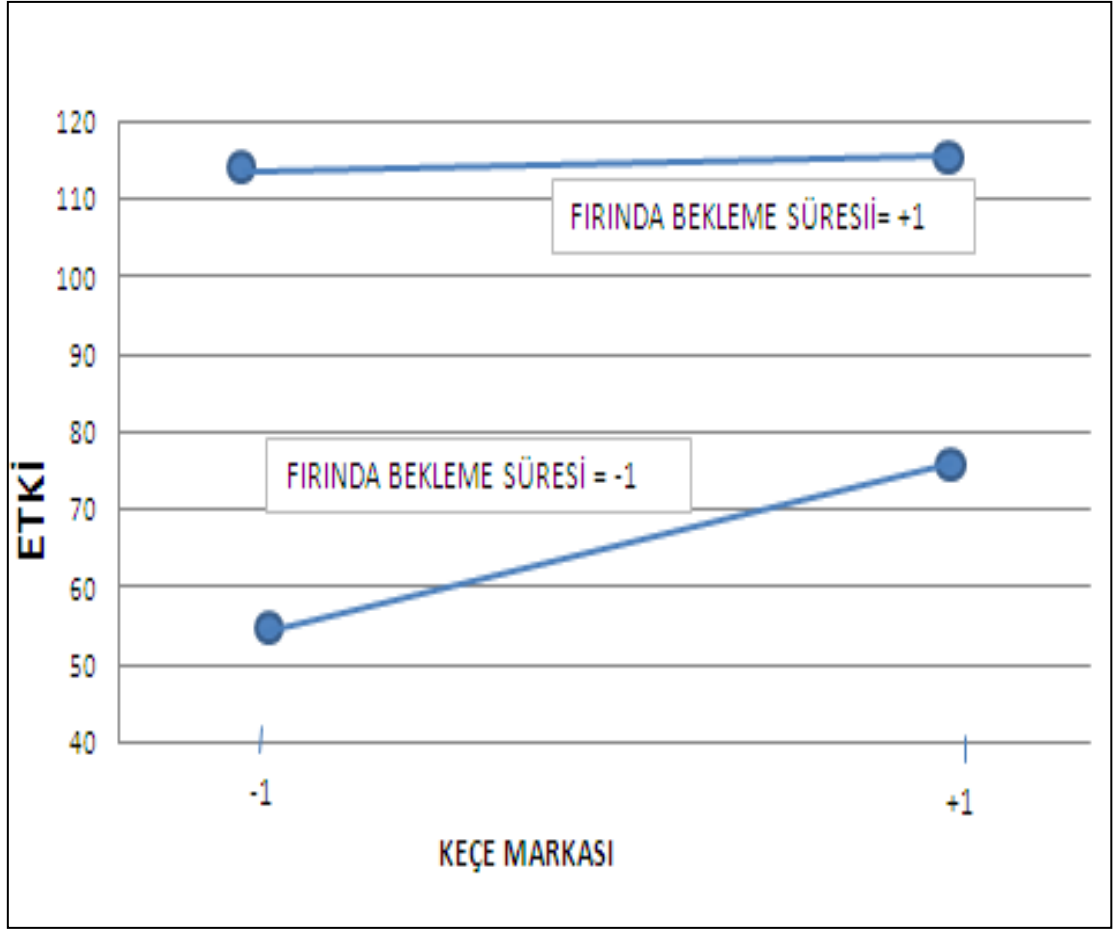


Şekil 5.8. Normal olasılık grafiği

Çizelge 5.12. Keçe markası-Fırında bekleme süresi etkileşim çizelgesi

KEÇE MARKASI - FIRINDA BEKLEME SÜRESİ ETKİLEŞİMİ		
KEÇE MARKASI	FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	
	2,5 dk	3,5 dk
Alman	$(42,029 + 54,949 + 61,203 + 65,81)/4 = 55,99525$	$(77,483 + 80,315 + 158,217 + 155,713)/4 = 117,932$
İtalyan	$(45,57 + 71,243 + 89,156 + 91,601)/4 = 74,391$	$(79,026 + 75,575 + 152,461 + 158,25)/4 = 116,328$

Etkileşim grafiği ise Şekil 5.9 'da verilmektedir.



Şekil 5.9. Keçe markası-Fırında bekleme süresi etkileşim grafiği

Grafik incelenecek olursa optimum aralık içerisinde kalan değer 55,99525 dir.

Bu noktayı veren parametre sınırlar ise;

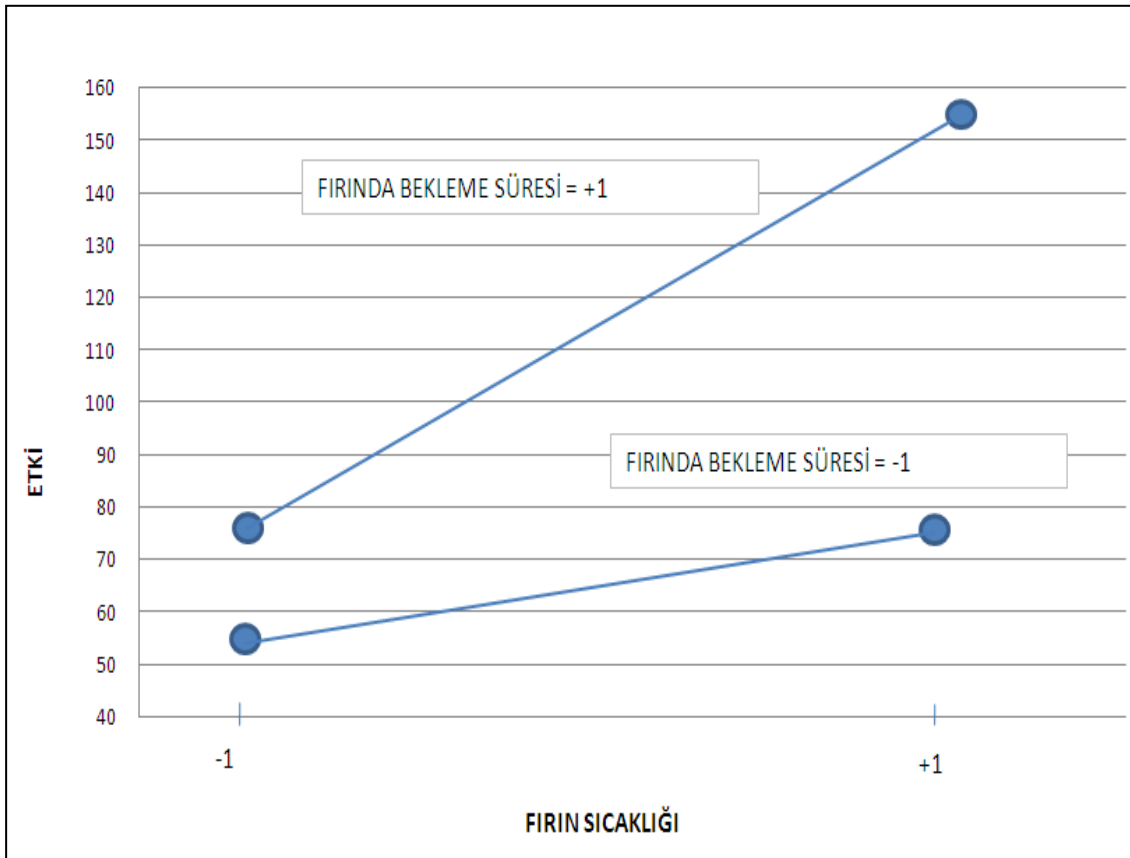
*Keçe markası için alt sınır yani Alman keçe

*Fırında bekleme süresi için alt sınır yani 2,5dk'dir.

Aynı şekilde Fırın sıcaklığı-Fırında bekleme süresi noktasının etkileşim çizelgesi (Çizelge 5.13) ve grafiği (Şekil 5.10) çizilmiştir.

Çizelge 5.13. Fırın sıcaklığı- Fırında bekleme süresi etkileşim çizelgesi

FIRIN SICAKLIĞI-FIRINDA BEKLEME SÜRESİ ETKİLEŞİMİ		
FIRIN SICAKLIĞI	FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	
	2,5 dk	3,5 dk
60 °C	$(42,029 + 54,949 + 45,57 + 71,243)/4 = 53,4475$	$(77,483 + 80,315 + 79,026 + 75,575)/4 = 78,09585$
90 °C	$(61,203 + 65,81 + 89,156 + 91,601)/4 = 76,9425$	$(152,461 + 158,25 + 158,217 + 155,713)/4 = 156,1585$



Şekil 5.10. Fırın sıcaklığı- Fırında bekleme süresi etkileşim grafiği

Grafik incelenecek olursa optimum aralık içerisinde kalan değer 53,44775 dir.

Bu noktayı veren parametre sınırlar ise;

* Fırın sıcaklığı için alt sınır yani 60 °C

* Fırında bekleme süresi için alt sınır yani 2,5dk'dir.

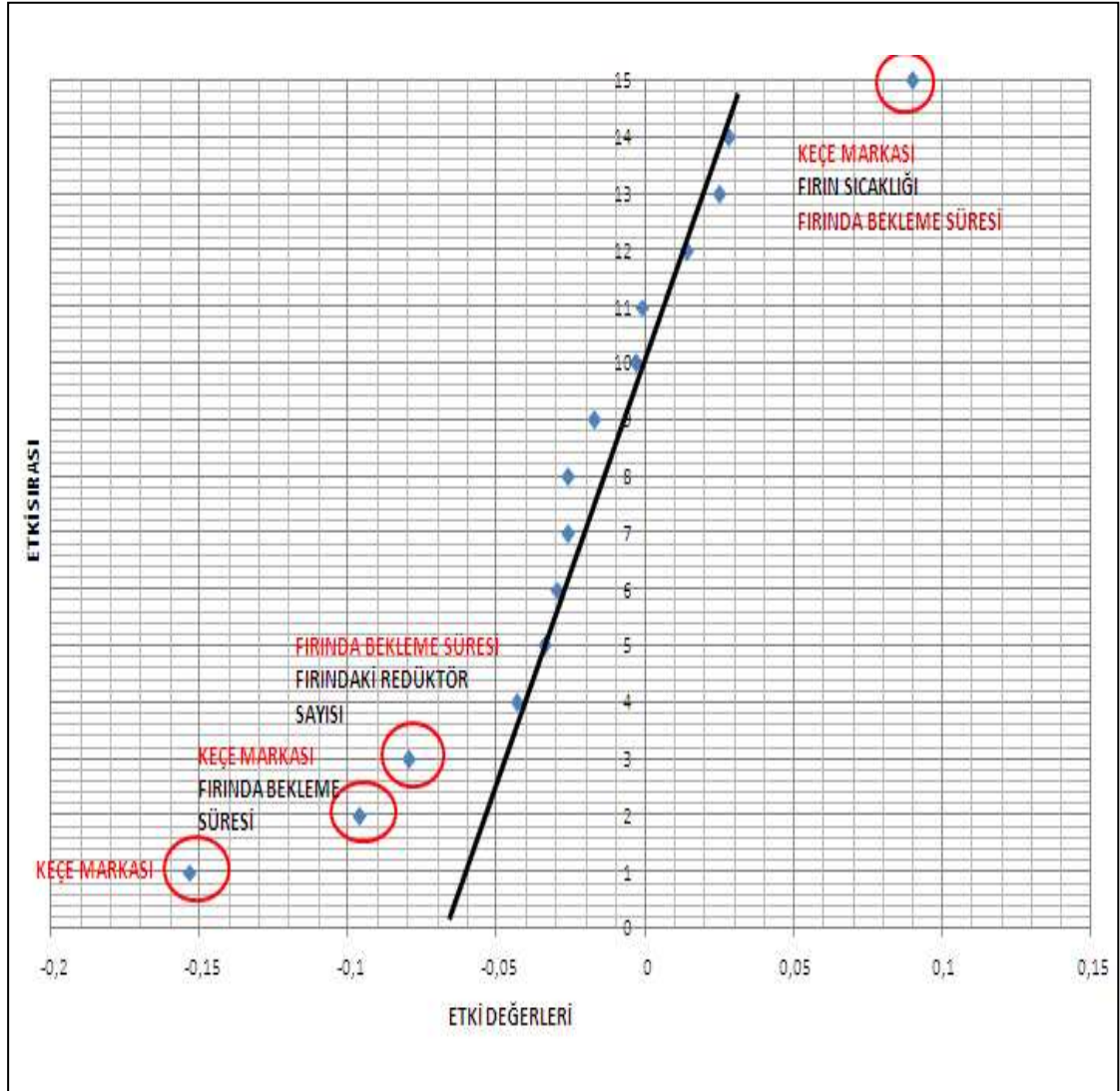
L16 deneyi varyasyon analizinde; L16 deneyinde L8 yönteminde olduğu gibi aynı yöntemler uygulanarak Çizelge 5.14 hazırlanmıştır. Çizelge 5.14 'deki etki değerleri Şekil 5.11 'e aktarılarak anlamlı noktalar tespit edilmiş ve bu noktaların birbirleri ile etkileşimlerini belirlemek amacıyla Şekil 5.12, Şekil 5.13, Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.14. Varyasyonu hesaplama çizelgesi

		KEÇE MARKASI		FIRIN SICAKLIĞI		FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		KEÇE MARKASI FIRIN SICAKLIĞI		KEÇE MARKASI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		KEÇE MARKASI FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		FIRIN SICAKLIĞI		FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	
STANDART	GÖZLEM	ALMAN	İTALYAN	60°C	90°C	2,5 DK	3,5 DK	50	100	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
SIRA	DEĞERİ	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0,79366	0,79366		0,79366		0,79366		0,79366			0,79366		0,79366		0,79366		0,79366		0,79366
2	0,91225	0,91225		0,91225		0,91225			0,91225		0,91225		0,91225		0,91225		0,91225		0,91225
3	1,04371	1,04371		1,04371			1,04371	1,04371			1,04371		1,04371		1,04371		1,04371		1,04371
4	1,08429	1,08429		1,08429			1,08429		1,08429		1,08429		1,08429		1,08429		1,08429		1,08429
5	0,89303	0,89303			0,89303	0,89303		0,89303		0,89303			0,89303		0,89303		0,89303		0,89303
6	1,01716	1,01716			1,01716	1,01716			1,01716		1,01716		1,01716		1,01716		1,01716		1,01716
7	0,93186	0,93186			0,93186	0,93186		0,93186		0,93186			0,93186		0,93186		0,93186		0,93186
8	0,93538	0,93538			0,93538	0,93538			0,93538		0,93538		0,93538		0,93538		0,93538		0,93538
9	0,79267		0,79267	0,79267		0,79267		0,79267		0,79267			0,79267		0,79267		0,79267		0,79267
10	0,9854		0,9854	0,9854		0,9854			0,9854		0,9854		0,9854		0,9854		0,9854		0,9854
11	0,77957		0,77957	0,77957			0,77957	0,77957		0,77957			0,77957		0,77957		0,77957		0,77957
12	0,67583		0,67583	0,67583			0,67583		0,67583		0,67583		0,67583		0,67583		0,67583		0,67583
13	0,80704		0,80704		0,80704	0,80704		0,80704		0,80704		0,80704		0,80704		0,80704		0,80704	
14	0,80202		0,80202		0,80202	0,80202			0,80202		0,80202		0,80202		0,80202		0,80202		0,80202
15	0,84352		0,84352		0,84352	0,84352		0,84352		0,84352		0,84352		0,84352		0,84352		0,84352	
16	0,69957		0,69957		0,69957		0,69957		0,69957		0,69957		0,69957		0,69957		0,69957		0,69957
TOPLAM	13,99696	7,61134	6,38562	7,06738	6,92958	7,00323	6,99373	6,88506	7,1119	7,0109	6,98606	7,38237	6,61459	7,17188	6,82508	7,10265	6,89431		
SAYI	16	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
ORTALAMA	0,87481	0,951408	0,798203	0,883423	0,866198	0,87540375	0,87421625	0,860633	0,8889875	0,876363	0,8732575	0,92279625	0,82682375	0,896485	0,853135	0,88783125	0,86178875		
ETKİ		-0,153215		-0,017225		-0,0011875		0,028355		-0,003105		-0,0959725		-0,04335		-0,0260425			
SIRA		1		9		11		14		10		2		4		7			

Çizelge 5.14. (Devam) Varyasyonu hesaplama çizelgesi

FIRIN SICAKLIĞI FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		FIRINDA BEKLEME SÜRESİ FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		KEÇE MARKASI FIRIN SICAKLIĞI FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		KEÇE MARKASI FIRIN SICAKLIĞI FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		KEÇE MARKASI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		FIRIN SICAKLIĞI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		KEÇE MARKASI FIRIN SICAKLIĞI FIRINDA BEKLEME SÜRESİ FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI	
A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0,79366		0,79366		0,79366		0,79366		0,79366		0,79366			0,79366
0,91225		0,91225			0,91225		0,91225		0,91225		0,91225	0,91225	
1,04371		1,04371		1,04371		1,04371			1,04371		1,04371	1,04371	
1,08429			1,08429		1,08429		1,08429		1,08429				1,08429
0,89303			0,89303		0,89303		0,89303		0,89303			0,89303	
1,01716		1,01716		1,01716		1,01716			1,01716				1,01716
0,93186		0,93186			0,93186		0,93186		0,93186				0,93186
0,93538		0,93538		0,93538		0,93538			0,93538			0,93538	
0,79267		0,79267			0,79267		0,79267		0,79267			0,79267	
0,9854		0,9854		0,9854		0,9854			0,9854				0,9854
0,77957		0,77957			0,77957		0,77957		0,77957				0,77957
0,67583		0,67583		0,67583		0,67583			0,67583			0,67583	
0,80704		0,80704		0,80704		0,80704			0,80704				0,80704
0,80202		0,80202			0,80202		0,80202		0,80202			0,80202	
0,84352		0,84352		0,84352		0,84352			0,84352			0,84352	
0,69957		0,69957			0,69957		0,69957		0,69957				0,69957
7,13322	6,86374	7,31549	6,68147	6,63761	7,35935	7,1017	6,89526	7,11687	6,88009	6,94101	7,05595	6,89841	7,09855
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0,8916525	0,8579675	0,91443625	0,83518375	0,82970125	0,91991875	0,8877125	0,8619075	0,88960875	0,86001125	0,867626	0,88199375	0,86230125	0,88731875
-0,033685		-0,0792525		0,0902175		-0,025805		-0,0295975		0,0143675		0,0250175	
5		3		15		8		6		12		13	

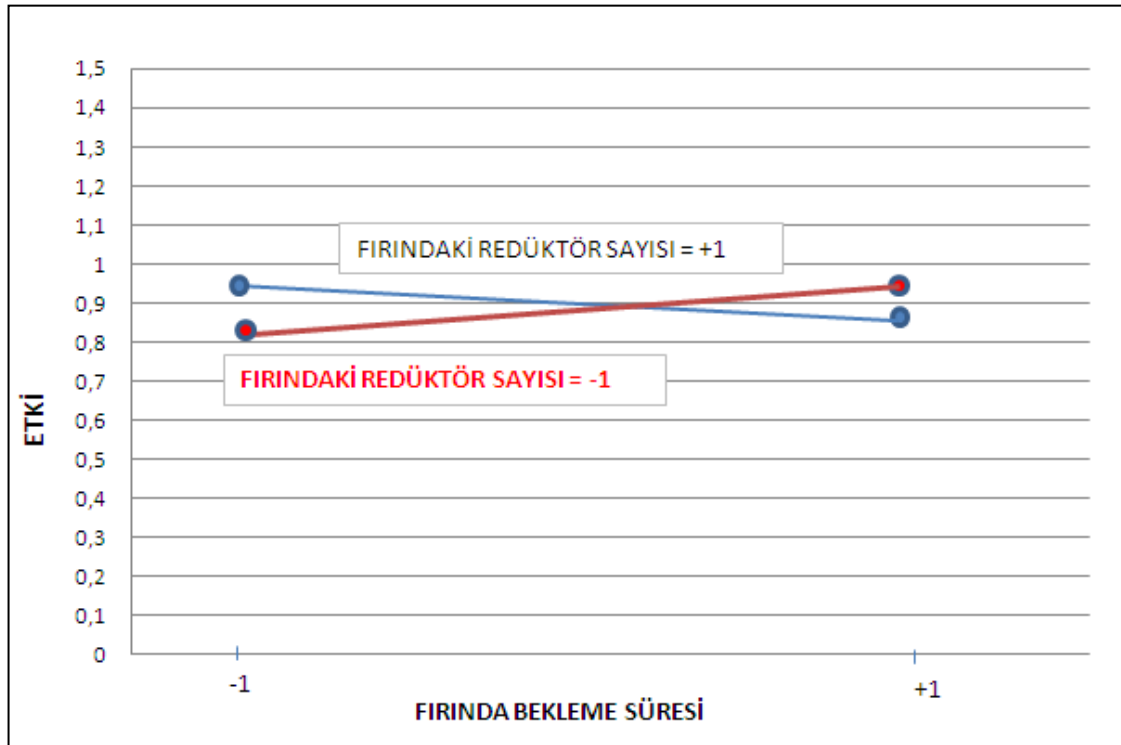


Şekil 5.11. LOG(S) Normal olasılık grafiği

Grafikte fırında bekleme süresi - fırındaki redüktör sayısı , keçe markası - fırında bekleme süresi , keçe markası , keçe markası - fırın sıcaklığı - fırında bekleme süresi noktaları anlamlı nokta olarak seçilir. Fakat Taguchi yaklaşımında 3 ve 4 lü etkileşimler hesaplamalarda dikkate alınmaz.

Çizelge 5.15. Fırında bekleme süresi-Fırındaki redüktör sayısı etkileşim çizelgesi

FIRINDA BEKLEME SÜRESİ-FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI		
FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	FIRINDAKİ REDÜKTÖR SAYISI	
	50	100
2,5 dk	$(0,79366+0,89303+0,79267+0,80704)/4$ =0,8215825	$(0,91225+1,01716+0,9854+0,80202)/4$ =0,9292075
3,5 dk	$(1,04371+0,9854+0,77957+0,84352)/4$ =0,915305	$(1,08429+0,93538+0,67583+0,69957)/4$ =0,8487675

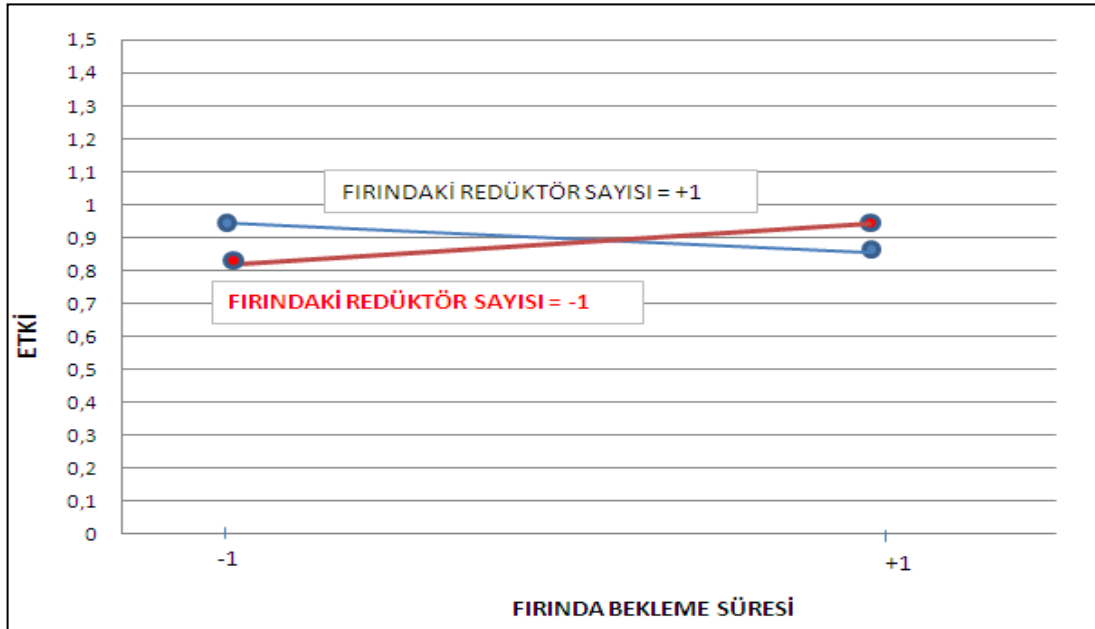


Şekil 5.12. Fırında bekleme süresi-Fırındaki redüktör sayısı etkileşim grafiği

Varyansı minimize etmede bu ikili etkileşimin çok önemli olmadığı görülmektedir (Şekil 5.12). Sayısal veriler birbirine çok yakın olduğundan diğer etkileşimlerdeki bariz farklılıklar dikkate alınarak karar verilmelidir.

Çizelge 5.16. Keçe markası-Fırında bekleme süresi etkileşim çizelgesi

KEÇE MARKASI - FIRINDA BEKLEME SÜRESİ		
KEÇE MARKASI	FIRINDA BEKLEME SÜRESİ	
	2,5 dk	3,5 dk
ALMAN	$(0,79366+0,91225+0,89303+1,01716)/4$ =0,9040175	$(1,04371+1,08429+0,89303+1,01716)/4$ = 1,0095475
İTALYAN	$(0,79267+0,9854+0,80704+0,80202)/4$ = 0,8467825	$(0,94817+0,70327+0,84352+0,69957)/4$ = 0,7986325



Şekil 5.13. Keçe markası –Fırında bekleme süresi etkileşim grafiği

Böyle yakın durumlar için karar verirken en küçük en iyi sonuca bu kadar yakın değerleri seçmek yerine hangi sınırların seçilmemesi gerektiğini belirlemek daha iyi sonuç verecektir.

Örneğin ; Fırında bekleme süresi = +1 olamaz. Yine bu etkileşimde de görüldüğü üzere yakın değerler yer almaktadır. Bu sebeple önceki etkileşimlerde belirlenen sınırlar seçilmeli ve proses bu şekilde düzenlenmelidir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kalite anlayışını benimsemeyen bir firma, müşterilerin kısa ve uzun vadede değişen talep ve isteklerini tespit etme noktasında yetersiz kalacaktır. Firma zaman içerisinde yeni müşteri kazanma zorluğu çekeceği gibi var olan müşterileri de kaybetme noktasına gelecektir. Firma bu ve benzeri durumlarla karşılaşmamak için kalite felsefesini başta yöneticiler olmak üzere benimsemeli, uygulama sürecinde her bölümün destek yeterliliğini kontrol etmelidir. Kalite felsefesi kapsamında yer alan yöntem ve metotlar firma içerisinde eksik görülen alanlarda uygulanmalı ve sürecin takibi yapılmalıdır. Şüphesiz ki artan rekabet koşullarında daha fazla değerli duruma gelen müşterilerin memnuniyetine yönelik bu çalışmalar pazardaki kalıcılığı arttıracak, pazar payının büyümesini sağlayacağı gibi firmanın süreç içerisinde eksiklerini görüp düzeltmesini de beraberinde getirecektir.

Çalışmanın yapıldığı firmada sonsuz vidalı tüp ürünlerdeki kalite eksikliği gerek yapılan anketlerle, gerekse HTEA yöntemi uygulanarak tespit edilmiştir. Çalışmaya firmanın cirosunun %80' nini oluşturan firmalara anket yapılarak başlanmış ve belirlenen sınır değerlerin üzerine çıkan şikayetler dikkate alınmıştır. Daha sonra bu şikayetlerin sebep olduğu olası hata kaynaklarının belirlenerek derecelendirmesi ve etkilerinin enküçüklenmesi için gerekli veriler HTEA çizelgesine aktarılmıştır. Çizelgede yer alan olası hata kaynaklarının herbiri için RÖS değeri hesaplanmıştır. RÖS değeri 100' ün üzerinde çıkan hata kaynaklarının büyük bir çoğunluğunun redüktörler de kullanılan keçelerin yağ kaçırmısından kaynaklanan sebepler olduğu saptanmıştır. Firma kalite standartlarına sahip ünlü iki markanın keçelerini kullanmaktadır. Bu sebeple hatanın oluşmasına sebep olan faktörlerin montajlanan redüktörlerin boyama işleminin hemen ardından fırınlama işleminde meydana geldiği tespit edilmiştir. Kurutma amacıyla fırında bekleyen redüktörlerin keçelerinde sıcaklık sebebiyle gerilme mukavemetinin 60 N/mm üzerinde çıktığı bu sebeple özelliğini yitirip redüktörün yağ kaçırmasına sebep olduğu belirlenmiştir. Hata kaynaklarının yer aldığı süreç saptanmış ve sürece etki eden değişkenlerin; kullanılan keçe markası, fırın sıcaklığı, fırında bekleme süresi ve fırındaki redüktör sayısı olduğu tespit edilmiştir.

Tespit edilen bu parametreler için taguchi metodu uygulanarak her bir parametreye alt ve üst değerler verilmiştir. L8 pilot deneyi yapılarak her bir durum için 5 erli deney yapılmıştır. Deneyler sonunda keçelerin mukavemet değerlerinin belirlenmesi için tedarikçilere gönderilmiş ve gelen bilgiler doğrultusunda deney, varyasyon analizleri de yapılarak tamamlandığında keçe mukavemetlerinin optimum nokta aralığında yani 7-60 N/mm içerisinde olabilmesi için fırın sıcaklığının 60°C (alt değer), fırında bekleme süresinin 2,5 dk (alt değer) ve keçe markası Alman (alt değer) seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra kesin çözümü sağlayacağımız tam eşleme yani L16 deneyi yapılmış ve optimuma en yakın değerler saptanmıştır. L8 deneyinde yapılan tüm çalışmalar L16 deneyi için de yapılarak proste yer alan parametrelere ait sınır seçimlerini fırın sıcaklığı 60°C (alt değer), fırında bekleme süresinin 2,5 dk (alt değer), fırındaki redüktör sayısının önemli olmadığı ve kullanılacak keçe markası ise Alman marka (alt değer) seçilmesi gerektiği görülmüştür. Sonuç da pilot deneydeki sonuçların doğruluğu da bu şekilde kanıtlanmıştır.

Çalışmada kanıtlanmış olan pilot deney, bize aynı zamanda tam eşleme deneyin yapılmasının zorunlu bir ihtiyaç olmadığını, aynı sonuçların pilot deneylerden de alınabileceği doğruluğunu sağlamıştır. Bu sayede firma bünyesinde pilot deneyler yapılarak optimum noktalara yaklaşılabılır ve deney maliyetleri mümkün olduğunca azaltılabilir. Çalışmada 4 parametre belirtilmişti ancak bu sürece göre 20 parametre de olabilir. Bu durumda pilot deneylerin sağladığı kazanç çarpıcı olarak ortaya çıkacaktır.

Çalışmanın son bölümünde bu sonuçların analizleri tekrar Çizelge 6.1 'e aktarılarak önceden tehlike sınırları içerisinde yer alan etkilerin istenilen değerlere indirgendiği gösterilmiştir. Bu iyileştirme firmaya maddi anlamda geri dönüşüm kazandırmanın ötesinde kalite düzeyini önemli ölçüde arttırmış olacaktır.

Literatürde benzerine rastlanmayan bu çalışma firma yöneticilerince beğenilmiş ve uygulamaya başlanmıştır. Gelecek yıl sonunda firmanın bir keçe ortalama 20-50 € ödediği ve sonsuz vidalı redüktör satış ortalaması ise yıllık 10.000 adet olduğu düşünülürse yıllık keçe harcaması 200.000 -500.000 € dolayında olacağı bu keçelerin de yaklaşık % 9-10 kısmının garanti kapsamında değiştiği varsayılırsa firma bu çalışma sayesinde 20.000- 50.000 €/yıl kazanç sağlayacağı varsayılmaktadır. Ayrıca bu çalışma ile hesaplanmamış fakat var olan lojistik ve işgücü ayrıca yağ kaçağı nedeniyle hasar görmüş dişli parçaların maliyetleri de enküçüklenecektir.

Günlük hayatta bile uygulanabilecek kalite yönetim araçları hataların belirlenip düzeltilmesine imkan sağlamanın yanında kalite seviyesini yükseltmeye olanak sağlamaktadır.

Çizelge 6.1. HTEA Sonuç çizelgesi

RÖS<40; önlem almaya gerek yok, 40≤RÖS≤100; önlem alınabilir, RÖS>100; önlem alınması gerekli		RİSK DEĞERLENDİRME FORMU														
Ortaya Çıkma (hata olasılığı;derece): (1/2 ve fazla;10), (1/3;9), (1/8;8), (1/20;7), (1/80;6), (1/400;5), (1/2000;4), (1/15000;3), (1/150000;2), (1/150000 ve az;1)																
Ağırlık (etik;derece): (uyarsız tehlike;10), (uyarsız tehlike;9), (çok yüksek;8), (yüksek;7), (orta;6), (düşük;5), (çok düşük;4), (küçük;3), (çok küçük;2), (yok;1)																
Saptama (fark edilebilirlik;derece): (fark edilmez;10), (çok az;9), (az;8), (çok düşük;7), (düşük;6), (orta;5), (yüksek;4), (yüksek;3), (hemen hemen kesin;1)																
İşlem NO	Sıra NO	Tehlike Kodu	Problem Yaratıcı Parça (Yedek Parça)	Etkilenen Ürün (Nihai Ürün)	Yaşanan Sorun	Önem seviyesini belirleyen olay (Sonuç)	Ortaya Çıkma	Ağırlık	Saptama	RÖS	İyileştirme Faaliyetleri	İyileştirme Planı (Varsa)	Yeni (O)	Yeni (A)	Yeni (S)	Yeni RÖS
1	1	VFYK-1	Keçe	Sonsuz Vidalı Tip	Yağ Kaçağı	Redüktörün çabuk ısınması	7	7	6	294	Deney tasarımı	Taguchi	2	7	6	84
2	2	VFYK-2		Sonsuz Vidalı Tip		Yüzeyde meydana gelen çatlak oranı	2	6	3	36	Önlem almaya gerek yok		2	6	3	36
3	3	VFYK-3	Keçe	Sonsuz Vidalı Tip	Yağ Kaçağı	Çalışma sırasında meydana gelen ses seviyesinde artış	5	5	5	125	Deney tasarımı	Taguchi	1	5	5	25
4	4	VFYK-4		Sonsuz Vidalı Tip		Ürünün teknik özelliklerinde bir farklılık	3	5	2	30	Önlem almaya gerek yok		3	5	2	30
5	5	VFYK-5		Sonsuz Vidalı Tip		Ürünün çıkış devirlerinde farklılık	2	9	2	36	Önlem almaya gerek yok		2	9	2	36
6	6	VFYK-6	Keçe	Sonsuz Vidalı Tip	Yağ Kaçağı	Dişlilerde Kırık/Çatlak Meydana gelmesi	5	8	5	200	Deney tasarımı	Taguchi	2	8	5	80
7	7	VFYK-7		Sonsuz Vidalı Tip		Ürünün Dış görünüşünde bir kusur	2	9	2	36	Önlem almaya gerek yok		2	9	2	36
8	8	VFYK-8	Keçe	Sonsuz Vidalı Tip	keçenin Özelliğini Kaybetmesi	Yağ Kaçağı	7	10	4	280	Deney tasarımı	Taguchi	1	10	4	40

KAYNAKLAR

1. Dailey, K.W., “The fmea handbook”, **DW Publishing**, Houston, 15-27 (2004).
2. Juran, J. M., “Juran’s quality control handbook”, **McGraw-Hill**, New York, 30- 37 (1989).
3. Juran, J. M., “Juran on leadership for quality”, **Free Pres**, New York, 69-75 (1989).
4. Kaiser P., “FMEA team instruction guide”, **McGraw-Hill**, New York, 47-56 (2002).
5. Kasa, H., Boran, S. ,“FMEA ve toplam kalite yönetimi için önemi”, **YA/EM Ulusal Kongresi**, İstanbul, 103-110 (1993).
6. Kusiak, A. ,“Concurrent engineering”, **John Wiley and Sons**, Inc., Canada, 105-109 (1993).
7. McDermott, R.E., Mikulak, R.J., Beauregard, M.R., “The basics of FMEA”, **Qulity Resources** , New Jersey, 63-67 (1996).
8. Mohr, R.R., “Failure mode and effect analysis” 8th Edition, **JE Jacobs Severdrup**, Wisconsin, 78-83 (2002).
9. Onodera, K., “Effective techniques of FMEA at each life-cycle stage” **HitachiLtd**, Morgantown, 101-107 (2001).
10. Özkılıç, Ö., “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri”, **Ajans-Türk Basın ve Basım A.Ş**, Ankara, 160-169 (2005).
11. Pillay, A., Wang, J. “Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning”, **Reliability Engineering and System Safety**, 79: 69–85 (2003).
12. Prasad, B., “Concurrent engineering fundamentals Volume I”, **Prentice-Hall Inc.**, New Jersey, 90-104(1996).
13. Price, C. J., Taylor, N. S., “Automated multiple failure FMEA”, **Reliability Engineering and System Safety** , New Jersey, 1–10, (2002).
14. Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, A., Arena F. “FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company”, **Food Control**, New York, 495–501 (2002).

15. Stamatis, D. H., “Failure mode and effects analysis – FMEA from theory to execution”, *ASQC Quality Pres*, Wisconsin, 28-34 (2003).
16. Canıyılmaz, E., “Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 11-14 (2001).
17. Bayrak, Z., “Taguchi Yönteminin Kalite Kontrolde Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 35-67 (1996).
18. Montgomery, D., C., “Design and Analysis of Experiments”, *John Wiley & Sons*, New York, (1991).
19. Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı Yaklaşımı, Taguchi Yaklaşımı”, *Literatür Yayıncılık*, Wisconsin, 22-46 (1997).
20. Saat , M., “Kalite Denetiminde Taguchi Yaklaşımı”, *Gazi Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3 (2) : 97-108 (2005).
21. Taguchi, G., Elsayed, A. and Hsiang, T., “Quality Engineering in Production Systems”, *McGraw Hill*, New York., 83-112(1989).
22. Peace, G.S., “Taguchi Methods”, *Chapman & Hall*, London, 45-67(1993).
23. Layzell, J., Ledbetter, S., “ FMEA Applied To Cladding Systems - Reducing The Risk Of Failure ”, *Journal of Materials Processing Technology*, 77 (4-2) : 33-39 (1998).
24. Kmenta, S., Ishii, K., “ Advanced Fmea Using Meta Behavior Modeling For Concurrent Design Of Products And Controls ”, *ASME Design Engineering Technical Conferences*, Atlanta, 13-16 (1998).
25. Kartal, M., S., “Alaşımsız Çeliklerin Cnc Torna Tezgahında işlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasının Taguchi Yöntemiyle incelenmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 31-66 (2000).
26. Pillay, A., Wang, J., “Modified Failure Mode And Effects Analysis Using Approximate Reasoning”, *Reliability Engineering & System Safety*, 79 (1) : 69-85 (2003).
27. Canıyılmaz, E., Kutay, F., “Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 18 (3) : 51-63 (2003).

28. Baynal, K., Terzi, Ü., “ Taguchi Yöntemi Ve Bulanık Mantık Parametrelerinin Eşzamanlı Eniyilenmesi”, *YA/EM' 2004 - Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi*, Adana, 85-96 (2004).
29. Tang, S., H., Tan, Y., J., Sapuan, S., M., Sulaiman, S., Ismail, N., Samin, R., “The Use Of Taguchi Method In The Design Of Plastic Injection Mould For Reducing Warpage”, *Journal of Materials Processing Technology*, 182 (1-3) : 418-426 (2007).
30. Durhan, D., “ Hata Türü Ve Etkileri Analizi (Fmea) Ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 41-56 (2006).
31. Şanyılmaz, M., “ Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi İle Bir Uygulama ” , Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 9-12 (2006).
32. Ölmez, A., M., “ İşlenmiş Saf Titanyum-Porselen Adezyon Bağlantısı İçin Elektro Erozyonla İşlemede (Edm) İşleme Parametrelerinin Tespit Edilmesi” , Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 45-50 (2006).
33. Gencel, İ., “ Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama ” , Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 41-43 (2007).
34. Canbolat, R., “ Hata Türü Ve Etkileri Analizi'nde Analitik Ağ Süreci Ve Bulanık Mantık Uygulaması ” , Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 2-14 (2008).
35. Yaylalı, Ç., “ Kalite İyileştirmede Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Üretim Sürecinde Uygulama ” , Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 12-16 (2008).

EKLER

EK-1 : Müşteri Memnuniyet anket örneği

.. / .. / 200.

Müşteri Memnuniyeti Anketi

Sayın İlgili;

Sizlere daha iyi hizmet verebilmek, çalışmalarımızı yönlendirebilmek amacı ile şirketimiz hakkındaki görüşlerinizi öğrenmek bizi mutlu edecektir. Ayırmış olduğunuz değerli zaman ve ilginiz için teşekkür ederiz.

GENEL		Puan	DERECELENDİRME	
1	Satış personelinin davranış ve tutumu		Çok iyi	9-10
2	Firmanızı düzenli olarak ziyaret etme alışkanlığı		İyi	7-8
3	Taleplerinize hızlı cevap verebilme		Orta	5-6
4	Teknik servis kalitesi ve hızı		Kötü	3-4
5	Ürün fiyatları		Çok kötü	0-2
6	Ürün Memnuniyet oranı			
7	Ürün teslim sürelerine uygunluk			
8	Ürün çalışma performansı			
9	Zamanında sevkiyat yapılması			
10	Yazışmalarda doğruluk, iletişim hızı			

Firma Adı :

Yetkili Kişi : Görevi:

Tel /Fax : e-mail:

Firmamız ile kaç yıldır çalışmaktasınız?

Düşünce ve önerileriniz :

Bizi başkalarını tavsiye eder misiniz? (Hayır ise neden?) EVET [] HAYIR []

(Lütfen bu anket formunu doldurduktan sonra, 0 312 385 47 39 no.'lu faksa, veya o.bayrakdar@bonfiglioli.com.tr e-posta adresine, Sayın Osman Muzaffer BAYRAKDAR Dikkatine geri gönderiniz. İyi Çalışmalar Diler, Teşekkür ederiz.)

EK-2 : Sonsuz vidalı ürün memnuniyet anket örneği

.. / .. / 200.

Müşteri Memnuniyeti ikinci Anketi

Sayın İlgili;

Daha önce sizi yapmış olduğumuz Genel anket sonuçları incelenmiş olup sonsuz vidalı ürün kullanıcılarına daha iyi hizmet verebilme ve sorunların daha iyi tespiti amacıyla ikinci bir anket yapılması kararı alınmıştır. Ayırmış olduğunuz değerli zaman ve ilginiz için teşekkür ederiz.

SONSUZ VİDALI ÜRÜN MEMNUNİYET ANKETİ		Puan
1	Ürünlerde meydana gelen yağ kaçağı oranı (Keçelerden,montaj yerlerinden)	
	Bağlı bulunduğu prosesin performansını düşürmesi oranı	
2	Ürünlerin dış görünüşünde kusur oranı	
3	Ürünlerde meydana gelen ısınma	
4	Ürünlerin teknik ölçülerinde uyumsuzluk oranı	
5	İstenilen ürünün farklı çıkması oranı	
6	Diğer sorunlar	

DERECELENDİRME	
Çok yüksek	9-10
Yüksek	7-8
Orta	5-6
Düşük	3-4
Çok düşük	0-2

Firma Adı :.....

Yetkili Kişi :..... Görevi:.....

Tel /Fax :..... e-mail:.....

Firmamız ile kaç yıldır çalışmaktasınız?

Düşünce ve önerileriniz :.....

Bizi başkalarını tavsiye eder misiniz? (Hayır ise neden?) EVET [] HAYIR []

(Lütfen bu anket formunu doldurduktan sonra, 0 312 385 47 39 no.'lu faksa, veya o.bayrakdar@bonfiglioli.com.tr e-posta adresine, Sayın Osman Muzaffer BAYRAKDAR Dikkatine geri gönderiniz. İyi Çalışmalar Diler, Teşekkür ederiz.)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAYRAKDAR, Osman Muzaffer
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.03.1986 Samsun
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 385 47 36
 Faks : 0 (312) 385 47 39
 e-mail : o.bayrakdar@bonfiglioli.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği Bölümü	2007
Lise	Samsun Fen Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2009	BONFIGLIOLI A.Ş.	Proje Yönetim Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce