

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TAŞYÜNÜ ÜRETİM TESİSİNDE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ  
İLE TAGUCHİ DENEY TASARIMININ BİRLİKTE UYGULANMASI**

**FATİH OKUMUŞ**

**KOCAELİ 2015**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TAŞYÜNÜ ÜRETİM TESİSİNDE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ**  
**ANALİZİ İLE TAGUCHİ DENEY TASARIMININ BİRLİKTE**  
**UYGULANMASI**

**FATİH OKUMUŞ**

**Yrd.Doç.Dr. Kasım BAYNAL**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Doç.Dr. Semra BORAN**  
**Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.**

**Yrd.Doç.Dr. Gülşen AYDIN KESKİN**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 20.02.2015**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Bu çalışmada; çok düşük kar marjları ile çalışmak zorunda olan günümüz işletmelerinde kalite, verimlilik ve maliyet hedefleri doğrultusunda hazırlanan Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ile Taguchi Deney Tasarımının ortak uygulamasına yer verilmiştir.

Bu tezin hazırlanmasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kasım BAYNAL'a, yüksek lisans eğitimim süresince maddi manevi destek olan Eryap A.Ş yönetimine, sonsuz yardımları ve destekleri için sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Şubat - 2015

Fatih OKUMUŞ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR .....	vii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT .....	ix
GİRİŞ.....	1
1. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ .....	4
1.1. Hata Türü ve Etkileri Analizinin Tanımı .....	4
1.2. HTEA'nin Tarihsel Gelişimi .....	6
1.3. HTEA'nin Amaçları.....	7
1.4. HTEA' nin Faydaları .....	8
1.5. HTEA'nin Uygulandığı Durumlar .....	9
1.6. HTEA İle İlgili Kavramlar .....	10
1.7. HTEA Çeşitleri .....	11
1.7.1. Sistem HTEA.....	13
1.7.2. Tasarım HTEA .....	13
1.7.3. Proses HTEA .....	15
1.7.4. Servis HTEA .....	16
1.8. HTEA Uygulama Yöntemi .....	16
1.8.1. HTEA kapsamının belirlenmesi .....	19
1.8.2. HTEA takımının kurulması .....	20
1.8.3. HTEA sürecinin incelenmesi.....	21
1.8.4. Beyin fırtınası ile olası hata türlerinin belirlenmesi .....	21
1.8.5. Her hata türü için potansiyel nedenlerin belirlenmesi.....	23
1.8.6. Potansiyel hata etkilerinin belirlenmesi .....	24
1.8.7. Mevcut kontrollerin belirlenmesi .....	25
1.8.8. Ortaya çıkma değerinin belirlenmesi .....	26
1.8.9. Ağırlık değerinin belirlenmesi .....	27
1.8.10.Saptama değerinin belirlenmesi .....	29
1.8.11.HTEA formu hazırlanması .....	30
1.8.12.Risk öncelik sayısının (RÖS) değerlendirilmesi .....	31
1.8.13.Önlem alınacak hata türlerinin belirlenmesi.....	32
1.8.14.Alınacak önlemlerin belirlenmesi ve uygulanması .....	33
1.8.15.HTEA uygulamasından sonra yeni RÖS değerlerinin belirlenmesi ..34	
2. DENEY TASARIMI VE TAGUCHİ YAKLAŞIMI .....	35
2.1. Deney Tasarımı .....	35
2.2. Deney Tasarımının Tarihsel Gelişimi .....	36
2.3. Deney Tasarımı Türleri .....	38
2.4. Taguchi Tasarımı .....	38
2.5. Taguchi Yaklaşımının Tarihsel Gelişimi.....	39
2.6. Taguchi Yönteminin Felsefesi .....	40
2.7. Taguchi'nin Üretim Kalite Sistemi.....	41
2.7.1. Çevrim içi (On-Line) kalite kontrol.....	42
2.7.2. Çevrim dışı (Off-Line) kalite kontrol .....	43
2.7.2.1. Sistem tasarımı .....	45

2.7.2.2. Parametre tasarımı .....	45
2.7.2.3. Tolerans tasarımı.....	46
2.8. Kayıp Fonksiyonu .....	47
2.9. Taguchi'nin Sinyal / Gürültü Oranları .....	49
2.10. Ortogonal Dizinler .....	50
2.11. Taguchi Deney Tasarımı Uygulama Adımları .....	51
2.11.1. Çözümü yapılacak problemin tanımlanması .....	54
2.11.2. Hedefin belirlenmesi.....	54
2.11.3. Performans karakteristiğinin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi..	55
2.11.4. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin ve bu faaktörlerin seviyelerinin tespit edilmesi .....	55
2.11.5. Mevcut faktörlerin kontrol ve hata(Gürültü/Noise)olarak ayrılması .....	56
2.11.6. Etkileşimlerin belirlenmesi .....	56
2.11.7. Deneye uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması.....	57
2.11.8. Performans istatistiklerinin belirlenmesi.....	58
2.11.9. Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi.....	58
2.11.9.1. Deneylerin tekrarlanma sayısı .....	59
2.11.9.2. Deneylerin yapılış sırası .....	59
2.11.10.Verilerin analizi.....	60
2.11.10.1. Sütun farkları metodu .....	60
2.11.10.2. Faktör etkilerinin grafiksel gösterim metodu.....	60
2.11.10.3. Varyans analizi metodu (Anova) .....	60
2.11.11.Doğrulama Deneyinin Yapılması .....	64
3. UYGULAMA .....	65
3.1. Uygulama Yapılan Firmanın Tanıtımı .....	65
3.2. Taşyünü Üretimi.....	66
3.3. Uygulama Adımları .....	69
3.3.1. Çalışmanın amacı ve kapsamı .....	69
3.3.2. Takımın kurulması.....	70
3.3.3. Beyin fırtınası ile olası hata türlerinin belirlenmesi .....	70
3.3.4. Ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerlerinin belirlenmesi.....	73
3.3.4.1. Ortaya çıkma değerinin belirlenmesi.....	73
3.3.4.2. Ağırlık değerinin belirlenmesi.....	75
3.3.4.3. Saptama değerinin belirlenmesi.....	76
3.3.5. Risk öncelik sayısının değerlendirilmesi .....	78
3.3.6. HTEA Yöntemiyle belirlenmiş hata türlerinin faktör seviyelerinin beyin fırtınası metoduyla belirlenmesi .....	79
3.3.6.1. Elyaf uzunluğu.....	80
3.3.6.2. Krimping.....	80
3.3.6.3. Bazalt ölçüleri .....	80
3.3.6.4. Dolomit miktarı .....	81
3.3.6.5. Disk hızları.....	81
3.3.6.6. Kömür miktarı .....	81
3.3.6.7. Bağlayıcı oranı .....	82
3.3.6.8. Oksijen miktarı.....	82
3.3.6.9. Etüv sıcaklığı .....	82
3.3.7. Taguchi deney tasarımı uygulaması .....	83
3.3.7.1. Bölgesel yoğunluk farkı için Taguchi analizi.....	84
3.3.7.2. Basma mukavemeti için Taguchi analizi .....	87
3.3.7.3. Taguchi analizi sonuçları .....	90
3.3.7.4. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile ideal faktörün belirlenmesi.....	91

3.3.7.5. Kontrol deneyinin yapılması.....	96
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	107

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Hata türü ve etkileri analizi (HTEA) çeşitleri .....	12
Şekil 1.2.	HTEA süreci .....	18
Şekil 1.3.	HTEA uygulanacak ana sürece ait sistem yapısı örneği .....	21
Şekil 1.4.	HTEA formu örneği .....	31
Şekil 2.1.	Bir sistem veya sürecin genel gösterimi .....	36
Şekil 2.2.	1950-1990 yılları arasında üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı ...	37
Şekil 2.3.	Taguchi'nin üretim kalite çemberi .....	42
Şekil 2.4.	Kalite mühendisliği bileşenleri ve içerikleri .....	44
Şekil 2.5.	Geleneksel kalite kontrol yaklaşımında kayıplar .....	47
Şekil 2.6.	Taguchi kayıp fonksiyonu .....	48
Şekil 2.7.	Etkileşim durum grafiği .....	56
Şekil 3.1.	Eryap A.Ş üretim tesisleri .....	65
Şekil 3.2.	Taşyünü Üretimi İş Akış Şeması.....	67
Şekil 3.3.	Kupola fırınından 1400°C de akan camın görüntüsü .....	68
Şekil 3.4.	Dizim makinesi .....	68
Şekil 3.5.	Üretim dağılımının grafiksel gösterimi.....	70
Şekil 3.6.	Basma - çekme cihazı .....	72
Şekil 3.7.	Isıl iletkenlik ölçüm cihazı .....	73
Şekil 3.8.	Ortaya çıkma değerinin grafik gösterimi .....	74
Şekil 3.9.	Ağırlık değerlerinin grafik gösterimi .....	76
Şekil 3.10.	Saptama değerlerinin grafik gösterimi .....	77
Şekil 3.11.	RÖS Değerleri ve HTEA Formu.....	78
Şekil 3.12.	RÖS değerlerinin grafik gösterimi.....	79
Şekil 3.13.	Mikroskop altında elyaf görüntüsü .....	80
Şekil 3.14.	Bazalt.....	81
Şekil 3.15.	Dolomit.....	81
Şekil 3.16.	Etüv fırını.....	82
Şekil 3.17.	Bölgesel yoğunluk farkı kontrol örneği.....	84
Şekil 3.18.	Bölgesel yoğunluk farkı analizi için S/G oranı sonuç grafiği .....	86
Şekil 3.19.	Basma mukavemeti analizi için S/G oranı sonuç grafiği .....	89
Şekil 3.20.	Kriter özvektör grafiği .....	95
Şekil 3.21.	Toplam ağırlık değeri grafiği .....	96

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. HTEA çalışmasının nedenleri .....	10
Tablo 1.2. Ortaya çıkma derecelendirme tablosu .....	27
Tablo 1.3. Ağırlık derecelendirme tablosu .....	29
Tablo 1.4. Saptama derecelendirme tablosu .....	30
Tablo 2.1. L8 ortogonal dizimi .....	51
Tablo 3.1. Ortaya çıkma değerleri .....	74
Tablo 3.2. Ağırlık değerleri .....	75
Tablo 3.3. Saptama değerleri .....	77
Tablo 3.4. RÖS değerleri .....	78
Tablo 3.5. Hata faktörleri ve seviyeleri .....	83
Tablo 3.6. Bölgesel yoğunluk farkı .....	85
Tablo 3.7. Basma mukavemeti .....	88
Tablo 3.8. Kriter karşılaştırma matrisi .....	91
Tablo 3.9. Normalize edilmiş kriter karşılaştırma matrisi .....	92
Tablo 3.10. Faktör ağırlıkları ve özvektör değerleri .....	92
Tablo 3.11. Alternatifler için kriter karşılaştırma matrisi .....	93
Tablo 3.12. Alternatif kriterlerin ağırlık ve özvektör matrisi .....	94
Tablo 3.13. CR değerleri .....	95
Tablo 3.14. Etkin seviye – faktör karşılaştırma matrisi .....	95
Tablo 3.15. İdeal durum için ölçüm sonuçları .....	97
Tablo 3.16. Rastgele seçilen numunelerin ölçüm sonuçları .....	98



## SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

C	: Etkileşim faktörlerinin kombinasyon sayısı
CI	: Tutarlılık endeksi
CR	: Tutarlılık oranı
$k_A$	: A faktörünün seviye sayısı
$KT_A$	: A faktörünün kareler toplamı
$KT_{AxB}$	: A ve B etkileşim faktörünün kareler toplamı
$KT_e$	: Hata kareleri toplamı
N	: Gözlemlerin toplam sayısı
RI	: Rastgele değer endeksi
$SD_A$	: A faktörünün serbestlik derecesi
$SD_{AxB}$	: A faktörü ve B faktörünün etkileşimlerinin serbestlik derecesi
$SD_e$	: Hata serbestlik derecesi
T	: Tüm gözlemlerin toplamı
$V_A$	: A faktörünün varyans değeri
$V_e$	: Hata varyansı
$y_i$	: i. Gözlem değeri

### Kısaltmalar

A	: Ağırlık Değeri
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AIAG	: The Automotive Industry Action Group (Otomotiv Eylem Grubu)
ASQC	: American Society for Quality Control (Amerikan Kalite Topluluğu)
CE	: Conformity of Europe (Avrupa normlarına uygunluk)
GKT	: Genel Kareler Toplamı
HTEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
ISO 9001	: Kalite Yönetim Sistemi
ISO 14001	: Çevre Yönetim Sistemi
MIL – P	: Military Procedure (Askeri Prosedür)
MIL – STD	: United States Defense Standard (ABD Savunma Standardı)
O	: Ortaya Çıkma Değeri
RÖS	: Risk Öncelik Sayısı
S	: Saptama Değeri
S/G	: Sinyal Gürültü Oranı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

## TAŞYÜNÜ ÜRETİM TESİSİNDE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ İLE TAGUCHİ DENEY TASARIMININ BİRLİKTE UYGULANMASI

### ÖZET

Sanayi devrimi sonrası üretim odaklı sanayicilik gelişmeye başlamış ve üretebilen işletmeler karlılığını ve devamlılığını sürdürebilmişlerdir. İkinci dünya savaşı sonrasında ülkeler arasındaki rekabet firmalar arası rekabete dönüşmüş ve hatalı ürünleri ayırabilen, müşterilerine kaliteli ürün gönderebilen firmalar tutunabilmiş ve devamlılık sağlayabilmişlerdir. Günümüz işletmeleri ise; rekabetin üst noktada olduğu, yüzlerce işletme ile rekabet edildiği koşullarda hatalı ürünlerin maliyeti bir yana hatalı ürünleri ayırma maliyetine bile katlanamaz hale gelmiştir. Üretmek yerini verimli üretmeye, hatalı ürünleri ayırmak ise yerini hata yapmamaya bırakmıştır. Bu koşullara ayak uyduramayan işletmeler çok kısa sürede yok olmaktadır.

Firmaların bu koşullara ayak uydurabilmesi için çok çeşitli, verimlilik, hata önleme, problem çözme ve maliyet azaltma gibi metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlardan en önemlilerinden ikisi Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Deney Tasarımıdır. HTEA; işletmelerde oluşan ya da oluşma ihtimali olan hataların olabildiğince erken aşamada tespiti, değerlendirilmesi ve çözülmesini sağlayan kalite geliştirme yöntemidir. Taguchi yöntemi ise hedeflenen bir değere ulaşmak, bir hatayı çözmek veya verimliliği ve kaliteyi arttırmak için yapılması gereken deney sayısını belirli bir güven aralığında oldukça azaltan bir yaklaşımdır.

Bu çalışmada taşıyünü üretimi sırasında oluşan hata türleri HTEA ile tespit edilmiştir. Tespit edilen hata türlerinden eşik değerin üzerinde negatif etkiye sahip iki hata türü öncelikli müdahale edilmesi gereken hata türü olarak kabul edilmiştir. İki hata türüne etki eden 9 hata faktörü Beyin Fırtınası Metoduyla bulunmuştur. Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yardımıyla minimum sayıda deney yapılarak bulunan iki hata faktörü için ortak ideal seviye belirlenmiştir. Son aşamada belirlenen ideal faktör seviyeleri ile üretilmiş ürünler ile rastgele seçilen ürünler kıyaslanarak yöntemin başarısı test edilmiştir. Taguchi yönteminde istatistiksel yazılım paketi Minitab 16 paket programı kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Beyin Fırtınası, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Taguchi Deney Tasarımı, Taşyünü.

## **AN IMPLEMENTATION FOR FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) WITH TAGUCHI EXPERIMENTAL DESIGN IN STONEWOOL PRODUCTION LINE**

### **ABSTRACT**

After the industrial revolution, production oriented companies are specialized sustainable profitability. Following the World War II, competition between the countries were changed and companies were challenged to take control of the market, so quality oriented companies had a voice in the market. Today's business, which has top level of competition between the companies, cannot even tolerate separation cost of defective products, therefore mass production definition is replaced with productivity and quality focused Just-In-Time Methodology. For that reason, the companies which not keep pace with this kind of new production method that caused to disappear from the market.

In order to increase productivity, companies were applied different kind of method, such as problem solving, failure detection and cost reduction studies. The manager who willing to get more efficiency, they are mostly applied Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Taguchi Experimental Design. FMEA, which is a quality improvement tool, helps finding a situation by causing something to happen rather than responding to it after it has happened. On the other hand, according to reach target quality, Taguchi Method focuses on experiment quantity with confidence interval for solving problems and increase productivity.

In this study, types of defect are identified with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and found two negative cases that should priority intervention in the stone-wool production line. All these two negative impacts are determined within 9 failure factor that are identified with brainstorming method and minimum experiment quantity for identical optimal level by using FMEA and Taguchi Experimental Design. After that, ideal factor levels with generated random products are compared each other. In the final phase, random selected products are tested with Minitab 16 and managerial performance is measured by using Taguchi Methodology.

**Keywords:** Analytic Hierarchy Process (AHP), Brainstorming, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Taguchi Experimental Design, Stone-wool.

## GİRİŞ

Küreselleşen dünyamızda 21. yüzyıl işletmeleri kendilerini kıran kırana geçen, burun farkıyla kazanılıp kaybedilen, devamlı gelişim isteyen bir yarışın içinde buldular. Sürekli artan tüketim talebine karşılık sürekli üreten firmalar gelişti. Bu firmalar o kadar büyüdüler ki dakikada yüzlerce ürün üretebilir hale geldiler. Üretim miktarının fazla olması birim ürün başına kar oranlarında esnek olmalarına olanak sağladı. Bazı seri üretim ürünlerinde kar oranları %3-4'lere kadar düştü. Hatta bazı ürünlerin fiyatları sabitlendi, bu fiyata karlı satabilen firmalar devamlılığını sağlayabilir hale geldi. Üretilen ürünlerde kullanılan hammaddeler için de benzer durumlar söz konusu olduğu göz önünde bulundurulduğunda hammadde fiyatları da firmalar için sabitlendi veya eşitlendi. Çağımızda teknolojik gelişmelerin de uzun süre gizli kalması pek mümkün olmaması ve firmaların birbirine yakın teknolojiler kullanması sebebiyle teknolojik anlamda da aralarındaki fark gittikçe azaldı. Peki benzer hammadde fiyatları ile alım yapıp benzer teknolojilerle üretim yapan firmaların bir kısmı sürekli gelişirken bir kısmı niye küçüldü veya battı? Bu soruya verilebilecek en güzel yanıt firmalar arasındaki kalite ve verimlilik farkı olacaktır. Firmaların devamlılığı; birim hammadde ile üretebildiği kaliteli ürün miktarının diğer firmalardan fazla olmasına bağlıdır. Aksi halde yarışta gittikçe arka sıralara düşecektir.

Kaliteli ürün üretebilmek ve verimliliği arttırmak için çok çeşitli yöntemler ve metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlardan en önemli ikisi; Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Deney Tasarımıdır. HTEA genel olarak oluşmuş veya oluşma ihtimali olan hata türlerini tespit etmede, önem düzeyine göre sıralamada kullanılmaktadır. Taguchi yöntemi ise; hatalı ürünlerin oluşma ihtimali en düşük olan üretim proseslerini bulmak gibi hedeflenen ideal sonuca en maliyetsiz şekilde minimum deney yaparak ulaşmayı sağlayan bir metottur.

Bu çalışmada; Taşyünü üretiminde ürün kalitesini arttırmak, hata türlerini tespit etmek ve hataların kök nedenlerine inip hata ihtimalini azaltmak için Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Taguchi Deney Tasarımı birlikte kullanılmıştır. Yapılan çalışmada Beyin Fırtınası ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) metotları da yardımcı yöntemler olarak kullanılmıştır.

Çalışmamız dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölüme HTEA'nin tanımı, tarihsel gelişimi, amacı, faydaları, uygulandığı durumlar ve ilgili kavramlar açıklanarak giriş yapılmıştır. Hata Türü ve Etkileri Analizinin 4 çeşidi Sistem HTEA, Tasarım HTEA, Proses HTEA, Servis HTEA ayrıntılı olarak açıklanmıştır. İlk bölümün son kısmında HTEA uygulama adımları 15 başlık altında toplanıp, her başlık hakkında gerekli tanımlanmalar yapılmıştır.

İkinci bölüme Deneysel tasarım ve Taguchi yönteminin tanımları, tarihsel gelişimleri, türleri, kullanım alanları ve felsefesi açıklanarak başlanılmıştır. Taguchi yönteminde olmazsa olmaz olan Taguchi üretim kalite sistemi, kayıp fonksiyonu, sinyal / gürültü oranları ortogonal dizinler açıklayıcı bir şekilde tanımlanmıştır. Uygulama adımları 11 ana başlık altında toplanmış ve her başlık ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Üçüncü bölüm uygulama bölümü olup başlangıçta uygulama yapılacak olan firma tanıtımı ve taşıyıcı üretim prosesleri anlatılmıştır. Çalışmanın amacı taşıyıcı üretimi sırasında oluşan, oluşma ihtimali olan hataları tespit ederek çalışma sonucunda bu hatalardan etkisi en fazla olan hataların oluşma ihtimallerini en aza indirecek proses yöntemini belirlemek olarak kararlaştırılmıştır. Süreci takip edecek, gerekli yorumları yapacak ve kararları alacak olan alanında uzman bir ekip kurularak sürecin devamlılığı sağlanmıştır. Taşıyıcı üretimi sırasında daha önce olmuş veya oluşma ihtimali bulunan olası hata türleri beyin fırtınası yöntemiyle belirlenmiştir. HTEA'nin üç sacayağını oluşturan ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerleri tespit edildikten sonra bu üç değerle çarpımıyla bulunan Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değerleri hesaplanmıştır. RÖS değerlerine göre müdahale edilmesi zorunlu bulunmuş bölgesel yoğunluk farkı ve basma mukavemeti hata türlerinin faktör seviyeleri beyin fırtınası yöntemiyle hesaplanmıştır. Bölgesel yoğunluk farkı ve basma mukavemeti hata türleri için Taguchi yöntemiyle ayrı ayrı deneyler yapıp iki hata türü için hata oluşma ihtimali en az olan ideal çalışma kombinasyonları belirlenmiştir. İki hata türü için ideal çalışma kombinasyonları çok amaçlı karar verme yöntemlerinden en çok kullanılanlarından biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yardımıyla iki hata türü için en uygun ortak çalışma kombinasyonu belirlenip ideal sonuca ulaşılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde; yapılan çalışmanın kısa bir değerlendirmesi yapılarak hedeflenen değerlere ulaşıldığı sonuçlarla birlikte aktarılmış ve çalışmanın başarılı olduğu yüzdelik oranlarla ifade edilmiştir. Ancak yapılan çalışmanın doğru yönde atılan önemli ama sadece ilk adım olduğu mevcut durum baz alınarak aynı yöntemle

veya farklı yöntemler kullanılarak kalite iyileştirme ve maliyet azaltma çalışmalarının devam etmesi gerektiği önerilmiştir.

Yapılan çalışmanın ana amacı hurda oranlarının çok yüksek olduğu, daha önce üzerinde yoğun çalışmalar yapılmamış taşıyıcı üretiminde Hata Türü ve Etkileri Analizi ile Taguchi Deney Tasarımını birlikte kullanarak kalitenin artırılabilirliği ve maliyetlerin azaltılabilirliğini göstermekle birlikte bu iki yöntemin birlikte veya ayrı ayrı daha birçok farklı alanda kullanılabileceklerini teyit etmektir. Beyin fırtınası ve Analitik Hiyerarşi Proseslerinin de çalışmada kullanılmış olması literatürde kabul görmüş çok farklı yöntemlerin tek bir amaç uğruna birlikte kullanılabileceği ve çok olumlu sonuçlar alınabileceği ifade edilmek istenmiştir.

## 1. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

### 1.1. Hata Türü ve Etkileri Analizinin Tanımı

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) sistemlerde hataların olabildiğince erken aşamada tespit edilmesi, değerlendirilmesi ve çözülmesini sağlayan kalite geliştirme yöntemidir. HTEA henüz hata oluşmadan önce riskleri tahmin etme aşamasından başlayarak müşteriye hatalı gitmiş ürünün hata tekrarını önlemeye kadar her aşamada kullanılabilir. Fakat hataların ilerleyen süreçlerde tespiti ve çözümü maliyeti arttıracığı ve çözümü daha kompleks hale getireceği için mümkün oldukça başlangıç aşamalarında tespiti ve çözümü tercih edilmektedir.

Hata Türü ve Etkileri Analizinin kullanım alanı oldukça geniş ve kapsamlı olduğu için çok çeşitli tanımlamaları yapılmaktadır. Aşağıda bazı tanımları bulunmaktadır;

HTEA tasarım, proses, sistem ve hizmet ile ilgili bilinen ve/veya olası hataları, yanlışları ve problemleri müşteriye ulaşmadan belirlemeyi, tanımlamayı ve ortadan kaldırmayı amaçlayan mühendislik tekniğidir [2,7,10-12].

HTEA; Descartes'in 4 ana kuralı dikkate alınarak oluşturulmuş 5 temel kuraldan oluşmaktadır. Bu temel kurallar [32];

- Hiçbir şeyi, tam olarak tanımadan gerçek olarak kabul etmemek,
- Zorlukların her birini parçalara ayırarak,
- Çözüme ulaşabilmek için her parçayı ayrı ayrı incelemek,
- Düşünceleri belli bir düzene göre, en basit ve sade konulardan başlayarak karmaşık olanlara doğru geliştirmek,
- Hiçbir şeyi unutmadığından emin olmak için, her aşamada sayımlar yapmak ve tekrar gözden geçirmek.

Hata Türleri Ve Etkileri Analizi (HTEA) öncelikli olarak ürün ve proses geliştirme üzerine eğilen, disiplinli bir gözden geçirmedir. Uygulama alanlarına bağlı olarak tasarım, proses, servis ve sistem HTEA olarak ele alınır [7].

HTEA, potansiyel hataları belirlemek adına ürün tasarımını ya da tasarım sonrası süreçlerin analizi için kullanılan bir sistemdir. HTEA süreci hata türlerini, ürün, hizmet ya da süreç yollarını belirlemek ile başlar. Proje takımı girdilerden müşteriye ulaşan çıktıya kadar her elementi inceler ve her adımda "burada nasıl bir hata oluşabilir?" sorusunu sorar [1,2].

HTEA, müşteriye gitmeden önce sistemden, tasarımdan, prosesten ve/veya servisten kaynaklanan bilinen ve/veya potansiyel hataların, problemlerin vb. tanımlanması, belirlenmesi ve yok edilmesi için kullanılan bir mühendislik tekniğidir. Yeni bir ürünü oluştururken, bir üretim sürecini yeniden yapılandırırken veya bir projeye başlarken, ürün ve süreçlerdeki mevcut/olası hata türlerini ortadan kaldırmak amacı ile kullanılabilir. HTEA, hataları müşteriye ulaşmadan önlemek için gerekli faaliyetleri tanımlayacaktır. Bu nedenle bir ürün veya servisteki olası en yüksek dayanıklılığı, kaliteyi ve güvenilirliği garanti eder [40].

Hata Türleri ve Etkileri Analizi; bir ürün, işlem veya hizmette meydana gelebilecek tüm hasar ve hata tiplerinin sistematik analizine dayanarak, bu hasar ve hataları önleme faaliyetlerini içeren bir yöntem olarak ifade edilebilir [3,7].

HTEA, bir sistemin işletilmesinde hataların sonuçlarını ve kaynaklarını araştıran bir tasarım disiplini ve bir kalite aracıdır. Analizin amacı, tasarımdaki problemleri belirlemek ve tasarımı bu problemlerden kurtarmak için modifiye etmektir [6].

Hata Türleri ve Etkileri Analizi; sistem, tasarım, proses veya serviste oluşabilecek hataların (problemler, yanlışlıklar, riskler, vb...) değerlendirmesini yapan özel bir metodolojidir [2,3,5-7].

Bu yöntem, hataların etkisini ve bunları önlemenin adımlarını saptamaya yarayan sistematik yaklaşımdır. HTEA güvenilirlik mühendisliğinin bir parçası olarak ürün ve süreç hatalarını analiz eder [10].

Hata Türü ve Etkileri Analizi, yüzlerce hata türü için iyileştirme yapılmasının planlanması yerine, sistemin bütünü üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendiren bir yöntemdir. Ancak yüzlerce hata türü için, veri derleme ve analizi de büyük zaman ve işgücü gerektirmektedir. HTEA'nin başlangıcında ön eleme yapmak ve sadece önemli olarak belirlenen parçalar için veri derlemek, HTEA'nin etkinliğini arttıracaktır. Tasarım aşamasında pek çok parça için HTEA



yapılmasına ihtiyaç duyulabileceğinden önerilen model, ürün planlama ve planlama süresini kısaltmış olacaktır [1,2].

HTEA, süreçlerin ve ürünlerin incelenip hatalar oluşmadan önce önlenmesi için kullanılan bir proaktif araç, teknik ve kalite metodudur. Altı Sigma metodolojisi içinde HTEA, bir süreç geliştirmeden ya da yeni bir hizmet sunmadan önce endişeleri yok etmeye yardımcı olur. Sürece hataların oluşabileceği şekilde bakıp, değerlendirerek, tespit edilen tüm hataları yok etmek ve süreci tekrar yapılandırmak için sistematik bir yoldur. Müşteri memnuniyetini ve güvenlik seviyelerini destekler [1].

HTEA sürekli iyileştirmenin ve risk yönetiminin bir bölümüdür. HTEA ürün ve süreç geliştirmenin anahtar kısmıdır. Ürün ve süreç geliştirmenin bütününde potansiyel hataları değerlendirmeyi ve riski azaltacak uygulamaları gerçekleştirmeyi sağlamak için kullanılan uzun süreli bir çalışmadır. HTEA şunları göstermek için kullanılan genel bir yaklaşımdır [4].

- Beklentileri karşılamak için potansiyel ürün ve süreç hataları
- Potansiyel sonuçlar
- Hata türlerinin potansiyel sebepleri
- Sürekli kontrol uygulaması
- Risk seviyesi
- Riski azaltma

## **1.2. HTEA'nin Tarihsel Gelişimi**

HTEA'nin geliştirilmesi İkinci Dünya Savaşı yıllarına kadar dayanmaktadır. Bu konuda hazırlanmış ilk prosedür 9 Kasım 1949 tarihinde Procedures for Performing Failure Mode başlığıyla basılmış olan MIL – P – 1629 (Military Procedure) prosedürdür. Amerikan ordusu tarafından hazırlanan bu prosedür sistem ve ekipman hatalarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Hatalar üstlenilen projenin başarısı ile personel ve ekipman güvenliği açısından sınıflandırılmıştır. Günümüzde halen ABD silahlı kuvvetlerinin MIL – STD 1629 A kodlu standardıdır.

Daha sonra Nasa tarafından 1960 yılından itibaren aya ilk insan götüreceği olan Apollo projesinde kullanılmıştır. Uzay aracının maliyetinin yüksek olması sebebiyle hiçbir parçanın arıza yapmamasını sağlamak amacıyla HTEA tekniği uygulanmıştır.

Bir süre gizli kalan teknik 1970 yılında Amerikan uçak sanayinde, 1972 yılında Ford Motor Company de, 1975 yılında ise Japon Nec firmasında kullanılmıştır. 1988

yılında Amerika'nın üç büyük otomotiv firması (Ford, General Motor, Chrysler) tarafından genel standart olarak benimsenmiştir. 1993 de AIAG (The Automotive Industry Action Group ) ve ASQC (American Society for Quality Control) tarafından benimsenen teknik günümüzde ISO/TS 16949, ISO 9001:2000, QS 9000 ve diğer Kalite Yönetim Sistemleri dahilinde zorunlu hale gelmiştir. Türkiye de ise ilk olarak beyaz eşya sektöründe Arçelik ve Bosch gibi firmalarda kullanılmıştır.

### 1.3. HTEA'nin Amaçları

HTEA'nin amaçlarını sırasıyla çok istenenden daha az istenene göre aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- Daha önce olmamış fakat olma ihtimali olan hataların oluşmasını engellemek.
- Daha önce olmuş, fark edilmiş hataların öncelikle tekrarının olmamasını sağlamak, daha sonra ise olası benzer hataları tespit edip oluşmasını engellemek.
- Daha önce olmuş, fark edilmemiş ve müşteriye gitmiş hataların öncelikle fark edilmesini daha sonra oluşmamasını sağlamak ve son olarak da olası benzer hataların oluşmasını engellemek şeklinde açıklayabiliriz.

Yukarıdan aşağıya indikçe maliyet ve işgücü artarken, firma ve ürün itibarı azalmaktadır. Bu sebeple istenen HTEA çalışmalarının büyük kısmını ilk seçenekteki şekilde, daha hata oluşmadan önleyip diğer iki seçeneğe daha az ihtiyaç duymak olmalıdır.

HTEA tekniğinin öncelikli amaçları da şunlardır [1,2,6,9,13]:

- Ürün veya süreçte oluşabilecek potansiyel hataları önceden belirleyip bu hataların oluşmasını engellemek.
- Nihai ürünün müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşıladığından emin olmak için, planlanan imalat ve montaj süreçleriyle bağlantılı olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini analiz etmek.
- Potansiyel hata türleri belirlendiğinde, onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemler almak veya sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyellerini azaltmak.
- Montaj veya imalat süreci için, sistemin dayandığı neden ve ilkeleri de yazılı hale getirmek.
- Titizlikle uygulandığı durumlarda, bir HTEA; süreç geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerini (deneyim ve geçmişteki problemleri baz alarak, mantık örgüsü içerisinde gidilebilecek her birimin analizini içeren) özetleme amacını gütmektedir.

#### 1.4. HTEA' nin Faydaları

HTEA tekniğinin sağladığı faydaları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz [1,2,12,14,15]:

- Ürün, proses ya da hizmette hataların oluşturacağı en küçük bir zararın bile oluşumunun engellemesini sağlamak için hata türlerini sistematik olarak gözden geçirir.
- Ürün, proses ya da hizmeti veya bunların fonksiyonelliğini etkileyebilecek her türlü hatayı ve bu hataların etkilerini tanımlar.
- Tanımlanan bu hatalardan hangilerinin ürün, proses yada hizmet operasyonlarında daha kritik etkilerinin olduğunu belirler, bu yüzden meydana gelebilecek en büyük hasarı ve hangi hata türünün bu hasarı üretebileceğini tanımlar.
- Montajda, montaj öncesinde, üründe ve proseste hataların oluşum olasılığını ve bunun nereden kaynaklanabileceğini (dizayn, operasyon, vb.) belirler.
- Diğer kaynaklardan elde edilmesi mümkün olmayan hata oranlarını ve türlerini tanımlayarak gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlar.
- Güvenilirliğin deneysel olarak test edilebilmesi için gerekli muayene programlarının kurulmasını sağlar.
- Bir ürün için değişikliklerin olabilecek etkilerini tanımlar.
- Yüksek riskli bileşenlerin nasıl güvenilir hale getirilebileceğini tanımlar.
- Montaj hatalarının olabilecek kötü etkisinin nasıl giderilebileceğini tanımlar.
- Ürünün, tasarım, güvenilirlik, imalat teknolojisi ve emniyet alanlarındaki eksik, zayıf ve yetersiz noktalarını belirler.
- Olası değişiklik maliyetlerini azaltır; kağıt üzerinde yapılan bir değişiklik üretim aşamasında değişiklik yapılmasından çok daha ucuza mal olmaktadır.
- Ürünün pazara sunulma zamanını kısaltır; kağıt üzerinde değişiklik yapmak, üretim aşamasında değişiklik yapmaktan çok daha az zaman alır.
- İç fireleri azaltır.
- Ürün sorumluluğu konusunda riski azaltır.

Tekniğin uygulanması ile elde edilecek bu yararlar, firma için çok önemli kazanımları da beraberinde getirecektir. Hizmet veya ürünlerin kalitesini ve güvenilirliğini arttırarak şirket imajını arttırır. Müşteri tatmininin üst düzeyde olmasını sağlar. Rekabet avantajını arttırır. Ürün geliştirme zaman ve maliyetini azalttığı gibi tasarım geliştirme faaliyetlerinde bir öncelik sağlar. En uygun sistem tasarımını seçme adımına kolaylık getirir. Gelişim isteği doğurur. Organizasyon kültürünü arttırır. Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin sağladığı avantajlar incelendiğinde bu tekniğin, firmaların

pazarda yüksek güvenilirliğe sahip, kaliteli ürünleri düşük maliyet ile tasarlanmasını ve üretimini sağladığı ve kötüye giden operasyon maliyetlerini kontrol altına alarak hataların müşteriye yansımadan en erken biçimde önlenmesine yardımcı olduğu görülmektedir [9].

### **1.5. HTEA'nin Uygulandığı Durumlar**

Bir HTEA uygulamasını gerektiren durumlar aşağıda kısaca açıklanmıştır [2,10,13]:

- Emniyet, güvenlik ile ilgili parça ve fonksiyonlar söz konusu olduğunda
- Ağır ve yüksek maliyet ile sonuçlanabilecek hata durumlarında
- Yeni ürün veya proses geliştirmelerinde
- Yeni teknoloji, malzeme ve proseslerde
- Önemli tasarım ve proses değişikliklerinde
- Mevcut ürünlerin yeni uygulama alanlarında
- Kalite açısından yüksek risk beklentisi olan problemli parça ve proseslerde uygulanmaktadır.

Genel bir ifade ile açıklarsak; standart bir kullanım alanına sığdırılmayacak kadar kapsamlı olan HTEA tekniği; yeni yapılacak olan uygulamalarda geleceği daha net görebilmek için, hali hazırda devam eden ve geliştirilmek istenen proseslerde belirsizliği azaltmak için, hata ihtimali olan veya hata yapılmasından şüphelenilen kısaca hatanın olduğu ya da olabileceğinden endişe edilen hayatın her alanda kullanılabilirliktedir.

Tablo 1.1 'de HTEA uygulanma durumları gösteren örnek bir uygulama bulunmaktadır;

Tablo 1.1. HTEA çalışmasının nedenleri [41]

SÜREÇ	ÇEVRE ŞARTLARI	HTEA
Biliniyor, hedefler belli	Biliniyor	HAYIR
Bilinmiyor ve / veya hedefler belli değil	Bilinmiyor	EVET
Mevcut proseste değişiklik	Mevcut çevrede değişiklik	EVET
Yeni	Yeni	EVET

## 1.6. HTEA İle İlgili Kavramlar

HTEA Tekniğinde kullanılan temel kavramların kısa tanımları aşağıda bulunmaktadır. Konunun genelini anlaşılabilmesi için kısaca açıklanan bu kavramların bir kısmı sonraki bölümlerde detaylı olarak incelenecektir.

**Müşteri:** Olası bir hatadan etkilenebilecek her bireyi veya kurumu müşteri olarak düşünebiliriz. Son kullanıcıyı (ürün veya hizmeti satın alan kişi ya da kurum) dış müşteri, firma veya sistem içinde olası hatadan etkilenebilecek departman veya kişileri iç müşteri olarak tanımlayabiliriz.

**Fonksiyon:** Bir üründen veya süreçten gerçekleştirmesini beklediğimiz işlevler, amaçlardır.

**Hata Türü:** Sistemin, müşterilerin taleplerini kısmen veya tamamını karşılayamaması, beklenen fonksiyonları yerine getirememesi gibi iç veya dış müşterileri tatmin etmeme durumudur. Sistemin standart dışı işleyişidir. Hata kategorisi olarak da kullanılmaktadır.

**Hata Nedeni:** Belli bir elemanın hata türüne sebep olabilecek faktördür. Sistemde hata türünü oluşturabilecek ilk kıvılcım olarak tanımlayabiliriz.

**Hata Etkisi:** Olası bir hatanın hata türüne bağlı olarak müşteride oluşturabileceği memnuniyetsizlik veya şikayet doğurabilecek durumdur. Bu müşteri hatalı parçayı kullanan iç müşteri olabileceği gibi ürünü satın alan dış müşteride olabilmektedir.

**Mevcut Kontroller:** HTEA yöntemi uygulanırken hatanın iç veya dış müşteriye ulaşmasını önlemek için uygulanan fonksiyondur.

HTEA Elemanı: HTEA çalışmasının yapıldığı, üzerinde çalışılan (kontroller, hata etkileri, vb.) konulardır.

Kritiklik: Hatanın müşteriye ulaşmadan engellenebilmesi ve ortaya çıkma ihtimalinin çarpımıyla elde edilen, hata önceliklerini belirlememizi sağlayarak zaman kaybını önleyen faktördür.

Ağırlık: Hataların etkisinin müşteriye yansıyan sonucudur.

Saptama: Yapılan kontroller ile olabilecek hataların müşteriye ulaşmadan fark edilerek engellenebilirlik derecesidir.

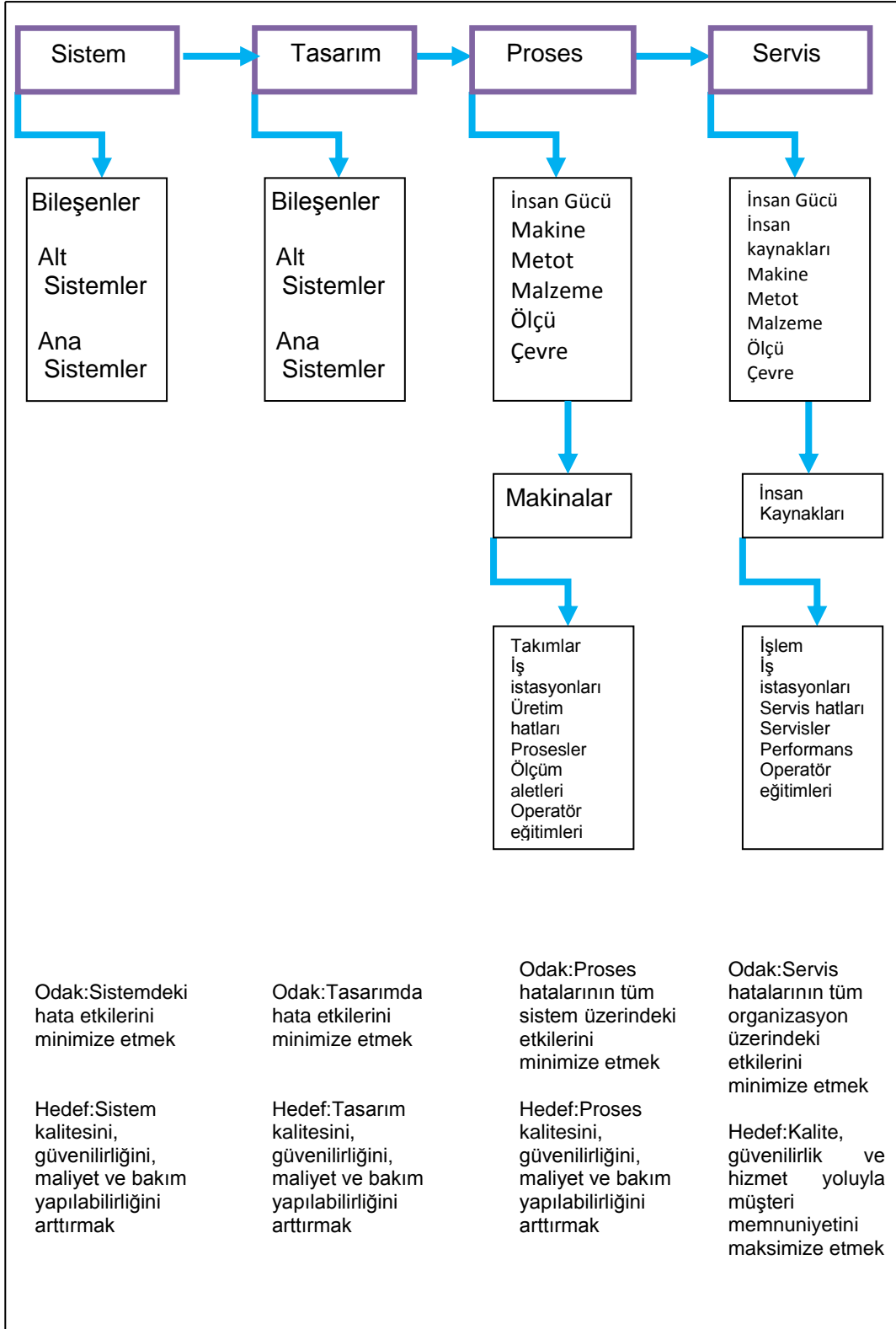
Ortaya Çıkma: Bir ürünün standart ömrü içerisinde hata türüne sebep olma ihtimali olarak tanımlayabiliriz.

Risk Öncelik Sayısı: Belirlenen Ağırlık, Saptama ve Ortaya Çıkma değerlerini kullanarak müdahale edilmesi gereken olası hataları önem sırasına göre sıralanmasını sağlayan metottur.

### **1.7. HTEA Çeşitleri**

Başlangıçta donanıma yönelik olarak yapılmış olan HTEA tekniği günümüzde kullanım yerine göre Şekil 1.1 'de görüldüğü gibi 4 çeşide ayrılmaktadır. Bunlar;

- Sistem HTEA
- Tasarım HTEA
- Proses HTEA
- Servis HTEA'dır.



Şekil 1.1. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA) çeşitleri [1,7,8,12,13,15,16]

### 1.7.1. Sistem HTEA

Sistem HTEA'nde hedef; operasyonel (etkinlik ve performans) faktörler ile ekonomik faktörler arasında uygun bir denge tanımlamak ve oluşturmaktır. Bu hedefe ulaşmak için sistem HTEA; müşterinin belirlenmiş ihtiyaç, istek ve beklentileri dikkate alınarak yapılmalıdır. Sistem HTEA tasarım ve ilk konsept belirlemede sistem ve alt sistemlerin analiz edilmesinde kullanılır. Bir sistem HTEA çalışması, sistem yetersizliklerinden kaynaklanan sistemin fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerine odaklanır. Sistemler arası ilişkileri ve sistemin elemanlarını da kapsar [1,8,12,13,15].

Sistem HTEA'nin faydaları şunlardır [7]:

- Risk Öncelik Sayısını tespit ederek hataların önceliklerine göre sıralar.
- Potansiyel hataların bulunabileceği alanlar daralır.
- Fazlalıkların tespit edilmesine yardım eder.
- Sistem düzeyindeki teşhis prosedürleri için bir temel meydana getirilmesine yardımcı olur.
- En iyi sistem tasarım alternatifinin seçilmesine rehberlik eder.

Sistem HTEA etkin bir şekilde uygulandığında; hata türü ve güvenlik konularını ortadan kaldıracak ve hataları azaltacak potansiyel tasarım faaliyetlerinin listesi, potansiyel hata türlerinin RÖS tarafından ağırlıklandırılmış bir listesi ve aynı zamanda potansiyel hata türlerini tespit edebilecek potansiyel sistem fonksiyonlarının bir listesi elde edilir [5,13,17].

### 1.7.2. Tasarım HTEA

Tasarım HTEA, ürünlerin üretim kararı verilmeden önce uygulanır. Tasarımdaki hatalardan dolayı hizmet veya imalat aşamalarında ortaya çıkabilecek olası ürün hata şekillerini ele alır. Tasarım bütünlüğünü sürekli kılmak amacı doğrultusunda, tasarım aşaması dışında imalatta, montajda, donanımda ve müşterinin kötü kullanımından dolayı üründe oluşacak tasarımla ilgili sorunları tanımlar. Bu teknik ile sistem veya bileşenlerin güvenilirlik riskleri yazılı hale getirilir, her hata türünün etkisi analiz edilir ve düzeltici faaliyetler yani tasarım değişiklikleri tanımlanır [5,12,13,15,18].



Bu tekniği kullanım şekline göre ikiye ayırabiliriz. Birinci yaklaşımı bütünden parçalara inmek şeklinde tanımlanabilir. Bu yaklaşımda ürün bir bütün olarak düşünülür ve analiz bütünden başlayarak en alt birime kadar iner. Diğer yaklaşım ise uygulamada daha çok rağbet gören parçalardan bütüne gitme durumudur. Bu yaklaşımda en alt düzey parçalardan başlanarak, ara veya alt parçalardan ilerleyerek ürünün en son düzeyine ulaşılır. İncelenecek ürünün veya sistemin büyüklüğüne göre seçilecek yaklaşım farklılık göstermektedir. Fakat kapsamlı problemlerin çözümünde; küçük parçalardan büyük parçalara ulaşmak daha az maliyetli ve zahmetli olduğu için genelde ikinci yaklaşım tercih edilmektedir.

Tasarım HTEA, hataları azaltmada ve önlemede aşağıdaki hedefler izlenerek uygulanır [1,4]:

- Fonksiyonel gereklilikleri ve tasarım alternatiflerini içeren objektif tasarım değerlendirmesine yardımcı olarak,
- Üretim, montaj, servis ve geri dönüşüm gereklilikleri için tasarımı değerlendirerek,
- Tasarım aşamasında dşnlmş, sistem ve operasyon üzerinde etkili olacak olası hataların ve etkilerinin varlığını azaltarak,
- Etkili tasarım, geliştirme ve doğrulama programlarının planlanmasına yardımcı olacak ekstra bilgilerin sağlanmasıyla,
- Tasarım geliştirme ve doğrulama testleri için öncelikli sistem kurulumunda etkili olacak potansiyel hataları ve bunların müşteri üzerine etkilerini içeren düzenli listeler oluşturarak,
- Risk azaltma adımlarının izlenmesinde bir format oluşturulması sağlanarak,
- Tasarım değerliklerini değerlendirme ve daha iyi tasarımlar geliştirmeye yardımcı olacak alanlar sağlayarak.

Tasarım HTEA'nin faydaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [5]:

- Tasarım geliştirme faaliyetleriyle ilgili önceliklerin belirlenmesi,
- rn hatalarının, ürün tasarım aşamasında iken belirlenmesinin sağlanması,
- Potansiyel güvenlik konularının belirlenerek ortadan kaldırılmasına yardım etmesi ve değerlik için açıklamaların kaydedilmesinin sağlanması,
- nemli ve kritik özelliklerin belirlenmesine yardım etmesi,
- rnlerle ilgili tasarım ve doğrulamaların testi sırasında kullanılabilecek bilgilerin sağlanması.

### 1.7.3. Proses HTEA

Amacı imalat aşamalarında kusursuz ürünler üretmek olana Proses HTEA, üretimin makine, insan, malzeme, çevre ve şartlar gibi her durumunu analiz ederek zayıf veya hatalı noktalarını belirleyerek iyileştirmeler yapmak için kullanılır. Uygulandığında proseste iyileşmeler sağladığı için proses geliştirme yaklaşımı olarak da tanımlanmaktadır. Analiz edilecek fonksiyonlar (insan, makine) çok değişkenli olduğu için diğer HTEA yöntemlerine göre daha zor ve zahmetlidir.

Donanım hataları, çalışanların hataları, uygun olmayan malzeme ve yöntemlerin kullanımı sonucu oluşan hatalar proses HTEA ile ürün üretime girmeden önce belirleneceğinden kusurları düzeltmek kolay olacaktır. Ancak makine, malzeme, insan, yöntem, ölçme ve çevre olarak tanımlanan üretim bileşenleri arasında etkileşimlerin olması proses HTEA'nin daha zor ve zaman alıcı olarak tanımlanmasına neden olmaktadır [3,8,10,12,13,15].

Proses HTEA, aşağıdaki hedefleri sağlayarak üretim proses gelişimini destekler [1,4]:

- Üretim proses fonksiyonlarını ve gerekliliklerini tanımlamak ve değerlendirmek,
- Oluşacak olan ürünü, üretim prosesi ile ilgili hata türlerini, proses ve müşteri üzerinde oluşabilecek olası hataların etkilerini tanımlamak ve değerlendirmek,
- Potansiyel üretim ya da montaj süreci hedeflerini tanımlamak,
- Hata durumlarının belirlenebilirliğini arttırmak ve oluşumunu azaltmak için üretim sürecinde kontrole odaklanan proses değerlerini tanımlamak,
- Önleyici ve düzeltici faaliyetler ve kontroller için öncelikli bir sistem kurulumunu mümkün kılmak.

Proses HTEA çalışmasına başlamadan önce, üretim prosesinin hangi kısmının göz önüne alınacağı tam olarak kararlaştırılmalıdır. Verilen bir ürün veya parça için tüm üretim prosesini kapsayacak şekilde HTEA çalışması yapmak gerekmez. Diğer taraftan, bir ürünün üretim prosesi olarak genelde değişik makinelerle işleme, şekillendirme, montaj ve muayene gibi hammadde halinden tanımlanmış ürün oluncaya kadar geçen tüm aşamalar anlaşılır. Bir proses HTEA çalışmasının bu kadar geniş faaliyet alanlarını kapsamaması olanaksızdır. Üretim prosesi, her birinin ürüne belirli bir özellik verdiği bağımsız temel faaliyetler veya kademelere bölünür.

Eğer ürün bir tam sistem veya ana grup ise, onu küçük parçalara bölmek gerekebilir. Parça analizi, grubu 'teknolojik olarak basit' elemanlara bölünerek gerçekleştirilir. Sadece bu yolla üretim prosesi için arzu edilen ayrıntı derecesine ulaşmak mümkündür [13].

Proses HTEA'nin faydaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [7]:

- Risk Öncelik Sayısını tespit ederek hataların önceliklerine göre sıralanmasını sağlar.
- Kritik ve/veya mühim hata karakteristiklerinin potansiyel listesini elde etmemizi sağlar.
- Süreç yetersizliklerini belirler ve buna göre Düzeltici ve Önleyici Faaliyetler Planını önerir.
- Kritik ve/veya mühim hata karakteristikleri belirler ve kontrol planları geliştirmeye yardım eder. Değişikliklerin hangi maksatla yapıldığını dokümente eder.
- Düzeltici ve önleyici faaliyetler için öncelik sırasını belirler.
- İmalat ve montaj süreçlerinin analiz edilmesinde yardımcıdır.

#### **1.7.4. Servis HTEA**

Müşteriye servis henüz ulaşmadan analiz edilmesinde yardımcı olur. Bu analiz uygulamasıyla; geliştirme faaliyetleri arasında ölçeklendirme 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 [5,10,12,13,17].

Servis HTEA'nin sağladığı faydalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir [1,2,7,12,15]:

- İş akışının analiz edilmesinde yardımcıdır.
- Sistem ve/veya süreçlerin analiz edilmesinde yardımcıdır.
- İşlem yetersizliklerini belirler.
- Kritik işlemleri belirler ve kontrol planlarının geliştirilmesinde yardımcı olur.
- İyileştirme çalışmaları için öncelikleri ortaya koyar.
- Değişikliklerin ne amaçla yapıldığını dokümente eder.

#### **1.8. HTEA Uygulama Yöntemi**

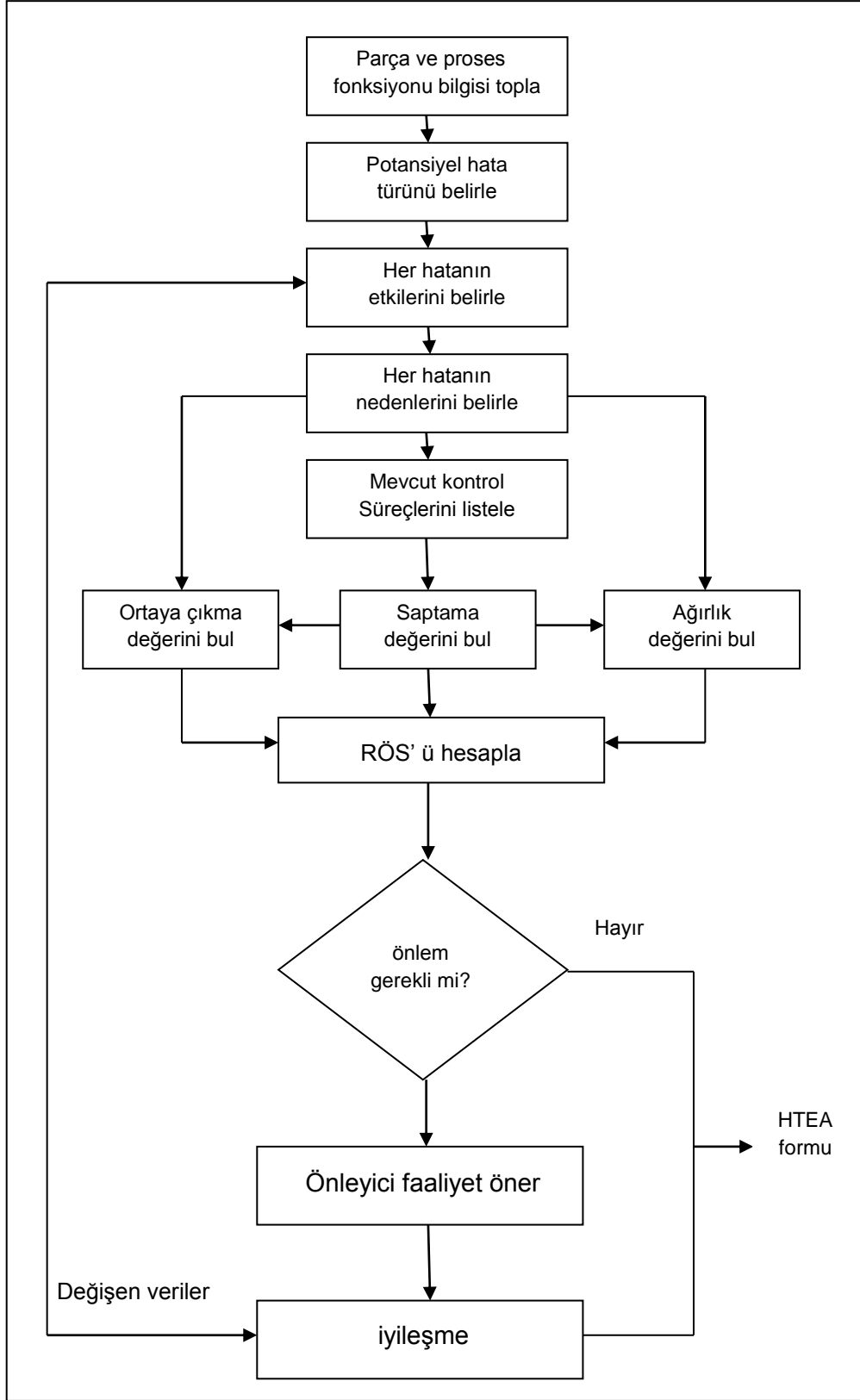
HTEA uygulama süreçleri problemin özelliğine göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak HTEA prosedürü aşağıdaki şekilde verilebilir [2,12,19]:

- Sistemin tam olarak çalıştığında ne yapması gerektiği tam olarak bilinmelidir.
- Bileşenleri daha iyi anlayabilmek için sistem alt sistemlere veya parçalara bölünmelidir.
- Şemalar, akış diyagramları ve benzeri tablolar kullanılarak sistemin bileşenleri ve bu bileşenler arasındaki ilişkiler belirlenmelidir.
- Her sistem parçası için tam bir bileşen listesi oluşturulmalıdır.
- Sistemi etkileyecek operasyonel ve çevresel faktörler belirlenmelidir. Bu faktörlerin tek tek bileşenlerin performanslarını nasıl etkilediği belirlenmelidir.
- Her bileşene ait hata türü ve bu hata türlerinin sistem parçalarını, alt sistemleri ve tüm sistemi nasıl etkilediği belirlenmelidir.
- Her hata türü için tehlike derecesi (ağırlık) saptanmalıdır (Geliştirilen pek çok kalitatif yöntem mevcuttur.)
- Hata türünün ortaya çıkma ve saptanabilme ihtimali tahmin edilmelidir. Somut istatistiksel verilerin olmadığı durumlarda bu ihtimal kalitatif yöntemlerle saptanabilir.
- Ortaya çıkma, ağırlık ve saptanabilme değerleri belirlendiğinde her hata türü için Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanmalıdır.
- RÖS değerine bakılarak önlem alınması gereken hata türleri kararlaştırılmalıdır.
- Sistem performansını arttırmak için her hata türü ile ilgili çözüm önerileri geliştirilmelidir. Bu öneriler; Önleyici Faaliyetler ve Düzeltici Faaliyetler olarak iki kategoriye ayrılır.

Önleyici Faaliyetler: Bir hata durumunun önüne geçmek amaçlanır.

Düzeltici Faaliyetler: Hata ortaya çıktığında kayıpları en küçükleme amaçlanır.

- HTEA formları ile analiz özetlenir.



Şekil 1.2. HTEA süreci [2,10,12,19,45]

Şekil 1.2. 'de gösterilen HTEA süreci aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. HTEA kapsamının belirlenmesi.
2. HTEA takımının kurulması.
3. Sürecin incelenmesi.
4. Beyin fırtınası ile olası hata türlerinin belirlenmesi.
5. Her hata türü için potansiyel nedenlerin belirlenmesi.
6. Potansiyel hata etkilerinin belirlenmesi.
7. Mevcut kontrollerin belirlenmesi.
8. Ortaya çıkma değerinin belirlenmesi.
9. Ağırlık değerinin belirlenmesi.
10. Saptama değerinin belirlenmesi.
11. HTEA formu hazırlanması.
12. Risk öncelik sayısının (RÖS) değerlendirilmesi.
13. Önlem alınacak hata türlerinin belirlenmesi.
14. Alınacak önlemlerin belirlenmesi ve uygulanması.
15. HTEA uygulamasından sonra yeni RÖS değerlerinin belirlenmesi.

#### **1.8.1. HTEA kapsamının belirlenmesi**

HTEA çalışması yapılmadan önce HTEA'nin yapılma amacı ve hangi sınırlar çerçevesinde yapılacağı net olarak belirlenmelidir. Aksi takdirde hedef kaymaları ve soruna odaklanamama problemleri yaşanmaktadır. Her takım üyesinin firmadaki pozisyonuna göre sorumluluğu ve görev tanımı net olarak kararlaştırılmalıdır. Yapılmak istenen her çalışmanın kapsamının yazılı bir doküman haline getirilip her takım üyesi tarafından teyit edilmesi uygun olacaktır. Ayrıca uygulama alanı çok büyük olan çalışmalarda tek bir HTEA uygulamak yerine, çalışmayı daha küçük parçalara bölüp her parça için HTEA uygulamak daha iyi neticeler elde edilmesini sağlayacaktır.

HTEA çalışmasına başlamak için sistem, ürün veya proses için aşağıdaki durumlardan birinin gerçekleşmiş olması gerekir [10,12]:

- Yeni sistem, ürün ve prosesler tasarlanmıştır.
- Mevcut sistem, ürün ve proseslerde değişiklik yapılmıştır.
- Sistem, ürün ve prosesler için yeni uygulamalar bulunmuştur.
- Mevcut sistem, ürün ve prosesler için gelişmeler olmuştur.

Çalışma sınırları iki şekilde belirlenir:

- İlk yöntem tasarım veya üretim sürecinin bütün adımlarını içerir, çalışmalar; ilerlemeye bağlı olarak zaman içinde gerçekleşir.
- 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.

### **1.8.2. HTEA takımının kurulması**

HTEA takımının bir lider ve dört ya da beş üyeden oluşması uygundur. Fazla olması durumunda ciddiyet sorunu, gereksiz tartışmalar, adaptasyon ve konuya odaklanamama gibi sorunlar yaşanabilmektedir. Daha az üyeden oluşması durumunda ise karar alma sürecinde farklı fikir yetersizliği, alınan kararların uygulanma sorunu, sürecin uzaması gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Takım lideri, HTEA sürecinin genel koordinasyonundan, süreç ve toplantı takibi, takım içi uyum gibi sistemin işleyişinden sorumludur. Takım liderinin görevi; karar vermek değil sürecin devamlılığını sağlamaktır. Takım liderinin ekip içinde hiyerarşik olarak üst görevlerde olması takımın kuruluş amacını zedeleyebileceğinden tercih edilmemelidir. Takım üyelerinin seçiminde ise; farklı birimlerden farklı görev ve yetkilere sahip konuyla doğrudan ilgili kişiler seçilmelidir. Farklı bakış açılarına sahip olan üyeler çalışmanın yaratıcılığını ve başarısını arttırmaktadır.

HTEA ekibinin amacı kısaca aşağıdaki şekilde açıklanmıştır [2,10,13]:

- Mümkün olan en erken zamanda tüm ilgili bölümlerin birlikte ve eşzamanlı çalışması
- Daha geniş bir bilgi ve tecrübe birikiminin kullanılması
- Yeni fikirlerin arttırılması
- Erteleme yerine, yerinde ve zamanında hızlı bir şekilde kararların alınması
- Alınan kararların daha geniş katılımlı ortamda mutabakat sağlaması
- Bölümler arası işbirliğinin geliştirilmesi ve teşvik edilmesi

HTEA kapsamında analiz edilecek her bir eleman için ez az bir ekip üyesi mevcuttur. Bu üyeler [10,13,20]:

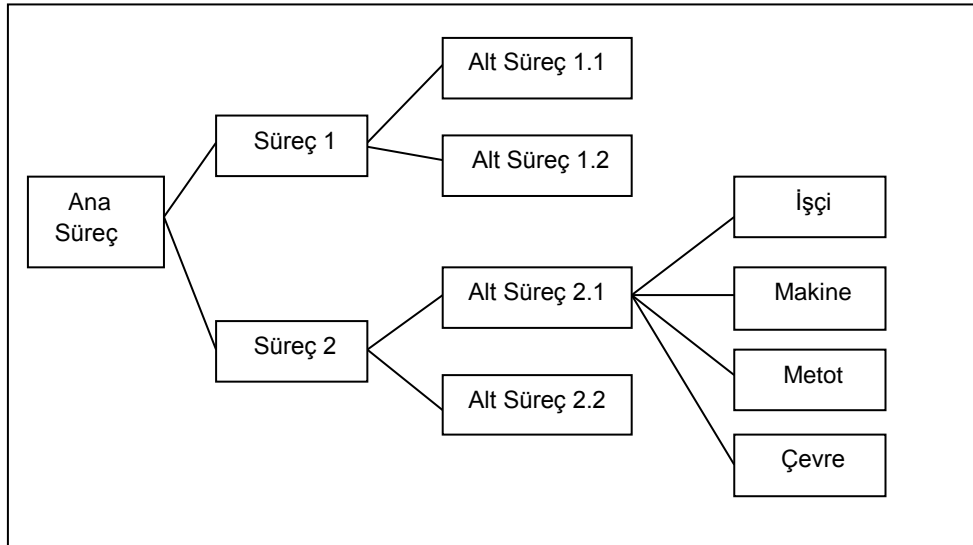
- Olayın geçmişi hakkında rapor verebilen
- Elemanın teknik detaylarını bilen
- Mümkün hataları istenen fonksiyona bağlı olarak tanıyan veya tahmin edebilen kimselerden oluşur.

Genel kural olarak ekipte yer alması gereken birimler:

- Ürün geliştirme
- İmalat
- Montaj
- Satış
- Ürün güvenilirliği ve emniyeti

### 1.8.3. HTEA sürecinin incelenmesi

HTEA uygulamasının başarılı olabilmesi için; süreci etkileyen her adımın titizlikle takip edilmesi gerekmektedir. Şekil 1.3 'de görüldüğü gibi en alt sistemden başlayarak her sistemin ve fonksiyonun geçmiş dönem kayıtları, anlık verileri, verimi, arızalanma oranı gibi kaydedilebilir işe yarar her verisi incelenir. Bu şekilde takımın her bir üyesinin uzman olduğu süreç dışındaki konularda da yorum yapabilecek kadar bilgisi olup süreci takip edebilmesi sağlanmış olur. HTEA'nın başarısı takımın yeteneğine ve bilgisine bağlı olduğu için, takımın süreç hakkındaki bilgisi çok önemlidir.



Şekil 1.3. HTEA uygulanacak ana sürece ait sistem yapısı örneği [1,2,21]

### 1.8.4. Beyin fırtınası ile olası hata türlerinin belirlenmesi

Olası hata, sistemde meydana gelmesi muhtemel olan fonksiyon yetersizlikleridir. Mevcut durumda oluşmamış fakat oluşabilecek potansiyele sahip hatalar için kullanılır. Sistem incelenirken önceden meydana gelmiş, hali hazırda devam eden ve ileride oluşabilecek hataların hepsi göz önünde bulundurulmalıdır. Olası hata



türleri belirlenirken “ne yanlış olabilir” sorusu sorulmalıdır. Bu soruya cevap için aşağıdaki noktalar irdelenir [1,22]:

- İlgili fonksiyon çalışmıyor.
- İlgili fonksiyon çalışıyor, fakat güvenlik açısından problemlili ya da fonksiyonun performansı ile ilgili düzenlemelerde sorunlar var.
- İlgili fonksiyon çalışıyor, fakat çalıştığı zaman diliminde sorun var.
- İlgili fonksiyon çalışıyor, fakat çalıştığı yer yanlış.
- İlgili fonksiyon çalışıyor, fakat yanlış yöntemle çalışıyor.
- İlgili fonksiyon çalışıyor, fakat performans seviyesi planlanandan daha düşük.
- İlgili fonksiyon çalışıyor, fakat maliyet planlanandan fazla (Plansız bakım, olağan dışı kaynak kullanımı).
- Plansız, istenmeyen fonksiyon çalışıyor.
- İlgili fonksiyon çalışıyor, fakat çalışma periyodu yanlış.

Olası hata türüne aşağıdaki örnekleri verebiliriz [10,13]:

- Kırılma
- Deforme olma
- Korozyona uğrama
- Açılmama
- Kapanmama
- Aşınma
- Delinme
- Sıkışma
- Hızın ayarlanamaması
- Açık devre
- Kısa devre
- Yeterli güç sağlanması
- Gürültü
- Renk uyumsuzluğu
- İşlememe
- Titreme
- Kesintili işleme
- Düşük düzeyde işleme

Hata türlerini belirlemek için aşağıdaki gibi kaynaklardan yararlanılır [10,12,13,18]:

- Müşteri şikayet raporları,
- Test raporları,

- Garanti verileri,
- Güvenilirlik analizi sonuçları,
- Benzer ürün ve sistem bilgileri,
- Benzer ürünler için daha önceden yapılmış HTEA çalışma raporları,
- Simülasyon çalışma sonuçları.

1943 yılında Amerika da bir adam sahilde kızının fotoğrafını çektiğinde kızı sabırsızlıkla babasına, “Niçin resmi hemen şimdi göremiyorum?” diye sormuştu. Bu soru babanın düşünmesini sağladı. Küçük kızın sorduğu kimilerine göre saçma, kimilerine göre hayali olan bu soru babası Edwin Land’ a ün kazandıran Polaroid makineyi geliştirmesini sağladı. Konuyla hiç alakası olamayan küçük bir kızın babasına verdiği ilham düşünülduğünde, eğitilmiş ve bilgili bir ekibin yapacağı yaratıcı düşünce çalışmaları (beyin fırtınası) bir konu hakkında ne kadar çok ilham kaynağı olabileceği çok açıktır. Bu sebeple olası hata türlerini belirlerken kullanılan en kolay ve faydalı yöntem beyin fırtınası yöntemidir.

#### **1.8.5. Her hata türü için potansiyel nedenlerin belirlenmesi**

Potansiyel hata nedeni, hatanın nelerden nasıl oluşabileceğini belirtir. Hata ile nedeni arasında direkt bir bağlantı vardır ve “eğer... olursa, ... olur” kalıbı kullanılarak potansiyel hata nedenleri belirlenir. Kök nedenleri bulmak çok önemlidir. Çünkü olası hataların yok edilmesinde uygun kontrollerin ve hareket planlarının oluşturulması gerekmektedir ve adımların doğru yapılmasında kök nedenler oldukça önemli rol oynar. Bir hata birden çok nedenden meydana gelebilir ya da bir neden birden çok hataya neden olabilir. Bu sebeple neden-sonuç ilişkisinin iyi kurulması gerekmektedir [1,2,4].

Hata nedenlerinin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem balık kılıcı diyagramıdır. Bunun dışında 3M + 1İ (Makine, malzeme, metot ve insan) simülasyon gibi yöntemlerde kullanılmaktadır.

Mümkün olan hataların her birine ait sebepler beyin fırtınası yardımı ile belirlenebilir. Aşağıdaki sorular hata nedenlerinin belirlenmesinde yardımcı olabilir [10,13,20]:

- Hatanın oluşmasına neler etki eder?
- Fonksiyonların yerine getirilememesi durumu ile hangi şartlarda karşılaşılır?
- Teknik spesifikasyonların karşılanmaması durumu nasıl ortaya çıkar?
- İstenilen fonksiyonun yerine getirilememesine neler neden olabilir?

- Karşılıklı olarak birbirine etki eden elemanların uyumsuz veya yanlış kombine edilme ihtimali nedir?
- Elemanların tam olarak birlikte çalışması için hangi spesifikasyonlar etkilidir?

Potansiyel hata nedenlerine aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Aşırı zorlanma
- Transfer hataları
- Ölçüm hatası
- Ergonomik olmayan çalışma koşulları
- İletişim eksikliği
- Önleyici bakım eksikliği
- Bireysel hatalar
- Hatalı malzeme seçimi
- Tecrübe eksikliği
- Makine hataları

#### **1.8.6. Potansiyel hata etkilerinin belirlenmesi**

Potansiyel hataların etkisi; yaşanabilecek problemlerde müşterinin verdiği tepki ile orantılıdır. Müşterinin yaşadığı güven kaybı veya hoşnutsuzluk hatanın firmaya etkisini göstermektedir. Burada müşteri olarak bir sonraki prosesin sahibi veya son müşteri düşünülebilir.

Olası hata etkisi, “Bu hata türü ortaya çıkarsa ne tür sonuçlara yol açar?” sorusuna cevap aranarak saptanır. Olası hata etkilerini saptamada kullanılan kaynaklardan bazıları şöyle sıralanabilir [1,8,10,12,13]:

- Müşteri şikayetleri,
- Garanti verileri,
- Benzer ürün için yapılmakta olan veya yapılmış HTEA sonuçları,
- Güvenilirlik verileri,
- İlgili deney çalışmalarının sonuçlarından elde edilen veriler.
- Hata etkileri tanımlanırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir [2,10,13]:
- Bütün hata etkilerinin mümkün olduğunca tam ve doğru bir şekilde belirlenmesi,
- Fonksiyonun en üst seviyeye (sistem, araç, çevre) olan etkilerin tanımlanması,
- Hata etkilerinin müşterinin fark edebileceği (tatmin olmama/rahatsız olma) şeklinde tanımlanması,

- Etkiler zincirinin ( parça – grup – sistem ) sonradan anlaşılabilir şekilde tanımlanması,

Mümkün olan etkiler aşağıdaki sorular yardımıyla tespit edilebilir [10,13]:

- Bu hatalar izleyen hususlara ne tür etkilere neden olabilir?
- Alt komponentlerin çalışmasına, fonksiyonuna ve durumuna ne tür etkileri olabilir?
- Üst yapı grubunun çalışmasına, fonksiyonuna ve durumuna ne tür etkileri olabilir?
- Sistemin çalışmasına, fonksiyonuna ve durumuna ne tür etkileri olabilir?
- Ürünün performansına ve güvenliğine ne tür etkileri olabilir?
- Müşteriler neler görür, hisseder veya fark ederlerdi ne tür etkileri olabilir?
- Yasal kanunların tutulmasına ne tür etkileri olabilir?

Olası hata etkilerine aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Yağ kaçağı
- Yanlış yapılan işlem
- Yasalara uygunsuzluk
- İmaj kaybı
- Hurdaya ayrılma
- Motorun çalışmaması
- Tekrar kullanılamama
- Performans düşüklüğü
- Gerekli fonksiyonların uygulanamaması
- Müşteri memnuniyetsizliği

### **1.8.7. Mevcut kontrollerin belirlenmesi**

Mevcut kontroller HTEA çalışması yapıldığı sırada söz konusu hata türünün ortaya çıkmasını veya müşteriye ulaşmasını önlemek için kullanılmakta olan mekanizmalardır. HTEA çalışmasında düşünülmesi gereken kontroller sadece olası hata türünün saptanabilme derecesini bulmada katkı sağlayacak kontrollerdir. Bir hatanın ortaya çıkmasını önlemek veya azaltmak için yapılan kontroller ortaya çıkma derecesini bulmaya katkı sağlar [2,12,13].

HTEA çalışması yapılacak olan hata türünün belirlenmesine katkı sağlayacak boyut, ağırlık, elektrik iletkenliği gibi her değer kontrol edilerek yakalanması mümkünse

ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Mevcut kontroller bu hataların sebeplerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Bazı durumlarda ise bir hata türünü belirlemek için mevcut kontrol yöntemi bulunamayabilir. Bu gibi durumlar yapılacak olan çalışmada belirtilmelidir.

#### **1.8.8. Ortaya çıkma değerinin belirlenmesi**

Hatanın ortaya çıkma sıklığını gösterir ve her bir olası hata türünün gerçekleşmesi olasılığı ile ilgilidir. Ortaya çıkma olasılık değerini belirlemek için iki farklı yaklaşım vardır. Birincisi; bir hata türü için ortaya çıkma olasılık değerini belirlemek. Diğerinde ise olasılık değeri hata nedeni ile onun sonucunda ortaya çıkan hata türünün ilişkilendirilmesi ile bulunur. Neden oluşursa, hata türünün de oluşacağı esas alınır. Bu değer sözü edilen iki olasılık değerinin çarpımından bulunur [2,23].

MIL – STD 1629'A da hatalar ortaya çıkma olasılıklarına göre sınıflandırılırken aşağıdaki kriterlere göre değerlendirilmektedir [1,2,12,15,24]:

A Düzeyi, Ortaya çıkma olasılığı çok yüksek olan hatalar: Birim işleme zaman aralığında hataların ortaya çıkma olasılıkları çok yüksektir. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,20'den büyüktür.

B Düzeyi, Ortaya çıkma olasılığı oldukça yüksek olan hatalar: Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları ortadadır. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,10 – 0,20 aralığındadır.

C Düzeyi, Ara sıra gözükten hatalar: Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları küçüktür. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,01 – 0,10 aralığındadır.

D Düzeyi, Oldukça az gözükten hatalar: Birim işleme aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları çok küçüktür. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,001 – 0,01 aralığındadır.

E Düzeyi, Son derece az ortaya çıkan hatalar: Hataların ortaya çıkma olasılıkları birim işleme zaman aralığında sifıra yakındır. Tek bir hata türü için bu olasılık 0,001'den küçüktür.

HTEA uygulamalarında ortaya çıkma değeri olasılık olarak belirlenmez. Bunun yerine kullanılan sistem ortaya çıkma ihtimali için çeşitli olasılık aralıkları oluşturmak

ve ortaya çıkma değerini bu tabloda yer alan derecelere göre belirlemektir [19]. Tablo 1.2 bu amaçla oluşturulmuştur;

Hata nedeninin ortaya çıkma değerleri istatistiksel yöntemlerden ve benzer ürünlerden yararlanarak belirlenir. Her bir hata nedeninin, hata türünün oluşmasındaki katkısı ise varyans analizi, Taguchi teknikleri, Bayes analizi gibi istatistiksel yöntemlerle veya benzer ürünlerin verilerinden yararlanılarak belirlenebilmektedir. Somut verilerin olmaması durumunda grup üyelerinin deneyimlerinden faydalanılır ve ortaya çıkma değerlerini kestirmeleri istenir [8,12,13]. İstatistiksel teknikler veya HTEA ekibinin deneyimlerinin yardımıyla her hata türü için ortaya çıkma değeri belirtilen skalaya göre değerler alınmalıdır.

Tablo 1.2. Ortaya çıkma derecelendirme tablosu [12,15,19]

Ortaya Çıkma İhtimali	Hatanın İhtimali	Derece
Çok Yüksek: Kaçınılmaz	1:2	10
Yüksek: Tekrar Eden	1:10	9
	1:20	8
Orta: Ara Sıra Olan	1:100	7
	1:200	6
	1:1000	5
Düşük: Nispeten Daha Az	1:2000	4
	1:10000	3
Pek Az: Neredeyse Hiç	1:20000	2
	<1:20000	1

### 1.8.9. Ağırlık değerinin belirlenmesi

Ağırlık, olası hatanın bir sonraki prosese, sisteme, ürüne veya müşteriye olan etkisini sayısal olarak ifade eden değeridir. Hatanın etki düzeyi ile doğru orantılı olarak değişir. Yani hata etkisi arttıkça ağırlık değeri de artar, azaldıkça ağırlık

değeri de azalır. Ağırlık değeri belirlenirken öncelikle geçmişte oluşmuş benzer hatalar incelenir. Eğer geçmişte incelenecek olan olası hataya yakın hatalar olmuş ise ağırlık değerleri bu hataların etkilerine göre takım üyeleri tarafından verilir. Fakat geçmiş hatalardan olası hatanın etkileri hakkında fikir edinilemiyorsa ya da geçmişte benzer hatalar yoksa takımın tecrübesine göre değerlendirme yapıp hata değerleri belirlenir. Tablo 1.3 'de ağırlık derecelendirme örneği mevcuttur.

Yapılan çalışmanın amacı hata türlerinin doğurabileceği sonuçları, niteliksel bir ölçü ile değerlendirebilmektir. Sonuç olarak her bir hata türü doğurabileceği kayıplara göre sınıflandırılmış olur. Kayıplar sistemin hasar görmesi, fonksiyonunu yitirmesi, can kaybı, yaralanma şeklinde ortaya çıkar. Kayıp miktar ve çeşitleri, hata etkisinin derecesini belirler. Etki derecelerini belirlemek için aynı zamanda sistemin girdi ve çıktılarındaki kayıpları esas alan tanımlar da kullanılabilir [8,10,12,13].

MIL – STD 1629A' da hata türlerinin ağırlıkları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır [1,2,12,15,24]:

1.Sınıf – Felaket Getirici Hata:

- Can kaybına neden olan,
- Birimin fonksiyonel çıktısında ciddi ölçüde azalmaya yol açan,
- Sistem veya ürün düzeyinde etkisi gözlenen hatalar.

2. Sınıf – Kritik Hata:

- Çalışanların yaralanmasına neden olan,
- Birimin fonksiyonel çıktısında ciddi ölçüde azalmaya neden olacak şekilde sistem hasarına yol açan,
- Bakım görevlileri tarafından tamir edilemeyen hatalar.

3. Sınıf – Küçük Hatalar:

- Birimin fonksiyonel çıktısında küçük etkilere, çalışanlarda küçük yaralanmalara neden olan,
- Sistemde küçük hasara yol açan,
- Duruşlara veya çıktıda çok az azalmaya yol açacak hatalar.

4. Sınıf – Çok Küçük Hata:

- Çalışanların yaralanmasına, sistemin bozulmasına yol açacak kadar ciddi olmayan, planlanmamış bakım veya tamirle giderilebilecek hatalar.

Tablo 1.3. Ağırlık derecelendirme tablosu [10-13,19]

Ağırlık	Derece
Neredeyse hiç	1
Düşük	2
	3
Orta	4
	5
	6
Yüksek	7
	8
Çok yüksek	9
	10

#### 1.8.10. Saptama değerinin belirlenmesi

Saptama değeri, daha önce olası hata olarak tanımlanan henüz gerçekleşmemiş fakat gerçekleşmesi muhtemel hatanın gerçekleştiğini varsayarak hatalı ürün veya parçanın müşteriye ulaşmadan fark edilebilirliğidir. Literatürde saptama değerini hatanın müşteriye ulaşma olasılığı olarak tanımlanmakla birlikte hatanın müşteriye ulaşmama olasılığı olarak da tanımlayanlar da mevcuttur. Bu tez çalışmasında saptama değeri hatanın müşteriye ulaşma olasılığı olarak kabul edilip tespiti zor olan ve müşteriye ulaşma ihtimali fazla olan hatalar yüksek puan almıştır. Saptama değeri belirlenirken geçmiş dönem verilerinden, benzer analiz ve proje sonuçlarından ve en önemlisi ekip üyelerinin tecrübesinden yararlanılmaktadır. Tablo 1.4 'de örnek derecelendirme tablosu mevcuttur.



Tablo 1.4. Saptama derecelendirme tablosu [12,15,19]

Saptanabilirlik	Derece	Saptama İhtimali (%)
Çok yüksek	1	86 - 100
	2	76 - 85
Yüksek	3	66 - 75
	4	56 - 65
Orta	5	46 - 55
	6	36 - 45
	7	26 - 35
Düşük	8	16 - 25
	9	6 - 15
Neredeyse imkansız	10	0 - 5

#### 1.8.11. HTEA formu hazırlanması

HTEA çalışması yapılırken önemli bilgileri kayıt altına almak ve süreci tek bir noktadan takip edebilmek adına HTEA formları kullanılır. Şekil 1.4 'te görüldüğü gibi HTEA formlarında aşağıdaki başlıklar bulunur;

- ◆ HTEA türü
- ◆ HTEA no
- ◆ HTEA sorumlusu
- ◆ Olası hata türü
- ◆ Olası hata nedenleri
- ◆ Ağırlık
- ◆ Saptama
- ◆ Önerilen faaliyetler
- ◆ Önlemlerin sonuçları
- ◆ Ürün / Sistem / Servis adı

- ◆ HTEA tarihi
- ◆ Proses fonksiyonu
- ◆ Olası hata etkileri
- ◆ Mevcut kontroller
- ◆ Ortaya çıkma
- ◆ RÖS

HTEA Türü:		Ürün, Sistem:														
HTEA No:		HTEA Tarihi:								Sayfa:						
HTEA Sorumlusu:		Hazırlayan:														
												Önem Sonuçları				
Proses Fonksiyonu	Olası Hata Türü	Olası Hata Etkileri	No	Ağırlık	Olası Hata Nedenleri	Ortaya Çıkma	Mevcut Kontroller	Saptama	RÖS	Önerilen Faaliyetler	Tamamlama Tarihi	Alınan Önlemler	Ağırlık	Ortaya Çıkma	Saptama	RÖS
Hazırlayan İsim ve İmza								Onaylayan İsim ve İmza								

Şekil 1.4. HTEA formu örneği [10,12,15,25]

### 1.8.12. Risk öncelik sayısının (RÖS) değerlendirilmesi

Risk öncelik sayısı, ortaya çıkma (O), ağırlık (A) ve saptama (S) değerleri yardımıyla hesaplanan hataların kritiklik derecelerini gösteren değerlerdir.

RÖS iki şekilde hesaplanabilir:

- Ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerlerini toplayarak( $O+A+S$ ).
- Ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerlerini çarpılarak( $O*A*S$ ).

Toplayarak RÖS değerlerini hesaplamamanın önemli risk faktörlerinin etkisini daha belirgin görebilmek gibi bazı avantajları olmakla birlikte risk faktörleri ortaya çıkma, ağırlık ve saptama olduğundan çarpılarak RÖS değeri bulmak uygulamalarda daha çok kabul gören yaklaşımdır. Bu tez çalışmasında da çarpım yöntemiyle RÖS değeri hesaplanacaktır.

Değişik uygulamalarda RÖS değerini hesaplamak için farklı risk faktörlerinin de kullanıldığı görülmüştür. Ancak RÖS değeri hesaplanırken vazgeçilemeyecek iki risk faktörü ortaya çıkma ve ağırlıktır. Bir HTEA çalışmasında, grup üyeleri önceliklerin oluşturulmasında bu iki faktör dışında başka faktörleri de göz önünde bulundurmamak isteyebilir. Bu faktörler şunlar olabilir [2,8,10,13]:

- Hatanın müşteri beklentilerindeki etkisi,
- Hatanın iç maliyetlerdeki etkisi,
- Çalışanların tecrübesiz olma olasılığı,
- Hatanın işletmenin diğer proseslerindeki etkisi.

Faktörler saptandıktan sonra RÖS değerinin hesabında kullanılacak yöntem yine grup tarafından belirlenebilmektedir.

### **1.8.13. Önlem alınacak hata türlerinin belirlenmesi**

Ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerlerinin çarpımı ile RÖS değerleri bulunduktan sonra hatalar bu değerlere göre sıralanır. RÖS değerleri; hataların hangileri için kesin olarak önlem alınması gerektiği, hangileri için önlem alıp almamanın tercihe bağlı olduğu ya da hangileri için önlem almanın gereksiz maliyet ve işgücü oluşturacağını tespit edilmesini sağlar. Genel olarak risk taşıyan, düzeltici önleyici faaliyet gerektiren hataların seçimi aşağıdaki ölçütlere göre yapılmaktadır;

- $RÖS > 100$  ise kesinlikle önlem alınması gereklidir.
- $40 \leq RÖS \leq 100$  ise önlem alınması faydalı olur.
- $RÖS < 40$  ise önlem alınması gerekli değildir.

Uygulamalarda RÖS ile ilgili rastlanılan durumlardan biri de farklı hataların aynı RÖS değerine sahip olmasıdır. Aynı RÖS değerine sahip iki veya daha fazla hata varsa, öncelikle ağırlığı sonrada saptama değeri yüksek olan hata ele alınmalıdır. Ağırlığı yüksek olan hata önceliklidir, çünkü bu değer hatanın etkisini göstermektedir. Saptama, ortaya çıkma değerinden daha önemlidir çünkü burada söz konusu olan hatanın müşteriye ulaşmasıdır. Müşteriye ulaşan hatalara, sık oluşan hatalardan daha öncelikli olarak yaklaşılmalıdır [1,8,10,12,13].

RÖS değeri 100'ün üzerinde olan hata türü miktarı fazla ise iş yükünü hafifletmek ve yöntemi kolaylaştırmak için bir basamak değeri belirlenmektedir.

Basamak değeri belirleyebilmek için istatistiksel yöntemlere başvurulabilir. Bu amaçla öncelikle belirli bir güven aralığının kabul edilmesi uygun olacaktır. Her üç

öncelik kriteri için 10'lu derecelendirme kullanıldığı varsayılırsa, basamak değeri 1000 üzerinden belirlenecektir. Örneğin %95 güven aralığında kabul edilebilir hata veya başka bir ifadeyle önem düzeyi %5'tir. Bu değer 50/1000'e karşılık gelmektedir. Buradan basamak değerinin 50 puan olduğu görülmektedir. Yani 50 puan üzeri RÖS değerlerini değerlendirmeye almamız %95 güven aralığında istediğimiz amaca ulaştıracaktır. Bu basamak değeri aynı hesaplamayla %99 güven aralığında 10, %90 güven aralığında ise 100 puana karşılık gelmektedir [33].

#### **1.8.14. Alınacak önlemlerin belirlenmesi ve uygulanması**

RÖS değeri, eşik değerinin üstünde olan risk değeri taşıyan hatalara düzeltici faaliyetler uygulanır. Düzeltici faaliyetleri uygulamadaki amaç RÖS değerlerini risk taşıyan eşik değerinin altına çekmektir. RÖS değeri ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerlerinin çarpımı olduğu için bu değerlerin azaltılması RÖS değerini de azaltacaktır.

Ortaya çıkma değerini düşürecek önlemler arasında [2,8,12];

- Planlar, şartnameler
- Üretim yöntemleri, üretim akış yöntemleri
- Organizasyon
- Tasarımlar
- Çevre ve koruma koşullarında değişiklikler yapmak sayılabilir.

Ağırlık değerinin azaltılması ise tasarım ya da üretim süreci revizyonu ile mümkün olabilir. Ürün ya da üretim süreci değişikliği, şiddet değerinin azalmasına neden olacak anlamına gelmez. Herhangi bir değişiklikte takım bu değişikliği yeniden gözden geçirmeli ve ürün ya da proses üzerine nasıl bir etkide bulunacağını değerlendirmelidir. Burada en iyi yöntem değişikliklerin süreç geliştirmeden önce uygulanmasıdır [4].

Saptama faktörü için belirlenen değeri düşürmek için aşağıdakiler yapılabilir [2,8,12]:

- Kontrol sıklıkları artırılır.
- Kontrol yönteminin güvenilirliği artırılır,
- Uygun olmayan parçaların bir sonraki müşteriye ulaşmasını önleyecek fiziksel olanaklar sağlanır.

İyileştirme adımları HTEA takımı tarafından uygulanabileceği gibi her konu ile ilgili görev verilen kişi veya farklı gruplarca da ele alınabilir. Belirli bir termin çerçevesinde

Çalışmaların tamamlanması istenir. Uygulamaların takibi ve değerlendirmelerin takım tarafından yapılması daha uygun olur [1,2,6].

#### **1.8.15. HTEA uygulamasından sonra yeni RÖS değerlerinin belirlenmesi**

Risk değeri taşıyan hatalara düzeltici faaliyet uygulandıktan sonra RÖS değerleri tekrar hesaplanır. Bu değerler eşik değerinin altında ise HTEA uygulaması başarılı olmuş demektir. Eşik değeri sisteme, prosese veya duruma göre değişebilen tamamen HTEA ekibine bağlı olan değerlerdir. Eğer önlemler sonucu belirlenen eşik değerinin altına düşürülemediği takdirde ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerleri tekrar ele alınıp yeni önlemler alınmalıdır. Bu önlemler mevcut HTEA uygulamasına ek uygulamalar olabileceği gibi yeni bir HTEA uygulaması başlatmakta olabilir.

## **2. DENEY TASARIMI VE TAGUCHİ YAKLAŞIMI**

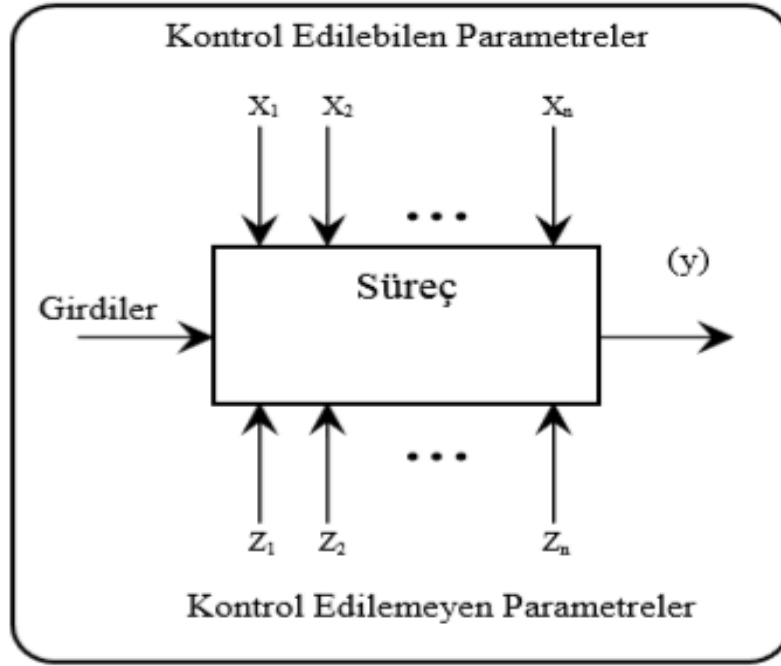
### **2.1. Deney Tasarımı**

Deneyler, araştırmacılar tarafından bir sistemi ya da belirli bir süreci tanımlamak ve anlamak için kullanılır. Literatürde bir deney aynı zamanda bir testtir. Bir süreç ya da sistemin girdilerinde değişiklik yapılarak çıktıların gözlemlenmesi ve analiz edilmesidir [54].

Deney, genel olarak bir veya birden fazla sayıda belirli bir konuda sınırlandırılmış soruları yanıtlamayı hedefleyen işlem şekli olarak tanımlanır. Deney tasarımı, belirlenmiş bir tasarım matrisine göre süreç üzerinde etkili olması muhtemel süreç değişkenleri değerlerinin sistematik olarak değiştirilerek, bir deney bir takım sıralı deneylerin geręekleřtirilmesi yöntemidir [52].

Deney tasarımı, bir prostedeki girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi, elde edilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanır [50,51].

Deney tasarımı, proses optimizasyonunda, proses değişkenlerinin tanımlanmasında ve proses değişkenliğinin azaltılmasında önemli bir yöntemdir. Bir sistemin veya sürecin genel modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Proses değişkenlerinden  $X_1, X_2, \dots, X_p$  kontrol edilebilir değişkenler ve  $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$  kontrol edilemeyen değişkenler olarak tanımlanır [42,48,50,51].



Şekil 2.1. Bir sürecin genel gösterimi [38,39,42,48,51,54]

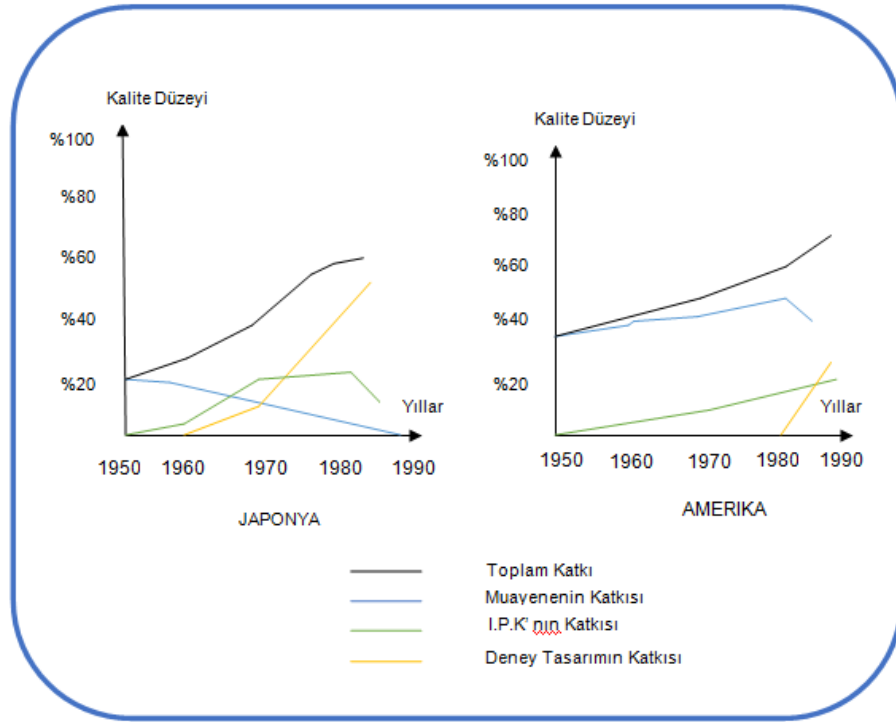
Deney tasarımında amaç; herhangi bir konu üzerinde düşünülen problem ile ilgili en fazla sayıda bilgiyi mümkün olduğunca zaman, para ve deney malzemelerini olabildiğince ekonomik şekilde kullanımını sağlamak ve kalite karakteristikliğini etkileyen en önemli değişkenleri bulmaktır. Belirlenen hedeften olabilecek sapma, kalite kaybına neden olmaktadır. Bu iki aşamanın en önemli adımı şüphesiz parametre tasarımıdır. Parametre tasarımı aşamasında, kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen faktörlerin ürünün performansına olan etkilerini belirlemek için kullanılan en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Burada amaç, kontrol edilebilir faktörlerin düzeylerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini en aza indirecek şekilde süreci düzenlemektedir. Şekil 2.1 'de görüldüğü gibi ürün veya süreç tasarımı ile sağlam ürün elde edilir. Deney tasarımı, çevrim dışı kalite kontrolün en etkili aracıdır [52].

## 2.2. Deney Tasarımının Tarihsel Gelişimi

Deney tasarımı 1920'li yıllarda İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve gelişimi sağlanmıştır. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için günümüzde klasik sayılan "Varyans Analizi" (Anova) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa süre içerisinde Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak kullanılmış ve Amerika'nın bu alanda lider konuma gelmesine büyük katkı sağlamıştır. Tarım alanında, çeşitli

gübre ve dozları ile iklim koşullarının sulama düzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır [27,29,46,50,59,61].

Deney tasarımı, 1950'lere kadar tarım, kimya ve ilaç sanayilerinde etkin şekilde kullanılmış olmasına rağmen diğer sektörlerde yaygın olarak kullanılmamıştır. W. Edwards Deming'in bu yıllarda Japonya da toplam kalite yönetimi ile ilgili yaptığı çalışma ve konferanslar ve özellikle bazı Japon firmalarında uygulama alanı bulan kısmi faktöriyel tasarım yöntemlerinin güvenilir, etkin sonuçlar vermesi ve bunu daha az maliyetle gerçekleştirmesi deney tasarımı tekniklerinin Japonya'da yaygınlaşmasını sağlamıştır [27,57]. Japon endüstrisinin her kolunda 1950-70 yılları arasında yaygın olarak kullanılan Deney Tasarımı ve diğer istatistiksel kalite teknikleri 1970'li yıllarda Japonya'da gerçekleşen sanayi hamlesinin de temel sebebi olmuşlardır. ABD'de ise bu süreçte sadece tarım sektöründe etkin şekilde kullanılan Deney Tasarımı teknikleri 1980'li yıllara gelindiğinde üretim sektörünün pek çok kolunda kullanılmaya başlanmıştır [27,29]. Şekil 2.2 ' de karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.2. 1950 - 1990 yılları arasında üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı [27,29,51,57,63].

Günümüzde bütün dünyada deney tasarımı eğitimleri verilmekte, uygulamalar neredeyse üretim sektörünün her alanında kullanılıp sürekli geliştirilmektedir. Dünyada her gün binlerce istatistiksel deney tasarlanmaktadır.



### 2.3. Deney Tasarımı Türleri

Literatürde pek çok deney tasarımı yöntemi bulunmaktadır, bununla birlikte bu yöntemleri aşağıdaki temel başlıklar altında sınıflandırmak uygun olacaktır [27]:

#### 1. Tek etmenli deneyler

- a. Tesadüf parselleri deney tasarımı
- b. Tesadüf blokları deney tasarımı
- c. Latin karesi deney tasarımı

#### 2. Çok etmenli deneyler

##### a. Faktöriyel deneyler

- Tam faktöriyel deney tasarımı
  - $2^k$  faktöriyel tasarım
  - $3^k$  faktöriyel tasarım
- Kesirli (kısmi) faktöriyel deney tasarımı
  - İç içe deneyler
  - Taguchi tasarımı

### 2.4. Taguchi Tasarımı

Dr. Taguchi kendi adıyla anılan deney tasarımı tekniği ile deney sayısını oldukça azaltan bir teknik geliştirmiştir. Taguchi yöntemi sayesinde belli güven aralığında optimum sonuca ulaşmak için gerekli deney sayısı oldukça azalır. Taguchi tekniği; kaliteyi arttıran, maliyeti düşüren, araştırma geliştirme faaliyetlerini hızlandırmaya yarayan bir tekniktir. Taguchi yöntemi sayesinde sistemi etkileyen parametrelerin etkisi verimli bir şekilde elde edilir [58].

Taguchi metodu, üründe ve proseste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım yöntemidir. Bu yöntem; ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç vermektedir. Bunun yanında felsefe olarak, kalitenin tasarım ve proseste sağlanmasını öngörmektedir [34].

Taguchi metodu, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin, istatistiksel analizde

kullanılmaktadır. Taguchi'nin deney tasarım metodu, farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir [54].

Taguchi metodu bir kesirli faktöriyel deney tasarımı türü olarak görülse de kendine has bazı yenilik ve özellikler taşımaktadır. Bu yöntem, kısmi faktöriyel tasarım yöntemine robust tasarım ve ortogonal dizinler gibi kavramların dahil edilmesiyle oluşturulmuştur. Taguchi'nin deney tasarımına kattığı bu yeni fikirler ve buna bağlı olarak son yıllarda Taguchi metodunun sanayi uygulamalarında elde edilen başarılı sonuçlar metodun hem kesirli faktöriyel deney tasarımı hem de diğer deney tasarımı yöntemlerine göre belirgin ölçüde öne çıkmasına neden olmuştur [57].

Taguchi metodu, geleneksel istatistiksel metotlara alternatif olarak ortaya çıkmıştır. İstatistiksel metotlar genel olarak belirli toleranslar içinde çalışmayı esas alırlar. Bunun için on-line sistemde alınan numunelerin muayenesi veya daha çok nihai ürün üzerinde yapılan testler bazında çalışılır. Diğer yandan Taguchi nihai ürün üzerinde yapılan çalışmaların maliyet arttırmaktan başka bir işe yaramadığını iddia etmekte ve kalite tespit çalışmalarını ürün dizaynında ürün veya proses üzerinde yapılması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu durumun ileri safhalarda oluşacak muhtemel hata ve kusurların önceden önlenmesine yardımcı olacağını bilmektedir. Zira iyi bir ürün on-line kalite kontrol sisteminden ziyade, iyi bir tasarım sonucunda elde edilir. Yapılan çeşitli uygulamalar Taguchi'yi haklı çıkarmıştır. Bu sebeple Taguchi metodunun ana prensipleri tartışılarak yaygın kullanımı sağlamak amaçlanmaktadır [43].

Üretim endüstrisindeki önemli gelişmelerden biri de modern çevrim dışı kalite kontrol tekniklerinin ürün veya proses mühendisliğine uygulanması ile ilgilidir. Bu kalite tekniklerinin çoğu W.E. Deming tarafından şekillendirilmiştir. Taguchi yönteminin felsefesi bu kalite teknikleri üzerinde kurulmuştur. Taguchi'ye göre kalitenin sağlanabileceği en önemli nokta, üretim öncesinde yapılan tasarım faaliyetleridir [66].

## **2.5. Taguchi Yaklaşımının Tarihsel Gelişimi**

Deney tasarımı, 1920'lerde istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan varyans analizi yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem kısa süre içinde, Amerika'da

tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır [29].

Dr. Taguchi, Ronald Fisher'in geliştirdiği deney tasarımı yöntemine kattığı yeniliklerle, ikinci dünya savaşı sonrasında Japonya'daki en önemli projelerden birisi olan Japon telefon sisteminin geliştirilmesi projesinde yaptığı çalışmalarda başarıyla adını dünyaya duyurmuştur. Projenin amacı ABD'deki AT&T Bell telefon şirketinin laboratuvarlarında kullanılan iletişim sisteminin aynısını Japonya'ya kurmaktır. Ancak Nippon Telefon ve Telgraf araştırma merkezinin büyüklüğü AT&T'nin %2'si kadar olduğundan projenin bitirilmesinin yaklaşık 20 yıl süreceği tahmin ediliyordu. Dr. Taguchi robust tasarım ve kesirli faktoriyel tasarım yöntemlerinin kullanılmasını önererek projenin sadece 4 yılda bitirilmesini sağlamıştır. Robust tasarımı geliştiren ve birçok ürünün geliştirilmesinde kullanılan Taguchi 1962'de kalite alanında en önemli ödüllerden biri olarak kabul edilen Deming ödülüne layık görülmüştür [31].

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

## **2.6. Taguchi Yönteminin Felsefesi**

Taguchi'nin kalite felsefesi aşağıdaki yedi temel noktada özetlenebilir [17,30,35,46,52.59]:

- Bir ürünün kalitesinin boyutu; onun toplumda meydana getirdiği kayıptır.
- Rekabetin olduğu bir pazarda kalite geliştirme çalışmaları kaçınılmaz bir zorunluluktur.
- Kalite geliştirme çalışmaları ürünün nominal değerden sapmasını azaltma amacını hedeflemektedir.

- Ürünün performansından dolayı tüketicilerin maruz kaldığı kayıp; o ürünün nominal değerden sapma miktarının karesiyle orantılıdır.
- Bir ürünün kalitesi ve maliyeti, o ürünün tasarım ve mühendislik prosesi tarafından belirlenir.
- Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için, o ürünün performans karakteristikleri üzerinde etkili olan parametrelerin olumsuz etkilerini azaltmak gerekir.
- İstatistiksel deney metotları; o ürünlere ait performans değişikliğine etki eden faktörleri ortaya çıkartmak amacı ile kullanılır.

Taguchi yöntemi, üründe ve proste değişkenliğe neden olan kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen (gürültü) faktörlere karşı duyarsız olacak şekilde belirleyerek, ürün ve prostedeki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım yöntemidir. Bu yöntem, ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesinin yanı sıra çok daha az deneme ile iyi sonuçlar veren ve istatistiksel araçlar ile ilgili bilgisi az uygulayıcılarında kolaylıkla uygulayabilecekleri bir yaklaşımdır [35].

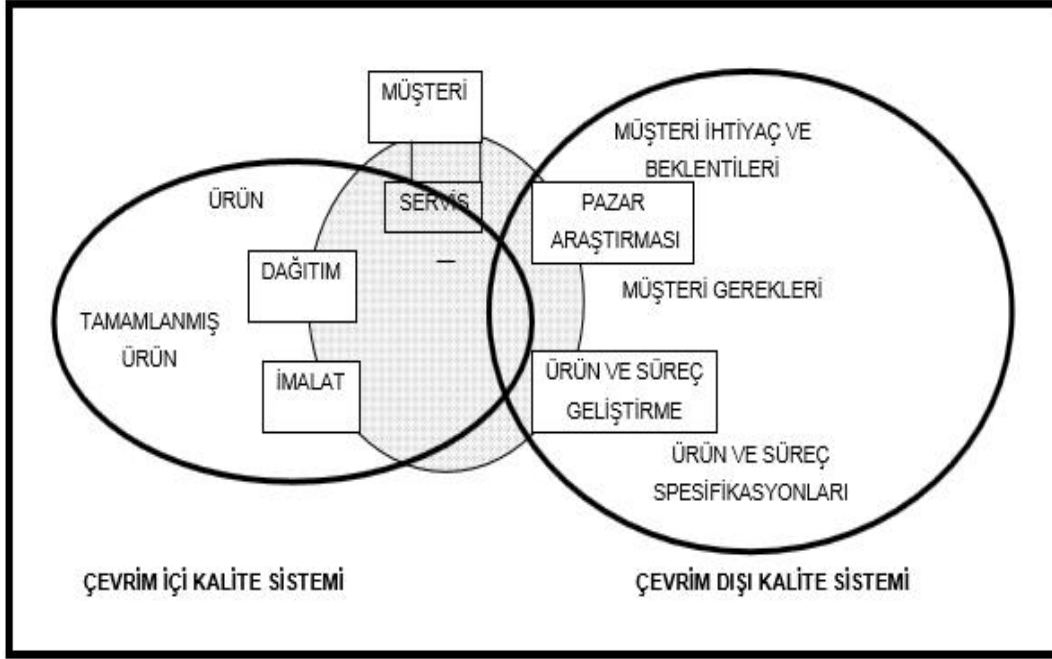
## **2.7. Taguchi'nin Üretim Kalite Sistemi**

Üretimde, başlangıçta sanayi toplumuna geçişin ilk zamanları olması sebebiyle sanayi ürünlerine büyük talep vardı. Bu sebeple üretilen ürün, kalitesine bakılmaksızın pazarda müşteri bulabiliyordu. Böylece kalite daima ikinci planda kalıyordu ayrıca çevrim dışı kalite kontrol teknikleri gelişmediğinden, kalite kontrol sadece üretim içi yöntemlerle sınırlı kalıyordu. Günümüzde ise teknolojik gelişmelere paralel olarak insan ihtiyaçları da gelişmiştir. İnsanlar günümüzde aldıkları bir ürün veya hizmetin kaliteli olmasını, kendilerine maksimum faydayı sağlarken, en az sorunla karşılaşmayı istemektedirler. Bu durumda insan ihtiyaçlarının doğru tespit edilip ürünün ilk seferde hatasız üretilmesini sağlamakla gerçekleştirilebilir. Bu sebeple günümüzde kalite kontrol tekniklerinde ağırlık üretim dışı yöntemlere özellikle de kaliteye büyük katkısı olan istatistiksel deney düzenine kaymıştır. Deney tasarımı Taguchi'nin kalite sisteminde, üretim dışı kalite kontrol sistemi içinde ürün ve süreç tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır [29,52].

Taguchi'nin kaliteyi tanımlaması müşteri odaklı bir tanımdır. Taguchi kaliteyi negatif bir tarzda tanımlar. Taguchi kaliteyi; ürünün müşteriye gönderildikten sonra toplumda meydana getirdiği kayıpla değerlendirmiştir. Ürünün kalitesi arttırılmak

isteniyorsa müşteriye meydana getirebileceği kayıplar en az olacak şekilde üretilmelidir [55]. Şekil 2.3 'de kalite çemberi özetlenmiştir.

Üretimde kalitenin sağlanması için Çevrim Dışı (Off-Line) ve Çevrim İçi (On-Line) kalite kontrol olmak üzere faaliyet alanları Şekil 2.4 'de görüldüğü gibi ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 2.3. Taguchi'nin üretim kalite çemberi [17,50,51,57,59]

### 2.7.1. Çevrim içi (On-Line) kalite kontrol

Ürünün imalatına geçildiği andan itibaren başlayan imalat sonrasında da devam eden faaliyetlerdir. Çeşitli muayene ve kontrol yöntemleri ile ürünü üretirken kontrol edip kaliteyi sağlama ile başlayıp, hatalı ürünleri ıskartaya ayrılması veya düzeltilmesi ile devam eden, ürünün müşteriye hatalı gittiği durumlarda, müşteriden gelen ürünlerin servis ve bakımını yaparak sonuçlanan faaliyetler bütünü çevrim içi kalite kontroldür.

İstatistiksel proses kontrol de; sistemi en iyi ve en doğru biçimde ifade edebilecek bir veya birkaç değişken seçilerek bu değişkenlerin üretim süreci boyunca aldıkları değerler, belirli aralıklar ile önceden belirlenen standartlar ile kıyaslanarak değerlendirilir. Bu değerlendirme süreci kararlılık ve yeterlilik analizleriyle yapılır. Bu değerlendirme sonucunda üretim sistemini karakterize eden parametrelerdeki değişim, sistemdeki kontrol dışılık hemen anında gözlemlenerek kontrol ve

müdahale imkanı elde edilmiş olur. Bu kontrol ve müdahale yapılırken; kontrol dışılığın sebepleri belirlenir, en etkin sebep dikkate alınarak çözüm planı hayata geçirilir. Daha sonra süreç tekrar kararlılık ve yeterlilik analizleriyle takip edilerek geliştirilen çözümün başarılı olup olmadığı takip edilir [27].

Çevrim içi kalite kontrolde, üretim kalitesini etkileyen değişkenleri azaltmak ve üretim karakteristiklerini hedef değerde ya da hedef değere yakın tutmak için aşağıdaki üç ayrı yöntem kullanılmaktadır [37]:

- Sürecin Tespiti ve Ayarlanması: Süreç kontrolü olarak da bilinen bu yöntemde; süreç için bir tolerans aralığı belirlenir. Kontrollerde çıkan sonuçlar bu aralık içinde olduğu sürece üretim normal akışında devam ediyor şeklinde düşünülür. Ancak sonuçlar bu belirlenen aralık dışına çıktığında düzeltici tedbirlere başvurulur. Kontrol grafikleri yöntemin uygulanmasında kullanılmaktadır.
- Tahmin ve Düzeltme: Bu yöntem de sayısal karakteristiklerin belirli aralıklarla ölçü kontrolünden geçirilmesi ve bu karakteristiklerin ortalama değerinin hesaplanması şeklinde uygulanır. Eğer hedef değerle hesaplanan değer uyumlu şekilde ilerliyorsa, üretim normal akışında devam ediyor şeklinde kabul edilir. Ancak hedef değerle hesaplanan değer paralellik göstermiyorsa, düzeltme faktörleri ile değişkenlik azaltılmaya çalışılır. Genellikle sistem tasarımında kullanılan metot geri beslemeli kontrol yöntemi olarak adlandırılır.
- Ölçme ve Faaliyet: Muayene olarak adlandırılan bu yöntemde üretilen her bir ürünün ölçüsü spesifikasyonların dışında ise düzeltilir veya yeniden üretilir. Bu metot süreçle ilgili olan ilk iki metottan farklı olarak sadece ürünle ilgilidir.

### **2.7.2. Çevrim dışı (Off-Line) kalite kontrol**

Çevrim dışı kalite kontrol aşaması müşteri talep ve beklentilerinin belirlenmesi, bu beklentileri karşılayacak ürün tasarımı ve üretim için gerekli spesifikasyonların, prosedürlerin ve ekipmanların geliştirilmesi konularını kapsamaktadır. Taguchi'nin kalite sisteminde deney tasarımı, çevrim dışı kalite kontrol aşamasında yer almaktadır. Taguchi çevrim dışı kalite kontrolü ürün tasarımı ve proses tasarımı olmak üzere iki aşamaya ayırıyor. Ürün tasarımı aşamasında, yeni bir ürün geliştirilir veya mevcut ürünün tasarımı üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılır. Buradaki amaç müşteri isteklerini karşılayacak ürünü tasarlamaktır. Proses tasarımı aşamasında ise, ürün tasarımı aşamasındaki gereksinimleri karşılayacak üretim prosesleri geliştirilir [62].

Çevrim dışı kalite kontrolde ürün tasarımı ve süreç tasarımı olarak yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi iki aşama bulunmaktadır. Ürün tasarımı aşamasında yeni bir ürün geliştirilir veya mevcut olan ürün üzerinde değişiklikler yapılır. Amaç müşteri tercihlerini, isteklerini veya beklentilerini karşılayacak ürünün tasarlanmasıdır. Süreç tasarımı aşamasında ise, üretim ve proses mühendisleri ürün tasarımı aşamasında geliştirilen özellikleri karşılayacak üretim süreçlerini geliştirmek amacıyla üretim akışını analiz ederek üretim sürecini uygun şekilde düzenlerler. Taguchi çevrim dışı kalite kontrolün her iki aşamasında da ürünün kalite güvenilirliğini sağlamaya yönelik üç aşamalı bir yaklaşım getirmiştir [52]:

ÇEVİRİM DIŞI KALİTE KONTROL	<u>1. Aşama</u> Ürün Tasarımı	<u>Konular</u> 1. Müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin belirlenmesi 2. Müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak, aynı zamanda sürekli ve ekonomik olarak imal edilebilecek ürünün tasarımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Sistem Tasarımı 2. Parametre tasarımı 3. Tolerans tasarımı
	<u>2. Aşama</u> Süreç Tasarımı	<u>Konu</u> İmalatlar için açık ve yeterli standart spesifikasyon, yöntem, üretim araçlarının tasarımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Sistem Tasarımı 2. Parametre tasarımı 3. Tolerans tasarımı
ÇEVİRİM İÇİ KALİTE KONTROL	<u>1. Aşama</u> Üretim	<u>Konu</u> Ürünün, daha önce ürün tasarımı ve süreç tasarımı aşamalarında belirlenen standart ve spesifikasyonlara göre üretilmesi	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Süreç Teşhisi 2. Ayarlama 3. Muayene ve ıskartaya ayırma
	<u>2. Aşama</u> Müşteri İlişkileri	<u>Konu</u> Müşteriye servis hizmetinin verilmesi ve ürünün kullanımı sırasında çıkan problemlerle ilgili bilginin, ürün ve süreç tasarımının gelişmesi için kullanımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Tamir, değiştirme 2. Geri besleme bilgisi 3. Ürün, süreç spesifikasyon dizaynının değiştirilmesi

Şekil 2.4. Kalite mühendisliği bileşenleri ve içerikleri [52,59]

#### 1. Sistem Tasarımı

- Pazarın tanımlanması
- Teknolojinin değerlendirilmesi
- Gerekli bilgiler
- Muhasebe
- Pazarlama

- Mühendislik
- Bazı tercihlerin yapısı
- Malzeme cinsi
- Yarı mamül cinsi
- Ölçüm sistemlerinin seçimi
- Üretim ekipmanlarının seçimi

## 2. Parametre Tasarımı

- Deney tasarımının kullanılması
- En iyi faktör kombinasyonunun seçilmesi
- Maliyeti yükseltmeden kaliteyi artırma

## 3. Tolerans Tasarımı

- Tolerans daraltılması
- Cevap değişkenini etkileyen faktörlerin belirlenmesi
- Toleransların düşürülerek toplumsal kaybın azaltılması [57]

### 2.7.2.1. Sistem tasarımı

Sistem tasarımı metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenir, bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir. Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili; pazarın tanımlanması, buluşların değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca burada malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir. Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denilebilir. Burada temel amaç, üretim aşamasında, spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en düşük maliyetle, mamul üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için Pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir [57,59,65].

### 2.7.2.2. Parametre tasarımı

Parametre tasarımının gerçekleştirilmesindeki asıl amaç, üründe ve proseste değişkenlik meydana getiren kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin en iyi seviyelerinin seçilerek ürün ve prosesteki değişkenlikleri en aza indirmektedir. Taguchi, bu amaçla gerçekleştirilen ürün veya proses tasarımına “sağlam (robust) tasarım” demektedir. Burada belirtilen sağlam tasarım kontrol



edilemeyen nem, ses, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız ürün ve süreç tasarımı anlamına gelmektedir. Sağlam tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka faktörlerin ayarlanması sonucu azaltılmaktadır. Deney tasarımı bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyet arttırmadan kaliteyi geliştirmek mümkün olmaktadır [29].

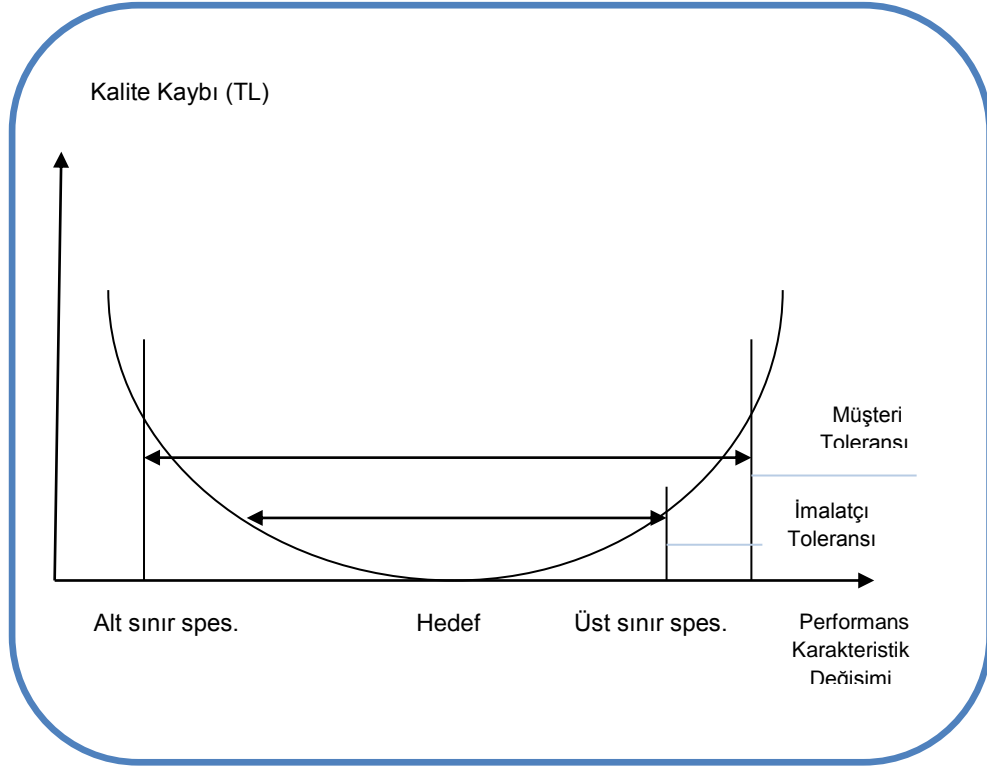
### **2.7.2.3. Tolerans tasarımı**

Sistem tasarımında sistemi oluşturan elemanların parametreleri, parametre tasarımında ise bu parametrelerin tasarımı belirlenmiş bir optimal değere göre ayarlanır. Bu değer kabul edilebilir bir toleransı da olması gerekmektedir. Bu tolerans değeri ne kadar küçük olursa ürün o denli kaliteli ve pahalı, tolerans değeri ne kadar büyük olursa ürün kalitesi o denli düşer fakat fiyatı ucuzlar. Tolerans tasarımı tam bu aşamada devreye girip ürünün maliyet - kalite dengesini sağlayarak kabul edilebilir bir tolerans değeri belirlenmesini sağlar.

Tolerans tasarımının adımı en ekonomik adım belirlenir. Belirlenen bu toleranslar ile hedeflenen değerden kabul edilebilir sapmalarla ürünün maliyeti minimize edilmektedir. Üretim sürecindeki değişimler mümkün olduğunca azaltılsa bile amaç hala hedef değere ulaşmaktır. Fakat bazı durumlarda değişkenlik çok fazla olmakta ve değişkenliğini azaltmak için toleransların küçültülmesi gerekmektedir. Tipik olarak her bir kontrol parametresinin yaklaşık olarak katkısını belirleyebilmek için varyans analizi (Anova) kullanılmakta ve bu şekilde tolerans daraltmada, gelişmiş malzeme kullanma durumunda veya diğer yüksek maliyetli kaliteyi geliştirmeye geçecek faktörler tanımlanmış olmaktadır. Üretici düşük malzeme özellikleri kullanarak bir üründen daha fazla kar etmek amacıyla, ürün karakteristiklerinin tolerans limitlerinin sınır noktalarına yaklaşılmasına müsaade etmemelidir. Tasarım parametreleri belirlenirken toplam ürün maliyeti ile müşteri memnuniyeti toplamı dikkate alınarak karar verilmelidir. Tolerans değerleri, ürün karakteristiklerinin hedef değerden sapmalarının oluşturduğu toplumsal kayıp ile, ürün özelliklerinin tolerans dışına çıktığında üreticinin hatayı düzeltmek amacıyla yaptığı harcamaları dengeleyecek şekilde seçilir [36,52].

## 2.8. Kayıp Fonksiyonu

Geleneksel yöntemde kalite maliyetini hesaplama yöntemi, revize edilen veya reddedilen parçaların sayısı ile hesaplanır. Şekil 2.5 'te geleneksel kayıp fonksiyonu anlayışına göre alt ve üst sınırlar parametrelerin kabul edilebilir sınırlarını göstermektedirler. Belirlenmiş parametrelerin değerleri bu sınırlar içinde olduğunda ürün normal olarak kabul edilir. Toplumsal kayıp oluşması beklenmez ve ürün müşteriye gönderilir. Fakat bu sınırlar dışındaki bölgede ürünlerde işlevsel bozulmalar olacak, bu ürünler ya revize edilip sınır içine çekilecek ya da atılacaktır. Geleneksel kalite kontrolün amacı ürünü bu sınırlar içinde tutarak kontrol etmektir [52,53].



Şekil 2.5. Geleneksel kalite kontrol yaklaşımında kayıplar [30,52,53,57,63]

Geleneksel kalite kontrolde, parçalar hedef değerden sapmalarına bakılmaksızın, spesifikasyon sınırları içinde olup olmadıklarına göre değerlendirilir. Parçanın değeri sınırların dışındaysa, parça yeniden işleme veya hurdaya sevk edilir; içindeyse kabul edilir. Firma açısından kayıp ya sıfırdır, ya tamdır. Taguchi, bu geleneksel görüşün gerçeği aksettirmedeğini düşünerek karesel kayıp fonksiyonu denilen ve aşağıdaki şekilde gösterilen kayıp fonksiyonunu getirmiştir. Bu şekilde, yatay eksen hedeften sapmanın miktarını, dikey eksen parasal kaybı temsil eder.

Kayıp, ürünün fabrika çıkışından sonra oluşan tüm kaybın toplamıdır. Buna; iadeler, garanti talepleri, müşterinin tamir masrafları gibi maliyetler dahildir. Hedef değerden sapma arttıkça, kayıp sapmanın karesi oranında artmaktadır [29].

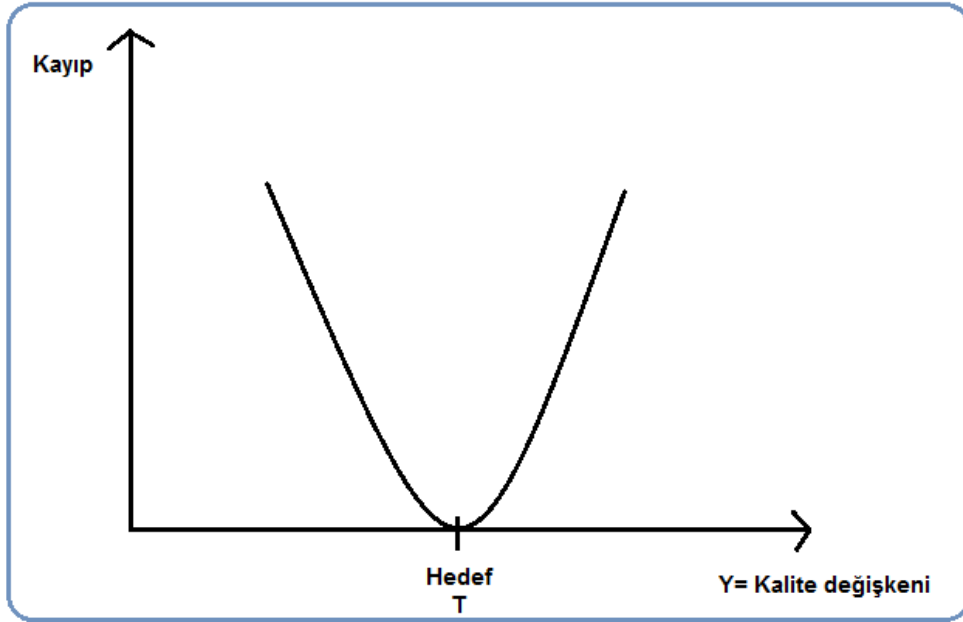
Kayıp fonksiyonunun denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$\text{Kayıp} = k (Y-T)^2 \quad (2.1)$$

T = Hedef değer.

Y = Değişkenin ölçülen değeri.

k = Sapmayı para birimine çeviren katsayı [29,55].



Şekil 2.6. Taguchi kayıp fonksiyonu [27-29, 50, 57]

Şekil 2.6' Kalite kayıp fonksiyonu aşağıdaki şekilde özetlenebilir [53]:

- Ürünün kalite özellikleri hedefte olduğu zaman kayıp sıfır olmaktadır.
- Kalite kayıp fonksiyonu sürekli bir fonksiyondur ve hedef değerden sapmaları ölçmektedir.
- Kalite kaybı ürünün belirlenen başarıma gücünün özellikleri ile ilgilidir. Bu sebeple kaliteyi ürün içinde en iyi düzenleyerek kayıplar en aza indirilir.
- Müşteri memnuniyetsizliğinin oluşturduğu kalite kayıpları sistemin genişliğine göre değerlendirilmelidir.
- Kalite kaybı maddi ve sosyal bir kayıptır.
- Kalite kaybının en aza indirilmesi rekabet edebilmenin ve bugünkü uluslararası iş hayatında ayakta kalmanın tek yoludur.

## 2.9. Taguchi'nin Sinyal / Gürültü Oranları

Taguchi metodunda sonuçları analiz edebilmek için S/G oranı olarak bilinen bir istatistiksel performans ölçüsü kullanılır. Deneylemlerden elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü oranına (S/G) çevrilerek değerlendirme yapılır. S/G oranındaki S sinyal faktörünü, G ise gürültü faktörünü ifade etmektedir. Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılamayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. Gürültü kaynakları, elde edilmek istenen performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına sebep olan tüm değişkenlerdir. O halde S/G oranındaki gürültü faktörlerini ifade eden G değeri ne kadar küçük olursa hedef değer o denli büyümektedir [44].

Taguchi, uygulamadaki problemleri, hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü (S/G) oranı tanımlamıştır [38, 49-51, 56, 60].

### • En Küçük – En İyi

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

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \times \log(\sum Y^2/n) \quad (2.2)$$

### • En Büyük – En İyi

Bu durumda Y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/gürültü oranı aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \times \log[\sum (1/Y^2)/n] \quad (2.3)$$

### • Hedef Değer – En İyi

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

$$S/G \text{ Oranı} = 10 \times \log(\bar{Y}^2/S^2) \quad (2.4)$$

S/G oranı büyüdükçe hedef etrafında ürün varyansı küçülmektedir. Analizlerde S/G'nin en büyük değeri daha tercih edilir durumu belirtmektedir. S/G oranı, çok sayıda tekrarı mevcut değişkenliği yansıtan tek bir değerle birleştirir. Her üç tip problemde de amaç S/G oranını enbüyüklemektir [61].

S/G oranlarının birkaç farklı şekli, optimizasyon prosesinin amaçları esasına göre kullanılır. Bununla beraber S/G oranları aşağıdaki özelliklere sahiptir [56]:

- S/G oranı, gürültü faktörüyle neden olunan sistem yanıtındaki değişkenliği gösterir.
- S/G oranı ortalamasının düzeltilmesinden bağımsızdır. Bu ölçüm hedef değeri değişse bile kalite için öngörü yapılmasında faydalı olacaktır.
- S/G oranı nispi kaliteyi ölçer, çünkü karşılaştırma amaçları için kullanılmaktadır.
- S/G oranı ürün kalitesinde pek çok faktörün etkileri analiz edildiği zaman kontrol faktörleri etkileşimi gibi gereksiz karmaşıklıklara neden olmaz.

## 2.10. Ortogonal Dizinler

Tam faktöriyel deney tasarımı faktörlerin seviyelerinin tüm kombinasyonları dikkate alınarak deneyler yapılmaktadır. Ancak çok sayıda faktör ve seviye bulunduğu durumlarda deneylerin gerçekleştirilmesi çok fazla zaman almakta ve maliyet artmaktadır. Taguchi bu sıkıntıyı gidermek için yani tam faktöriyel tasarımda ulaşılan sonuçlara daha az deneyle diğer bir ifadeyle daha az zaman kaybı ve maliyetle ulaşabilmek için yoğun çalışmalar yapmış ve ortogonal dizinleri geliştirmiştir. Ortogonal dizinler farklı faktör sayıları ve seviyeleri için yapılması gereken deney sayısını ve her bir deney için seçilmesi gereken faktör seviyelerini gösteren çizelgelerdir. Ortogonal dizinler kullanılarak, deneylerin tüm kombinasyonları denenmeden, bu deneylerin sadece bir kısmı yapılmakta ve en iyi performans karakteristiği değerini veren faktör seviyelerinin kombinasyonu belirlenebilmektedir. Ortogonal dizinlerde bu deney azaltma işlemi, faktöriyel tasarımdan farklı olarak, faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirilerek başarılmaktadır [27].

Örneğin 2 seviyeli ve 7 faktörden oluşan bir deneyde geleneksel yol tercih edilirse deney sayısı  $2^7 = 128$  olur. Burada 2 seviye sayısını, 7 ise faktör sayısını göstermektedir. Tamamlanmış faktöriyel deneyler sadece birkaç faktör incelendiğinde kabul edilebilir fakat çok sayıda faktör incelendiğinde pek kullanışlı değildir. Harcanan fazla zaman ve yüksek maliyet oluşturması sebebiyle tamamlanmış faktöriyel deneyler tercih edilmemektedir. Bununla birlikte istatistikçiler kısmi faktöriyel deneyler diye bilinen daha etkili test planları geliştirmişlerdir. Kısmi faktöriyel deneyleri, tüm faktör etkileri ve sadece bazı etkileşimleri kestirebilmek için bütün kombinasyonların sadece bir kısmını kullanmaktadır. Taguchi tarafından gerçekleştirilen 8 denemeli  $L_8$  dizisi bu deney için uygundur. Yapılacak 8 adet deney

ile istenilen analizler yapılabilir ve  $128 - 8 = 120$  deney yapmak için geçen süre ve maliyetten tasarruf edilir. Aynı zamanda istatistiksel açıdan da proses ya da tasarımların genellikle bağıl olarak daha az parametre ile de uygun olarak ifade edilebileceği göz önünde bulundurulduğunda tam faktöriyel tasarım ve denemenin çok gerekli olmadığı da bir gerçektir [46,57,63].

Ortogonal dizimler L harfinin arkasına deney sayıları eklenerek gösterilir. Aşağıda en çok kullanılan ortogonal dizimler ve düzeyleri gösterilmektedir;

- 2 seviyeli: L4, L8, L12, L16, L32, L64
- 3 seviyeli: L9, L18, L27
- 4 seviyeli: L16, L32

Tablo 2.1 'de 2 seviyeli 7 faktörlü L8 ortogonal dizimi örneği mevcuttur. Taguchi deney tasarımı yerine faktöriyel deney tasarımı tercih edilseydi  $2^7 = 128$  deney yapılması gerekecekti.

Tablo 2.1. L8 ortogonal dizimi

Deney 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

## 2.11. Taguchi Deney Tasarımı Uygulama Adımları

Taguchi yöntemini uygulayabilmek için çeşitli sistematik yaklaşımlar mevcuttur. Aşağıda iki farklı sistematik yaklaşım örneğini incelenecektir.

Tasarım başlangıcından sonuçların elde edilmesi ve bunların yorumlanmasına kadar izlenen temel adımlar aşağıdaki şekilde özetlenmektedir [31,52]:

1. Çözülecek olan problemin ortaya konması: Problemin açık ve net bir şekilde anlaşılması deneyin doğru olarak tasarlanmasında çok önemlidir. Problemin tanımı spesifik olmalı, çok sayıda yanıtı sahipse bunlar açıkça belirtilmelidir.
2. Deneyin amacının belirlenmesi: Bu aşama, performans karakteristiklerinin ölçülebilir ve deney tamamlandığında talep edilen performans seviyesinin açık şekilde tanımlanmasını ifade etmektedir.
3. Ölçme yöntemlerinin belirlenmesi: Yapılacak deney amaca yönlendirildikten sonra performans karakteristiklerinin tayin edilme şekli hakkında fikir oluşturulur. Gerekliğinde ölçme sisteminin de doğruluğunu ve hassasiyetini geliştirmek için ayrı bir deney yapılabilir.
4. Performans karakteristiklerini etkileyeceğine inanılan faktörlerin belirlenip listelenmesi: Ürün ve süreçle ilgili uzman kişilerden oluşan bir grup kurulur. Balık kılıcı diyagramı, beyin fırtınası gibi metotlar yardımıyla incelenecek faktörler tespit edilir. Eğer yapılan deney ilk ise sonuçları etkileyeceği düşünülen birçok faktör dahil edilebilir.
5. Faktörlerin kontrol edilebilen ve gürültü faktörleri olarak ikiye ayrılması: Parametre tasarımın temel stratejisidir ve sebep araştırma veya tolerans tasarımı yaklaşımları yerine kullanılabilir.
6. Tüm faktörlerin seviye sayısı ve değerlerinin belirlenmesi: Gerekli olan toplam serbestlik derecesi, faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. İlk deneyde seviye sayısı düşük tutulmalı, mümkünse iki seviyeli olmalıdır.
7. Etkileşebilecek kontrol faktörlerinin tespiti: Etkileşimler, serbestlik derecelerini kullanırlar ve bu şekilde deneyin büyüklüğünü belirleyebilirler. Uygulanan strateji; deney büyüklüğünü sadece faktörlere göre seçmek olabilir, öncelikle faktörler atanır eğer sütunlarda boş yer kalırsa etkileşimler yerleştirilebilir.
8. Kontrol faktörleri ve etkileşimler için doğrusal grafiğin çizilmesi: Talep edilen faktörler ve bu faktörlerin etkileşimleri, seçilen ortogonal diziyi etkileyebilirler.
9. Ortogonal dizilerin seçilmesi: Ortogonal diziler iç veya dış faktörlerin yada doğrusal grafiğin ihtiyaç duyduğu serbestlik derecelerinin bir fonksiyonudur.
10. Faktörlerin ve bu faktörlerin etkileşimlerinin sütunlara atanması: Ortogonal dizi için doğrusal grafiğin, ihtiyaç duyulan forma uygun olacak şekilde değiştirilmesi gerekebilir. Ayrıca bazı durumlarda bir sütunun seviye sayısının da değiştirilmesi gerekebilir. İç ve dış dizilerin önem değeri farklı olabilir fakat dış dizi deneyde sadece kontrol edilen gürültü faktörlerini içerdiği için iç dizi kadar kompleks olmayabilir.

11. Deneyin yönlendirilmesi: Denemeler için ideal seviyelerin seçilmesinde hata çıkma olasılığını azaltmak için, deneme veri formları uygun bir şekilde düzenlenmeli ve deney aşamasında rassallaştırma stratejileri kullanılmalıdır.
12. Verilerin analiz edilmesi: Anova, gözlem yöntemi, sıralama yöntemi, sütun etkisi yöntemi gibi veri analizinde kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Eğer oluşabilecek bir hata sebebiyle deneyin dengesi bozulursa, veriler analiz edilirken bu durum dikkate alınmalı veya deneme yeniden yapılmalıdır.
13. Sonuçların yorumlanması: Önem verilen performans karakteristikleri açısından etkili ve etkisiz faktörlerin belirlenmesi aşamasıdır.
14. En büyük etkiye sahip kontrol faktörleri için en iyi seviyelerin seçilmesi: Etkili olan faktörler kontrol ve seviye tespiti gerektiren faktörlerdir. Etkisiz faktörlerin ise, maliyeti en düşük seviyelerine ayarlanması uygundur.
15. Doğrulama deneyinin yapılması: Doğrulama deneyi, önemli olarak seçilen faktörlerin ve seviyelerinin beklenen sonuçları sağlayıp sağlamadığını gösterir. Bu deney sırasında, etkili olmadığı tahmin edilen faktörlerin minimum maliyetli seviyeleri kullanılır. Sonuçlar beklentilerden uzak ise, en az bir önemli faktörün gözden kaçmış olması düşünülmelidir.
16. Bu 15 adım sonucunda doğruluğu ispatlanmış verilerle eniyileme devam edemiyorsa ve deney amaçlarına ulaşmamışsa 4. Adıma dönülür.

Taguchi deney tasarımı problemin tanımlanması ile başlar, problemi etkileyen faktörler, bu faktörlerin seviyeleri belirlenmiş bir tasarım yöntemiyle analiz edilerek belirli sonuçlara ulaşılır. Bu sonuçlar doğrulanarak yapılan deney tasarımının doğruluğu sınıranır. Aşağıda bu aşamaları 11 başlık altında toplamak mümkündür:

1. Çözümü yapılacak problemin tanımlanması.
2. Hedefin belirlenmesi.
3. Performans karakteristiğinin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi.
4. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin ve bu faktörlerin seviyelerinin tespit edilmesi.
5. Mevcut faktörlerin kontrol ve hata (gürültü / noise) olarak ayrılması
6. Etkileşimlerin belirlenmesi.
7. Deneye uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması.
8. Performans istatistiklerinin belirlenmesi.
9. Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi.
10. Verilerin analizi.
11. Doğrulama deneyinin yapılması.



### **2.11.1. Çözümü yapılacak problemin tanımlanması**

Basit görünmesine rağmen problemin tanımlanması aşaması yapılacak olan çalışmada en önemli aşamadır. Başlangıçta tanımlanamayan, eksik veya yanlış tanımlanan problemin tasarımı, uygulanması ve sonucu eksik veya yanlış olacaktır. Yanlış yapıldığında da geri dönüşü en zahmetli ve maliyetli aşama da yine bu aşamadır. Ulaşılabilecek hedefin net olabilmesi için belirlenen hedefin net, doğru, eksiksiz ve anlaşılır şekilde tanımlanması gerekmektedir.

Yapılacak çalışmaya konu olan problem, yeni bir ürün veya süreç geliştirme çalışması olabilir. Bu gibi durumlarda tasarımcı konu ile ilgili gerekli bilgileri, pazarlama departmanlarından ve mühendislerden temin ederek, konu ile ilgili teknolojik gelişmeleri de göz önünde bulundurarak ürün veya sürecin tasarlanmasına başlanılmalıdır. Eğer yapılacak olan çalışmanın konusu, halihazırda var olan bir ürün veya sürecin kalitesinin geliştirilmesi ise, problem ürün veya sürecin aksayan yönlerinin tespit edilmesi ve müşteri beklentilerine göre ürün veya sürecin yeniden tasarlanması olacaktır. Problemin tanımlanması aşamasında ve yöntemin bundan sonraki her aşamasında çalışmayı yürütecek belirli bir ekibin oluşturulması çalışmanın verimliliği açısından önemlidir [27,57].

### **2.11.2. Hedefin belirlenmesi**

Her firmanın Taguchi metodunu uygulayarak ulaşmak istediği farklı hedefler vardır. Bu hedefler, beyin fırtınası, Pareto diyagramı, akış diyagramı gibi araçları kullanarak firmanın kendi alanında uzman ekibi tarafından belirlenir. Hedef; firmanın mevcut durumu, sonuca ulaşmak istenen süre, maliyet gibi parametreler göz önüne alınarak açık şekilde belirtilmelidir. Hedef belirtilirken dikkat edilmesi gereken diğer bir konu yapılacak olan bir deney ile tüm problemlerin çözülmeye çalışılmamasıdır. Hedef sayısı ne kadar az olursa deneyde birim hedefe odaklanma oranı o kadar artacağı için mümkünse bir deney için bir hedef belirlemek problemin çözümü açısından daha uygun olacaktır. Deney sonrası alınacak sonucun başarısı belirlenecek hedefe oranlanarak bulunacağı için hedefin, hayal kırıklığı yaratacak kadar gerçeklerden uzak ya da sonucu harcanan emeği karşılamayacak kadar basit olmamalıdır.

### **2.11.3. Performans karakteristiğinin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi**

Performans karakteristiği, belirlenen hedefin ayrıntılı şekilde tanımlanmış tolerans veya kalite özellikleri olarak nitelendirilebilir. Uygun bir performans karakteristiği seçilirken; müşteri görüşleri, daha önceki tecrübeler, firmanın kalite yaklaşımı gibi eğilimlerden yararlanılır.

Örneğin seramik tasarımında performans karakteristiği, seramiğin ölçü farkı, basma kuvvetine karşı direnci veya üstündeki boya kalınlığı olabilir. Bu üç farklı karakteristik farklı müşteriler için çok farklı önemde olabilir. Üretici firma boyut toleransını düşürdüğünde, mukavemeti daha yüksek ürün yaptığında veya daha fazla boya kullanarak boya kalınlığını arttırdığında; maliyetleri artırır, hurda miktarı ve işçilik artar. Burada sorulması gereken soru bu yapılan işlemlerin ne kadarı gerekli? Bu sebeple performans karakteristiği seçilirken gerekli özen ve önemin gösterilmesi çok önemlidir.

Belirlenen performans karakteristiğinin tespiti için uluslararası kabul edilen ölçüm sistemleri ve değerler kullanılmalıdır. Sertlik testi, basma mukavemeti gibi karakteristiklerde ise ölçüm sistemlerinin uygun olmasının yanında, ölçümü yapacak makinelerin de belirli standartları sağlaması gerekmektedir.

### **2.11.4. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin ve bu faktörlerin seviyelerinin tespit edilmesi**

Bu aşamadan itibaren problemin çözümüne belirlenen hedef doğrultusunda aktif olarak başlanmaktadır. İlk olarak yapılması gereken belirlenmiş olan hedef değerden sapmaların kaynaklarını araştırmak olmalıdır. Faktör olarak adlandırılan bu sapmalar sonuç değişkeni üzerinde etkisi olan herhangi bir değişken olabilir.

Ürün performansını direk etkileyen bu faktörleri belirlemek sürecin devamı için çok önemlidir. Faktörlerin belirlenmesi alanında tecrübeli ve uzman ekip tarafından sebep-sonuç diyagramı, balık kılıcı, beyin fırtınası gibi kalite geliştirme uygulamaları yardımıyla yapılır. Faktör sayıları belirlendikten sonra faktör seviyeleri belirlenir. Başlangıçta faktör sayısı fazla, faktör seviyelerinin 2, 3 gibi düşük tutulması uygun olacaktır. Bu sayede önemsiz faktörlerin elenmesi sağlanırken, gereksiz deney yapılmasının önüne geçilmektedir. İlerleyen deneylerde faktör sayısı azaldığında faktör seviyesi artırılarak belirli faktörlere odaklanılabilir.

### 2.11.5. Mevcut faktörlerin kontrol ve hata (Gürültü/Noise) olarak ayrılması

Taguchi metodunda faktörler kontrol edilebilen kontrol faktörleri ve kontrol edilemeyen hata faktörleri olarak ikiye ayrılır.

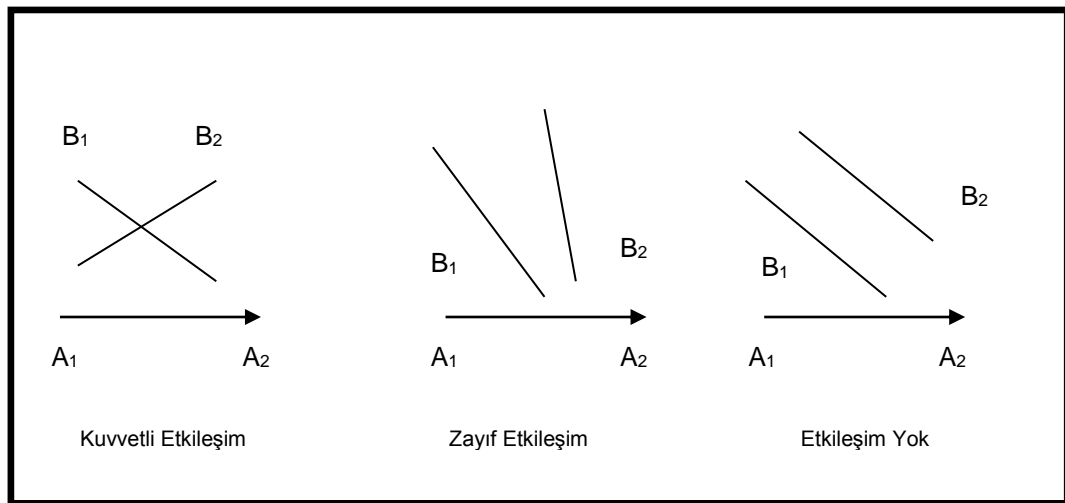
Kontrol faktörleri, proses üzerinde etkili olduğu varsayılan, imalatçı tarafından oluşturulan ve müşteri tarafından doğrudan değiştirilemeyen faktörlerdir. Hata faktörleri ise nem, sıcaklık gibi kontrol edilmesi zor ya da çok pahalı olan, kontrol edilmesi düşünülmeyen faktörlerdir. Hata faktörleri ancak özel durumlarda kısa süreli olarak yüksek maliyetine katlanılarak kontrol altına alınabilir.

Burada amaçlanan durum kontrol edilebilen faktörleri kullanarak hata faktörlerinin etkisini minimuma indirmektir.

### 2.11.6. Etkileşimlerin belirlenmesi

Faktörlerin kalite değişkenine belirli etkilerinin bulunmasının yanında etkileşimde olan iki faktörün birbirine bağlı olarak etki etmesi söz konusu olabilmektedir. Bir A faktörünün kalite değişkenine olan etkisini B faktörünün değiştirmesi durumudur. Örneğin yüksek sıcaklık ve yüksek nem canlılara rahatsızlık verir ancak iki faktör birleştiğinde verilen rahatsızlık çok daha fazla artmaktadır. A ve B faktörlerinin etkileşimi  $A \times B$  şeklinde gösterilir.

Şekil 2.7 'de etkileşim olmayan, zayıf etkileşimli ve kuvvetli etkileşimli grafik gösterim örnekleri mevcuttur.



Şekil 2.7. Etkileşim durum grafiği [50,51,57,64]

İki faktör çizgisi arasında paralellik mevcut ise bu iki faktör arasında etkileşim yoktur. İki faktör çizgisi arasında hem paralellik yok hem de kesişmiyorlarsa, zayıf etkileşim söz konusudur.

İki faktör belirli alan içinde kesişiyorsa, bu iki faktör arasında kuvvetli etkileşim vardır.

İki faktör arasında etkileşimin varlığını önceden belirleyebilmek için henüz bir metot geliştirilmemiştir. Ekibin tecrübelerinden veya varsa daha önce yapılmış deney sonuçlarından faydalanılabilir.

Karşılaşılabilecek bazı bileşik etkilerin deney planına katılması seçilecek deney planının boyutunu artırır. Kaynak sınırlaması nedeniyle başlangıçta daha büyük deney seçilerek bu bileşik etkileri sayısal olarak gözlemlemek yerine en iyi değişken seviye bileşimine karşı gelen doğrulama deneylerinde beklenen sonuçlara ulaşıp ulaşılamamasıyla önemli bileşik etki olmadığı varsayımının kontrol edilmesi yerinde olur [39].

#### **2.11.7. Deneye uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizilere atanması**

Ortogonal dizinin kullanımı sadece Taguchi'ye mahsus olmayıp, ilk kez 1897'de matematiksel bir buluş olarak Fransız matematikçi Jacques Hadamard tarafından ortaya konmuştur. İlk kullanımı ise 1930'lu yıllarda Fisher tarafından İngiltere'de olmuştur. Ortogonal diziler her deneme için hangi faktör ve seviye çiftinin kullanılacağını belirler.

$SD_A$  = A faktörünün serbestlik derecesi

$SD_B$  = B faktörünün serbestlik derecesi

$k_A$  = A faktörünün seviye sayısı olduğunda,

A faktörünün serbestlik derecesi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$SD_A = k_A - 1 \quad (2.5)$$

A faktörü ve B faktörünün etkileşimlerinin serbestlik derecesi aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$SD_{AXB} = (SD_A) \cdot (SD_B) = (k_A - 1) \cdot (k_B - 1) \quad (2.6)$$

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise aşağıdaki şekilde her faktörün serbestlik derecesini toplayarak bulunur;

$$SD_T = SD_A + SD_B + \dots \quad (2.7)$$

Ortogonal diziler 2 seviyeli, 3 seviyeli ile 2 ve 3 seviyeli olmak üzere üç çeşit belirlenmiştir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi deney tasarımının temel taşlarını oluştururlar. Taguchi metodu kullanılarak yapılacak her deney bu standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Eğer başlangıçta faktörlere uygun dizi bulunamazsa, faktörlerde çeşitli düzenlemeler yapıp dizilerden birine uydurmak gerekmektedir. En çok kullanılan diziler 2 seviyeliler için;  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{32}$  dir. 3 seviyeliler için ise;  $L_9$ ,  $L_{18}$ ,  $L_{27}$  dizileri çok kullanılmaktadır. Her iki seviyenin karışık kullanıldığı durumlarda ise;  $L_{18}$ ,  $L_{36}$ ,  $L_{54}$  dizileri kullanılabilir. Burada L harfi ortogonal diziyi, bitişiğindeki rakamsa dizinin öngördüğü deneme sayısını gösterir. Dizilerin seçimi kademe sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Kademe sayısı dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Bu sebeple 2 seviyeli faktör grubuna 3 kademeli bir dizi teklif edilemez. Eğer kademelerde karışıklık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerdeki kademe homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılır [36].

#### **2.11.8. Performans istatistiklerinin belirlenmesi**

Tanımlanan sorun için hedeflenen gelişimin sağlanması sırasında çeşitli performans karakteristikleri olabilir. Seçilecek olan performans istatistiği, performans karakteristiğine uyumlu olmalıdır. Taguchi tasarımında en çok kullanılan performans istatistiği sinyal / gürültü oranıdır. Bununla birlikte standart sapma ve ortalamalara göre de performans istatistiği sıkça belirlenmektedir.

Deney sonucunda elde edilecek verilerin analizleri seçilmiş olan performans istatistiğine göre yapılacağı için sonucu direk etkilemektedir. Bu sebeple performans istatistiği seçimi çok önemlidir.

#### **2.11.9. Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi**

Faktörler ortogonal dizinin sütunlarına yerleştirildikten sonra deney planı hazırlanmış olur. Bu aşamadan sonra deneyin sonucunu, kalitesini ve maliyetini etkileyecek iki etmen vardır. Bunlar;

1. Deneylerin tekrarlanma sayısı
2. Deneylerin yapılış sırası

### **2.11.9.1. Deneylerin tekrarlanma sayısı**

Her deneme için minimum bir deney yapılması deneylerin yapılabilmesi için gereklidir. Fakat bir deney ile bir denemeye karar vermek oldukça yanıltıcı ve güvensiz olabilir. Ne kadar fazla deney yapılırsa yığın ortalamasındaki değişimleri azaltıp ideal sonuca yaklaştıracaktır. Bununla birlikte her deney ekstra maliyet oluşturduğu için deneylerin tekrar edilmesi bütçeyi aşmamalıdır. Sonuç olarak deney maliyetinin çok yüksek olduğu durumlarda bir deney ile bir deneme yapılabilir fakat önerilmemektedir. Her deneme için ortalama 5 deney yapılması maliyet – ideal sonuca yakınlık dengesini sağlayacaktır.

### **2.11.9.2. Deneylerin yapılış sırası**

Deneylerin yapılış sırası belirlenirken çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunların arasında en çok kullanılanı rassallaştırma yöntemidir. Deneylerin belirli bir sıra veya düzen içinde değil de, belli bir rastgelelikte yapılmasını sağlar. Bu rastgelelik kontrol edilmeyen veya tespit edilememiş faktörlerin etkisini minimuma indirilmesini sağlar. Rassallaştırma genellikle aşağıdaki üç farklı şekilde gerçekleştirilir;

- Basit tekrar
- Tamamen rassallaştırma
- Bloklar içinde tamamen rassallaştırma [17].

Basit tekrar metodunda, ilk aşamada bütün deneylerin seçilme şansları eşittir. Tekrarlama söz konusu olduğu durumlarda ise seçilen deney için yapılan tüm tekrarlar arka arkaya test edilir. Bu yöntem, deney hazırlamanın maliyetinin yüksek ve uzun zaman aldığı durumlarda kullanılır.

Tamamen rassallaştırma metodunda, basit tekrarda olduğu gibi deneyler seçilebilmek için ilk aşamada eşit şanslara sahiptir. Bütün deneyler rassal sayıların yardımıyla belirlenir. Deney tekrarı gereken durumlarda ikinci deneyler yine rassal sayılarla belirlenen sıra doğrultusunda yapılır.

Bloklar arası tamamen rassallaştırma metodunun kullanımı, deney kurulma maliyeti ve işgücünün çok yüksek olduğu durumlardır. Bu gibi durumlarda bir faktörü içeren bütün deneyler yapılır daha sonra diğer faktörün deneylerine geçilir. Bu sayede minimum deney kurulumu gerçekleştirilmiş olur.

Deney sonuçları her bir deney için ortogonal dizinin sağına kaydedilir. Daha sonra genellikle S/G istatistiğine göre belirlenen performans karakteristik değerleri belirlenip kaydedilir.

#### **2.11.10. Verilerin analizi**

Faktörlerin incelenip, faktör-seviye kombinasyonunu belirlemek için çeşitli değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin en çok kullanılan ve verim alınan üç yöntem vardır:

1. Sütun farkları metodu
2. Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu
3. Varyans analizi metodu (Anova)

##### **2.11.10.1. Sütun farkları metodu**

Çıktılar üzerinde etkisi büyük olan sütunların kullanıldığı bu metot varyans analizinin daha basit halidir. Ortogonal dizilerde birinci seviye ile ilişkili verilerin toplamı her sütundaki ikinci seviye verilerinin toplamından çıkarılır. Bu yöntemle performans karakteristiğinde fark meydana getiren faktörleri ve bu faktörlerin etkileşimleri bulunur.

##### **2.11.10.2. Faktör etkilerinin grafiksel gösterim metodu**

Faktör ve etkileşimlere ait farklı seviyelerdeki gözlem değerlerinin performans istatistiklerinin belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Seçilen faktör için performans istatistiği değerinin küçük ve büyük değerleri belirlenir. Tüm faktörlerin ortalama performans değerlerini kapsayan değerleri düşey bir skala üzerinde işaretlenir. Her faktörün küçük ve yüksek seviyedeki performans istatistiği değerleri bu grafikte işaretlenir. Bu noktalardan biri genel ortalama çizgisinin altında diğeri üzerinde kalacaktır. Bunlar genel ortalamadan eşit uzaklıktadır. Daha sonra bu grafikler incelenerek hedefler doğrultusunda en uygun faktör-seviye kombinasyonu seçilir [57].

##### **2.11.10.3. Varyans analizi metodu (Anova)**

Bu metot, test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistiksel bir metottur. Varyans analizi toplam değişkenliği bileşenlerine ayıran matematiksel bir teknik olup, kareler toplamı, serbestlik derecesi ve varyans gibi değerlerin hesaplanmasıyla bulunur [57].

Toplam varyasyonu etkileyen üç temel bileşen mevcuttur. Bunlar;

- Performans karakteristiğini etkileyen faktörlere göre varyasyon
- Faktör etkileşimlerine göre varyasyon
- Hataya göre varyasyon

A ve B gibi iki faktör ve bunların aralarında bir etkileşim olduğu varsayıldığında, varyans analizi metodu uygulanırken genel olarak aşağıdaki adımlar uygulanır.

- Kareler Toplamı (Varyasyon)
- Serbestlik Derecesi
- Varyans
- F Testi

Kareler toplamı (Varyasyon);

Kareler toplamını aşağıdaki üç farklı çeşide ayırmak mümkündür;

1. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlere göre varyasyon.
2. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin etkileşimlerine göre varyasyon.
3. Oluşan hatanın cinsine göre varyasyon.

Kareler toplamını ifade eden tanımlar ve formüller aşağıdaki şekildedir;

GKT = Genel kareler toplamı

$KT_A$  = A Faktörünün kareler toplamı

$KT_{AxB}$  = A ve B faktörlerinin etkileşim faktörünün kareler toplamı

$KT_e$  = Hata kareleri toplamı

N = Gözlemlerin toplam sayısı

$y_i$  = i. Gözlem değeri

T = Tüm gözlemlerin toplamı

$k_A$  = A faktörünün seviye sayısı

$A_i$  =  $A_i$  seviyesindeki gözlemlerin toplamı

$n_{A_i}$  =  $A_i$  seviyesi altındaki gözlem sayısı

c = Etkileşim faktörlerinin kombinasyon sayısı

$(AxB)_i$  = A ve B faktörlerinin i. koşulu altındaki verilerinin toplamı olarak tanımladığımızda;

• Genel Kareler Toplamı

$$GKT = KT_A + KT_B + KT_{AxB} + KT_e \quad (2.8)$$

$$GKT = \left[ \sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.9)$$



- A Faktörünün kareler toplamı

$$KT_A = \left[ \sum_{i=1}^{k_A} \left( \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.10)$$

- A ve B faktörlerinin etkileşim faktörünün kareler toplamı

$$KT_{AxB} = \left[ \sum_{i=1}^c \frac{(AxB)_i^2}{n_{AxB_i}} \right] - \frac{T^2}{N} - KT_A - KT_B \quad (2.11)$$

- Hata kareleri toplamı

$$KT_e = KT_T - KT_A - KT_B - KT_{AxB} \quad (2.12)$$

Serbestlik derecesi;

Serbestlik derecesi; yapılan karşılaştırmaların miktarıdır ve varyans analizi yapılabilmesi için serbestlik derecesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Serbestlik derecesini ifade eden tanımlar ve formüller aşağıdaki gibidir;

$SD_T$  = Toplam serbestlik derecesi

$SD_{AxB}$  = AxB Faktör etkileşiminin serbestlik derecesidir.

$SD_e$  = Hata serbestlik derecesi

- Toplam serbestlik derecesi

$$SD_T = N-1 \quad (2.13)$$

- Bir faktörün veya sütunun serbestlik derecesi

$$SD_A = k_A - 1 \quad (2.14)$$

- İkili etkileşimin serbestlik derecesi

$$SD_{AxB} = (SD_A) * (SD_B) \quad (2.15)$$

- Hata serbestlik derecesi

$$SD_e = SD_T - SD_A - SD_B - SD_{AxB} \quad (2.16)$$

- Deneme tekrarlarında serbestlik derecesi

$$SD_T = (\text{Deneme sayısı}) \cdot (\text{Tekrar sayısı}) - 1 \quad (2.17)$$

Çalışmalardaki deney sayısını ve doğruluğunu direkt olarak etkileyen ortogonal dizinin seçimi faktör ve etkileşimlerin toplam serbestlik derecesine dayalı olarak belirlenmektedir. Seçilen ortogonal diziye ait serbestlik derecesi sistemin serbestlik derecesinden büyük yada eşit olmalıdır [47].

Varyans;

Faktör varyansları; faktör kareler toplamının, faktörün serbestlik derecesine bölümüyle bulunur. Hata varyansı ise hata kareler toplamının, hata serbestlik derecesine bölünerek bulunur.

- A faktörü için varyans değeri

$$V_A = \frac{KT_A}{SD_A} \quad (2.18)$$

- Hata varyansı

$$V_e = \frac{KT_e}{SD_e} \quad (2.19)$$

F Testi;

Testler yapıp veriler elde edildikten ve varyanslar bulunduktan sonra hangi faktörlerin önemli etkiye sahip olduğunu görmek için F-testi uygulanır. Standart F-testi uygulanırken, hataların eşit sapmalarla normal dağıldığı ve bağımsız olduğu varsayılmaktadır. F-testi varsayımları yerine getirilmediği takdirde, önem derecesi hesapları doğru sonuçları yansıtmayabilir. Bununla birlikte standart F-testinin varsayımlardan sapmalara karşı duyarsız olması sebebiyle bazı varsayımları sağlamasa da kullanılabilceği belirtilmektedir [46,63].

- A faktörünün F değeri

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (2.20)$$

### **Varyans analizi sonuçlarının yorumlanması**

Varyans analizi tamamlandıktan sonra yapılan analizin önemli faktörleri ve etkileşimleri belirlenir. Bu faktör ve etkileşimler yapılan analizin sonucu belirlemede ve yorumlanmasında kullanılmaktadır. Sonucun yorumlanması yapılan analizin

başarıya ulaşması için çok önemli olduğu için çeşitli sonuç yorumlama metodları geliştirilmiştir. Bunlar;

- Faktörlerin katkı yüzdeleri
- Ortalamanın tahmini
- Tahmin edilen ortalama etrafında güven aralığıdır.

#### **2.11.11. Doğrulama Deneyinin Yapılması**

Doğrulama deneyi, deneyle elde edilen en iyi durumun gerçekten bir iyileştirme sağladığını kanıtlamak için yapılır. Eğer her bir yanıt için gözlenen ve öngörülen S/G oranları birbirlerine yakınsa, üzerinde deney yapılan toplamalı modelin iyi bir öngörü olduğuna karar verilebilir. Sonuç olarak, önerilen en iyi durum, proses için benimsenebilir. Eğer yanıtlardan biri için öngörülen ve gözlenen S/G oranları birbirlerine yakın değilse, toplamalı model yetersizdir ve belki de etkileşimler önemlidir diye kuşkulunılır. Bu durumda, istenen amacı başarmak için başka bir deney yapmak gerekebilir [34].

### 3. UYGULAMA

#### 3.1. Uygulama Yapılan Firmanın Tanıtımı

Eryap A.Ş; yarım asırlık tecrübeye sahip Eruslu grubunun deneyimiyle 2001 yılında faaliyete geçmiştir. Firma Gaziantep, İstanbul ve Sakarya'da toplam 150.000m<sup>2</sup> yi aşan alana yerleşik Şekil 3.1 'de görülen 3 üretim tesisinde tüm yalıtım malzemelerinin (ısı, su, ses, yangın), polimer dış cephe kaplamalarının ve polimer kapı-pencere sistemlerinin üretimini gerçekleştirmektedir.



Şekil 3.1. Eryap A.Ş üretim tesisleri

American Siding, Bonuspan, Focus Membran, Bonusmax, Winer, Focus Shingle ve uygulamanın yapıldığı Wooler taşıyünü markalarına sahip olan firma kazandığını yatırıma yönlendiren aktif bir yapıya sahiptir.

Uygulamanın yapıldığı Sakarya Taşıyünü tesisi 60.000m<sup>2</sup> alana sahip olup 2012 Mart ayında üretime başlamıştır. Kurulumu 5 farklı Avrupa ülkesinden 9 farklı firmanın katılımı ile yapılan tesis alanında dünya standartlarının üstünde bir teknolojiye sahiptir.

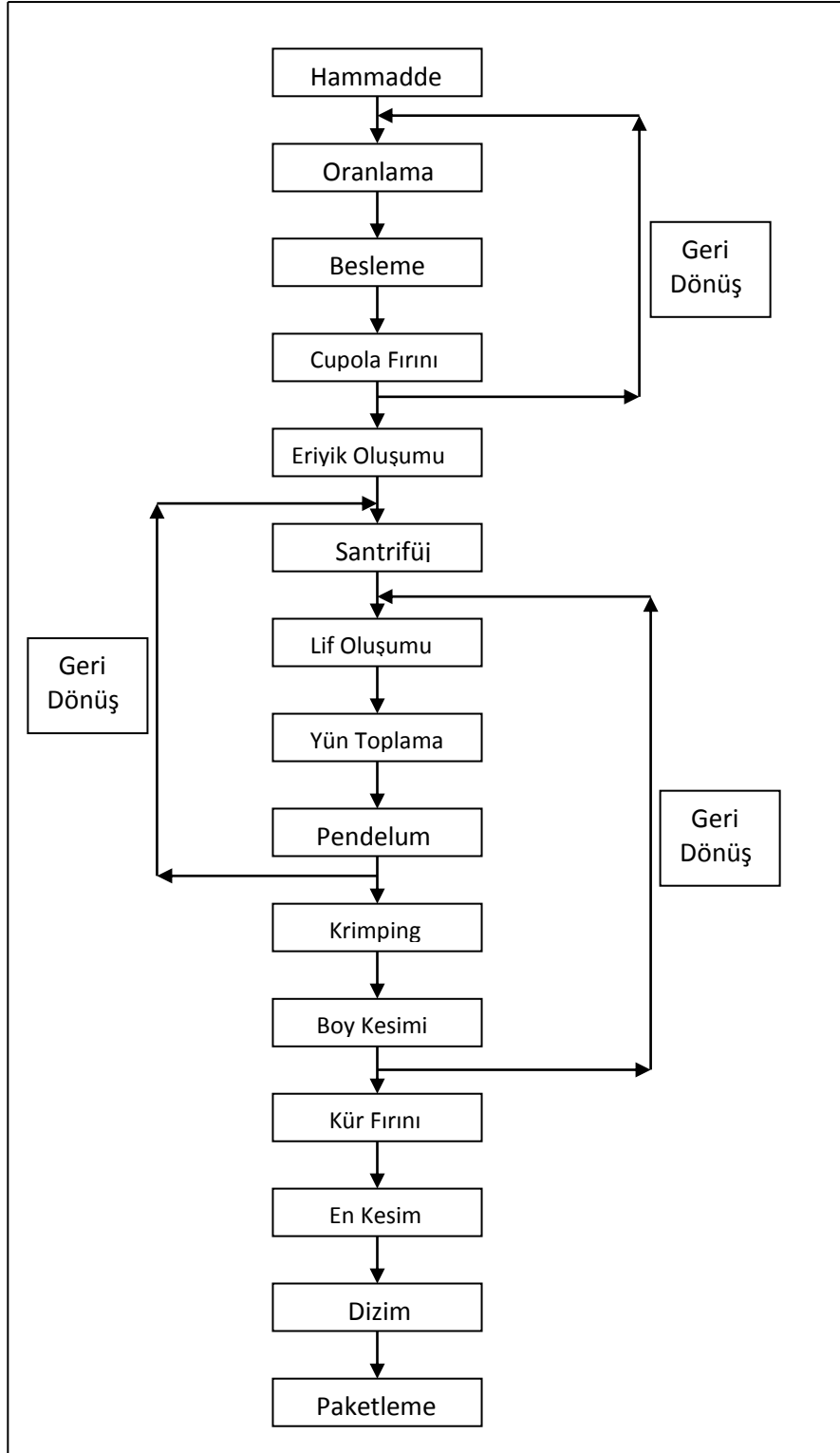
Şuan itibarıyla yıllık 40.000 ton üretim kapasitesine sahip tesis yapılacak olan yeni yatırımlarla yıllık 120.000 ton üretim kapasitesine çıkacak şekilde projelendirilmiştir. Yaklaşık 100 çalışanı ile bölge halkına istihdam sağlamanın yanında ürettiği yalıtım malzemeleri ile ülke ekonomisine direk ve dolaylı katkı sağlayan firma TSE, CE belgeleri ile ISO 9001 ve ISO 14001 sertifikalarına sahiptir.

### **3.2. Taşıyünü Üretimi**

Taşıyünü; bazalt taşının yaklaşık 1400°C de eritilmesi ile üretilen ses, ısı, su ve yangın yalıtımlarının tamamını sağlayan ileri teknoloji bir yalıtım malzemesidir. Üretim aşamaları Şekil 3.2 'de kısaca özetlenmiştir:

■ Taşıyününün hammaddeleri olan bazalt ve dolomit ile kupola fırının yanmasını sağlayan kömür ayrı ayrı silolara doldurulur. Yanmanın ideal olması için bu 3 bileşenin sisteme belirli oranlarda gitmesini sağlayan hassas tartım ve konveyör sistemleri mevcuttur. İdeal karışım filtrelendikten sonra konveyör sistemleri ile kupola fırınına belirli sürelerde gönderilir.

■ Şekil 3.3 'de görülen Kupola fırınında oksijenle zenginleştirilmiş yanma havası yardımıyla yanan kömür, bazalt ve dolomit taşlarının erimesini sağlar. Eriyik halindeki hammadde akış kanalından yüksek hızda dönen disklerin üzerine akmaktadır. Bu disklerin oluşturduğu merkezkaç kuvveti sayesinde lif haline gelen akışkana nihai ürün çeşidine göre değişen oranlarda su ve bağlayıcı püskürtülür.



Şekil 3.2 Taşyünü Üretimi İş Akış Şeması



Şekil 3.3. Kupola fırınından 1400°C de akan camın görüntüsü

■ Bağlayıcı püskürtülmüş elyaflar yürüyen bantlar yardımıyla etüv fırınına gönderilir. Etüv fırınında sıcaklık yardımıyla aktive olan bağlayıcı taşıyıcının rijit hale getirir. Etüv fırınında basınç yardımıyla kalınlığı ayarlanan taşıyıcının, genişlik ve uzunlukları etüv çıkışında testereler ile yapılır. Şekil 3.4 'de görülen paketleme makinesinde belirli miktarlarda dizilen taşıyıcı ambalajlandıktan sonra sevk için depoya gönderilir.



Şekil 3.4. Dizim makinesi

### **3.3. Uygulama Adımları**

Eryap A.Ş Taşyünü üretim tesisinde Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Deney Tasarımı uygulaması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

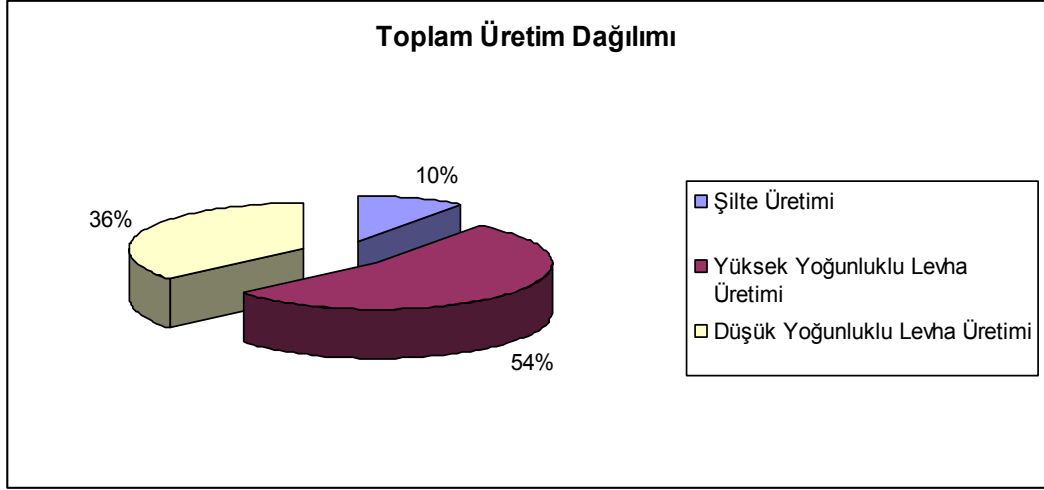
1. Çalışmanın amacı ve kapsamı
2. Takımın kurulması
3. Beyin fırtınası ile olası hata türlerinin belirlenmesi
4. Ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerlerinin belirlenmesi
5. Risk öncelik sayısının (RÖS) değerlendirilmesi
6. HTEA Yöntemiyle belirlenmiş hata türlerinin faktör seviyelerinin beyin fırtınası metoduyla belirlenmesi
7. Taguchi deney tasarımı uygulaması

#### **3.3.1. Çalışmanın amacı ve kapsamı**

Yapılacak olan çalışmanın amacı; taşyünü üretimi sırasında oluşabilecek bütün hataları tespit edip bu hataları azaltmaktır. Tespit edilen bütün hatalar HTEA yöntemiyle önem derecelerine göre sınıflandırılıp, öncelikli müdahale edilmesi gereken hata türleri belirlenecek. Daha sonra belirlenen öncelikli hata türlerinin Taguchi deney tasarımı yardımıyla oluşma ihtimalleri azaltılarak kalitenin artırılması ve hurda maliyetinin düşürülmesi sağlanacaktır.

Taşyünü üretim tesisinde üretilen ürünler şilte ve levha olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır. Levha üretimi toplam üretimin yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır. Levha üretimi ise kullanım alanları, üretim şekilleri, müşteri beklentileri dikkate alınarak düşük yoğunluklu levha ve yüksek yoğunluklu levha ürünler olarak ikiye ayrılmasına karar verildi. Yoğunluğu 100 kg/m<sup>3</sup> den düşük olan ürünlere düşük yoğunluklu, 100 kg/m<sup>3</sup> den yüksek yoğunluğa sahip ürünlere yüksek yoğunluklu ürünler olarak tanımlandı. Ekip olarak üretimi sırasında daha çok hata ile karşılaşılan ve hataların çözümü nispeten daha zor olan yüksek yoğunluklu levhalarda uygulama yapılmasına karar verildi. Yüksek yoğunluklu levhalar levha üretiminin %60'ını oluşturmaktadır. Bu değer toplam üretimin %54'üne tekabül etmektedir.





Şekil 3.5. Üretim dağılımının grafiksel gösterimi

### 3.3.2. Takımın kurulması

Kurulan takım; taşıyıcı üretim sürecinin tamamına hakim olabilmek adına farklı bölümlerden seçilen 6 kişiden oluşmaktadır.

- Takım lideri olarak; ürüne, kaliteye, HTEA ve Deneysel Tasarım uygulamalarına hakim olan ve süreci en yakından takip eden ürün geliştirme mühendisi seçilmiştir.
- Üretim sürecinin yakından takip edilebilmesi amacıyla Vardiya Amiri ve Üretim Müdürü olarak üretimden iki personelin katılımı sağlanmıştır.
- Kalite sürecine ve hatalara hakimiyeti sağlayabilmek için Kalite Yöneticisi ekibe katılmıştır.
- Müşterilerden gelen bilgileri ve müşteri yaklaşımlarını ekibe aktararak müşteri davranışlarının tespitine yardımcı olabilmek için Operasyon Yöneticisi ekibe katılmıştır.
- Son olarak yapılacak çalışmada; hammadde, tedarik, ve organizasyon gibi konulara destek olabilmesi için Planlama Mühendisi ekibe katılmıştır.

### 3.3.3. Beyin fırtınası ile olası hata türlerinin belirlenmesi

Olası hata türlerinin tespit edilmesi için beyin fırtınası yöntemi kullanılması kararlaştırılmıştır. İlk olarak olası hata türleri ekip üyeleri tarafından düşünülüp kayıt altına alınır. Yapılan toplantıda altı ekip üyesinden toplamda 51 adet hata türü önerilmiştir. Ekip üyeleri tarafından her hata türü tek tek ayrıntılı şekilde incelenmiş

ve önerilen bu 51 hata türünün 20 başlık altında toplanmasına karar verilmiştir. 20 hata türünün 2 tanesinin daha önceki çalışmalarda çözüme ulaştırıldığı ve artık etkisinin kalmadığı gerekçesiyle listeden çıkarılmıştır. 5 hata türünün ise, çalışmanın yapılacağı yüksek yoğunluklu levhalarda görülmeyeceği, çalışma dışı tutulan düşük yoğunluklu ve şiltelerde görüleceği için listeden çıkarılmıştır. HTEA ekibi geriye kalan 13 hata türünü tekrar inceleyip, yapılan beyin fırtınası sonucu aşağıdaki 13 hata türünün olası hata türü olarak belirlenmesine karar vermiştir.

- Bölgesel yoğunluk farkı;

Taşıyünü levhalarının farklı bölgelerinin yoğunlukları arasındaki sahip olduğu ağırlık farklarıdır. Farklar en ağır ve en hafif olan bölge arasında kıyaslanmaktadır.

- Genişlik;

Levha genişliğinin tolerans dışı olma durumudur.

- Kalınlık farkı;

Levhaların dört köşesinde ölçülen kalınlıkların tek tek tolerans dahilinde olsa bile, birbirleri arasındaki farkın tolerans dışı olmasıdır.

- Uzunluk;

Levha uzunluğunun tolerans dışında olmasıdır.

- Yüzey pürüzlülüğü;

Levha alt ve üst yüzeylerinde dalgalanma, girinti-çıkıntı, boşluk, yüzeyden parça kopması, elyaf kabarması gibi yüzey bozukluklarının bulunmasıdır.

- Basma mukavemeti;

Levhalara dik olarak uygulanan basma kuvvetlerine karşı levha direncinin yeterli olamama durumudur.

- Çekme dayanımı;

Levhalara dik olarak uygulanan çekme kuvvetlerine karşı levha direncinin yeterli olamama durumudur.



Şekil 3.6. Basma - çekme cihazı

- Aktive edilememiş bağlayıcı;

Taşıyünü levhaları stabil tutabilmek için bağlayıcı özelliğe sahip kimyasallar kullanılmaktadır. Kullanılan bu bağlayıcılar aktive olup bağlayıcı görevini görebilmeleri için belirli süre belirli sıcaklığa maruz kalmalıdır. Kullanılan bu bağlayıcıların yeterli süre ve sıcaklığa ulaşamayıp bağlayıcılık özelliğini yerine getirememesi durumudur.

- Bağlayıcı dağılım homojensizliği;

Elyafaların birleşmesini sağlayan bağlayıcıların homojen olarak dağıtılamaması durumudur.

- Ağırlık;

Levha ve paket ağırlıklarının tolerans dışı olma durumudur.

- Elyaflaşmama;

Erimiş, lav halindeki akışkan taşıyününün gerekli merkezkaç kuvveti ve diğer gerekli şartların sağlanamaması sebebiyle tamamen elyaflaşamayıp ürün içinde partiküller halinde bulunma durumudur.

- Kalınlık;

Levha kalınlığının tolerans dışında olma durumudur.

- Isıl iletkenlik;

Taşıyünü levhaların ısı iletkenlik değeri belirlenen değerin üzerinde olup yeterli ısı dirence sahip olmama durumudur. Ölçüm cihazı Şekil 3.7 'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı

### 3.3.4. Ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerlerinin belirlenmesi

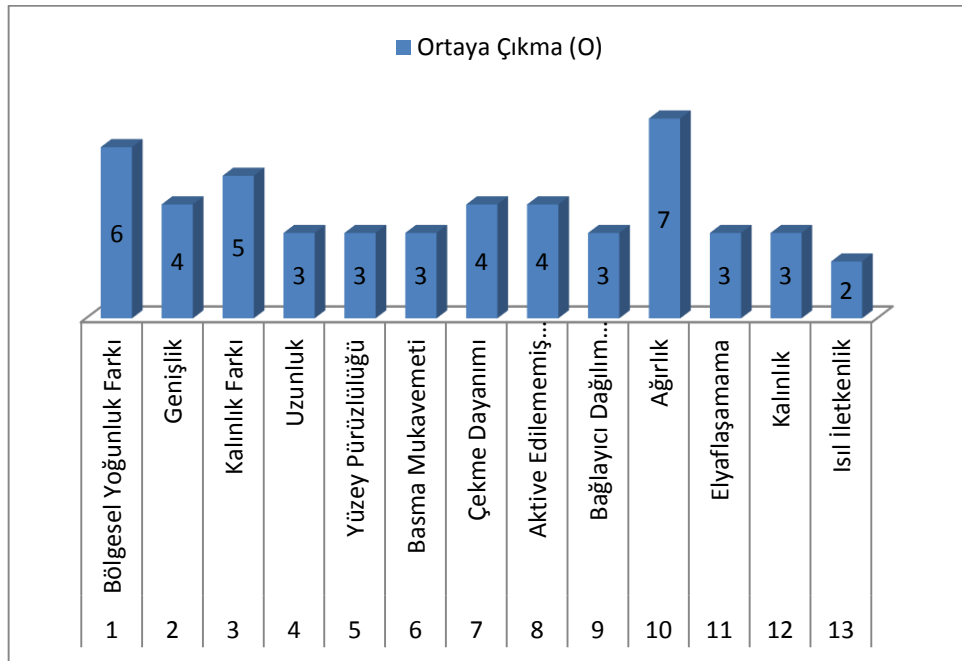
Ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerleri belirlenirken 10'luk skala kullanılmıştır.

#### 3.3.4.1. Ortaya çıkma değerinin belirlenmesi

Ortaya çıkma değeri; kısaca hatanın oluşma olasılığı olarak değerlendirilmiştir. Belirtilen değerin tespiti için yaklaşık beş aylık süreye dağılmış 10 farklı gün gözlem yapılmıştır. Bütün gözlemler 08:00 – 16:00 saatleri arasında yapılmıştır. Gözlemlerin tamamı  $150 \text{ kg/m}^3$  'lük sabit yoğunlukta ve mantolama ürünlerinde yapılmıştır. Taşıyünleri üretim devam ederken hattın sonunda, paketlenme makinesi öncesi kalite kontrol personeli tarafından kontrol edilir ve uygun olmayanlar ayrılır. Bu hurdaya ayrılan ürünler hurdaya ayrılma nedenlerine göre sıralanmış ve ayrılma sebeplerine göre miktarları tespit edilmiştir. Hurda ürünlerin %96'sı HTEA ekibi tarafından belirlenen 13 hata türü içinde yer almaktadır. %4'lük kısmı ise fiziksel darbe görmüş, testere dişlerinin kırılması sonucu oluşmuş hurdalar gibi sürekli olmayan sebeplerden ayrılan hurdalar oluşturmaktadır. %96'lık bu oran HTEA ekibinin beyin fırtınası ile yaptığı tespit ne denli isabetli olduğunu kanıtlamaktadır. Hurdaya ayrılan ürünlerin miktarı ile ait oldukları hata türleri için ortaya çıkma değerleri orantılı olarak hesaplanmıştır. Ortaya çıkma değerleri Tabloda 3.1'de ve Şekil 3.8'de mevcuttur.

Tablo 3.1. Ortaya çıkma değerleri

Sıra	HATA TÜRLERİ	Ortaya Çıkma (O)
1	Bölgesel Yoğunluk Farkı	6
2	Genişlik	4
3	Kalınlık Farkı	5
4	Uzunluk	3
5	Yüzey Pürüzlülüğü	3
6	Basma Mukavemeti	3
7	Çekme Dayanımı	4
8	Aktive Edilememiş Bağlayıcı	4
9	Bağlayıcı Dağılım Homojensizliği	3
10	Ağırlık	7
11	Elyaflaşmama	3
12	Kalınlık	3
13	Isıl İletkenlik	2



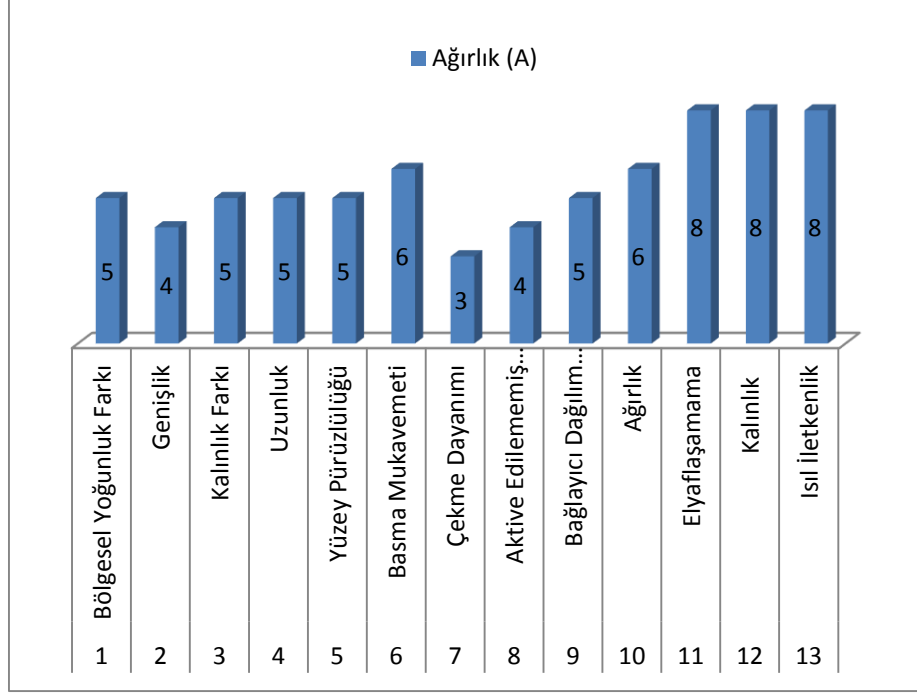
Şekil 3.8. Ortaya çıkma değerinin grafik gösterimi

### 3.3.4.2. Ağırlık değerinin belirlenmesi

Ağırlık değeri; hatanın etkisinin büyüklüğü, şiddetini ve ürüne olan etkisini ifade etmektedir. HTEA ekibinin ağırlık değerini belirlemek için yaptığı toplantıda öncelikle her üye sırayla her hata türü ve hata türü için olmuş veya olası etkilere örnekler vermiştir. Verilen bu örnekler her hata türünün daha iyi düşünülüp yorumlanması açısından oldukça önemlidir. Her ekip üyesinin görüşü ve düşünceleri dinlenip her hata türü için 10 üzerinden puan verilmesi istenmiştir. 13 hata türü için 6 ekip üyesinden alınan puanlar toplanıp ortalaması alınmıştır. Alanında tecrübeli ekip üyelerinin verdiği bu puanların ortalaması hatanın etkisini ifade edecek olan ağırlık değerini en uygun şekilde ifade edeceği düşünülmüştür. Ağırlık değeri Tablo 3.2’de ve Şekil 3.9’da görülmektedir.

Tablo 3.2. Ağırlık değerleri

Sıra	HATA TÜRLERİ	Ağırlık (A)
1	Bölgesel Yoğunluk Farkı	5
2	Genişlik	4
3	Kalınlık Farkı	5
4	Uzunluk	5
5	Yüzey Pürüzlülüğü	5
6	Basma Mukavemeti	6
7	Çekme Dayanımı	3
8	Aktive Edilememiş Bağlayıcı	4
9	Bağlayıcı Dağılım Homojensizliği	5
10	Ağırlık	6
11	Elyafşamama	8
12	Kalınlık	8
13	Isıl İletkenlik	8



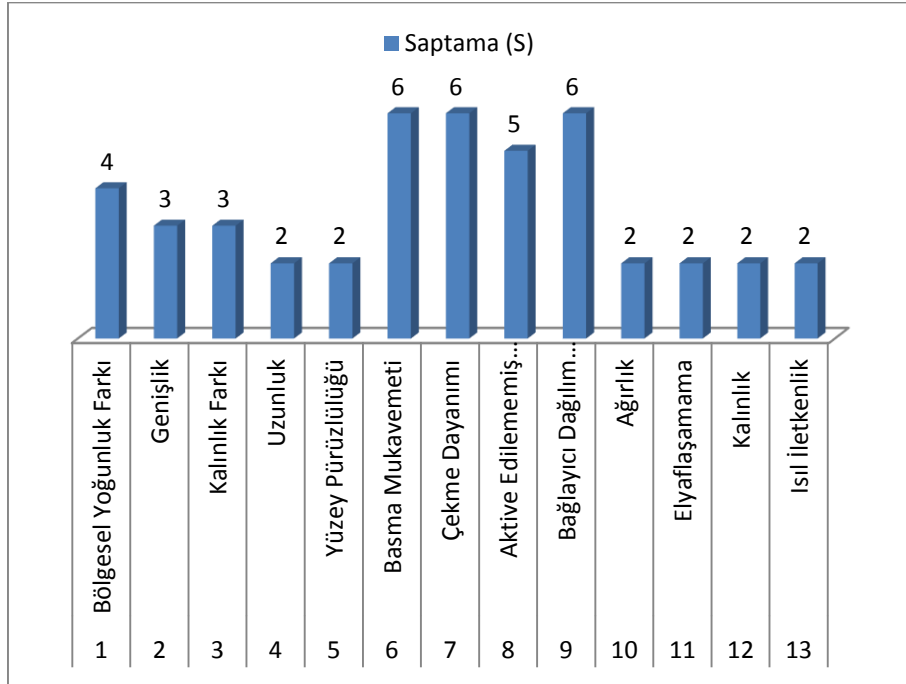
Şekil 3.9. Ağırlık değerlerinin grafik gösterimi

### 3.3.4.3. Saptama değerinin belirlenmesi

Saptama değeri; zarar meydana getiren durumun keşfedilmesinin zorluğunu nitelendirmektedir. Ekip üyeleri tarafından uzun süren tartışmalardan sonra zor keşfedilen hataların tespitinde firma içi bilgilerin kullanımının uygun olamayacağı, bunun yerine müşterilerden gelen şikayet ve önerilen kullanılmasının daha uygun olacağı kararlaştırılmıştır. Öncelikle son 1 yıl içinde müşterilerden gelen şikayet ve öneriler bir havuzda toplanıp, düşük yoğunluklu ve şiltelerle ilgili olan şikayetler ayrılmıştır. Ayrıca tespit edilen hata türleri dışında olan ambalaj, sevkiyat sırasında oluşan problemler gibi hata türleri de ayrılmıştır. HTEA ekibi gelen müşteri şikayetleri, müşteri önerileri, hataların tespit edilme ve önleme maliyeti gibi çeşitli kriterler kullanarak zor saptanan hata türüne yüksek puan verecek şekilde belirlemiştir. Saptama değeri Tablo 3.3'de ve Şekil 3.10'da grafiksel olarak ayrıntılı şekilde gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Saptama değerleri

Sıra	HATA TÜRLERİ	Saptama (S)
1	Bölgesel Yoğunluk Farkı	4
2	Genişlik	3
3	Kalınlık Farkı	3
4	Uzunluk	2
5	Yüzey Pürüzlülüğü	2
6	Basma Mukavemeti	6
7	Çekme Dayanımı	6
8	Aktive Edilememiş Bağlayıcı	5
9	Bağlayıcı Dağılım Homojensizliği	6
10	Ağırlık	2
11	Elyaflaşamama	2
12	Kalınlık	2
13	Isıl İletkenlik	2



Şekil 3.10. Saptama değerlerinin grafik gösterimi



### 3.3.5. Risk öncelik sayısının değerlendirilmesi

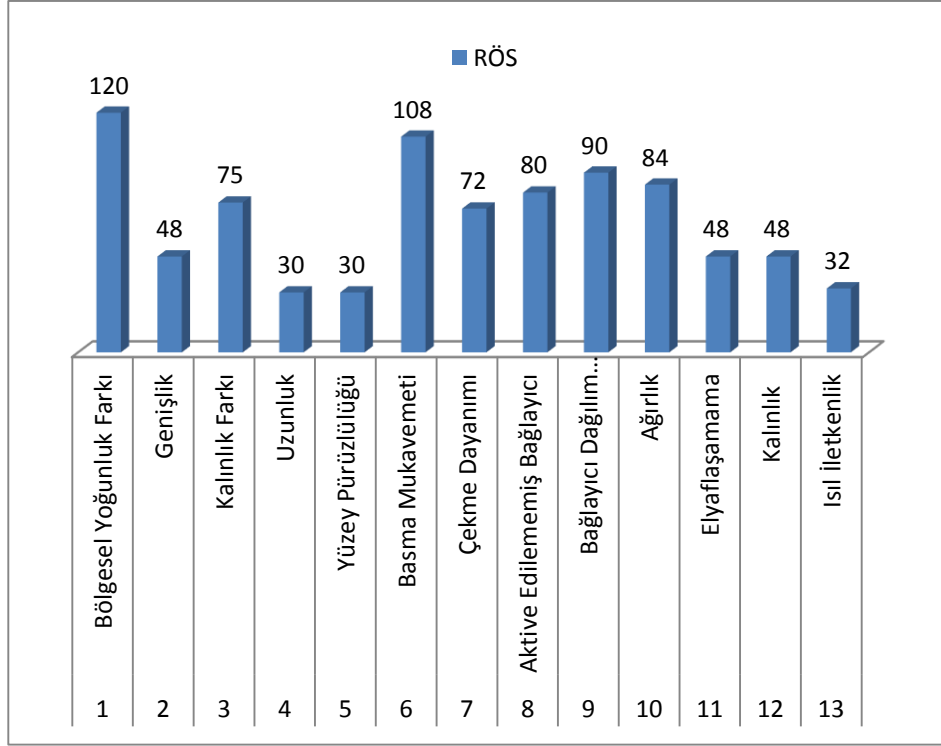
Risk öncelik sayısı iki yöntemle bulunur. İlki ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerlerini toplayarak, diğerinde ise bu 3 faktörü çarpılarak bulunur. Bu çalışmada çarpımlarının daha uygun sonuçlar vereceği düşüncesiyle ikinci yöntem tercih edilmiştir.

HTEA Türü: Proses HTEA				Ürün, Sistem: Taşyünü				Sayfa: 1									
HTEA No: 001				HTEA Tarihi: 2013-214													
HTEA Sorumlusu: Fatih OKUMUŞ				Hazırlayan: Fatih OKUMUŞ													
Proses Fonksiyonu	Olası Hata Türü	Olası Hata Etkileri	No	Ağırlık	Olası Hata Nedenleri	Ortaya Çıkma	Mevcut Kontroller	Saptama	RÖS	Önerilen Faaliyetler	Tamamlama Tarihi	Önlem Sonuçları					
												Alınan Önlemler	Ağırlık	Ortaya Çıkma	Saptama	RÖS	
Proses 2	Bölgesel Yoğunluk Farkı	Bozuk Bölgeler	1	5	Serme	6	Tartım	4	120								
Proses 4	Genişlik	Ölçü Bozukluğu	2	4	Yatay Kesim	4	Ölçüm	3	48								
Proses 4	Kalınlık Farkı	Ölçü Bozukluğu	3	5	Dikey Kesim	5	Ölçüm	3	75								
Proses 3	Uzunluk	Ölçü Bozukluğu	4	5	Basınc	3	Ölçüm	2	30								
Proses 3	Yüzey Pürüzlülüğü	Bozuk Bölgeler	5	5	Baskı	3	Test	2	30								
Proses 1	Basma Mukavemeti	Rijitsizlik	6	6	Elyaf	3	Test	6	108								
Proses 1	Çekme Dayanımı	Rijitsizlik	7	3	Elyaf	4	Test	6	72								
Proses 3	Aktive Edilmemiş Bağ.	Bozuk Bölgeler	8	4	Sıcaklık	4	Test	5	80								
Proses 1	Bağ. Dağılım Homojensizliği	Bozuk Bölgeler	9	5	Püskürtme	3	Test	6	90								
Proses 2	Ağırlık	Kütle Farklığı	10	6	Serme	7	Tartım	2	84								
Proses 1	Elyaflaşmama	Bozuk Bölgeler	11	8	Püskürtme	3	Ölçüm	2	48								
Proses 4	Kalınlık	Ölçü Bozukluğu	12	8	Dikey Kesim	3	Ölçüm	2	48								
Proses 1	Isıl İletkenlik	Düşük Yalıtım	13	8	Elyaf	2	Test	2	32								
Hazırlayan İsim ve İmza								Onaylayan İsim ve İmza									
Fatih OKUMUŞ																	

Şekil 3.11. ROS Değerleri ve HTEA Formu

Tablo 3.4. RÖS değerleri

Sıra	HATA TÜRLERİ	Ortaya Çıkma (O)	Ağırlık (A)	Saptama (S)	RÖS
1	Bölgesel Yoğunluk Farkı	6	5	4	120
2	Genişlik	4	4	3	48
3	Kalınlık Farkı	5	5	3	75
4	Uzunluk	3	5	2	30
5	Yüzey Pürüzlülüğü	3	5	2	30
6	Basma Mukavemeti	3	6	6	108
7	Çekme Dayanımı	4	3	6	72
8	Aktive Edilememiş Bağlayıcı	4	4	5	80
9	Bağlayıcı Dağılım Homojensizliği	3	5	6	90
10	Ağırlık	7	6	2	84
11	Elyaflaşmama	3	8	2	48
12	Kalınlık	3	8	2	48
13	Isıl İletkenlik	2	8	2	32



Şekil 3.12. RÖS değerlerinin grafik gösterimi

Tablo 3.4 ve Şekil 3.12'de RÖS değerleri görülmektedir. Şekil3.11'de ise RÖS değerleri HTEA formu üzerine işlenmiştir. Literatürde kabul görmüş Pillay ve Wang'a göre Rös değeri 100' ün üzerinde olan hatalara müdahale edilmesi zorunludur. HTEA ekibi de RÖS değeri 100'ün üzerinde olan bölgesel yoğunluk farkı (120) ve basma mukavemeti (108) hata türlerine müdahale etmeye karar vermiştir.

### 3.3.6. HTEA Yöntemiyle belirlenmiş hata türlerinin faktör seviyelerinin beyin fırtınası metoduyla belirlenmesi

HTEA yöntemiyle müdahale edilmesi zorunlu olarak tespit edilen, bölgesel yoğunluk farkı ve basma mukavemeti hata türlerinin faktör seviyelerinin belirlenmesi için çalışma ekibi tarafından beyin fırtınası yapılması kararlaştırılmıştır. Her ekip üyesi iki hata türü için bu hata türlerini etkileyeceğini düşündüğü faktörleri ekip liderine yazılı olarak iletmiştir. Ekip lideri kendi dahil toplam 6 üyeden gelen toplam 51 öneriyi düzenleyip 14 başlık altında toplamıştır. Ekip üyeleri sırayla bu 14 öneri hakkında tek tek görüş bildirmiş ve bu önerilerin belirlenen iki hata türüne olası etkilerini tartışmıştır. Uzun çalışmalar sonucunda hata türlerinin işleme alınması için hata türlerinden birini etkilemesi yeterli bulunmuştur. Alınan diğer kararlar ise; 2 faktörün belirlenen hata türlerine etkisi olmadığı 5'e karşı 1 ve 4'e karşı 2 oyla kabul edilip,

geriye kalan 12 faktörün ise 9 faktör başlığı altında toplanmasına karar verilmiştir. Karar verilen bu 9 faktör aşağıda tanımlanmıştır.

#### **3.3.6.1. Elyaf uzunluğu**

Şekil 3.13'de görüldüğü üzere elyaf uzunluğu özel mikroskoplarla ölçülebilen, taşıyının kalite karakteristiklerini belirleyen önemli öğelerden biri olduğu için ekip tarafından önemle incelenip belirli bir değer altındaki elyaf uzunluğuna kısa, bu değer üzerindeki elyaflar uzun olarak tanımlanıp iki seviyeye ayrılmıştır.



Şekil 3.13. Mikroskop altında elyaf görüntüsü

#### **3.3.6.2. Krimping**

Krimping, yatay yöndeki elyaf liflerinin dikey yöndeki mukavemeti arttırmak amacıyla dikey yöne çevrilmesi işlemidir. Ekip tarafından etkisinin olup olmadığını görebilmek için var ya da yok olarak iki seviyeye ayrılmıştır.

#### **3.3.6.3. Bazalt ölçüleri**

Şekil 3.14'de görüntüsü bulunan taşıyının ana hammaddesi olan bazaltın ölçüleri taşıyının kalitesini değiştiren önemli bir faktördür. Ekip üyeleri tarafından boyutları 30-60mm ve 60-120mm olarak iki seviyeye ayrılmıştır.



Şekil 3.14. Bazalt

#### **3.3.6.4. Dolomit miktarı**

Bazalttan sonra taşıyünü üretimi için en önemli hammadde olan dolomit miktarı bazaltın erime sıcaklığını, ürünün akışkanlığını ve taşıyünü elyafının kalitesini doğrudan etkilediği için oldukça önemlidir. Ekip üyeleri her partide bazalta karıştırılan dolomit miktarını 120kg ve 180kg olarak iki seviyeye ayırmıştır. Şekil 3.15'de Dolomit resmi görülmektedir.



Şekil 3.15. Dolomit

#### **3.3.6.5. Disk hızları**

Lavı elyafa dönüştüren disklerin hızları merkezkaç kuvvetini dolayısıyla elyaflaşmayı direk etkilediği için taşıyünü kalitesi için önemli bir karakteristiktir. Ekip tarafından disk hızları yavaş ve hızlı olarak iki seviyeye ayrılmıştır.

#### **3.3.6.6. Kömür miktarı**

Kullanılan kömür miktarı hammaddenin eriyik hale gelmesini ve eriyiğin akışkanlığını doğrudan etkilemektedir. Kupola fırınının yakılmasında yanıcı olan tek hammadde

kömürdür ve yanma kömür miktarı ve kalitesi ile ilgilidir. Ekip tarafından kömür için belirlenen seviyeler her parti için 100 kg ve 130 kg'dır.

### 3.3.6.7. Bağlayıcı oranı

Bağlayıcı; elyafların birbirine tutunarak taşıyıcının rijitliğini ve özelliklerini belirleyen önemli bir kimyasal karışımdır. Az kullanılması taşıyıcı kalitesi açısından olumsuz etkilere sebep olacağı gibi gereğinden fazla kullanılması da negatif etkilere sebep olmaktadır. Bu sebeple bağlayıcı kullanımı ekip tarafından %3, %4 ve %5 şeklinde 3 farklı seviyeye ayrılmıştır.

### 3.3.6.8. Oksijen miktarı

Ürünün kalitesinin belirlendiği en önemli yer olan kupola fırınında yanma havasını zenginleştirmek için oksijen kullanılmaktadır. Yanma havasına karıştırılan saf oksijen kömürün tamamen yanıp kupola fırınının ideal sıcaklığa ulaştırmaktadır. Oksijen kullanımı için ekip üyeleri tarafından saatte 50 m<sup>3</sup>, 100 m<sup>3</sup> ve 150 m<sup>3</sup> olarak 3 farklı seviye seçilmiştir.

### 3.3.6.9. Etüv sıcaklığı

Şekil 3.16'da görüntüsü bulunan etüv fırını bağlayıcı ile harmanlanmış elyafların sıcaklık ve basınç yardımıyla şekillendiği alandır. Bağlayıcılar etüv fırınında belirli sıcaklığa ulaştığında aktive olup elyafların rijitliğini sağlarlar. Bu sebeple özellikle levha ürünlerde çok önemli olan fırın sıcaklığı için ekip üyeleri 3 farklı seviye belirlemişlerdir. Bu seviyeler 240°C, 250°C ve 260°C dir.



Şekil 3.16. Etüv fırını

### 3.3.7. Taguchi deney tasarımı uygulaması

HTEA yöntemiyle müdahale edilmesi zorunlu bulunan iki faktör için beyin fırtınası metoduyla aşağıdaki hata faktörlerine ve seviyelerine karar verilmiştir. Bundan sonraki aşamada Taguchi deney tasarımı ile bölgesel yoğunluk farkı ve basma mukavemeti için ideal seviyeler belirlenecektir.

Tablo 3.5. Hata faktörleri ve seviyeleri

Hata Türü	Hata Faktörü	Seviye
Elyaf Uzunluğu	Kısa	1
	Uzun	2
Krimping	Var	1
	Yok	2
Bazalt Ölçüleri (mm)	30 - 60	1
	60 - 120	2
Dolomit Miktarı (kg)	120	1
	180	2
Disk Hızları	Yavaş	1
	Hızlı	2
Kömür Miktarı (kg)	100	1
	130	2
Bağlayıcı Oranı (%)	3	1
	4	2
	5	3
Oksijen Miktarı (m <sup>3</sup> /h)	50	1
	100	2
	150	3
Etüv Sıcaklığı (°C)	240	1
	250	2
	260	3

Taguchi deney tasarımında; veri analizinde kapsamlı ve kolay kullanıma sahip olan istatistiksel yazılım paketi Minitab 16 kullanılmıştır. Bu program basit çözümlerden profesyonel metotlara kadar pek çok durumda tercih edilmektedir.

Tablo 3.5’de görüldüğü gibi deney tasarımında 6 tanesi 2, 3 tanesi 3 seviyeli olmak üzere toplam 9 faktör mevcuttur. Bu faktör ve seviyelere uygun olan  $L_{36}(2^6 \times 3^3)$  ortogonal deney düzeni seçilmiştir. Normal şartlarda ideal seçime ulaşabilmek için  $2^6 \times 3^3 = 1728$  kez deney yapılması gerekecekti. Birde örnekte olduğu gibi her durum için 3 deney yapılırsa bu sayı 5184’e çıkacaktı. Taguchi deney tasarımı sayesinde 108 deneyle en ideal çözüme ulaşılmıştır. Buda yapılması gereken her 50 deney

yerine 1 deney yapmak anlamına gelmektedir. Uygulama yapılan fabrikada üretim tek hattan yapılmaktadır ve bu hattan saniyede 1kg dan fazla ürün akmaktadır. Üretim metodu sebebiyle herhangi bir sebepten dolayı çalışılmayan her saniyede üretilmesi gereken bu ürün eriyik olarak boşa akıtılmaktadır. Bu sebeple deney yapabilmek için ayar değiştirmek yerine standart çalışma devam ettirilmiş, istenen 36 seviye durumu oluştuğunda numuneler alınıp teste tabi tutulmuştur. Bu sebeple deneylerin tamamlanması 6 aylık bir süreyi geçmiştir. Bütün numuneler 150kg/m<sup>3</sup> yoğunlukta ürünler üretilirken alınmıştır.

### 3.3.7.1. Bölgesel yoğunluk farkı için Taguchi analizi

Bölgesel yoğunluk farkı için programın belirlediği 36 farklı seviye durumda, her biri için üçer adet olmak üzere toplamda 108 numune alınmıştır. Alınan her levha 6 farklı bölgeden belirli büyüklüklerde kesilerek ağırlıkları ölçülmüştür. Şekil 3.17'de görüldüğü gibi ağırlığı en fazla olan parça ile en düşük olan parçanın farkının olması gereken ağırlığa yüzde değer olarak oranı bölgesel yoğunluk farkının değeri olarak kabul edilmiştir. Bu kabul uygulama ekibinin tamamı tarafında uygun bulunmuştur.



Şekil 3.17. Bölgesel yoğunluk farkı kontrol örneği

Yapılan ölçümlerden sonra alınan değerler Minitab programına girilmiş ve ortalama ve sinyal/gürültü oranları program tarafından hesaplanmıştır. Ekip üyeleri en ideal sonucun sinyal/gürültü oranlarını kullanarak yapılacak hesaplama ile bulunacağına karar vermiş ve programa bu şekilde giriş yapılmıştır. Ayrıca bölgesel yoğunluk farkının minimum olması beklendiği için daha küçüğün daha iyi olduğu (smaller is better) durum seçilmiştir. Aşağıdaki tabloda 36 durum için ölçülen değerler, ortalamalar ve program tarafından hesaplanan sinyal/gürültü oranları mevcuttur.

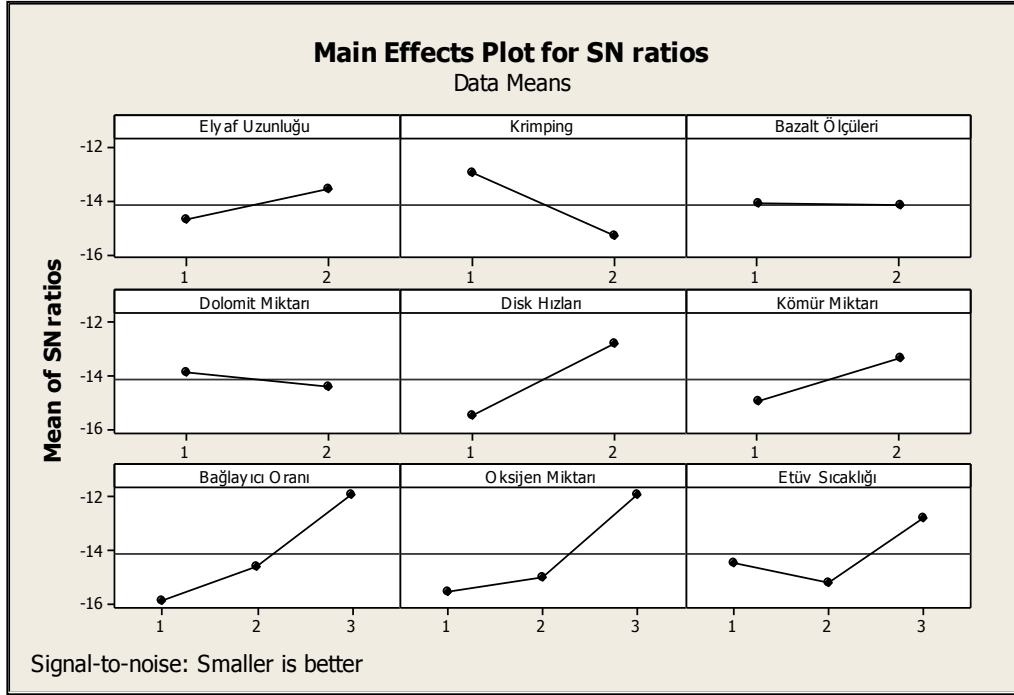
Tablo 3.6. Bölgesel yoğunluk farkı

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÖLÇÜM 1	ÖLÇÜM 2	ÖLÇÜM 3	S/G	ORT
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7,2	8,8	7,7	-18,0	7,9
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	8,5	7,3	8,1	-18,0	8,0
3	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3,8	3,3	4,5	-11,8	3,9
4	1	1	1	1	1	2	1	1	1	8,0	7,9	7,7	-17,9	7,9
5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	7,9	6,4	6,9	-17,0	7,1
6	1	1	1	1	1	2	3	3	3	1,4	1,8	2,0	-4,9	1,7
7	1	1	2	2	2	1	1	1	2	6,8	7,5	7,5	-17,2	7,3
8	1	1	2	2	2	1	2	2	3	5,5	5,1	6,0	-14,9	5,5
9	1	1	2	2	2	1	3	3	1	2,7	2,9	3,1	-9,3	2,9
10	1	2	1	2	2	1	1	1	3	6,0	7,0	7,2	-16,6	6,7
11	1	2	1	2	2	1	2	2	1	6,9	7,0	7,1	-16,9	7,0
12	1	2	1	2	2	1	3	3	2	4,9	3,6	4,1	-12,5	4,2
13	1	2	2	1	2	2	1	2	3	6,5	6,1	6,4	-16,0	6,3
14	1	2	2	1	2	2	2	3	1	4,1	3,8	3,8	-11,8	3,9
15	1	2	2	1	2	2	3	1	2	5,4	4,8	5,5	-14,4	5,2
16	1	2	2	2	1	2	1	2	3	6,8	6,8	6,5	-16,5	6,7
17	1	2	2	2	1	2	2	3	1	5,5	5,2	6,8	-15,4	5,8
18	1	2	2	2	1	2	3	1	2	5,8	7,0	5,3	-15,7	6,0
19	2	1	2	2	1	1	1	2	1	6,7	7,1	6,9	-16,8	6,9
20	2	1	2	2	1	1	2	3	2	6,0	4,4	5,8	-14,7	5,4
21	2	1	2	2	1	1	3	1	3	4,5	4,2	5,6	-13,6	4,8
22	2	1	2	1	2	2	1	2	2	5,2	4,9	5,0	-14,0	5,0
23	2	1	2	1	2	2	2	3	3	1,9	2,1	1,2	-5,0	1,7
24	2	1	2	1	2	2	3	1	1	3,7	3,4	4,1	-11,5	3,7
25	2	1	1	2	2	2	1	3	2	3,9	3,1	3,3	-10,8	3,4
26	2	1	1	2	2	2	2	1	3	4,4	2,5	3,2	-10,8	3,4
27	2	1	1	2	2	2	3	2	1	2,1	1,7	2,7	-6,9	2,2
28	2	2	2	1	1	1	1	3	2	5,9	5,6	5,1	-14,9	5,5
29	2	2	2	1	1	1	2	1	3	6,9	7,6	6,7	-17,0	7,1
30	2	2	2	1	1	1	3	2	1	7,1	5,5	6,4	-16,1	6,3
31	2	2	1	2	1	2	1	3	3	7,0	6,1	6,7	-16,4	6,6
32	2	2	1	2	1	2	2	1	1	7,5	7,1	8,2	-17,6	7,6
33	2	2	1	2	1	2	3	2	2	6,8	7,4	6,5	-16,8	6,9
34	2	2	1	1	2	1	1	3	1	5,1	6,0	6,4	-15,4	5,8
35	2	2	1	1	2	1	2	1	2	6,2	6,2	6,7	-16,1	6,4
36	2	2	1	1	2	1	3	2	3	3,7	1,9	3,0	-9,4	2,9

Şekil 3.18'deki grafik; bölgesel yoğunluk farkı için daha küçük daha iyi durumu ve sinyal/gürültü oranları kullanılarak Minitab programında hazırlanmıştır.

Grafik incelendiğinde ideal durumun A2B1C1D1E2F2G3H3J3 şeklinde oluştuğu görülmektedir. Bu kombinasyonun ifade ettiği özellikleri aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz;





Şekil 3.18. Bölgesel yoğunluk farkı analizi için S/G oranı sonuç grafiği

Şekil 3.18'deki grafik incelendiğinde ideal durumun A2B1C1D1E2F2G3H3J3 şeklinde olduğu görülmektedir. Bu kombinasyonun ifade ettiği özellikleri aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz;

A: Elyaf uzunluğu için etkin seviye 2 olarak belirlenmiştir. İdeal değere ulaşabilmek için uzun elyaf boyunun kısa elyaf boyuna göre daha uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Grafikteki eğime baktığımızda elyaf uzunluğunun bölgesel yoğunluk farkına etkisinin önemli olduğunu söylenebilir.

B: Krimping için etkin seviye 1 olarak belirlenmiştir. Krimpingli ürünlerin krimpingsiz ürünlere nazaran daha düşük bölgesel yoğunluk farkına sahip olduğu tespit edilmiştir. Eğime baktığımızda krimping uygulamasının bölgesel yoğunluk farkına etkisinin çok önemli olduğu görülmektedir.

C: Bazalt ölçüleri açısından etkin seviye 1 olarak belirlenmiştir. Fakat grafikteki eğimin yok denecek kadar az olması, bazalt ölçülerinin bölgesel yoğunluk farkına kaydadeğer bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

D: Dolomit miktarı için belirlenen etkin seviye 1'dir. Grafikteki eğimin azlığı dolomit miktarının bölgesel yoğunluk farkına önemsiz bir etkisi olduğunu göstermektedir.

E: Disk hızları için etkin seviye 2 olarak belirlenmiştir. Disklerin hızlı çalışması levhalarda bölgesel yoğunluk farkını azaltmaktadır. Disk hızlarının bölgesel yoğunluk farklarının azaltılmasında çok önemli etkiye sahip olduğu görülmektedir.

F: Kömür miktarı için etkin seviye 2 olarak belirlenmiştir. Kömür miktarının 100kg dan 150kg'a çıkarılması bölgesel yoğunluk farkını azaltmada önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

G: Bağlayıcı oranı için belirlenen etkin seviye 3'tür. Bağlayıcı oranın artırılması bölgesel yoğunluk farkını doğrusal diyebileceğimiz oranda azaltmaktadır ve çok önemli etkiye sahiptir.

H: Oksijen miktarı için etkin seviye 3 olarak belirlenmiştir. Oksijen kullanımını saatte 50m<sup>3</sup> den 100m<sup>3</sup>'e çıkarmak bölgesel yoğunluk farkını bir miktar azaltmaktadır fakat asıl etki kullanılan oksijen miktarının 150m<sup>3</sup>'e çıkarıldığında görülmektedir. Grafikteki eğim incelendiğinde etkisinin çok önemli olduğu görülmektedir.

J: Etüv sıcaklığı için etkin seviye 3 olarak belirlenmiştir. Etüv sıcaklığını 240°C den 250°C ye çıkarmak bölgesel yoğunluk farkına olumsuz etki yapmakta ve yoğunluk farkını arttırmaktadır. Etüv sıcaklığını 260°C ye çıkarmak ise bölgesel yoğunluk farkını azaltma eğilimi sergilemektedir. Grafiğe baktığımızda etüv sıcaklığının etkisinin az öneme sahip olduğu görülebilir.

### **3.3.7.2. Basma mukavemeti için Taguchi analizi**

Basma mukavemeti için programın belirlediği 36 farklı seviye durumunda, her seviye için üçer adet toplamda 108 numune alınmıştır. Her levhanın rastgele seçilen bölgelerinden üçer adet 20cm ölçülerinde kare şeklinde parçalar kesilip basma mukavemetleri ölçülmüştür. Her levhadan alınan üç parçanın ortalaması bir veri olarak kabul edilmektedir. Basma mukavemetinde alınan sonuçlar 1m<sup>2</sup> alanına sahip ürünün kalınlığını %10 esnetebilmek için gerekli kuvvettir. Ürünün kalınlığını %10 azaltabilmek için uygulanması gereken kuvvet ne kadar çok olursa, ürünün basma kuvvetine karşı gösterdiği direnç o denli fazladır. Birimi kPa dır.

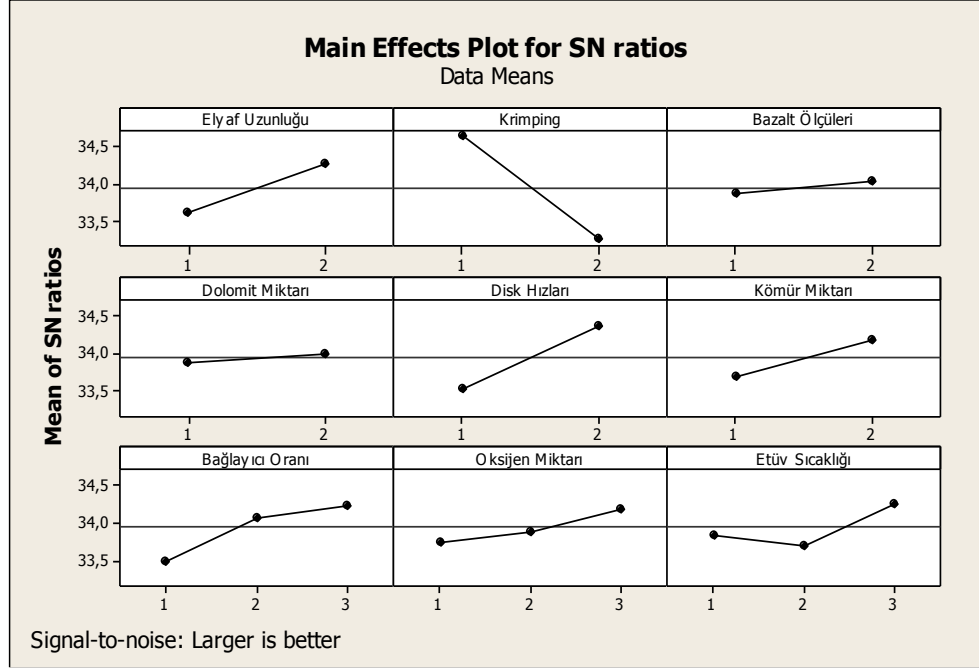
Yapılan testlerin sonuçları Minitab programına girilmiş ve ortalama ve sinyal/gürültü oranları program tarafından hesaplanmıştır. Bu analiz içinde en ideal sonucun sinyal/gürültü oranlarını kullanarak bulunacağı ekip üyeleri tarafından kabul edilmiş ve programa bu şekilde giriş yapılmıştır. Basma mukavemetinin artması ürün kalitesi için olumlu etkiye sahiptir ve bu sebeple daha büyük daha iyi olduğu durum (larger is

better) seçeneği seçilmiştir. Tablo 3.7’de 36 farklı durum için hesaplanan değerler, ortalamalar ve program tarafından hesaplanan sinyal/gürültü oranları mevcuttur.

Tablo 3.7. Basma mukavemeti

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÖLÇÜM 1	ÖLÇÜM 2	ÖLÇÜM 3	S/G	ORT
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	42,1	45,8	51,4	33,3	46,4
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	47,2	49,1	47,6	33,6	48,0
3	1	1	1	1	1	1	3	3	3	51,6	52,5	49,8	34,2	51,3
4	1	1	1	1	1	2	1	1	1	49,6	45,1	44,3	33,3	46,3
5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	46,9	48,2	48,7	33,6	47,9
6	1	1	1	1	1	2	3	3	3	53,0	52,6	53,6	34,5	53,1
7	1	1	2	2	2	1	1	1	2	46,7	46,5	49,9	33,6	47,7
8	1	1	2	2	2	1	2	2	3	56,1	54,7	53,7	34,8	54,8
9	1	1	2	2	2	1	3	3	1	58,6	53,6	59,9	35,1	57,4
10	1	2	1	2	2	1	1	1	3	45,6	49,3	44,6	33,3	46,5
11	1	2	1	2	2	1	2	2	1	48,7	44,4	46,5	33,3	46,5
12	1	2	1	2	2	1	3	3	2	48,8	45,0	47,8	33,5	47,2
13	1	2	2	1	2	2	1	2	3	46,0	45,7	46,7	33,3	46,1
14	1	2	2	1	2	2	2	3	1	44,5	43,8	49,1	33,2	45,8
15	1	2	2	1	2	2	3	1	2	47,2	45,6	45,2	33,3	46,0
16	1	2	2	2	1	2	1	2	3	46,3	46,1	43,5	33,1	45,3
17	1	2	2	2	1	2	2	3	1	46,1	42,7	48,9	33,2	45,9
18	1	2	2	2	1	2	3	1	2	45,5	41,9	48,2	33,1	45,2
19	2	1	2	2	1	1	1	2	1	49,2	42,0	49,0	33,3	46,7
20	2	1	2	2	1	1	2	3	2	54,4	53,4	48,8	34,3	52,2
21	2	1	2	2	1	1	3	1	3	50,5	52,3	60,8	34,7	54,5
22	2	1	2	1	2	2	1	2	2	60,2	56,2	46,2	34,5	54,2
23	2	1	2	1	2	2	2	3	3	82,4	74,3	79,0	37,9	78,6
24	2	1	2	1	2	2	3	1	1	60,3	59,9	63,2	35,7	61,1
25	2	1	1	2	2	2	1	3	2	52,1	60,0	64,0	35,3	58,7
26	2	1	1	2	2	2	2	1	3	64,3	59,8	56,6	35,6	60,2
27	2	1	1	2	2	2	3	2	1	66,7	63,3	64,7	36,2	64,9
28	2	2	2	1	1	1	1	3	2	40,9	42,6	52,9	33,0	45,5
29	2	2	2	1	1	1	2	1	3	44,1	43,5	50,2	33,2	45,9
30	2	2	2	1	1	1	3	2	1	47,8	45,7	45,5	33,3	46,3
31	2	2	1	2	1	2	1	3	3	46,3	41,1	48,9	33,1	45,4
32	2	2	1	2	1	2	2	1	1	45,3	49,8	40,6	33,0	45,2
33	2	2	1	2	1	2	3	2	2	49,8	49,0	47,2	33,7	48,7
34	2	2	1	1	2	1	1	3	1	41,3	46,0	49,5	33,1	45,6
35	2	2	1	1	2	1	2	1	2	45,3	45,0	47,3	33,2	45,9
36	2	2	1	1	2	1	3	2	3	49,0	51,1	46,1	33,7	48,7

Şekil 3.19’deki grafik; basma mukavemeti için daha büyük daha iyi durumu ve sinyal/gürültü oranları kullanılarak Minitab programında hazırlanmıştır.



Şekil 3.19. Basma mukavemeti analizi için S/G oranı sonuç grafiği

Grafik incelendiğinde ideal durumun  $A_2B_1C_2D_2E_2F_2G_3H_3J_3$  şeklinde oluştuğu görülmektedir. Grafikteki kombinasyonların ifade ettiği özellikleri aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz;

A: Elyaf uzunluğu için etkin seviye 2 olarak belirlenmiştir. İdeal basma mukavemeti değerlerine ulaşabilmek için uzun elyaf boyunun kısa elyaf boyuna göre daha uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Grafikteki eğime baktığımızda elyaf uzunluğunun bölgesel yoğunluk farkına etkisinin önemli olduğu görülmektedir.

B: Krimping için etkin seviye 1 olarak belirlenmiştir. Krimping uygulamasının basma mukavemetini arttırdığı gözlenmiştir. Grafikteki eğim incelendiğinde krimpingin basma mukavemetine etkisinin çok önemli olduğu, diğer grafiklerde incelendiğinde hatta en önemli etkinin krimping tarafından sağlandığı söylenebilir.

C: Bazalt ölçüleri açısından tespit edilen etkin seviye 2'dir. Fakat eğimin çok düşük olması basma mukavemetine etkisinin çok düşük olduğu göstermektedir.

D: Dolomit miktarı için etkin seviye 2 olarak belirlenmiştir. Grafikteki eğimin minimum seviyede kalması dolomit miktarının bölgesel yoğunluk farkına etkisinin önemsiz olduğunu göstermektedir.

E: Disk hızları için etkin seviye 2 olarak belirlenmiştir. Disklerin hızlı çalışması basma mukavemetin arttırmaktadır. Grafik eğiminden görüldüğü gibi disklerin hızı basma mukavemeti açısından çok önemli bir etkiye sahiptir.

F: Kömür miktarı için etkin seviye 2 olarak belirlenmiştir. Kullanılan kömür miktarını arttırmak basma mukavemeti arttırdığı görülmektedir. Eğim incelendiğinde gösterdiği etkinin önemli olduğu görülebilir.

G: Bağlayıcı oranı için etkin seviye 3 olarak belirlenmiştir. Bağlayıcı oranın 3'ten 4'e çıkarılması basma mukavemetini önemli ölçüde arttırmıştır. Bağlayıcı değerini 4'den 5'e çıkarmak ise nispeten daha az olmakla birlikte artış sağlamıştır. Bağlayıcı miktarının basma mukavemetine önemli bir etkisi olduğu görülmektedir.

H: Oksijen miktarı için etkin seviye 3 olarak belirlenmiştir. Oksijen kullanımını 50m<sup>3</sup> den 100m<sup>3</sup>'e ve 150m<sup>3</sup>'e çıkarmak basma mukavemetini arttırmaktadır. Grafik eğimine bakıldığında az öneme sahip olduğu söylenebilir.

J: Etüv sıcaklığı için etkin seviye 3 olarak belirlenmiştir. Etüv sıcaklığını 240°C den 250°C ye çıkarmak basma mukavemeti değerini olumsuz etkilemektedir. Etüv sıcaklığını 260°C ye çıkarıldığında ise basma mukavemeti değeri artmakta ve en ideal değere ulaşmaktadır. Eğime bakıldığında etkinin az önemli olduğu görülebilir.

### **3.3.7.3. Taguchi analizi sonuçları**

Bölgesel yoğunluk farkı için oluşan ideal kombinasyon  $A_2B_1C_1D_1E_2F_2G_3H_3J_3$  şeklindedir. Basma mukavemeti için ise ideal kombinasyon  $A_2B_1C_2D_2E_2F_2G_3H_3J_3$  şeklinde oluşmuştur.

İki farklı hata türü için alınan analiz sonucunda, bazalt ölçüleri (C) ve dolomit miktarı (D) hata faktörleri haricinde diğer hata faktörlerinde etkin seviyeler aynı çıkmıştır.

Hem bölgesel yoğunluk farkı için hem de basma mukavemeti için bazalt ölçüleri (C) ve dolomit miktarı (D) seviyelerinin az öneme sahip olduğu grafik eğimlerinin yataya çok yakın olmasından açıkça görülmektedir. C ve D seviyelerinin sonuca olan etkisinin minimum seviyede kalacağı çok net olmakla birlikte ekip üyeleri iki hata türü için ortak ideal sonucu bulmak konusunda kararlı davranış göstermiştir. C1D1, C1D2, C2D1, C2D2 seçeneklerinden en ideal olanı bulmak için araştırmalar yapılmış, çeşitli yöntemler denenmiş. Yapılan çalışmalar sonucunda çok faktörlü

karar verme tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) uygulanması kararlaştırılmıştır.

#### 3.3.7.4. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile ideal faktörün belirlenmesi

Çok amaçlı karar verme tekniklerinin en çok bilinen ve kullanılanlardan biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi; kompleks yapıya sahip problemlerin çözümünde duygu, düşünce ve istek gibi soyut kavramların da sayısal değer verilerek karar üzerinde etkiye sahip olduğu bir yöntemdir.

Bu yöntemde ilk olarak sonucu etkileyeceği düşünülen kriterler belirlenir. Ekip üyeleri tarafından önerilen 6 kriterden bir tanesi diğer üyeler tarafından reddedilmiş, iki farklı kriter ise prosese uygunluk başlığı altında birleştirilmiştir. Kabul edilen kriterler aşağıdaki gibi açıklanabilir;

- Bulunabilirlik; hammaddelere yakınlık, termin süreleri, terminlere uyma oranı, nakliye düzenliliği gibi etmenler dikkate alınmıştır.
- Maliyet; her faktörün uygulanması durumunda firmaya oluşturacağı finansal etki dikkate alınmıştır.
- Prosese uygunluk; faktörlerin üretim sürecinde her proses için olumlu veya olumsuz etkileri göz önünde bulundurulmuştur.
- İşgücü; her faktörün personele oluşturacağı pozitif veya negatif ekstra iş yükü dikkate alınmıştır.

Tablo 3.8. Kriter karşılaştırma matrisi

Kriterler	Bulunabilirlik	Maliyet	Proses Uygunluk	İşgücü
Bulunabilirlik	0,091	0,103	0,091	0,059
Maliyet	0,454	0,513	0,545	0,471
Proses Uygunluk	0,273	0,256	0,273	0,353
İşgücü	0,182	0,128	0,091	0,117

Kriterler belirlendikten sonra kriterlerin Şekil 3.8'deki gibi karşılaştırma matrisleri kurulur. Oluşturulan bu matriste kriterler arasındaki önemi ifade eden 1 ile 9

arasında sayılar verilir. 1 aynı öneme sahip, 9 ise mutlak önemli olmak üzere sayı arttıkça önem derecesi artmaktadır.

Seçilen 4 kriter yukarıdaki matrise yerleştirilip kendi aralarında ikili karşılaştırmalar ile sayılar kullanılarak önemlerine göre ağırlıklandırılmıştır. Örneğin; maliyet bulunabilirliğe göre beş kat önemli, prosese uygunluk ise işgücüne oranla üç kat önemli bulunmuştur. Bu puanlama yapılırken her ekip üyesinin her ikili karşılaştırma için önerdiği puanlar toplanıp ortalaması alınarak bulunmuş ve tamsayıya yuvarlanmıştır. Her ekip üyesinin verdiği puan eşit öneme sahiptir.

Tablo 3.9. Normalize edilmiş kriter karşılaştırma matrisi

<b>Kriterler</b>	Bulunabilirlik	Maliyet	Proses Uygunluk	İşgücü
Bulunabilirlik	1 / 11	1/5 / 1,95	1/3 / 3,66	1/2 / 8,5
Maliyet	5 / 11	1 / 1,95	2 / 3,66	4 / 8,5
Proses Uygunluk	3 / 11	1/2 / 1,95	1 / 3,66	3 / 8,5
İşgücü	2 / 11	1/4 / 1,95	1/3 / 3,66	1 / 8,5

İkili karşılaştırma matrisinde, sütundaki her eleman toplanarak bulunmuş sütun toplamları her sütun elemanına bölünerek sütun normalize edilmiştir.

Tablo 3.10. Faktör ağırlıkları ve özvektör değerleri

<b>Kriterler</b>	Bulunabilirlik	Maliyet	Proses Uygunluk	İşgücü	<b>Özvektör</b>
Bulunabilirlik	0,091	0,103	0,091	0,059	0,086
Maliyet	0,454	0,513	0,545	0,471	0,495
Proses Uygunluk	0,273	0,256	0,273	0,353	0,289
İşgücü	0,182	0,128	0,091	0,117	0,13

Tablo 3.9'da görüldüğü gibi normalize edilmiş her satırın ortalaması alınarak öncelikler vektörü (Özvektör) değerleri bulunur. Tablo 3.10'da görüldüğü gibi elde edilmiş matris elemanları tüm özvektör değerlerine bölünerek bulunan değerlerin ortalaması  $\lambda_{\max}$  (Özdeğer) değerleri bulunur. Karşılaştırma matrisindeki kıyaslamalar arasındaki tutarlılığı kontrol etmek amacıyla aşağıdaki formüller uygulanmıştır.

CR: Tutarlılık oranı

CI: Tutarlılık endeksi

RI: Rastgele değer endeksi (RDI tablosundan alınır)

n: Kriter sayısı

$$CI: \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (3.1)$$

$$CR: \frac{CI}{RI} \quad (3.2)$$

CR  $\leq$  0,1 ise tutarlı olarak kabul edilmektedir.

Tablo 3.11. Alternatifler için kriter karşılaştırma matrisi

Kriterler	Seçim	C1D1	C1D2	C2D1	C2D2
Bulunabilirlik	C1D1	1	3	5	2
	C1D2	1/3	1	2	1/4
	C2D1	1/5	1/2	1	1/3
	C2D2	1/2	4	3	1
	<b>Toplam</b>	2,03	8,5	11	3,58
Maliyet	C1D1	1	2	3	4
	C1D2	1/2	1	4	3
	C2D1	1/3	1/4	1	2
	C2D2	1/4	1/3	1/2	1
	<b>Toplam</b>	2,08	3,58	8,5	8,25
Proses Uygunluk	C1D1	1	1/3	1/5	1/2
	C1D2	3	1	1/2	3
	C2D1	5	2	1	2
	C2D2	2	1/3	1/2	1
	<b>Toplam</b>	11	3,66	2,2	6,5
İşgücü	C1D1	1	1/3	1/4	1/2
	C1D2	3	1	1/2	3
	C2D1	4	2	1	2
	C2D2	2	1/3	1/2	1
	<b>Toplam</b>	10	3,66	2,25	6,5



Yapılan işlemler sonucu tutarlılık oranı 0,02 bulunmuş olup karşılaştırmaların tutarlı olduğunu göstermektedir. ( $0,02 \leq 0,1$ )

Tutarlılık oranı 0,1'den büyük olduğu durumlarda karşılaştırmaların yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu aşamada; Tablo 3.11'deki gibi bütün alternatifler her bir kriter ile karşılaştırılarak matris oluşturulur. Sütun toplamaları matrise eklenir.

Tablo 3.12. Alternatif kriterlerin ağırlık ve özvektör matrisi

Kriterler	Seçim	C1D1	C1D2	C2D1	C2D2	Özvektör
Bulunabilirlik	C1D1	0,493	0,353	0,454	0,558	0,465
	C1D2	0,164	0,118	0,182	0,07	0,134
	C2D1	0,097	0,058	0,091	0,093	0,085
	C2D2	0,246	0,471	0,273	0,279	0,317
Maliyet	C1D1	0,480	0,559	0,353	0,4	0,448
	C1D2	0,240	0,279	0,471	0,300	0,323
	C2D1	0,160	0,070	0,117	0,2	0,137
	C2D2	0,120	0,092	0,059	0,1	0,093
Proses Uygunluk	C1D1	0,091	0,091	0,091	0,077	0,088
	C1D2	0,273	0,273	0,227	0,461	0,309
	C2D1	0,454	0,545	0,455	0,308	0,441
	C2D2	0,182	0,091	0,227	0,154	0,164
İşgücü	C1D1	0,100	0,091	0,111	0,077	0,095
	C1D2	0,300	0,273	0,222	0,462	0,314
	C2D1	0,400	0,545	0,445	0,307	0,424
	C2D2	0,200	0,091	0,222	0,154	0,167

Tablo 3.12'de görüldüğü gibi her kriter için; sütun elemanları, sütun toplamına bölünerek normalize edilmiş. Daha sonra normalize edilmiş her satır elemanının ortalaması alınarak özvektör değerleri bulunmuştur. Alternatif kriterlerin tutarlılığını belirlemek için tutarlılık testi yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

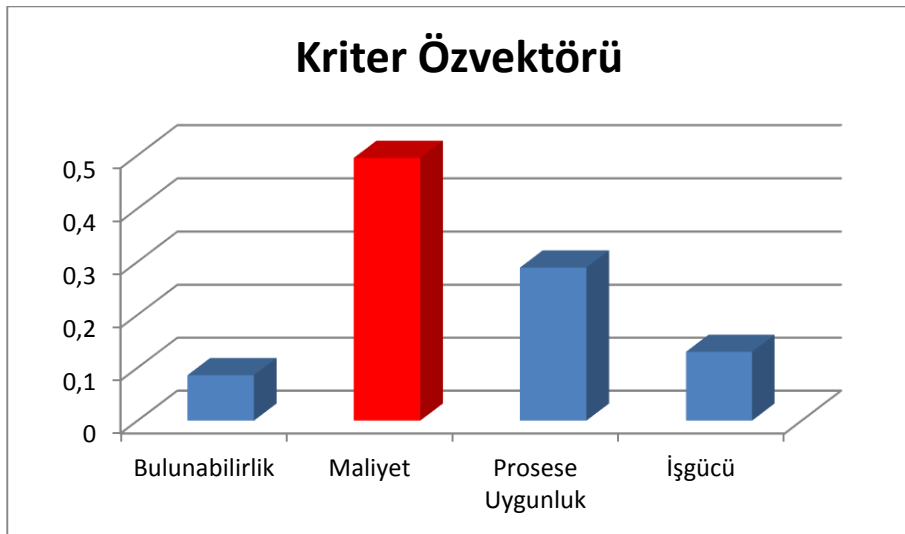
Tablo 3.13'de görüldüğü üzere kriterlerin tamamı için CR değerleri 1'den küçük bulunmuş ve kriterlerin tutarlı olduğu görülmüştür.

Tablo 3.13. CR değerleri

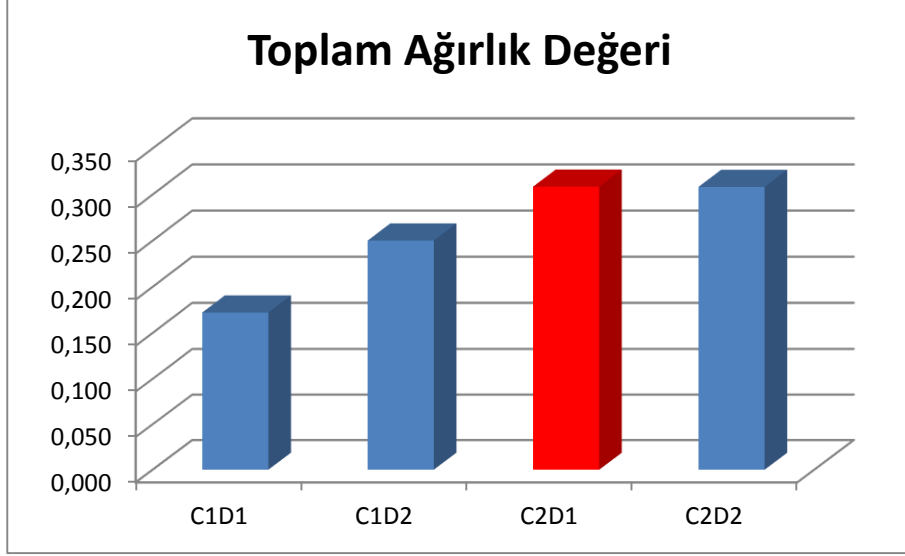
Kriter	CR Değeri
Bulunabilirlik	0,045
Maliyet	0,05
Prosesse Uygunluk	0,42
İşgücü	0,039

Tablo 3.14. Etkin seviye – faktör karşılaştırma matrisi

ETKİN SEVİYE - FAKTÖR	C1D1	C1D2	C2D1	C2D2		Kriter Özvektörü	Toplam Ağırlık Değeri	Seçenek
Bulunabilirlik	0,465	0,134	0,085	0,317		0,086	0,172	C1D1
Maliyet	0,448	0,323	0,137	0,093	*	0,495	0,250	C1D2
Prosesse Uygunluk	0,088	0,308	0,440	0,164		0,289	0,309	C2D1
İşgücü	0,095	0,314	0,424	0,170		0,13	0,308	C2D2



Şekil 3.20. Kriter özvektör grafiği



Şekil 3.21. Toplam ağırlık değeri grafiği

Tablo 3.14'teki Etkin seviye – faktör matrisinden ve Şekil 3.20 ile Şekil 3.21'deki grafiklerden görüldüğü gibi maliyet en önemli kriter olarak bulunmuştur. Önem sırası prosese uygunluk, işgücü ve bulunabilirlik şeklinde azalmaktadır. Maliyetin önemi %49,5 ile diğer üç faktörün önemleri toplamına çok yakındır. Etkin seviye ise %30,9 ile C2D1 olduğu görülmektedir. C2D2 ise % 0,1 gibi çok küçük bir farkla ikinci etkin seviye olarak bulunmuştur. C1D2 % 25, C1D1 ise % 17,2 şeklinde çok da küçük olmayan değerlere sahiptirler. C (Bazalt ölçüleri) ve D (Dolomit miktarı) hata türleri için grafik eğimlerinin minimum seviyede olması etkin seviyeler arasındaki farkın az olacağını, sonuca etkinin minimumda kalacağını göstermiştir. Analitik hiyerarşi prosesi ile bulduğumuz ağırlık değerleri arasındaki farkın da minimum seviyede kalması bulduğumuz sonucu teyit etmiş, C ve D hata türlerinin seviyelerinin sonuca etkisinin minimum seviyede kalacağını kanıtlamıştır. Sonuca etkisi düşük seviyede kalacak olmasına rağmen en uygun karar C2D1 (Bazalt ölçüleri 60-120mm, Dolomit miktarı 120kg) olarak belirlenmiştir.

### 3.3.7.5. Kontrol deneyinin yapılması

Yapılan işlemler sonucunda bölgesel yoğunluk farkı ve basma mukavemeti birlikte ele alındığında ideal kombinasyon A2B1C2D1E2F2G3H3J3 şeklinde bulunmuştur. Hata faktörleri için ideal durum aşağıdaki şekilde bulunmuştur;

- A - Elyaf uzunluğu: Uzun
- B - Krimping: Var
- C - Bazalt ölçüleri: 60-120mm

- D - Dolomit miktarı: 120kg  
E - Disk hızları: Hızlı  
F - Kömür miktarı: 130kg  
G - Bağlayıcı oranı: %5  
H - Oksijen miktarı: 150m<sup>3</sup>/h  
J - Etüv sıcaklığı: 260°C

Bu aşamada yapılan deney ve işlemlerin doğruluğunu kanıtlayabilmek adına kontrol deneyleri yapıp sonuçları yorumlanmaktadır. İdeal durum şartlarında; yaklaşık bir aylık bir periyot ve beş farklı günde alınan beş farklı numunenin bölgesel yoğunluk farkı ve basma mukavemeti değerleri hesaplanmış ve aşağıdaki tabloya not edilmiştir. Bu değerlerin ortalamaları ve sinyal/gürültü oranları da hesaplanıp tabloya yazılmıştır. Bulduğumuz değerler başlangıçta 36 farklı durum için alınan sonuçlarla kıyaslandığında yapılan çalışmanın çok olumlu sonuç verdiğini göstermektedir. Fakat asıl sonucu görebilmek için hangi kombinasyonlarda üretildiği önemsenmeyen rastgele alınan verilerin sonuçları ile karşılaştırma yapılması daha doğru bir kıyaslama sağlayacağı düşünülmüştür.

Tablo 3.15. İdeal durum için ölçüm sonuçları

											ÖLÇÜM 1	ÖLÇÜM 2	ÖLÇÜM 3	ÖLÇÜM 4	ÖLÇÜM 5	S/G	ORT
<b>Bölgesel Yoğunluk Farkı</b>	2	1	2	1	2	2	3	3	3		1,1	1,6	1,4	2,2	1,4	-4,0	1,5
<b>Basma Mukavemeti</b>	2	1	2	1	2	2	3	3	3		78,0	83,0	82,0	71,0	84,0	38,0	79,6

İdeal kombinasyonlar kullanılarak üretilen ürünler ile hangi kombinasyonlarda üretildiği önemsenmeyen ürünlerin sonuçları kıyaslanarak yapılan çalışmanın başarısı ölçülmek istenmiştir. Bu sebeple son üç ay içinde farklı tarihlerde üretilmiş depoda ya da kalitede bulunan ürünlerden rastgele alınmış numunelerden beşer adet seçilerek test edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Numuneler seçilirken üretim kombinasyonları bilinmeden seçim yapılmasına özen gösterilmiş, tamamen tesadüfi örnekler alınmıştır.

Tablo 3.16. Rastgele seçilen numunelerin ölçüm sonuçları

	ÖLÇÜM 1	ÖLÇÜM 2	ÖLÇÜM 3	ÖLÇÜM 4	ÖLÇÜM 5	S/G	ORT
<b>Bölgesel Yoğunluk Farkı</b>	3,4	2,3	6,5	7,6	2,5	-13,9	4,5
<b>Basma Mukavemeti</b>	45,7	65,7	43,0	47,9	51,1	33,8	50,7

İdeal durumda bölgesel yoğunluk farkı ortalama %1,5 iken, rastgele alınan numunelerin bölgesel yoğunluk farkı ortalaması %4,5 bulunmuştur. %67'e varan bir iyileşme olduğu görülmüştür. Sinyal gürültü oranları da -4 ten -13,9 a düşerek daha büyük bir fark meydana getirmiştir. Basma mukavemeti ise rastgele alınan numunelerde ortalama 50,7kPa hesaplanmışken ideal durumda %57'lik bir artışla ortalama 79,6kPa bulunmuştur. Sinyal gürültü oranları ise; 38 den 33,8 e düşmüştür.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sürekli gelişen günümüz kalite anlayışında ilerleyemeyen firmalar küçülmekte müşteri ve para kaybetmektedirler. Globalleşen dünyada Çin'in veya Meksika'nın bir kasabasındaki herhangi bir firmanın yaptığı yeni bir kalite geliştirme veya maliyet düşürme çalışmasının etkilerini ülkemizde aynı işi yapan herhangi bir firma yaşayabilmektedir. Birim maliyeti kaliteden ödün vermeden dünya standartlarına çekemeyen hiçbir firmanın uzun vadede devamlılığını sürdürmesi mümkün olmamaktadır. Müşterilerden fiyat artışları beklemek bir yana proaktif çalışmalar yapılarak fiyat düşürülmesi beklenmektedir. Rekabetin bu kadar üst düzeyde yaşandığı günümüz koşullarında yaşam mücadelesi veren firmaların kalite odaklı anlayış benimsememeleri mümkün değildir. Asıl rekabet yaşanan ve sonucu değiştiren kilit nokta kalite anlayışlarını ne kadar ileri götürebiliyor ve bir gelişmenin diğer gelişmeye hazırlık olduğu bilincine varabiliyor olmalarıdır. Kalite sabit bir kavram değildir canlı, sürekli enerji harcanması ve üzerinde çalışılması gereken yaşayan bir sistemdir. Bazı sektörlerde hata oranı %0,2 olan bir firmayı hata oranı %0,1 olan bir firma çok rahat egale edebilmektedir. Ya da ürettiği parça 1 milyon işlem ömrüne sahip bir firmayı 1,1 milyon işlem ömrüne sahip parça üretebilen bir firma çok kısa bir sürede saf dışı bırakabiliyor. Bu koşullar altında kalite geliştirme felsefesine sahip olmak firmalar için bir zorunluluktan öte mecburiyet olmuştur.

Bu çalışmada kalite geliştirme uygulamalarında son yıllarda en çok kullanılan Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ile Taguchi Deney Tasarımı birlikte kullanılmıştır. HTEA çok kolay anlaşılabilir olması, maliyetinin düşük olması ve kesine yakın sonuçlar vermesi sebebiyle seçilmiştir. Taguchi yöntemi ise; yapılacak deney sayılarını minimuma indirerek zaman ve maliyeti azaltırken amaca hızlı ve istenilen kesinlikte ulaşılabildiği için seçilmiştir. Beyin Fırtınası ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ise yardımcı metotlar olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın amacı; taşıyıcı üretilirken oluşan veya oluşabilecek tüm hataları tespit edip bu hataları en aza indirmek olarak belirlenmiştir. Bu çalışma toplam üretimin %54'ünü oluşturan yüksek yoğunluklu levha ürünler üzerinde yapılmıştır. 100 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğun altında olan ve şilte ürünler bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Bunun sebebi yüksek yoğunluklu ürünlerin hata sebepleri ve

kalite karakteristikleri düşük yoğunluklu ve şilte ürünlere göre farklılık göstermesidir. Bu ve benzeri kalite geliştirme çalışmalarının başarısız olmasının en büyük sebebi yönetim desteğinin yeteri kadar alınamaması ve çalışmanın öneminin tüm kadroya aktarılamamasıdır. Bu sebeple çalışma yapılacak takım üyeleri çok önemli olup her kesimi kapsayacak şekilde alanında uzman kişilerden seçilmelidir. Çalışmamızda takım üyeleri üretim, kalite, operasyon, planlama dengesi sağlanarak ve yönetimin tam desteği alınacak şekilde seçilmiştir.

Yüksek yoğunluklu taşıyıcı üretiminde hata türlerini tespit etmek için beyin fırtınası yönteminin kullanılması kararlaştırılmıştır. Tüm ekip üyelerinin aktif olarak katıldığı ve mevki gözetmeden herkesin eşit söz ve oy hakkı olduğu çalışma sonucunda 13 hata türünün yüksek yoğunluklu taşıyıcı üretiminde etkili olabileceği belirlenmiştir. Belirlenen hata türleri; bölgesel yoğunluk farkı, genişlik, kalınlık farkı, uzunluk, yüzey pürüzlülüğü, basma mukavemeti, çekme dayanımı, aktive edilememiş bağlayıcı, bağlayıcı dağılım homojensizliği, ağırlık, elyaflaşmama, kalınlık ve ısı iletkenliktir.

Kısaca hatanın oluşma olasılığını gösteren ortaya çıkma değerleri her hata türü için tespit edilen hataların incelenmesi ile hesaplanmıştır. Hatanın oluşması durumunda oluşacak etkinin büyüklüğünü ve şiddetini ifade eden ağırlık değerleri çalışma ekibinin verdiği puanlamalara göre verilmiştir. Son olarak hatayı meydana getiren durumun keşfedilmesindeki zorluğu nitelendiren saptama değerleri fark edilemeden müşteriye gönderilmiş ve müşteri şikayetine sebep olmuş hatalara göre derecelendirilmiştir. Ortaya çıkma, ağırlık ve saptama değerlerinin çarpımı Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değerini vermektedir. Bu sayı ne kadar büyük olur ise o hata türünün kalitesizliğe etkisinin o denli fazla olduğunu ve öncelikli müdahale edilmesi gerektirdiğini göstermektedir. Farklı görüşler olmasına rağmen literatürde kabul edilen görüş RÖS değeri 50-100 aralığında olan hata türleri için müdahale yapılması uygun, RÖS değeri 100'ün üzerindeki hata türleri için müdahalenin zorunlu olduğudur. Yapılan çalışmada RÖS değeri 100'ün üzerinde çıkan bölgesel yoğunluk farkı ve basma mukavemeti hata türleri değerlendirilmiştir.

HTEA yöntemiyle bulunan ve müdahale edilmesi zorunlu iki hata türü için beyin fırtınası yöntemiyle faktör seviyeleri belirlenmiştir. Toplamda 9 faktör tespit edilmiş, bu faktörlerden elyaf uzunluğu, krimpingle, bazalt ölçüleri, dolomit miktarı, disk hızları ve kömür miktarı iki seviyeli, bağlayıcı oranı, oksijen miktarı ve etüv sıcaklığı ise üç seviyeli olarak belirlenmiştir. Bu faktör ve seviyelere uygun  $L_{36}(2^{**6} 3^{**3})$  ortogonal deney düzeni seçilmiştir. Standart deney tasarımı uygulaması yapılması durumunda

$2^6 \times 3^3 = 1728$  kez, yapılan çalışmadaki gibi her durum için 3 tekrarlı deney yapıldığı durumda ise 5184 deney yapılması gerekecekti. Taguchi yöntemi sayesinde ideal sonuca 108 deneyle ulaşılmıştır. Bölgesel yoğunluk farkı için Minitab 16 paket programının belirlediği 36 kombinasyon durumu için herbirinde 3 deney olmak üzere toplam 108 deney yapılmıştır. Bölgesel yoğunluk farkının minimum olması beklendiği için daha küçük daha iyi (smaller is beter) durumu seçilerek Sinyal / Gürültü (S/G) oranlarına göre sonuçlar ve grafikler hazırlanmıştır. İki kalite değişkeni için ayrı ayrı analiz yapıldığında farklı kombinasyonlar tespit edilmiştir. Bölgesel yoğunluk farkı için ideal kombinasyon  $A_2B_1C_1D_1E_2F_2G_3H_3J_3$  olarak belirlenmiştir. Basma mukavemeti için aynı deneyler yüksek basma mukavemeti beklendiği için daha büyük daha iyi (larger is beter) durumu seçilerek S/G oranlarına göre yapılmıştır. Basma mukavemeti için ideal kombinasyon  $A_2B_1C_2D_2E_2F_2G_3H_3J_3$  olarak bulunmuştur.

Bölgesel yoğunluk farkı ve basma mukavemeti için bulunan ideal sonuçlar arasında bazalt ölçüleri (C) ve dolomit miktarı (D) hariç etkin seviyeler aynı çıkmıştır. Gerek bölgesel yoğunluk farkı gerekse basma mukavemeti için S/G sonuç grafikleri incelendiğinde bu iki üretim parametresinin etkisinin minimum seviyede olduğu grafik eğimlerinde anlaşılmaktadır. Etkisi düşük olmasına rağmen bu iki üretim parametresi için en uygun kombinasyonun belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu en uygun yöntemin çok amaçlı karar verme tekniklerinin en çok kullanılanlardan biri olan ve duygu düşünce gibi soyut kavramlarında sayısal değerler verilerek karar üzerinde etkili olduğu Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) uygulanmıştır. Analiz sonucunda minimum bölgesel yoğunluk farkı ve maksimum basma mukavemeti sağlanabilmesi için ideal kombinasyon  $A_2B_1C_2D_1E_2F_2G_3H_3J_3$  olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda bulunan ideal kombinasyonda üretilen ürünler ile rastgele seçilen ürünler karşılaştırılmış, bölgesel yoğunluk farkında %67 iyileşme görülürken basma mukavemetinde %57'lik bir artış sağlanmıştır. Bu sonuç; HTEA ve Taguchi deney tasarımının birlikte kullanıldığında ne denli başarılı olunabileceğini net bir şekilde kanıtlamaktadır. Bununla beraber HTEA ve Taguchi deney tasarımı ile birlikte, Beyin fırtınası ve AHP metotlarının da çalışmada kullanılmış olması bir amaç uğruna farklı metotların birlikte etkin şekilde kullanılabileceğini ve başarılı sonuçlar alınabileceğini açıkça göstermektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Çeber Y., Hata türü ve etkileri analizi yönteminin (FMEA) üretim sektöründe uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir,2010, 261520.
- [2] Büyüktuna O., Hata türü ve etkileri analizi ve makine sanayinde bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli, 2012, 322422.
- [3] Keskin G. A., Hata türü ve etkileri analizinde bulanık adaptif rezonans teorisi yaklaşımı ile bir model önerisi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 233246.
- [4] Down M., Brozowski L., Youni, H., Benedict D., Feghali J., Schubert M., Brender R., Gruska G., Vallance G., Krasich M., Haughey W., *Potential failure mode and effect analysis (FMEA) reference manual*, 4th Ed., Chrysler LLC, Ford Motor Company General Motors Corporation, ABD, 2008.
- [5] Akın B., *Hata türü ve etkileri analizi*, 1. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1998.
- [6] Algın A., Hata türü ve etkileri analizi ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 233070.
- [7] Duran A., Bina doğalgaz iç tesisatı imalatı için hata türü ve etkileri analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2007, 212340.
- [8] Stamatis D. H., *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*, 2nd ed., ASQC Quality Pres, Wisconsin, 2003.
- [9] Yılmaz B. S., Hata türü ve etkileri analizi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2000, 2, 133-150.
- [10] Yaylalı Ç., Kalite iyileştirmede hata türü ve etkileri analizi ve bir üretim sürecinde uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2008, 178535.
- [11] Çelikdemir H., Bir otomasyon hattında hata türü ve etkileri analizi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012, 322980.
- [12] Duran D. B., Hata türü ve etkileri analizi (FMEA) ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006, 200029.

- [13] Aran G., Kalite iyileştirme sürecinde hata türü etkileri analizi (FMEA) ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tokat, 2006, 189162.
- [14] Bolat T., *Toplam kalite yönetimi*, 1. Baskı, Beta Basım Dağıtım, İstanbul, 2000.
- [15] Kahraman Ö., Bir otomobil fabrikasında iş sağlığı ve güvenliği alanında HTEA (FMEA) yöntemi ile risk analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2009, 245170.
- [16] Taş Y., Hata türü ve etkileri analizi (FMEA) tekniğinin mobilya endüstrisine yönelik uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 282673.
- [17] Bayrakdar O. M., Hata türleri ve etkileri analizi (HTEA) ve Taguchi metodunun Bonfiglioli A.Ş' de ortak uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009, 268906.
- [18] Yılmaz A., Hata türü ve etkileri analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997, 66801.
- [19] Pillay A., Wang J., Modified failure mode and effect analysis using approximate reasoning”, *Reliability Engineering and System Safety*, 2003, **79**, 69-85.
- [20] Ford Motor Company, *FMEA Training Handbook*, Version-2, 1998.
- [21] Bertsche B., *Reliability in automotive and mechanical engineering*, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [22] Bluvband Z., Grabov P., Failure analysis of FMEA, *Proceeding of Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Texas, 26-29 January 2009.
- [23] Boran S., Hata şekli ve etkileri analizinin bulanık küme yaklaşımıyla çözümlenmesi olanağı, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996, 57454.
- [24] MIL-STD-1629-A, *Standard practice for system safety*, ABD Savunma Bakanlığı, 2000.
- [25] Scipioni A., Saccarola, G., Centazzo, A., Arena, F., FMEA methodology design, implementation and integration with haccp system in a food company, *Food Control*, 2002, **13**, 495-501.
- [26] Eryürek Ö. F., Tanyaş M., Hata türü ve etkileri analizi yönteminde maliyet odaklı yeni bir karar verme yaklaşımı, *İTÜ Dergisi/D Mühendislik*, 2003, **2**, 31-40.
- [27] Uyğur B., Açık ocaklarda patlama kaynaklı sarsıntıların Taguchi yöntemi kullanılarak parametre optimizasyonu ile azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2009, 246502.

- [28] Aksu B., Shainin ve Taguchi yöntemleri ve bir uygulama üzerinde karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 259474.
- [29] Şirvancı M., *Kalite için deney tasarımı*, 1.Baskı, Literatür Yayınları, İstanbul, 1997.
- [30] Saat M., Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2000, **3**, 97-108.
- [31] Peace G.S., *Taguchi methods: a hands-on approach*, 1st ed., Addison Wesley Publishing Co., London, 1993.
- [32] Engin O., Kaya İ., Trafik kazalarının önlenmesinde hata modu ve etkileri analizi (HMEA) modeli, *Polis Bilimleri Dergisi*, 2004, **6**, 41-51.
- [33] Eleren A., Eğitim başarısının artırılmasında süreç geliştirme yöntemlerinin kullanılması ve bir uygulama, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F Dergisi*, 2007, **9**, 12-13.
- [34] Baynal K., Çok yanıtli kalite karakteristiklerinin eşzamanli eniyilemesinde Taguchi yöntemi ve otomotiv endüstrisinde bir uygulama, *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 2005, **12**, 2-18.
- [35] Çelikkın H., Taguchi kayıp fonksiyonu ile ekonomik sipariş miktarı ve yeni bir model önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, 2009, 231589.
- [36] Ross P.J., *Taguchi techniques for quality engineering*, 2nd ed., McGraw-Hill Publishing Co., New York, 1995.
- [37] Taguchi G., *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes*, 3th ed., Asian Productivity Organization, Tokyo, 1986.
- [38] Gökçe B., Metalürjik deneylerin Taguchi ve genetik algoritmalar yöntemleri kullanılarak tasarımı, Doktora Tezi, Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2009, 238224.
- [39] Çelik C., Kalite geliştirmede tasarım eniyileme problemine Taguchi yöntemlerinin uygulanmasında sistematik bir yaklaşım, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1993, 28840.
- [40] Ateş E., Oral, A., Gönen, D., İnal, E. P., Ayarlanabilir başlıklı delme aparatı için tasarım HTEA uygulaması, *Tasarım İmalat Analiz Kongresi*, Balıkesir, 26-28 Nisan 2006.
- [41] Baysal M. E., Canıylmaz E., Eren, T., Otomotiv yan sanayiinde hata türü ve etkileri analizi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknoloji Dergisi*, 2002, **2**, 83-90.
- [42] Lunani M., Nair V. N., Wasserman, G.S., Graphical methods for robust design with dynamic characteristics, *Journal of Quality Tecnology*, 1997, **29**, 327-338.

- [43] Aydın M. E., Taguchi metodu ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 1994, 32045.
- [44] Turgut E., Dikici A., Eş eksenli bir ısı değiştiricisinin tasarım parametrelerinin Taguchi metodu ile optimizasyonu, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye, 16-18 Mayıs 2011.
- [45] Kahraman Ö., Demirer A., OHSAS 18001 kapsamında FMEA uygulaması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2010, **7**, 53-68.
- [46] Tozkoparan D., Plazma sprej kaplama kalitesine etki eden faktörlerin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010, 274788.
- [47] Pınar A. M., Güllü A., Sayısal denetimli hidrolik pozisyonlama sisteminin Taguchi metodu ile optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2010, **25**, 93-100.
- [48] Akman G., Özkan C., Sac imalatında karşılaşılan yapışma probleminin deney tasarımı ile çözümü, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 2011, **12**, 187-199.
- [49] Baynal K., Terzi Ü., Çoklu kalite başariim özelliklerinin hedef programlama ve Taguchi yöntemi kullanılarak eniyilenmesi, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25-27 Kasım 2005.
- [50] Taylan D., Taguchi deney tasarımı uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2009, 234158.
- [51] Yücel E., Yüksek alaşimli beyaz dökme demirlerin işlenebilirlik parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2011, 287399.
- [52] Gencil İ., Problemlerin optimizasyonunda Taguchi yönteminin kullanılması ve alkollü içkiler sektöründe bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007, 232737.
- [53] Roy R.K., *Design of experiments using the Taguchi approach*, 1st ed., John Wiley & Sons Inc., New York, 2001.
- [54] Gökçe B., Taşgetiren S., Kalite için deney tasarımı, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2009, **6**, 71-83.
- [55] Hamzaçebi C., Kutay, F., Kalite maliyetlerine genel bir bakış: Taguchi kayıp fonksiyonu, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2001, **7**, 287-293.
- [56] Baynal K., Çok yanitli problemlerin Taguchi yöntemi ile eniyilenmesi ve bir uygulama, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2003, 140452.
- [57] Şanyılmaz M., Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde Taguchi yöntemi ile bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2006, 182197.

- [58] Özçelik B., Özbey A., Plastik enjeksiyon kalıp malzemelerinin polipropilen ürünün mekanik özelliklerine etkisinin Taguchi yöntemiyle belirlenmesi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2011, **29**, 289-300.
- [59] Yanar N., Hidrolik silindir imalatında yüzey pürüzlülüğüne etkili parametrelerin Taguchi yöntemi ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2008, 178242.
- [60] Ferah M., Çok yanıtlı Taguchi deneysel tasarım metodu ve alüminyum sanayinde bir uygulama, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2003, **7**, 61-69.
- [61] Yılmaz O., Standart seramik yapıştırıcılarının önemli kalite göstergelerinin analizinde Taguchi yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2010, 255995.
- [62] Canıyılmaz E., Kalite geliştirmede Taguchi metodu ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001, 114660.
- [63] Durmaz S., Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyon prosesine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2008, 216048.
- [64] Özüak S., Taguchi deney tasarımlarının excel çizelge ara yüzleriyle uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2008, 237037.
- [65] Kayı Y., Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin Taguchi metodu ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006, 181891.
- [66] Öztop M., Taguchi deney tasarımı yöntemi ile alüminyum ekstrüzyon prosesinin iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2007, 177680.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1985 yılında İzmit'te doğdu. İlköğrenimini Rabak İlkokulu'nda, orta öğrenim ve lise eğitimini 24 Kasım Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2004 yılında kazandığı Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü ilk yıl İngilizce hazırlık okuyarak 2009 yılında tamamladı. 2008 yılında başladığı Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme bölümünü 2013 yılında tamamladı. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitime kabul edildi. 2011-2012 yıllarında yaklaşık 2 sene Enpay A.Ş.'nde Üretim Mühendisliği görevini üstlendi. 2012 yılı Eylül ayında Eryap A.Ş.'nde Ürün Geliştirme Mühendisi olarak çalışmaya başlamış, halen aynı firmada Üretim Planlama Uzmanı olarak görev yapmaktadır.