

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**UÇAKLARIN BASINÇLANDIRILMIŞ BÖLGELERİNDE
KULLANILAN PERÇİN BAĞLANTILARININ
PERFORMANS ETKENLERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ
İLE BELİRLENMESİ**

**Hazırlayan
Mahmut ÇAPKURT**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mustafa SOYLAK**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2015
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**UÇAKLARIN BASINÇLANDIRILMIŞ BÖLGELERİNDE
KULLANILAN PERÇİN BAĞLANTILARININ
PERFORMANS ETKENLERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ
İLE BELİRLENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Mahmut ÇAPKURT**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mustafa SOYLAK**

**Ağustos 2015
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mahmut ÇAPKURT



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Uçakların Basınçlandırılmış Bölgelerinde Kullanılan Perçin Bağlantılarının Performans Etkenlerinin Taguchi Yöntemi ile Belirlenmesi adlı Yüksek Lisans Tezi Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

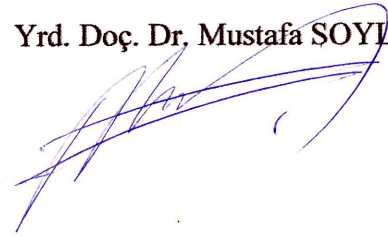
Hazırlayan

Mahmut ÇAPKURT



Danışman

Yrd. Doç. Dr. Mustafa SOYLAK




Sivil Havacılık Ana Bilim Dalı Başkanı


Prof. Dr. M. Kemal APALAK


Yrd. Doç. Dr. Mustafa SOYLAK danışmanlığında **Mahmut ÇAPKURT** tarafından hazırlanan “**Uçakların Basınçlandırılmış Bölgelerinde Kullanılan Perçin Bağlantılarının Performans Etkenlerinin Taguchi Yöntemi ile Belirlenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

11 /07 / 2015

JÜRİ:

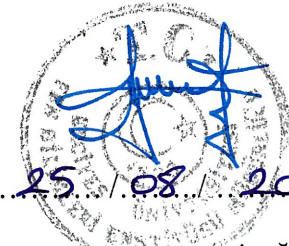
Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mustafa SOYLAK 

Üye : Doç. Dr. Mustafa Serdar GENÇ 

Üye : Yrd. Doç. Mustafa YILMAZ 

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 25/08/2015 tarih ve 2015/35-29 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Araştırma sürecinde düşünce ve tecrübesiyle her zaman yanımda olan ve bana yol gösteren hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa SOYLAK'a, tez hazırlık aşamasında bana yol gösteren Emekli Albay Kamil AGİŞ'e, test numunelerini tasarlarken yardımcı olan öğrencim İsmail TAM ve Arş. Gör. Mustafa HAMAMCI'ya, deney numunelerimi hazırlayan TURKISH HABOM YAPISAL ATÖLYESİ çalışanlarına, deney numunelerini test yaparken yardımcı olan TURKISH ENGINE CENTER NDT ATÖLYESİ çalışanlarına, tezimin hazırlanmasında ve her zaman fikirleriyle önümü aydınlatan Hakan KAYGUN'a ve tezimin hazırlanmasında bana çok katkısı olan sevgili kardeşlerim Zeynep ÇAPKURT ve Yusuf ÇAPKURT'a katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanması boyunca desteklerini her zaman hissettiğim maddi ve manevi her zaman yanımda olan aileme her zaman olduğu gibi sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mahmut ÇAPKURT
Kayseri, 2015

UÇAKLARIN BASINÇLANDIRILMIŞ BÖLGELERİNDE KULLANILAN PERÇİN BAĞLANTILARININ PERFORMANS ETKENLERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Mahmut ÇAPKURT

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2015
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa SOYLAK**

ÖZET

Taguchi yöntemi, deney sayısını azaltması ile deney zamanını kısaltacak ve düşük maliyetler ile deney uygulamalarında araştırmacılara fayda sağlayacaktır. Taguchi yönteminde kullanılan ortogonal dizinler deney sayılarını azalttığı gibi kontrol edilemeyen faktörlerin de etkilerini azaltan deneysel bir tasarımdır. Bu çalışmada perçin bağlantılarına etki eden faktörler Taguchi yöntemi ile belirlenmiştir. Faktörler ve seviyeler belirlendikten sonra uygun olan ortogonal dizin seçilmiş ve 9 adet deney uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonuçları Minitab programına aktarılarak Taguchi modülü seçeneğinde analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre faktörlerin ve seviyelerin etkililik seviyeleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre havacılık endüstrisi ve özellikle basınçlı bölmeler için en etkili ve en belirleyici faktör perçin malzemesi olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Taguchi Metodu, Deneysel Tasarım, Ortogonal Dizinler, Perçin Bağlantıları, Perçin Malzemesi.

**DETERMINATION OF PERFORMANCE FACTORS OF RIVETS THAT ARE
USED IN THE PRESSURIZED AREAS OF AIRCRAFT
WITH TAGUCHI METHOD**

Mahmut ÇAPKURT

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, August 2015

Thesis Supervisors: Asst.Prof. Mustafa SOYLAK

ABSTRACT

Taguchi method saves time by decreasing the number of the experiments and enables researchers to perform their experiments with a low cost. Orthogonal sequences in Taguchi method is an experimental design which decreases the number of experiments and the effect of uncontrolled factors. In this research, factors which effect riveted joints were determined through Taguchi method. After factors and levels were determined, applicable orthogonal sequence was chosen and nine separate experiments were performed. The results of the experiments were transferred to Minitab program and analyzed using taguchi module. According to the analysis results, degrees of influence of the factors and levels were determined. Results of this study reveal that the most effective and important factor in aviation industry and pressure bulkhead is riveted material.

Key Words: Taguchi Method, Experimental Design, Orthogonal Sequences, Riveted Joints, Rivet Material.

İÇİNDEKİLER

UÇAKLARIN BASINÇLANDIRILMIŞ BÖLGELERİNDE KULLANILAN PERÇİN BAĞLANTILARININ PERFORMANS ETKENLERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Taguchi ve Kalite	3
1.2. Pnömatik ve Uçak	6
1.3. Perçin.....	8

2. BÖLÜM

DENEY TASARIMI VE TAGUCHI METODU

2.1. Giriş	10
2.1.1. Problemin Tanımlanması	11
2.1.2. Amacın Belirlenmesi	12

2.1.3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi	12
2.1.4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi	13
2.1.4.1. Beyin Fırtınası	13
2.1.4.2. Süreç Akış Şeması	13
2.1.4.3. Sebep-Sonuç Diyagramı	13
2.1.5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi	14
2.1.6. Deney Tasarımının Seçilmesi	14
2.1.7. Verilerin Toplanması	14
2.1.8. Verilerin Analizi	14
2.1.9. Sonuçların Yorumlanması	14
2.1.10. Doğrulama Deneylerinin Yapılması	15
2.2. Taguchi Metodu	15
2.3. Kalite Kavramı	17
2.3.1. Kalitenin Bileşenleri	20
2.3.2. Tasarım Kalitesi	21
2.3.3. Uygunluk Kalitesi	21
2.3.4. Performans Kalitesi	22
2.4. Kalitenin Geçmişi	22
2.5. Kalite Maliyetleri	24
2.5.1. Kalite Maliyetinin Tarihçesi	24
2.5.2. Geleneksel Kalite Maliyetlerinin Sınıflandırılması	25
2.5.2.1. Önleme Maliyetleri	25
2.5.2.2. Değerlendirme Maliyetleri	25
2.5.2.3. Başarısızlık Maliyetleri	26
2.5.2.3.1. İç Başarısızlık Maliyetleri (İç Hata)	26
2.5.2.3.2. Dış Başarısızlık Maliyetleri (Dış Hata)	26
2.6. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi	28
2.6.1. Sistem Tasarımı	29
2.6.2. Parametre Tasarımı	29
2.6.3. Tolerans Tasarımı	29

2.7. Sinyal-gürültü oranı (S/N ratio).....	32
2.8. Ortogonal Dizinler	33
2.9. Kayıp Fonksiyonu	35
2.10. L9 Deneyleri.....	38
2.10.1. Deneylerde Elde Edilen Sonuçlar	40
2.10.2. Anova Sonuçları	41
2.10.3. Doğrulama Deneyleri	43

3. BÖLÜM

UÇAK PNÖMATİK SİSTEMLERİ VE BASINÇLI BÖLGELER

3.1. Pnömatik	44
3.2. Pnömatiğin Endüstrideki Yeri ve Önemi.....	45
3.3. Pnömatik Sistemler	46
3.4. Uçak Pnömatik Sistemi.....	47
3.5 Uçak İklimlendirme Sistemi.....	48
3.6. Pnömatiğin Temel Prensipleri	49
3.6.1. Basınç ve Vakum Kavramı.....	49
3.6.2. Basınç ve Yükseklik.....	51
3.6.3. Basınç Kontrol Sistemi.....	51
3.6.4.Uçak Gövde Yapısı	53
3.6.4.1. Kafes Tip Yapı	53
3.6.4.2.Monokok Tip Yapı.....	53
3.6.4.3.Yarı-Monokok Tip Yapı	54
3.6.5. Bulkhead.....	55

4. BÖLÜM

PERÇİN

4.1. Perçin.....	59
4.2. Perçinleme.....	59
4.3. Perçinlemenin Gereği ve Önemi	59

4.4. Perçin Tarihçesi.....	59
4.5. Perçin Avantaj ve Dezavantajları.....	60
4.6.Perçin Çeşitleri ve Perçinlerin Sınıflandırılması.....	61
4.6.1. Kullanım Yerlerine Göre	61
4.6.2. Malzemesine Göre	61
4.6.3. Perçin Başlı Biçimlerine Göre	61
4.7. Perçin Bağlantı Çeşitleri.....	63
4.8. Perçinli Birleştirmede Meydana Gelen Hatalar	64
4.8.1. Perçin Boyunun Yanlış Hesaplanması	64
4.8.2. Perçin Çektirmesinden Kaynaklanan Hatalar	64
4.8.3. Perçin Gövdesinin Eğik Hale Gelmesi.....	64
4.8.4. Çekiçleme Sonrası Meydana Gelen Hatalar	64
4.8.5. Eksenel Kaçıklıkların Meydana Getirdiği Hatalar	65
4.9. Perçinleme İşleminde Dikkat Edilecek Hususlar	65
4.9.1. Çekici Vurulması Gereken Yere Yönlendirmek	65
4.9.2. Çekiç Darbelerine Karşı Dikkatli Olmak	65
4.10. Perçinlerin Uçaklar da Kullanımı	66
4.11. Dolu Gövdeli Perçinler	68
4.11.1. Dolu Gövdeli Perçinlerin Kodlanması.....	68

5. BÖLÜM

UÇAKLARIN BASINÇLI BÖLGELERİNDE KULLANILAN PERÇİNLERİN TAGUCHI METODUYLA OPTİMİZASYONU

5.1. Deney Metodu.....	71
5.2. Deney Parametreleri	74
5.2.1. Bindirme Perçinleme.....	74
5.2.2 Ünlversal Ve Havşa Başlı Perçinler	75
5.2.3 AD, D VE DD Perçin Malzemesi.....	76
5.3. Deneyin Uygulanması	77
5.3.1. Test Plakasının Seçimi AL2024 T3	78

5.3.2. Parçaların Markalanması.....	79
5.3.3. Parçaların Delinmesi ve Fastener ile Bağlanması	79
5.3.4. Perçinlerin Taguchi Metoduna Uygun Yerleştirilmesi	80
5.3.5. Deney Numunelerinin Testlerinin Yapılması	81
5.3.5.1. Çekme Testi.....	82
5.3.5.2 Çekme Test Sonuçlarının Yorumlanması	83
5.3.6. Test Sonuçlarının Minitab Programına Aktarılması.....	84
5.3.7 Minitab Programında Sonuçların Yorumlanması	85
5.3.7.1 Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi.....	85
5.3.7.1.1 S/N analizi	85
5.3.7.2. Varyans Analizi (ANOVA)	88

6. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	89
6.2. Öneriler	90
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ.....	98

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Taguchi Metodunun Uygulanması	12
Tablo 2.2.	Üretim Alanındaki Taguchi Yöntemi Uygulamaları	15
Tablo 2.3.	Kalite Maliyetleri	27
Tablo 2.4.	Üretim/Kalite Çemberi	28
Tablo 2.5.	Varyans Hesabındaki Formüller	31
Tablo 2.6.	Taguchi L9 Ortogonal Dizaynı	34
Tablo 2.7.	Taguchi Ortogonal Dizi Seçimi	34
Tablo 2.8.	Topluma Olan Kaybın Yapısı	36
Tablo 2.9.	Deneylerde Kullanılan Kontrol Faktörleri ve Seviyeler	39
Tablo 2.10.	Deney Sonuçları ve S/N Oranları	39
Tablo 2.11.	S/N Yanıt Tablosu	40
Tablo 2.12.	Yüzey Pürüzlülüğünün Varyans Analizi	42
Tablo 2.13.	Ortalama Tepki Tablosu	43
Tablo 3.1.	Uçak İklimlendirme Genel Şeması	50
Tablo 3.2.	Bulkhead Malzemesi ve Kullanım Özellikleri	59
Tablo 3.3.	Bulkheadler de Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri	59
Tablo 4.1.	Perçin Bağlantılarındaki Zayıflama Oranı	65
Tablo 4.2.	Perçin Baş Şekline Göre Malzemeler	68
Tablo 4.3.	Uçak Perçinlerinin Kesme ve Çekme Değerleri	71
Tablo 5.1.	Seçilen Parametreler ve Seviyeleri	73
Tablo 5.2.	Klasik Deney Yöntemi	74
Tablo 5.3.	L9 Deney Tasarımı	74
Tablo 5.4.	NAS1097, MS20426, MS20470 Perçinlerinin Kesme Değerleri	77
Tablo 5.5.	Alaşımli Perçinlerin Kesme Kuvveti Değerleri	78
Tablo 5.6.	Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri	79
Tablo 5.7.	Çekme Test Cihazından Alınan Değerler	85
Tablo 5.8.	Çekme Test Sonuçları ve S/N Oranları	86
Tablo 5.9.	Perçinleme İşleminin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları	87
Tablo 5.10.	Perçinleme İşlemleri İçin Kontrol Faktörlerinin Ortalama Değerleri	87
Tablo 5.11.	Kesme Kuvveti İçin Anova Analizinin Sonuçları	89
Tablo 5.12.	Kesme Kuvveti İçin Anova Analizi Tablosu	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kalitenin Gelişim Aşamaları	23
Şekil 2.2.	Kalitenin Tarihsel Gelişimi	24
Şekil 2.3.	Kalite Maliyetlerinin İlişkisi.....	27
Şekil 2.4.	Ford Örneği	37
Şekil 2.5.	Geleneksel Kayıp Anlayışı	37
Şekil 2.6.	Taguchi Kayıp Fonksiyonu	38
Şekil 2.7.	S/N Oranları Ana Etki Grafiği	40
Şekil 2.8.	İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri	41
Şekil 3.1.	Boeing Uçaklarında Pnömatik Sistem Şeması	49
Şekil 3.2.	Uçak Temel Basınçlandırma Sisteminin Gösterimi	51
Şekil 3.3.	Kabin ve Uçuş İrtifasının Karşılaştırılması	53
Şekil 3.4.	Patlama Paneli ve Basınç Eşitleme Valfi	53
Şekil 3.5.	Kafes Yapı	54
Şekil 3.6.	Monokok Yapı	55
Şekil 3.7.	Yarı Monokok Yapı	55
Şekil 3.8.	Uçaktaki Basınçlı Bölgeler	56
Şekil 3.9.	Ön Bulkhead	57
Şekil 3.10.	Arka Bulkhead	57
Şekil 3.11.	Arka Bulkhead Uçak İçerisindeki Görüntüsü	58
Şekil 4.1.	Geleneksel Perçinleme Sistemi	61
Şekil 4.2.	Perçin Baş Şekillerine Göre Perçinler	63
Şekil 4.3.	Perçin Dikiş Şekilleri	64
Şekil 4.4.	Perçinleme Hataları	66
Şekil 4.5.	Perçin Başlarındaki Semboller	67
Şekil 4.7.	Havacılıktaki Ortak Kullanılan Perçin Başları	67
Şekil 4.8.	Üniversal Baş ve Havşa Baş Uzunlukları	70
Şekil 5.1.	Testlerin Yapıldığı Çekme Test Cihazı	72
Şekil 5.2.	Tek Sıralı, Çift Sıralı ve Zikzak Perçinleme	75
Şekil 5.3.	NAS1097, MS20470 ve MS20426 Perçinlerinin Görünümü	76
Şekil 5.4.	AL 2024 Malzemesi	79
Şekil 5.5.	Numunelerin Markalanması	80
Şekil 5.6.	Numunelerin Fastener İle Bağlıyken Delme İşlemlerinin Yapılması	80

Şekil 5.7.	Delme İşlemlerinden Sonraki Görüntü	81
Şekil 5.8.	Hazırlanan Numunelerin Son Halleri	82
Şekil 5.9.	Çekme Test İşleminin Uygulanma Süreci	83
Şekil 5.10.	Perçinleme İşleminin Kopma Kuvvetine Etkileri ve S/N Oranları	88
Şekil 5.11.	En İyi Faktör Kombinasyonu	88

GİRİŞ

Günümüz hava araçlarında kullanılan sistemler ve komponentleri teknoloji ilerledikçe daha karmaşık yapılara dönüşmüştür. Karmaşıklığın giderilmesi için mühendislik çalışmaları üzerine daha fazla çalışmalar yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalar rekabeti de göz önünde bulundurarak maliyetin düşük seviyelerde tutulmasını sağlamalı aynı zaman da daha kısa sürede çözüm odaklı yaklaşımlar seçilmelidir. Hava araçlarının komponentlerinin üretimi ve bu komponentlerin kullanım süresince kontrol ve güvenilirliklerinin en yüksek seviyelerde tutulması amaçlanmalıdır. Bu durumu oluşturabilmek için komponentlerin niteliklerinin artırılması gerekmektedir. Bu hususta önemli olan mühendislik çalışmalarında seçilen istatistiksel yöntemin belirlenmesi aşamasıdır. İstatistiksel yöntem olarak geliştirilmiş olan Taguchi metodu, faktörlerin ve seviyelerin belirlenerek problem çözümünde daha az sayıda deney yapılmasıyla maliyet ve zaman açısından kazanç sağlayan bir metod olmuştur. Taguchi metodu ile kontrol edilebilen faktörlerin ve kontrol edilemeyen faktörlerin irdelenmesi gerekliliğini Genichi Taguchi savunmuştur.

Pnömatik sistemler havacılık alanında önemli bir yere sahiptir. Yüksekklere çıkıldıkça oksijen transferi miktarı düşmeye başlar. 3000 m. yükseklik geçildiği andan itibaren O₂ miktarı azalmaya başlar ve kabin içerisinde daha fazla O₂ ihtiyacına gerek duyulur. Kabin içerisinde O₂ ihtiyacının karşılanması ve hava basıncının yükseltilmesi gerekir. Bu da kabinin bir balon gibi şişirilmesi anlamına gelir. Böylece deniz seviyesindeki şartlara uygun ortam meydana getirilmiş olur. Uçak içerisindeki basınçlı bölgeler Bulkhead denilen basınç perdeleri ile basınçsız bölgeler arasında sınır oluşturmaktadır. Basınç perdeleri, ısı işlem görmüş ve mukavemeti yüksek alüminyum alaşımlarından (AL 7050 / 7175-T736) üretilir. Basınç perdeleri bağlantı elemanları vasıtasıyla uçak gövdesine monte edilirler. Basınç perdelerinin uçağa monte edilmesi esnasında dolu gövdeli perçinler olarak bilinen ve uçak üzerindeki kapalı alanlar da genel de tercih edilen universal başlı perçinler kullanılır.

1282 Ağustos 1985 tarihinde Japan Airlines'in 123 sefer sayılı Boeing 747SR tipi uçağın kalkış yaptıktan 12 dakika sonra kuyruk kısmının dikey tarafı tamamen kopmuştur. 32 dakika 88kadar hava da kalabilen uçak Takamagahara dağına çarpmış ve o ana kadar ki tek bir uçağın sebep olduğu en çok insanın hayatını kaybettiği (520 kişi) kaza olarak tarihe geçmiştir. Kazanın oluşmasındaki en büyük sebep ise kazadan 7 yıl öncesine dayanmaktadır. 2 Haziran 1978 tarihinde uçağın piste inişi sırasında kuyruk kısmının piste çarpmasıyla arka basınç duvarında (aft pressure bulkhead) hasar meydana gelmesi ve yanlış onarımdır. Bakım teknisyenleri, Boeing firmasının yayınlamış olduğu SRM (Structure Repair Manuel)'de belirtilen standart onarıma uygun olmayan uygulama gerçekleştirmişlerdir. Hasarlı kaplama bir plaka ve iki sıra perçin kullanılarak onarım yapılması gerekirken aksine iki plaka ve tek sıra perçin kullanılarak onarım yapılmıştır. Metal yorgunluğu sonucu direncin azalmasıyla kaza meydana gelmiştir.

Bu çalışma da perçin bağlantılarında çekme testi sonucu oluşan değerleri etkileyecek faktörlerin Taguchi metodu kullanılarak hesaplanması amaçlanmıştır. Deney numuneleri TURKISH HABOM A.Ş' de hazırlanmış olup deneyler TURKISH ENGINE CENTER NDT laboratuvarında çekme test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 3 adet 3 seviyeli faktör belirlenerek perçin bağlantılarında meydana gelen değişimler Taguchi metoduna uygun olarak belirlenmek istenmiştir. Bu faktörler perçin sırası, perçin baş şekli ve perçin malzemesidir. Seviyeler; perçin sırasında tek sıralı, çift sıralı, zikzak, perçin baş şeklinde NAS1097, MS20426, MS20470, perçin malzemesinde AD, D ve DD olarak belirlenmiştir. Çalışma da Taguchi L9 ortogonal dizini kullanılmış olup her bir faktör ve seviyenin etkililik derecesi bulunmuştur. En etkili faktör perçin malzemesi olarak bulunmuş ve bu faktör içerisinde DD alaşımından yapılmış perçin en iyi seviye olarak belirlenmiştir.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Taguchi ve Kalite

Salkım (2012), “Taguchi Optimizasyon Yönteminin Anten Tasarım Problemlerine Uygulanması” adlı çalışmasında mikroşerit yama antenin tasarım parametreleri seçilerek yöntemin elektromanyetik alanda ne şekilde uygulandığı gösterilmiştir. Doğrusal anten dizisi elemanlarının genlik ve faz değerleri değiştirilerek arzu edilen doğrultu veya doğrultularda sıfırlara sahip dizi örüntüsü üretmek için elektromanyetik problemlerin çözümünde Taguchi yönteminin ne şekilde uygulandığı açıklanmıştır. Elektromanyetik alanında gerçekleştirilen bazı çalışmalara değinilmiş mikroşerit yama anten tasarımı ve doğrusal anten dizisi örüntüsü elde etme problemleri üzerinde açıklamalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçlarını değerlendirdiğinde Taguchi yöntemi ile istenen anten tasarım parametrelerinin başarılı bir şekilde elde edilebildiğini gözlemlemiştir [1].

Tozkoparan (2010), “Plazma Sprey Kaplama Kalitesine Etki Eden Faktörlerin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu” adlı çalışmasında, plazma sprej kaplama tekniği ele alınarak termal bariyer kaplamaların elde edilen performans göstergesi Taguchi metodu kullanılarak optimum şartlar bulunmuştur. Plazma sprej kaplama prosesini etkileyen faktörler olarak akım, gaz karışım oranı ve sprej mesafesi belirlenmiştir. Çalışmada L9 ortogonal dizini kullanılmıştır. Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucu yüzey pürüzlülüğü için gerekli olan optimum şartlarda en etkin faktör sprej mesafesi olup 100 mm mesafeden çalışılmalıdır. Akımın 600 A olması gerekirken gaz karışım oranı 40/12 olmalıdır. Gaz karışım oranı en az etkili faktör olarak bulunmuştur [2].

Yang ve Tarn (1997), “Tornalama İşlemleri için Kesici Parametrelerinin Tasarımının Eniyilemesinde Taguchi Yöntemi” isimli çalışmalarında tungsten kalsiyum karbür

kullanılarak S45C çelik barların tornalanmasında kullanılan kesici takım parametrelerinin en iyi seviyelerinin belirlenmesi için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Her biri 3 seviyeli 3 temel faktörün tornalama işlemi üzerindeki etkilerini görmek için $L9(3^4)$ ortogonal dizinini kullanmışlardır. Performans karakteristiği olarak yüzey pürüzsüzlüğü ve kesici takım ömrünü seçmişlerdir. Çalışmada performans istatistiği olarak S/N oranını kullanmışlardır. Deneylelerden elde edilen veriler ise varyans analizi kullanılarak analiz edilmiştir [3].

Oudjene ve Ben-Ayed (2008), “Metalik Parçalardaki Perçin Bağlantılarında Parametrik Çalışmada Taguchi Yönteminin Kullanımı” adlı çalışma yapılmıştır. Araştırmada standartlara tabi olmayan çalışmalarında geometrinin direnç ve dayanım ile yakın ilişkisinin olduğunu gösteren çalışmalar yapılmıştır. Farklı geometriler Abaqus sonlu elemanlar yöntemiyle (FEM) araştırılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda direnç yükleme ve çekme dayanımları için clinching yönteminde kullanılan optimum geometriler ile ilgili parametreler belirlenmişlerdir [4].

Ghani ve Choudhury (2004), “Son Şekil Verme Parametrelerinin Optimizasyonu Çalışmalarında Taguchi Yönteminin Uygulanması” isimli çalışmalarında üzerine kalsiyum karbür ilave edilmiş AISI H 13 paslanmaz çeliği üzerinde, P10 sert metal uç takımı kullanarak yapılan bir tornalama işlemi için kullanılan en iyi tornalama parametrelerinin seçimi için Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Performans değerlerinin saptanması için S/N oranı kullanmışlardır. Deneylelerden elde edilen sonuçları varyans analizi tekniği kullanarak analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda en iyi tornalama parametrelerinin yüksek kesme hızı, düşük ilerleme hızı ve kısa kesme derinliği olduğunu bulmuşlardır [5].

Hamzaçebi ve Kutay (2003), “Taguchi Metodu: Bir Uygulama” isimli çalışmalarında, Dizdar’ın (1998), olası iş kazalarını belirlemek için geliştirdiği “Tehlike Erken Uyarı Modeli”nin testi için dört kategori altında incelediği on iki faktörlü çalışmadan yola çıkarak, Dizdar’ın üretim sistemlerindeki olası iş kazalarının tahminine yönelik araştırmasında derlediği verileri kullanmıştır. Verilerden sadece kazalıya ait tecrübe, kaza zamanına ait vardiya ve yine kaza zamanına ait hafta günü faktörleri ele alınmış ve bu faktörlerin kaza oluşumundaki etkileri Taguchi Metodu kullanılarak incelenmiştir. Üç faktör ve üç düzeyli olan çalışma L ortogonal dizinine göre tasarlanmış ve deney

sonuçları Minitab yazılımında analiz edilmiştir. Sonuç olarak Taguchi metodunun daha az deney ile zaman ve maliyet tasarrufu sağladığı ve bu metodun karar aracı olarak da kullanılabileceği görülmüştür [6].

Savaşkan, Taptık ve Ürgen (2004), “Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu” isimli çalışmada metal işleme işlerinde delme işleminin öneminden bahsedilmiş ve matkap uçlarının ömrünün arttırılmasının kalite ve maliyet açısından etkileri araştırılmıştır. Yapılan uygulamada varılmak istenen sonuç, aşınma ve korozyon etkilerini azaltmak, malzemenin yüzey özelliklerini iyileştirmek ve performansı arttırmaktır. Bu sonuca ulaşabilmek için en etkili yöntemin yüzey kaplamaları olduğunu bulmuşlardır. Sebep-sonuç diyagramından hareketle kesme kuvvetine etki eden faktörler; kaplama türü, kesme hızı ve ilerleme hızı olarak belirlenmiştir. Faktörler, her biri en düşük, en yüksek ve orta değer olmak üzere eşit aralıklı üç seviyeli olarak ele alınmıştır. Çalışmada Taguchi L9 deney tasarımı kullanılmıştır. S/N oranları kullanılarak varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Taguchi Deney Tasarımı metoduyla yapılan optimizasyon ve doğrulama deneyleri sonuçları açıklanmıştır [7].

Karagöz (2014), “Taguchi Metodunun Hava Aracı Kanat Tasarımı Sürecine Uygulanması” adlı çalışmasında, 2 seviyeli 3 adet faktör belirleyerek, kanat tasarım aşamasında performans karakteristiğine olan etkilerini araştırmış ve birbirleri ile etkileşimlerini irdelemiştir. Performans karakteristiğine etki eden faktörleri kanat türü, Reynolds Sayısı ve hücum açısı olarak belirleyerek Taguchi yöntemini uygulamıştır. Kanat türü NACA2415 ve S1223, Reynolds Sayısı 50.000 ve 100.000, hücum açısı ise 10° ve 14° olarak seçmiştir. Her faktör ve seviye ayrı ayrı değerlendirilerek, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümüne ait Rüzgar Mühendisliği ve Aerodinamik (RMAA) Laboratuvarında bulunan rüzgar tüneline 8 adet deney yapmıştır. Deneyler sonucunda FL ve FD kuvvet değerleri için yaklaşık 2000’er veri elde ederek, CL/CD değerlerini hesaplamıştır. Akabinde Taguchi L8 hesap tablosuna CL/CD değerleri yerleştirilerek NOG çizilmiştir. NOG’da net bir biçimde B faktörünün yani Reynolds Sayısının eğriden saptığını görmüştür. Taguchi yöntemi yardımıyla bu çalışmada, kanat tasarım aşamasında en önemli ve en belirleyici faktörün Reynolds Sayısı olduğu sonucuna varılmıştır [8].

YÜCEL (2011), “Yüksek Alaşımli Beyaz Dökme Demirlerin (Ni-Hard) İşlenebilirlik Parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu” hakkında çalışma yapılmıştır. Çalışmada, “Yüksek Alaşımli Beyaz Dökme Demir” (Ni-Hard)’in işlenmesinde oluşan kesme kuvveti (Fc) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için kesme şartlarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği seçilmiştir. L18 ortogonal dizinini çalışmasında kullanmış olup “en küçük en iyi” yaklaşımına göre S/N oranları ile optimum seviyeleri bulunmuştur. Deney sonucunda kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla iş parçasının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca Ni-Hard malzemelerin işlenmesinde oluşan Fc ve Ra değerlerinin Seramik ve CBN kesici takımlar için birbirine çok yakın değerler olduğu sonucuna ulaşılmıştır [9].

1.2. Pnömatik ve Uçak

POYRAZ (2010), “Pnömatik İki-Eksenli Bir Kartezyen Robot Sistemi ile Malzeme Taşıma Otomasyonu” Üzerine yapmış olduğu çalışmada endüstriyel otomasyonda kullanılan pnömatik iki eksenli Kartezyen robot dizaynı ve üretimi üzerinde çalışma yapmıştır. Otomasyon sistemlerinin hareket mekanizmalarında yoğunlukla kullanılan pnömatik sistemlerin tercih edilme nedenlerinin başında; Son stroktaki pozisyonlama hassasiyeti, sistem yağ içermediği için temiz olması, zorlayıcı ortam koşullarında uzun süre çalışabilir olması ve çok ekonomik olması gerekliliği tespit edilmiştir. Tez çalışmasında öncelikle iki pozisyonlu Kartezyen eksen tasarlamıştır. Bu eksenlerin hareket mekanizmasında yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı pnömatik silindirler kullanılmıştır. Eksenlerin konum kontrolü selenoid valflerle yapılmış ve sistemin otomasyonu PLC ile sağlanmıştır [10].

Chen Ying ve çalışma ekibi (2007), bir çift etkili silindirin kontrolünü güç geri beslemesi yaparak yüksek hızlı yön kontrol valfiyle yapmak istemişlerdir. Bunun için bir matematiksel model oluşturulmuş ve iskelet deney düzeneği gerçekleştirilmiştir. Kontrol yöntemi olarak bulanık mantık kontrol yöntemi seçilmiş ve yön kontrol valflerinin kontrolü darbe genişlik modülasyonu ile sağlanmıştır. Matematiksel modelde havanın sıkıştırılabilirliği ve pnömatik sistemin lineer olmayan özellikleri de hesaba katılmıştır. Sistemin modeli Matlab programında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde konumlama bakımından iyi sonuçlar alınırken kuvvet geri beslemesinin

hortum bağlantı kayıpları ve zaman gecikmesi konularında etkili sonuçları gözlemlenmiştir [11].

Situm (2013), yapmış olduğu çalışmada elektronik basınç valflerinde pnömatisürücü kontrolünün kullanımı hakkında çalışma yapılmıştır. Deney düzeneğini hazırlarken maliyeti göz önünde bulundurarak servo oransal valfi yerine elektronik basınç kontrol valfi tercih edilmiştir. Deney için oluşturulan sistem kontrolünde PID kontrol yöntemi kullanılmıştır. Testler sonucunda elektronik basınç kontrol valflerinin kullanılmasının sistem maliyetini düşürdüğünü gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda iki önemli sonuca ulaşılmıştır. Birincisi, konumlama doğruluğu isteniyorsa servo oransal valflerin kullanılabilmesi, ikincisi ise elektronik basınç kontrol valfi kullanıldığında alınan oturma zamanı değeriyle servo oransal valf kullanıldığında alınan oturma zamanı değerlerinin aynı olduğu sonucudur [12].

Liao, Shi ve Xiong (2001), “Gövde Bağlantılarının Yorulma Ömrü Dağılımını Tahmin Etmek İçin Analitik Yöntem” adlı çalışma yapmışlardır. Hava aracı gövde bağlantılarının yorulma ömürlerini tahmin etmek amacıyla yükleme çevrimlerinde görülen çatlakları ölçen modeller geliştirildi. Bu çalışmada plakalar arasındaki ara yüzeyde ve perçin ile perçin deliği arasındaki ara yüzey için sonlu elemanlar yöntemi ve yüzey tekniklerini kullanarak fretting yorulmasını belirleyen analitik araştırma gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlar mevcut test verileri ile karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Basınç kuvvetinin ömre etkisi sürtünme katsayısının etkisinden daha fazla olduğu görülmüştür [13].

YABAN (2012), “Bir Uçağın Basınç Duvarının Yapısal Optimizasyonu” adlı çalışmada, sonlu elemanlar analizi programları ve evrimsel algoritma yöntemini kullanan bir program geliştirilmiştir. Bu program yardımı ile çift kişilik bir uçağın basınç duvarının topolojik optimizasyonunun gerçekleştirilmesini amaçlamıştır. Analizi yapılacak olan tandemi oturma düzenli bir eğitim uçağının basınç duvarı olarak belirlemiştir. Bu duvar, uçağın motor kompartımanı ile kokpiti birbirine bağlayan ve basınçlandırılmış kokpitin basıncını tutma görevi yapan bir yapı elemanıdır. Çalışmanın diğer bir adımında basınç duvarındaki boyutlandırmayı etkileyen en kritik yükleme olan basınç yükleri kullanılmıştır. Ayrıca optimizasyon sonucu elde edilen yapı ile boyutlandırma analizi yapılan yapıları karşılaştırmıştır. Yapının sonlu elemanlar analizi

MSC.NASTRAN ve MSC.PATRAN programlarını kullanarak topoloji optimizasyonu ise Visual Basic programında yazılan bir algoritma ile yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizi modellemesini MSC.PATRAN programında, çözümlenmeyi MSC.NASTRAN programında yapmış, EA'ların çözümünde VISUAL BASIC programını kullanmıştır. Algoritmanın belirlenen bir değerin altında yüklenen elemanların çıkarılması ve tekrar bir analiz döngüsünün yeni eleman dizilimi ile başlatılmasını sağladığını görmüştür. Optimizasyonun amaç fonksiyonunu optimal seviyeye getirmeye çalışmıştır. Başlangıçta bir plaka olarak SEA modeli oluşturulacak olan basınç duvarı, belirlenen bir iterasyon sayısında ya da belirlenen bir dayanım değerine ulaşılan kadar optimize edilmiştir. Her tekrarda uygunluk kriterlerini sağlamayan ve verimli olarak yük taşımayan elemanlar SEA modelinden çıkarılarak, ağırlık azalması gerçekleştirilmiştir. Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen yapı ile boyutsal analizi tamamlanan yapı karşılaştırıldığında boyutsal analizi yapılan yapıda gereksiz yatay ve dikey elemanlar kullanıldığı ve bunun da fazladan ağırlık olarak yapıya yansıdığı görülmüştür.

Optimizasyon süreci içinde döngülerin bazılarının sonuçları bizi en iyiye ulaştırmak için bir ipucu niteliğindedir. Yorumlamaları sonucu optimize edilen yapının ağırlığı yaklaşık olarak %25 azaltılmıştır. Bu azalma bir uçak parçası için yüksek bir oran olarak gözükmektedir. Havacılık endüstrisinde uçakların performansı ve maliyeti açısından çok önemli bir ölçüt olan ağırlık topolojik optimizasyon süreçleri sonucunda optimize edilmiştir [14].

1.3. Perçin

Nouari (2003), "Alüminyum Alaşımı Kuru Delmede Kesici Takım Aşınmasının Deneysel Olarak Analizi ve Optimizasyonu" adlı çalışma yapılmıştır. Alüminyum alaşımı olarak Al 2024 T351 kullanılmıştır. Kesici takım ömrünü uzatmak ve işlenen yüzeyin boyutsal doğruluğunu iyileştirmek için deneyler yapılmıştır. Kesme parametrelerinin delik kalitesine etkisi incelenmiş ve alüminyum malzeme için optimum kesme hızının $V= 65$ m/min olduğu sonucuna varılmıştır. Deliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünü, çapak boyunu ve sapmaları da kesme parametrelerine bağlı olarak incelenmiştir. Nouari, kaplamaların işleme kalitesini önemli derecede etkilemediği sonucuna varmıştır [15].

Erturun (2006), “Uçaklardaki Perçin Bağlantılarında Fretting Yorulma ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi” adlı çalışmada malzeme olarak AA 6061 T6 alüminyum alaşımı ve A4 çekme perçini kullanmıştır. Çalışmadaki amaç Zenith Stol CH 701 uçağının kaplama saclarında kullanılan perçin bağlantılarında fretting aşınmasının deneysel olarak açıklanmasıdır. Yapmış olduğu çalışmada üst plakanın perçin başı ile temas yüzeyi, üst plakanın alt plaka ile temas yüzeyi, alt plakanın üst plaka ile temas yüzeyi, alt plakanın perçin şişme başı ile temas yüzeyinde oluşan fretting aşınması incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada perçin bağlantısının temas bölgelerinde az miktarda plastik deformasyon meydana geldiği tespit edilmiştir. Fretting aşınmasının en çok üst plakanın alt plaka ile temas yüzeyi ve alt plakanın üst plaka ile temas yüzeyinde meydana geldiğini bulmuştur [16].

2. BÖLÜM

DENEY TASARIMI VE TAGUCHI METODU

2.1. Giriş

Deneysel tasarım, 1930'lerde Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiştir. Fisher ayrıca deneysel verilerinin analizi için varyans analizi yöntemini de geliştirmiştir. Ancak ilk olarak değişkenliğin azaltılması için Taguchi tarafından kullanılmıştır. Dr. Taguchi'nin geliştirmiş olduğu kalite sistemi 1950'li yıllarda savaş sonrası Japonya'nın telefon sistemi üzerinde yeniden yapılanma sürecinde uygulanmış ve son derece başarılı sonuçlar elde edilmiştir [17]. Taguchi yöntemi Amerika'nın tarım sektöründe lider olmasına katkı sağlamış ve üretimin geliştirilmesi için uygulanmıştır. Türkiye'de yapılan çeşitli çalışmalarda da deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Fren balatalarının üretim şartları ve içeriğinin performansa etkisini Taguchi yöntemi ile açıklamıştır [18]. Taguchi yaklaşımını, plastik enjeksiyon parçalarda çarpılmanın en aza indirilmesi için kullanmışlardır [19]. Sac imalatında karşılaşılan yapışma probleminin deneysel tasarım ile çözümü üzerinde çalışma yapmışlardır [20]. Çok yanıtlı Taguchi deneysel tasarım metodu ve alüminyum sanayinde bir uygulama adlı çalışma yapmışlardır [21]. Taguchi yöntemini kullanarak bir motora ait hava aralığı hata sayısı ile bunun toplam üretim hacmi içerisindeki payının yüksek olması sonucu oluşan ilgili kalite karakteristiklerini tespit ederek iyileştirme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir [22]. Taguchi deneysel tasarım metodunu, deneysel sayısı ve maliyet olarak azaltıp CNC işleme performansını artırarak optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir yöntem olarak kullanmışlardır [23]. Taguchi, deneysel tasarıma kuramsal yenilikler getirmese de üretim işlerinde yapılan uygulamalarda yenilikler yapmış ve yöntemin imalat sektöründe de kullanılmasını mümkün kılmıştır.

Taguchi metodu ile deney tasarımı uygulanması gereken bazı temel adımlar belirlenmiştir. Deneyin Taguchi metoduna göre gerçekleştirilmesi için aşağıdaki adımların uygulanması gerekmektedir [24].

Bunlar;

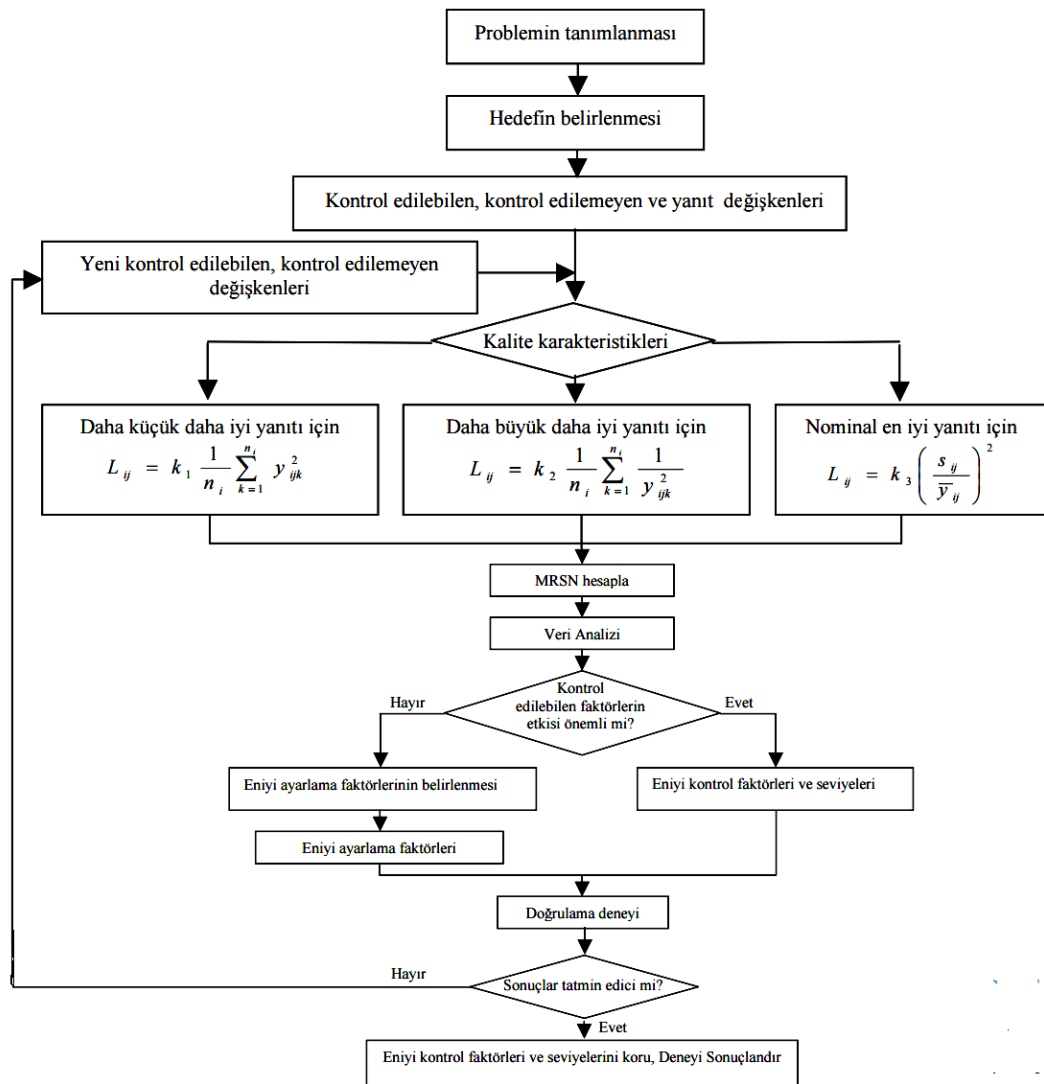
1. Problemin Tanımlanması
2. Amacın Belirlenmesi
3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi
4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi
5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi
6. Deney Tasarımının Seçilmesi
7. Verilerin Toplanması
8. Verilerin Analiz Edilmesi
9. Sonuçların Yorumlanması
10. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

2.1.1. Problemin Tanımlanması

Bunun için, öncelikle, deney sırasında çıktı olarak ölçülecek ve ürünün kalite özelliklerini temsil eden kalite değişkeni veya değişkenlerini tanımlamak gerekir. Kalite değişkenlerinin (sayısal ya da nicel) olması gerekir. Ürünün, boya veya yüzey parlaklığı gibi kozmetik ya da nitel özelliklerini temsil eden değişkenler için, birkaç kişilik bir jüri oluşturularak ürünün puanlanması önerilir [25].

Tablo 2.1.'de Taguchi metodunun uygulama aşamaları detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Taguchi Metodunun Uygulanması [26]



2.1.2. Amacın Belirlenmesi

Deneyin amacı ile ilgili tüm fikirler problemin belirlenmesi aşamasında ortaya konulmalıdır. Konu ile ilgili birimlerden (pazarlama, kalite güvence) gerekli verilerin toplanması gerekir [27].

2.1.3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi

Performans karakteristiği, ürünün temel fonksiyonlarının yerine getirilmesi için gerekli olan ve performansı için belirleyici olan özelliktir. Araştırmacı, incelenen değişkeni etkilediği düşündüğü bir veya daha fazla performans karakteristiğini belirler [24].

2.1.4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi

Bağımsız değişkenlerin diğer bir adı olan performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi deney tasarımının en kritik aşamalarından biridir. Beklenen durumdaki sapmayı oluşturan her bir kaynağa faktör denmektedir. Bir ürün, belli bir düzeyde ve sürekli bir şekilde fonksiyonunu yerine getiremiyorsa ürün veya sürecin iyileştirilmesi gerekmektedir. Faktörlerin seçilmesinde beyin fırtınası, süreç akış şeması, sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılmaktadır [24].

2.1.4.1. Beyin Fırtınası

Beyin fırtınası, işletme problemlerine çözüm aranırken ilgili personelin bir araya gelip her birinin konu hakkındaki kanaat ve çözüm önerilerini dile getirdiği bir toplantıdan ibarettir. Görüşler ifade edildikten sonra oylama usulü ile etkin çözüme doğru yol alınır. Oylamaya her görüş dahil edilir. Metot kullanılarak kalite değişkeni üzerinde etkili olan faktörler belirlenir. Mevcut metotlar arasında en etkin olanı çoğunlukla bu metot olmaktadır [28].

2.1.4.2. Süreç Akış Şeması

Şematik olarak gösterilir ve ürün hakkında performans ile ilgili gerekli olan tüm işlemleri içerir. Önemli olan faktörler üzerine yoğunlaşmayı kolaylaştırır.

2.1.4.3. Sebep-Sonuç Diyagramı

İlk defa 1953 yılında Kaoru Ishikawa tarafından kullanılan bu metot, daha sonra Japonya'da büyük ilgi görmüş ve Japon Endüstri Standartları (JIS) Kalite Kontrol terminolojisine dahil edilmiştir. Orada geçen tanımıyla Sebep-Sonuç Diyagramı, “kalite karakteristikleriyle etmenler arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram”dır. “Balık kılıcı diyagramı” olarak da bilinen bu diyagram, omurgasını ilgili kalite karakteristiğinin (sonuç) oluşturduğu, sebeplerin ise önemine göre (ana sebep / tali sebep) kılıçları teşkil ettiği bir gösterim metodudur. Bu diyagramın hazırlanmasında öncelikle araştırılacak karakteristik, çizilen omurganın sağına yazılır. Daha sonra birinci derecede etki eden faktörler büyük kılıçlarla, onlara bağlı ikincil etkenler de küçük kılıçlarla gösterilir [29].

2.1.5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi

İncelenen performans karakteristiğine etki eden faktörler belirlendikten sonra faktör düzeyleri seçilir. Bazı faktörler için sadece iki alternatif durum (Var-Yok, Düşük-Yüksek gibi) olmakla birlikte, bazıları için ikiden fazla alternatif (100, 1250 ve 1500 rpm gibi) durum söz konusu olabilmektedir. Faktörler için seçilen düzey sayısı da yapılacak deney tasarımını ve dolayısıyla tasarımdaki her bir deney için gerekli gözlem sayısını etkilemekte ve tasarımda sabit, rassal ve/veya karışık etkilerin oluşmasına neden olmaktadır [24].

2.1.6. Deney Tasarımının Seçilmesi

İlk beş aşamanın doğru olarak yapılmasının ardından bu aşamada örnek büyüklüğü, deneylerin yapılış sırası ve tekrarlama sayısı deneylerin maliyetlerini de göz önünde bulundurarak, en uygun deney tasarımının seçilmesidir.

2.1.7. Verilerin Toplanması

İlgilenilen performans karakteristiğine etkisi olan faktörler ve uygun tasarım belirlendikten sonra analiz için verilerin toplanması gerekmektedir. Her bir deney için gerekli veriler rassallaştırma ilkesi temelinde toplanmaktadır [24].

2.1.8. Verilerin Analizi

Verilerin analizinde, ilgilenilen performans karakteristiğine beklenen yönde etkisi olan faktör ve/veya etkileşimler belirlenir. Daha sonra kritik olan faktör ve/veya etkileşimlerin belirlenmesi amacıyla hesap tablosu analizi, normal olasılık grafiği ve varyans analizi kullanılmaktadır [24].

2.1.9. Sonuçların Yorumlanması

Yapılan veri analizinden çıkan sonuçlar bu aşamada değerlendirilir. Bulunan istatistiksel sonuçlar fiziksel olarak da yorumlanabilir olmalıdır. Sonuçların güvenilirliği için bulunan sonuçlarla bir deneme testi yapılmalıdır. Bütün bu aşamalardan sonra tasarlanan deneyin sonuçları proses veya sistem hakkında bize önemli bilgiler sunar [27].

2.1.10. Doğrulama Deneilerinin Yapılması

Deneysel tasarım sonucu belirlenen önemli faktör veya faktörlerin yapılan deney uygulamasında performansa etkileri incelenir. Faktörlerin deney tasarımında ortogonal dizinde yer alıp almadığına bakılır. Gerekli görüldüğü takdirde doğrulama deneyleri yapılır.

2.2. Taguchi Metodu

Taguchi yöntemi, üründe ve proste değişkenliğe neden olan kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen (gürültü) faktörlere karşı duyarsız olacak şekilde belirleyerek, ürün ve prosteeki 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 [30]. Taguchi yöntemi, üretim organizasyonlarında da uygulamalara sahiptir. Tablo 2.2 'de Taguchi yönteminin çeşitli üretim sektörlerindeki uygulamaları ve yöntemi kullanmanın faydaları yer almaktadır.

Tablo 2.2. Üretim Alanındaki Taguchi Yöntemi Uygulamaları [30]

<i>SÜREÇ/ÜRÜN</i>	<i>PROBLEM</i>	<i>DENEY SAYISI</i>	<i>FAYDALARI</i>
Enjeksiyon kalıbı yapma	Yüksek süreç değişkenliğine karşın yüksek ıskarta	8 deneme	Yıllık tasarruf £40,000 üzerinde
Dizel akıtma	Yüksek yeniden işleme oranı	16 deneme	Yıllık tasarruf £10,000 üzerinde
Kaynak süreci	Düşük kaynak dayanımı	16 deneme	Yıllık tasarruf £10,000 üzerinde
Kimyasal süreç	Düşük süreç çıktısı	8 deneme	Süreç çıktısı 10% gelişti
Bisküvi	Bisküvi boylarındaki yüksek değişkenlik	16 deneme	Bisküvi uzunluklarındaki Değişkenlik 25% azaldı
Tel bağlama süreci	Düşük tel çekme dayanımı	16 deneme	Yıllık tasarruf £30,000 üzerinde

Taguchi yöntemi hizmet sektöründe yaygın olarak kullanılmaz fakat yöntemin hizmet sektöründeki uygulamaları için bazı örnekler şunlardır [30]:

- Müşteri şikayetlerini yanıtlamak için geçen sürenin azaltılması
- Hizmet hatalarının azaltılması
- Bir hastanenin acil odasında kalma süresinin uzunluğunun azaltılması

Taguchi Metodunun temelinde yedi önemli kriter vardır [30]. Bunlar;

1. Üretilen ürünün kalitesinin önemli bir ölçüsü bu ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır. Müşteri toleransının en alt limitinde ürün üreten birçok firmanın olduğu bir ortamda ürün kalitesinin ölçüsü olarak toplumda meydana getirdiği kaybın alınması çok ilginçtir. Müşteri toleransının en alt limitinde üretilen bir ürünün özellikleri her an değişiklik gösterebilmekte ve bu da müşteri de tatminsizlik yaratmaktadır. Burada sözü edilen toplumsal kayıp; ürünün kullanım amacına, dolayısıyla tüketici gereksinimlerine uygunsuzluğu, kendisinden beklenen performans düzeyine ulaşmaması ve kullanımı sırasında ortaya çıkan zararlı yan etkilerden kaynaklanmaktadır. Zayıf performansın neden olduğu tüm bu kayıplar söz konusu ürünün kalite düzeyini belirlemektedir. Tüm bunların engellenebilmesi için ürün tasarımından itibaren değişikliklere karşı duyarsız ürün üretilmelidir.

2. Rekabetçi bir ekonomide iş dünyasında kalabilmek için kaliteyi geliştirmek ve maliyetleri düşürme çalışmalarının sürekli olması gereklidir. Faaliyetlerinden belirli bir kar elde edemeyen firmalar, varlıklarını uzun süre koruyamazlar. Taguchi deney tasarımı, kalite maliyetlerini düşürmek için de kullanılabilir. Taguchi üç tür kalite maliyeti tanımlamaktadır: Araştırma ve geliştirme maliyetleri, üretim maliyetleri ve yönetim maliyetleri. Bu üç tür maliyet deney tasarımının en iyi şekilde uygulanmasıyla, azaltılabilir.

3. Sürekli kalite geliştirme programı, hedef değer etrafında performans karakteristiklerinin varyasyonunu sürekli azaltmayı içermelidir. Bir ürünün performans karakteristikleri, müşteri isteklerinin karşılanmasında ürün performansını belirleyen temel kalite karakteristikleridir. Performans karakteristiğinin ideal değerine hedef değer denir. Bir ürünün performans karakteristikleri belirlenerek ölçülmediği sürece kaliteyi

geliştirmek olası değildir. Ayrıca sürekli bir kalite geliştirme programı söz konusu performans karakteristiklerinin ideal değerine ilişkin bilgiye de bağlıdır. Performans karakteristikleri değişkenlik gösterebilen büyüklüklerdir. Bu değişkenlik aynı üretim sürecinden aynı anda alınan benzer ürünler arasında olabileceği gibi bu süreçten farklı zamanda alınan ürünlerde zamana bağlı bir değişme şeklinde de ortaya çıkabilir.

4. Bir ürünün performansındaki varyasyon (değişim) sonucunda ortaya çıkan ve müşterilerin katlandığı kayıp performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır. İkinci dereceden bu kayıp fonksiyonuna göre, hedeften az sapmalar müşteri için kayba neden olur, hedeften büyük sapmalar çok daha büyük kayıplara neden olur.

5. Üretilen ürünün nihai kalite ve maliyeti, önemli oranda ürünün ve o ürünün üretim sürecinin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir. Bugün kalite kontrol ürün ve üretim sürecinde ortaya çıkan kronik problem belirtilerini düzeltmeye çalışan bir problem çözücü olarak görülmektedir. Gelecekte işletmeler daha fazla istatistiksel yöntemler kullanarak üretim sürecinde ortaya çıkan sapmaları daha kolay anlayacaklar ve kalite geliştirme faaliyetlerini ürün ve üretim süreci tasarımında yoğunlaştıracaklardır. Bir ürünün üretim maliyeti ile üretim kusurları için üretim süreci tasarımı büyük ölçüde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle maliyetli olan süreç kontrolleri üretim kusurları ile azaltılmalıdır. Bu da ancak maliyetleri azaltacak bir üretim süreci tasarımı geliştirilmesi ile olasıdır.

6. Bir ürünün veya üretim sürecinin performans değişikliğinde azalmalar, bu ürün ya da üretim sürecine ilişkin faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki doğrusal olmayan etkinin ortadan kaldırılması ile sağlanır.

7. İstatistiksel olarak planlanmış deneyler performans varyansını azaltan ürün veya süreç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Böylece kalite, verimlilik, performans, güvenilirlik ve kar gelişir.

2.3. Kalite Kavramı

Hava araçları günümüz teknolojisi ilerledikçe artan maliyetler ve ihtiyaç duyulan güvenlik gereksinimleri ile kalite konusuna daha fazla önem vermemizi sağlamıştır.

Kalite (Qualites), Latince “nasıl oluştuğu” anlamına gelen “qualis” kelimesinden gelmektedir. Kalite kavramı hangi ürün ve hizmet için kullanılıyorsa onun gerçekte ne olduğunu belli etmek amacını taşımaktadır. Kalite, genel olarak günlük konuşmalarda üstünlüğü ve iyiliği, kaliteye konu olan ürün ve hizmetin iyi niteliklerinin olduğunu belirtir. Bu anlamda kalite kavramı öznel değerleri içermektedir. Öznel değerlendirmelerden oluşan kalite anlayışı ülke, yaşam düzeyi, kültürel yapı, toplumsal yapı, eğitim, bürokrasi gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu bakımdan herhangi bir ürünün üretiminde müşterinin arayacağı niteliklerin göz önüne alınması gerekir. Bu açıdan kalite öznel bir kavramdır. Ürünün ölçülebilen, belirlenebilen ve çoğu kez kalite standartları veya mevzuatlarla belirlenen kalitesi ise nesnel kalite olarak ifade edilmektedir. “Kalite nedir?” sorusuna cevap verebilmek için ürünün veya hizmetin sahip olduğu bazı özelliklere bakmak gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda açıklanmıştır [31]:

- **Fonksiyonel Özellikler:** Ürünün veya hizmetin belirli bir amacı yerine getirebilmek için sahip olması gereken özelliklerdir.
- **Kalite Özellikleri:** Ürünün veya hizmetin daha iyi veya her zaman aynı şekilde yapılabilmesi için sahip olması gereken özelliklerdir.

Herkesin genel olarak uzlaşacağı bir kalite tanımı yapılması neredeyse olanaksızdır. Değişik kalite tanımlarının yapılması kalitenin çok boyutlu olmasından kaynaklanmaktadır Kalite konusunda uzman, bilim adamı, yazar ve bazı kuruluşların kalite tanımlarını herhangi bir sınıflandırmaya tabi tutmaksızın şöyle vermek mümkündür [32];

- Kalite, bir ürün ya da hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerinin toplamıdır. (ISO 8402)
- Kalite, bir mal ya da hizmetin belirli bir gerekliliği karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerin tümüdür.
- Kalite, bir malın ya da hizmetin tüketicinin isteklerine uygunluk derecesidir. (EOQC- Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu)
- Kalite, bir ürünün gerekliliklere uygunluk derecesidir.

- Kalite, ürün ya da hizmeti ekonomik yoldan üreten ve tüketici isteklerine yanıt veren bir üretim sistemidir.
- Kalite, amaca ve kullanıma uygunluktur.
- Kalite, kusursuzluk arayışına sistemli bir yaklaşımdır.
- Kalite, tatmin edici bir üretimin en düşük maliyetle ve tüketicilerin ihtiyaçlarını hemen giderebilme yeteneğidir.

Taguchi ise kaliteyi; ‘ürünün sevkiyattan sonra toplumda neden olduğu en az zarardır’ diye tanımlamıştır.

Birçok kişiye göre kalite; pahalı, lüks, az bulunur, üstün nitelikte... gibi benzeri anlamlardadır. Bazılarına göre kalite, ihtiyaca yeterli biçimde cevap verendir. Örneğin, çok pahalı olmayan bir fiyata alınan bir ayakkabı bile kullanan kişiye ihtiyacına yeterince cevap vermişse kalitelidir [33].

Kalite;

- Önlemdir,
- Müşterinin tatminidir,
- Verimliliğdir,
- Esnekliktir,
- Etkili olmaktır,
- Bir programa uymaktır,
- Bir süreçtir,
- Bir yatırımdır,
- Kusursuzluk arayışında olan sistemli bir yaklaşımdır,
- Kullanıma uygunluktur. Dr.J. M.JURAN
- Şartlara Uygunluktur. P.B. CROSBY
- Bir ürün ya da hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçların karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamıdır. TS-ISO 9005

- Ürün ya da hizmeti ekonomik bir yoldan üreten ve tüketici isteklerine cevap veren bir üretim sistemidir. Japon Sanayi Standartları Komitesi (JIS)
- Bir ürün ya da hizmetin belirlenen gereksinimleri karşılayabilmesini sağlayan nitelik ve özelliklerin tümüdür. Amerikan Kalite Denetim Derneği ASQC

Kalite alanında yaptığı çalışmaları, eserleri ve tüm dünyada yaygın kabul gören fikirleri ile çağımızın kalite öncülerinden olan J. M. Juran kalite için tek ve basit bir tanımlama yapmaktan kaçınmıştır. J. M. Juran kalitenin birden fazla anlamı olduğuna değinmiş ve bunlardan en önemli iki tanesini şöyle açıklamıştır [33].

Teknik anlamda kalite, "İstenilen özelliklere uygunluktur". Bu ifade aşağıdaki iki öğeden oluşmaktadır [33].

1. İstenen özellikler
2. Bu özelliklere uygunluk.

2.3.1. Kalitenin Bileşenleri

Kalite öncülerinden Juran, kaliteyi, tasarım kalitesi ve uygunluk kalitesi olarak iki bileşene ayırmıştır. Kalite bileşenlerine ek olarak Juran kalitenin endüstride kullanılan sekiz terimini belirlemiştir. Bunlar aşağıda kısaca özetlenmektedir [31]:

Pazaryeri Kalitesi: Müşteri isteklerini tatmin eden özellikli ürünlerin derecelendirilmesidir.

Tasarım Kalitesi: Genellikle halkın potansiyel tatminini karşılayan ürünlerin sınıfının derecelendirilmesidir.

Uygunluk Kalitesi: Tasarım veya şartnameye uyan özellikli ürünün derecesidir.

Müşteri Tercihi: Karşılaştırmalı testlere dayalı, müşterilere eşit derecede olan rekabet ürünlerinin tercih edilmesidir.

Kalite Özelliği: Görünüm, performans, dayanıklılık vb. gibi ürünün özelliğini ayıran derecelendirilmez.

Mükemmellik Olarak Kalite: Yeterince sınıflandırma için özellikli olmayan genel mükemmellik ifadesidir.

Fonksiyon Olarak Kalite: Ürün kalitesini elde etmek için endüstride sorumlu olan fonksiyonun ismidir.

Bölüm Olarak Kalite: Bir işletmede kalite güvence bölümü gibi kalite ile ilgili özel bölümün ismidir.

Juran'ın belirlediği bileşenlere ek olarak performans kalitesi de önemli bir kalite bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Aşağıdaki bölümlerde bu üç temel kalite bileşeni daha detaylı olarak anlatılmaktadır.

2.3.2. Tasarım Kalitesi

Tasarım kalitesi derecelendirme ile ilgilidir. Tasarım boyutu büyük ölçüde zevke, ihtiyaca ya da tercihe bağlıdır; bu yüzden ölçülmesi pek mümkün değildir. Tasarım kalitesi, müşteri araştırmaları ve satış ziyaretleri ile başlayıp, müşteriye tatmin edecek ürün veya hizmet kavramının belirlenmesi ile devam eden bir süreci kapsamaktadır. İşletmeler için tasarım açısından iki farklı durum söz konusu olabilir. Birinci durumda, tasarım özellikleri üretim yapan işletmenin önceliği dışında oluşur. Örneğin, ürün özellikleri müşteri tarafından belirlenebilir ya da sanayi sektöründe geçerli olan belirli standartlara uygunluk gerekebilir. İkinci durumda ise, tasarım özelliklerini üretici belirler. Nihai tüketime yönelik tekstil, elektronik, dayanıklı tüketim mallarının tasarım özellikleri genellikle işletme tarafından belirlenmektedir [33].

2.3.3. Uygunluk Kalitesi

Uygunluk kalitesi, işletmenin ve tedarikçilerin müşteri ihtiyaçlarını karşılamada gerekli olan tasarım şartnamelerini karşılayabilme ölçüsüdür. Uygunluk kalitesi ürünün tasarım şartlarına ne derece uygun olduğuna ilişkindir. Uygunluk kalitesi, bilimsel olarak ölçülebilir bir niteliğe sahiptir. Herhangi bir ürünün önceden belirlenmiş özelliklere ne derecede uyduğunu bilimsel olarak tespit etmek mümkündür. Uygunluk kalitesinin değerlendirilmesinde iki gösterge söz konusudur. Bunlar, nominal değer ve toleranstır. Nominal değer, hedeflenen değerdir. Tolerans ise nominal değerın hassasiyet ölçüsüdür. Tolerans, hedeflenen değere ulaşmada belirli bir sınır içinde verilebilecek tavizi ifade

eder. Tolerans aralığındaki hassasiyet ürüne göre değişmektedir. Hangi tür ürün olursa olsun, tolerans aralığındaki ürünler kabul edilebilir niteliktedir. Tolerans aralığından sapmalar arttıkça kalite seviyesi düşer ve üretim ekonomik olmaktan uzaklaşır. Bu anlamda uygunluk kalitesi ölçülebilir bir niteliktir. Örneğin, müşteriye sunulan ürünün belirlenmiş olan özelliklere ne ölçüde uyduğu tespit edilebilir. Kalite çalışmaları önemli ölçüde uygunluk kalitesi ile ilgili olmuştur [33].

Bir ürün ya da hizmetin istenen özelliklere sahip olması "Tasarım kalitesi" ile ilgilidir. Örneğin bir ayakkabının kösele tabanlı ya da kauçuk tabanlı olması bir TASARIM meselesidir.

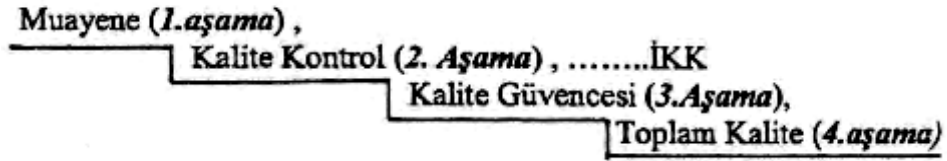
Uygunluk kalitesi ise, müşteriye sunulan ürünün belirlenmiş tasarıma "ne kadar uyduğu ile" ilgilidir. Örneğin yukarıda sözü edilen kauçuk tabanlı ayakkabı karlı zeminler üzerinde kullanıldığında ayağa su geçirmiyorsa ve üretilen tüm ayakkabılar gerçekten karlı ortamlarda su geçirmiyorsa uygunluk kalitesi "mükemmel" dir. Değilse uygunluk kalitesi "düşük" demektir [33].

2.3.4. Performans Kalitesi

Performans kalitesi, işletmenin ürün veya hizmetlerinin pazardaki performans düzeylerinin tüketici araştırmaları, satış ya da hizmet analizleri ile belirlenmesidir. Bu çalışmalar; satış sonrası hizmet, bakım, güvenilirlik ve lojistik destek analiz ve araştırmalarıyla, işletmenin ürün veya hizmetlerini tüketicilerin neden tercih etmediklerine dair araştırmaları kapsamaktadır [31].

2.4. Kalitenin Geçmişi

Kalite ile ilgili ilk kayıtlar M.Ö yıllara kadar uzanır. Kalitenin bir kavram olarak ortaya çıkması 19. yüzyıla rastlar. Ancak bu dönemden sonradır ki üreticiler kalite bilinciyle, ürünlerine kendi markalarını vurmaktan gurur duymaya başlamışlardır. İngiltere'de bile işçi planlaması işçi ve ustabaşlarının elinden alınıp endüstri mühendislerinin kontrolüne verilmiş ve böylelikle başlatılan bu uygulama ile sanayi devriminin tohumları atılmıştır. Şekil 2.1.'de kalitenin gelişim aşamaları ve Şekil 2.2.'de kalitenin tarihsel gelişimi gösterilmektedir. Kalite gelişiminin en önemli ve ilginç aşamaları A.B.D ve Japonya'da yaşanarak görünmüştür [33].



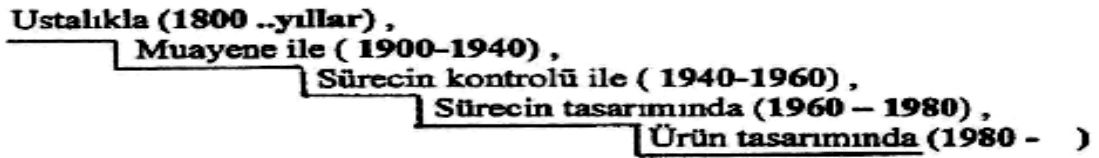
Şekil 2.1. Kalitenin Gelişim Aşamaları [33]

Kalitenin gelişiminde 1900'lü yılların başından 1940'lı yıllara kadar önce operatör ve denetleyici kalite kontrolünü, daha sonra muayeneye dayalı kalite kontrol ile istatistiksel kalite kontrolü metotlarını, 1940'larla 1950'li yıllarda kalite kontrol standartlarının gelişimini, 1960'lı yıllardan sonra da organizasyonlarda toplam kalite sisteminin kurulması ve uygulama çabalarını görmek mümkün olmuştur. 1970'li yıllarda geliştirilen kalite sistemleri ve katılımcı kalite kontrolü ile toplam kalite yönetimine ulaşılmış böylece, 1980'lerde kalite yeni bir anlam ve önem kazanmış ve kalite bilinci bilgisayar destek programlarıyla ürün tasarımından üretime kadar organizasyonları ilgilendiren her süreçte yerini almıştır [34].

Kalitenin tarihsel gelişimi son 60 yılı kapsayacak şekilde özetlenmek istenirse, şu şekilde bir sıralama oluşturulabilir [35].

- I. 1931 W. Stewhart: İstatistiksel Kalite Kontrol (ABD)
- II. 1940 Stanford: Seminerleri (ABD)
- III. 1950 E. Deming: Seminerleri (Japonya)
- IV. 1951 Deming: Kalite Ödülü (Japonya)
- V. 1952 “ Kalite Kontrol Dergisi” (Japonya)
- VI. 1954 J. Juran : Kalite Yönetimin Sorumluluğudur. (ABD)
- VII. 1954 Ulusal Radyo ile Japonyada Kalite Eğitim Yayınları
- VIII. 1957 A. Feigenbaum : Toplam Kalite Kontrol (ABD)
- IX. 1960 G. Taguchi . İstatistiksel Deney Tasarımı (Japonya)

- X. 1961 K. Ishikawa: Formenler için Kalite Kontrol Dergisi (Japonya)
- XI. 1962 K. Ishikawa: Kalite Çemberi (Japonya)
- XII. 1969 Kobe Steel: Quality Function Deployment (Japonya)
- XIII. 1970 S.Shingo: Poka-Yeke (Japonya)
- XIV. 1976 T. Ohno: Toyota Just-in Time Sistemi (Japonya)
- XV. 1980 G.Taguchi: Robust Design (Japonya)
- XVI. 1990 ve Ötesi..... YARATILAN KALİTE



Şekil 2.2. Kalitenin Tarihsel Gelişimi [33]

2.5. Kalite Maliyetleri

Kalite maliyetleri, ürünün şartnameler ve kullanım için uygun olmasını sağlamak için, ne kadar zaman ve para harcadığını belirlemenin bir metodudur.

Aynı zamanda, sorun alanlarının teşhisi ve hangi sorunun öncelikle ele alınması gerektiğini gösteren güçlü bir yönetim vasıtasıdır [36].

2.5.1. Kalite Maliyetinin Tarihçesi

1943 yılında Armand V. Feigenbaum General Electric (GE) firmasında çalışırken “kalite maliyetleri” olarak adlandırılan dolar-tabanlı bir raporlama sistemi geliştirmiştir.

Bu sistem hem kalite geliştirme ve ürünlerin denetlenmesi ile ilgili maliyetlerin hem de istekleri karşılayamayan ürünlerin maliyetlerinin bir arada bulunmasından oluşur. Feigenbaum sonuçları dolar olarak üst yönetime ve ortaklara sunmuş ve dikkatlerini çekmeyi başarmıştır. Böylece 1948 yılında bu “kalite maliyetleri” sistemi Amerika’daki bütün GE’lerde uygulanmaya başlanmıştır [37].

Kalite maliyeti hakkında çıkartılan ilk kitap 1951 yılında yayınlanan Juran'ın "Kalite Kontrol El Kitabı"dır.

1956 yılında "Toplam Kalite Kontrol" adlı kitabında Dr. Feigenbaum, kalite maliyetlerini incelemiştir. Kalite maliyetlerini ise önleme, değerlendirme ve başarısızlık olarak üç bölüm de ele almıştır. PAF modeli (prevention-apraisal-failure) olarak adlandırılan İngilizce baş harflerin birleşiminden oluşan PAF modeli oluşturmuştur.

1979 yılında ise Crosby kalite maliyetlerini uygunluk ve uygunsuzluk maliyetleri olarak ele almıştır.

2.5.2. Geleneksel Kalite Maliyetlerinin Sınıflandırılması

Feigenbaum tarafından kullanılan kalite maliyetleri sınıflandırması aşağıda gösterilmiştir:

- i. Önleme Maliyeti (Koruma Maliyeti)
- ii. Değerlendirme Maliyeti (Muayene Maliyeti)
- iii. Başarısızlık Maliyeti

2.5.2.1. Önleme Maliyetleri

Ürün veya hizmetlerin tüketici isteklerine uygunsuzluğunu önlemek amacı ile özel olarak tasarlanmış tüm faaliyetlerin maliyetleridir. Önleme maliyetleri, ürün veya hizmetin geliştirilmesi, satın alma, operasyon, planlama ve yürütme, operasyonların desteklenmesi ve dağıtım öncesi ile dağıtım esnasındaki hizmet faaliyetlerini kapsar [38].

2.5.2.2. Değerlendirme Maliyetleri

Bu tür maliyetler, kalite isteklerine uygunluğun seviyesinin belirlenmesi çalışmaları ile ilgili olarak ortaya çıkan maliyetler olup her türlü ölçme ve değerlendirme maliyetleri bu kategoride değerlendirilebilir. Bu tür maliyetlerin toplam kalite maliyetleri içerisindeki payı %10 ile %50 arasında değişmektedir.

Bu maliyet kalemlerine ait bazı örnekler şu şekilde sıralanabilir [39]:

- Girdi muayene ve deneyleri,
- Personel eğitimi,
- Tedarikçi ürün nitelendirmeleri,
- Planlanmış denetimler ve harici laboratuvar çalışmaları,
- Ürün kalite denetimi, ayar muayene ve deneyleri,
- Özel imalat muayene ve deneyleri,
- Proses kontrol ve ölçümleri,
- Muayene ve deney cihazları ile bunlara ait malzemeleri, bunların bakım ve kalibrasyonu,
- Özel ürün değerlendirmeleri,
- Muayene ve deney verilerinin düzeltilmesi.

2.5.2.3. Başarısızlık Maliyetleri

Başarısızlık maliyetleri; iç başarısızlık ve dış başarısızlık maliyetleri olarak iki grup da ele alınır:

2.5.2.3.1. İç Başarısızlık Maliyetleri (İç Hata)

Ürünün tüketiciye ulaşmasından önce kalite sapmalarının ortaya çıkardığı maliyetlerdir. Bu maliyetler adı üstünde işletme içerisindeki mühendislik, imalat ve kaliteden meydana gelen problemlerden oluşan ve şirkete yeniden işleme, hurda, fazla mesai, yeniden test olarak geri dönen hizmetlerin neden olduğu maliyetlerdir. İç başarısızlık maliyetlerinin toplam kalite maliyeti üzerindeki payı %25-60 arasındadır [39].

2.5.2.3.2. Dış Başarısızlık Maliyetleri (Dış Hata)

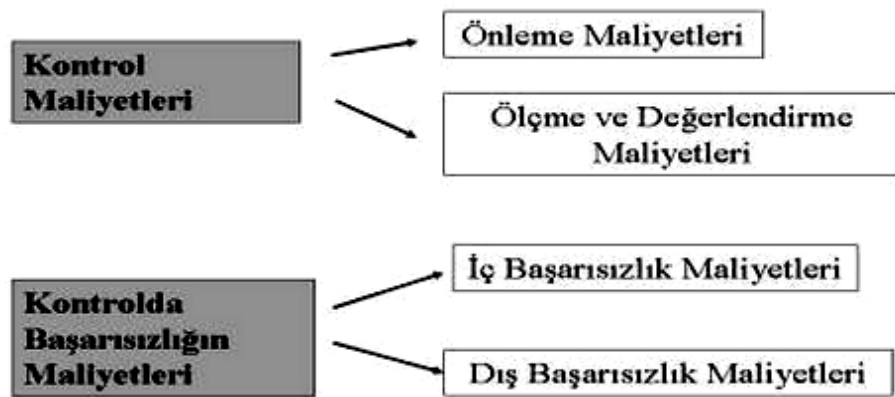
Ürünün tüketiciye ulaşmasından sonra ortaya çıkan maliyetler olup toplam kalite maliyetleri içerisindeki payı %20 ile %40 arasında değişmektedir. Bu tür maliyet kalemlerine ait örnekler şu şekilde sıralanabilir [39]:

- Şikâyet araştırmaları ve iade ürünler,

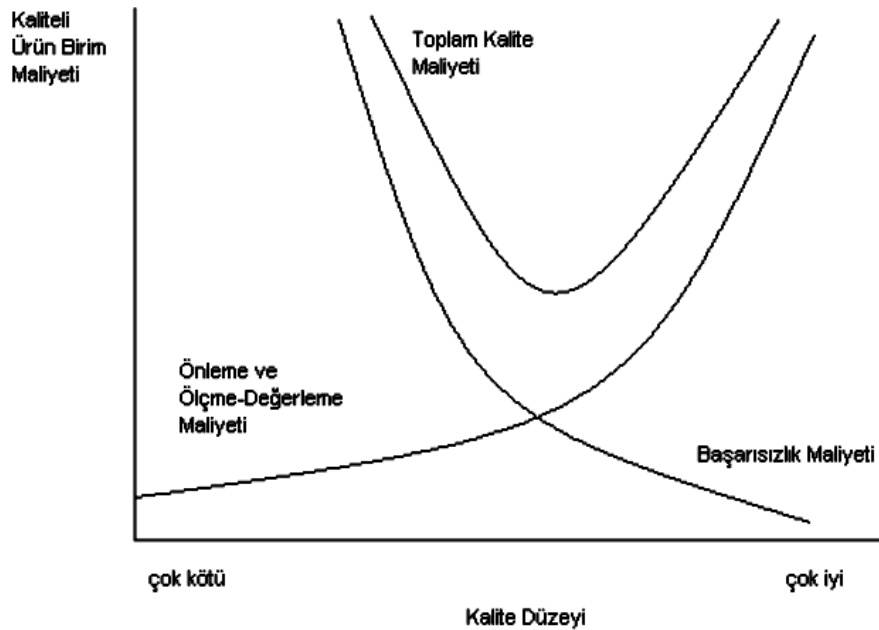
- Düzeltici faaliyetler ve garanti talepleri,
- Taahhütler ve cezalar,
- İmaj kaybı ve pazar payı daralması

Tablo 2.3.'de işletme faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kalite maliyetleri gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Kalite Maliyetleri [39]



Şekil 2.3.'de ise kalite maliyetlerinin birbirleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.



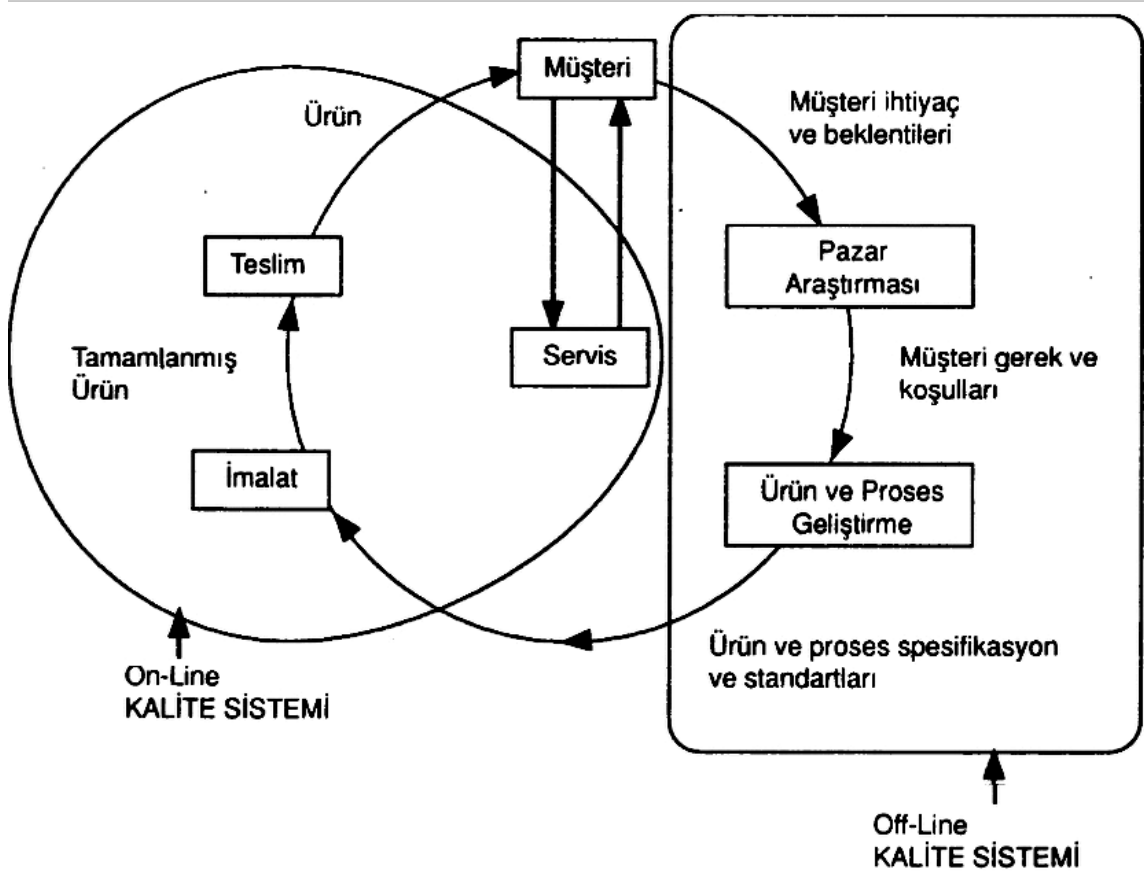
Şekil 2.3. Kalite Maliyetlerinin İlişkisi [40]

2.6. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi

Taguchi'nin üretim/kalite sistemini anlamak için Tablo 2.4.'de verilen üretim/kalite çemberini referans olarak kullanmak yararlı olacaktır (benzer bir çember ISO 9004 belgesinde de verilmektedir). Bu çember çevresinde yer alan ve kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetleri, Taguchi iki bölüme ayırmaktadır [25].

1. **Off-Line Kalite Kontrol:** Off-line kalite kontrol, Pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır.
2. **On-Line Kalite Kontrol:** On-Line kalite kontrol ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki kalite faaliyetlerini kapsar. İstatiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetlerindedir.

Tablo 2.4. Üretim/Kalite Çemberi [25]



Taguchi deneysel tasarım metodunda geliştirilen metodoloji üç temel ögeden oluşur. Bunlar; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır [41].

2.6.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı bu metodun ilk adımındır. Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilir, aynı zamanda mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu adımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımı ve maksimum müşteri memnuniyetidir [41].

2.6.2. Parametre Tasarımı

Süreç yenilemesi ve iyileştirmenin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Bu adımda üretilecek olan ürünün ya da geliştirilecek olan ürünün özelliklerinin en iyi seviyeye getirilebilmesi için üretimde kullanılan parametrelerin iyileştirilmesi sağlanır. Parametrelere en iyi seviyeler seçilir. Üretim esnasında ürünün kalitesini olumsuz etkileyecek kontrol edilemeyen etkiler belirlenir. Bunlara kontrol edilemeyen parametre adı verilir bu parametrelerin etkileri minimize edilir.

Bu adımda parametreler bloklarırken Taguchi'nin geliştirmiş olduğu ortogonal diziler kullanılır. Aynı zamanda gürültü oranı (S/N - Signal/Noise) analizi ile hesaplama yapılabilir. Parametreler belirlendikten sonra Taguchi ortogonal dizisinden bir dizi seçmek gerekmektedir.

L16 ve L32 dizileri 4 seviyeli deneyler için kullanılmaktadır. Tablo 2.7'de verilen tablonun dışında kalan parametre ve seviyeler için deney şartları daha zor olduğundan parametre ya da seviye küçülterek uygun diziye getirilmesi tavsiye edilmektedir. Aynı zamanda ortalamalar ve gürültü oranı (S/N) değerleri de hesaplanarak kaydedilir [41].

2.6.3. Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımında parametre belirleme çalışmaları sonucu istenilen hedefe ulaşamadığı durumda yapılan ilave çalışmalardan ibarettir. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılır. Taguchi kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve

aynı zamanda gürültü oranı (S/N - Sinyal/Noise ratio) fonksiyonu olarak da ifade edilen 3 farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre aşağıdaki eşitlikler (Eş. 3.1-3.5) kullanılarak S/N oranları hesaplanır [42].

En düşük (küçük) en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.1)$$

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.2)$$

Nominal en iyi olduğu durumda:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (3.3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.5)$$

Eşitliklerde y_i : Performans yanıtının i . gözlem değeri, n : bir denemedeki test sayısı, \bar{y} : Gözlem değerlerinin ortalaması ve S^2 : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

Taguchi metodu ile deney tasarımı yapıldıktan sonra elde edilen veri kümesinin varyans hesabı yapılır. Bu varyans hesabında aşağıdaki formüller kullanılır. Tablo 2.5.'de varyans hesabında kullanılan formüller gösterilmektedir.

Tablo 2.5.Varyans Hesabındaki Formüller [41]

$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$	$k_A = A$ Parametresinin seviye sayısı $A_i = A_i$ seviyesindeki gözlemlerin toplamı $n_{A_i} = A_i$ seviyesi altındaki gözlem sayısı	(7)
$SS_{AxB} = \left[\sum_{i=1}^c \frac{(AxB)_i^2}{n_{AxB_i}} \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B$	$c =$ Etkileşimli parametrelerin kombinasyon sayısı AxB Etkileşimli parametresinin i . Koşul altındaki verilerin toplamı	(8)
$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AxB} + SS_C$	$SS_T =$ Toplam Kareler Toplamı $SS_A = A$ Parametresine ait kareler toplamı $SS_B = B$ Parametresine ait kareler toplamı $SS_{AxB} = AxB$ Etkileşimine ait kareler toplamı $SS_C = C$ Parametresine ait kareler toplamı	(9)
$SS_T = \left[\sum_{i=1}^n y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N}$	$N =$ Gözlemlerin toplam sayısı $y_i = i$. Gözlem $T =$ Tüm gözlemlerin toplamı	(10)
$v_A = k_A - 1$ $v_B = k_B - 1$ $v_{AxB} = (v_A)(v_B)$	$v_A = A$ Parametresinin serbestlik derecesi $v_B = B$ Parametresinin serbestlik derecesi $v_{AxB} = AxB$ Etkileşiminin serbestlik derecesi	(11)
$v_T = v_A + v_B + v_{AxB} + v_C$ $v_T = N - 1$	$v_A = A$ Parametresinin serbestlik derecesi $v_B = A$ Parametresinin serbestlik derecesi $v_{AxB} = AxB$ Etkileşimli serbestlik derecesi $N =$ Toplam deneme sayısı	(12)
$V_e = \frac{SS_e}{v_e}$	$V_e =$ Hata varyansı $v_e =$ Hatanın serbestlik derecesi $SS_e =$ Hatanın kareleri toplamı	(13)
$V_A = \frac{SS_A}{v_A}$ $V_B = \frac{SS_B}{v_B}$ $V_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{v_{AxB}}$	$V_A = A$ Parametresinin varyansı $V_B = B$ Parametresinin varyansı $V_{AxB} = AxB$ Etkileşiminin varyansı	(14)
$F_A = \frac{V_A}{V_e}$ F_{α, n_1, n_2}	$F_A = A$ Parametresine ait F değeri $\alpha =$ Risk $1 - \alpha =$ Güven aralığı $v_1 =$ Payın serbestlik derecesi $v_2 =$ Paydanın serbestlik derecesi	(15)
$SS'_A = SS_A - (V_e)(v_A)$ $P = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100$	$SS'_A = A$ Parametresine göre kareler toplamının beklenen değeri $P =$ Deneye katkı yüzdesi	(16)

Yukarıda verilen formüllere göre Taguchi ile yapılan deney tasarımının varyans analizinde aşağıdaki sıra takip edilebilir. Varyans analizi hem ortalamaya göre hem de gürültü oranı değerine göre yapılabilir [41]

1. Formül 7 kullanılarak her bir parametrenin (SS_A) kareler toplamı hesaplanır.
2. Deney parametreleri arasında bir etkileşim varsa formül 8 kullanılarak etkileşimli parametrenin (SS_{AxB}) kareler toplamı hesaplanır
3. Formül 9 ve 10 kullanılarak kontrol edilebilen parametrelerin (SS_T) Toplam Kareler Toplamı hesaplanır.

4. Kontrol edilebilen parametrelerin ve etkileşimlerin (v_A) serbestlik dereceleri formül 11 kullanılarak hesaplanır.
5. Serbestlik dereceleri hesaplanan her bir parametrenin ve etkileşimin serbestlik dereceleri toplanır (Formül 12).
6. SS_E Deney içerisinde kontrol edilemeyen parametrelerin kareleri toplamıdır. v_e ise kontrol edilemeyen parametrelerin serbestlik dereceleri toplamıdır. Bu işlem için, ortogonal dizinin serbestlik derecesinden kontrol edilebilen parametrelerin serbestlik derecesi çıkartıldığında hatanın (v_e) serbestlik derecesi elde edilmiş olur. Formül 13 kullanılarak hatanın kareleri toplamı hatanın serbestlik derecesine bölüldüğünde hata varyansı elde edilmiş olur.
7. Formül 14 kullanılarak kontrol edilebilen her bir parametrenin ve etkileşimin varyansı hesaplanır. Bu hesaplama da parametrenin kareleri toplamının o parametrenin serbestlik derecesine bölümü ile olur.
8. Her bir parametrenin F değerinin ortaya çıkarılması için formül 15 kullanılmaktadır. Burada sonuç, kontrol edilebilen her bir parametrenin varyansının hata varyansına bölümü ile ortaya çıkar. F değeri tablosu standart olarak bilinen bir tablodur. Çıkan sonuç deneyin bir parametresinin serbestlik derecesi “pay”, hatanın serbestlik derecesi ise “payda” olarak hesaba katılır. Tablo 2.5’ de verilen %95 düzeyindeki güven aralığı için bu verilere karşılık gelen değer seçilir ve böylece güven testi yapılmış olur.
9. Bir parametrenin deneye ne kadar katkı sağladığı formül 16 kullanılarak hesaplanabilir.

Kalite mühendisliğinde tasarım kalitesi (robust design) 3 temel sürece dayanmaktadır. [42] Bunlar;

- Sinyal-gürültü oranı (S/N ratio)
- Dikey dizilim (orthogonal arrays)
- Kayıp fonksiyonu (loss function)“dur.

2.7. Sinyal-gürültü oranı (S/N ratio)

Deneylerden elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü oranına (S/N) çevrilerek değerlendirme yapılır. S/N oranındaki S sinyal faktörünü, N 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/N oranındaki gürültü faktörlerini ifade eden N değeri ne kadar küçük olursa istenen hedef değere o kadar yaklaşımış olur. Yani bu analizde amaç S/N oranını maksimize etmektir. Literatürde pek çok S/N oranı bulunmaktadır [43].

2.8. Ortogonal Dizinler

Bir ortogonal dizin seti deney tasarlamak için kullanılır. Bir ortogonal dizin birkaç farklı durum, deneysel alternatif taşıyabilir. Çoğunlukla kullanılan ortogonal dizinler 2, 3 ve 4 alternatifli faktörlerden oluşur. Bazı dizinler karışık alternatifteki faktörleri içerebilmektedir. Pek çok durumda standart bir ortogonal dizin karışık alternatifte faktörleri içeren bir deneye uygun hale getirilir. Deney tasarım süreci uygun bir ortogonal dizin seçimi, faktörlerin uygun sütunlara atanması ve deney koşullarını belirlemekle başlar. Bir faktörün alternatif değişiminin yanıt üzerindeki etkisi o faktörün etkisi olarak tanımlanır ve bu etkiye ana etki denir. Sadece ana etkilerin göz önünde bulundurulduğu bir deney tasarımında her faktör tek tek ele alınmakta ve her faktörün sistem üzerindeki etkileri ayrı ayrı tespit edilmektedir. Ancak böyle bir yaklaşımda faktörler arasındaki etkileşimler göz ardı edilmiş olacak ve bir faktörün etkisi değerlendirilirken diğer faktörlerin buldukları alternatiflerin sonuçlar üzerinde yarattığı etki yanıltıcı olacaktır. Bundan farklı bir yaklaşımla mümkün olan tüm kombinasyonların denenmesi ise yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açacaktır [44].

Taguchi yöntemi bir tür kesirli faktöriyel tasarım olup, deneylerin tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine ortogonal dizinleri kullanarak sadece bir bölümünün yapılması ile en iyi performans karakteristiğini veren faktör seviyelerinin bulunabileceğini belirtmektedir. Ortogonal dizinler bir sayı matrisi olarak ifade edilir. Her satır seçilen faktörlerin seviyelerini, her sütun ise dikkate alınan faktörleri ifade eder. Ortogonal dizinlerin temel özelliği, deneye tüm faktörlerin eşit deneme sayıları ile katılmalarıdır. $L_a(b^c)$ şeklinde gösterilen ortogonal dizinler Latin kare tasarımından türetildiği için L, Latin kare tasarımını temsil etmektedir. “a” deneylerin sayısını, “b” her kolondaki seviye sayısını, “c” ise faktör sayısını ifade etmektedir. Yapılan deney tasarımına ve amaca göre genellikle 2 ve 3 seviyeli ortogonal dizinler kullanılmaktadır.

En çok kullanılan 2 seviyeli ortogonal dizinler L4, L8, L12 ve L32'dir. En çok kullanılan 3 seviyeli dizinler ise L9, L18, L27'dir. Her iki seviyenin karışık olarak kullanılabilirdiği L18, L36, L54 gibi ortogonal dizinler de vardır [45]. Tablo 2.7.'de Taguchi ortogonal dizisi ve Tablo 2.6'da Taguchi L9 dizaynı gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Taguchi L9 Ortogonal Dizaynı [45]

Deneme no	Parametreler		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Tablo 2.7. Taguchi Ortogonal Dizi Seçimi [41]

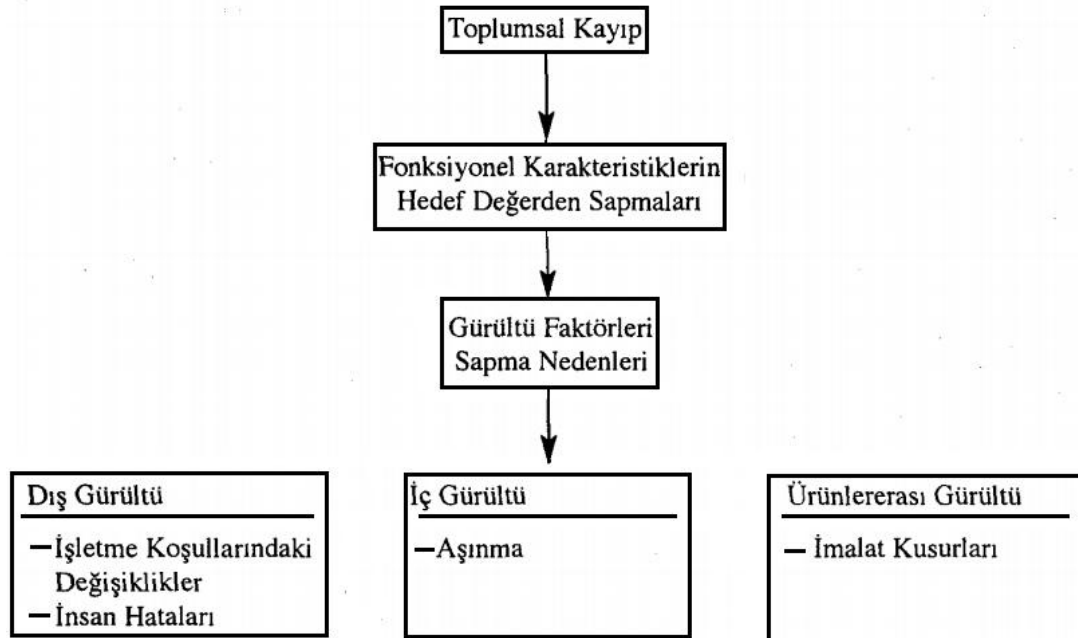
Parametre Sayısı	Seviye Sayısı						
	2	3	4	5			
P = 2, S = 2	L4	P = 2, S = 3	L9	P = 2, S = 4	L'16	P = 2, S = 5	L25
P = 3, S = 2		P = 3, S = 3		P = 3, S = 4		P = 3, S = 5	
P = 4, S = 2	L8	P = 4, S = 3	L18	P = 4, S = 4	L'32	P = 4, S = 5	L50
P = 5, S = 2		P = 5, S = 3		P = 5, S = 4		P = 5, S = 5	
P = 6, S = 2	L11	P = 6, S = 3	L27	P = 6, S = 4	L'32	P = 6, S = 5	L50
P = 7, S = 2		P = 7, S = 3		P = 7, S = 4		P = 7, S = 5	
P = 8, S = 2	L16	P = 8, S = 3	L36	P = 8, S = 4	L'32	P = 8, S = 5	L50
P = 9, S = 2		P = 9, S = 3		P = 9, S = 4		P = 9, S = 5	
P = 10, S = 2	L27	P = 10, S = 3	L36	P = 10, S = 4	L'32	P = 10, S = 5	L50
P = 11, S = 2		P = 11, S = 3		P = 11, S = 4		P = 11, S = 5	
P = 12, S = 2	L32	P = 12, S = 3	L36	P = 12, S = 4	L'32	P = 12, S = 5	L50
P = 13, S = 2		P = 13, S = 3		P = 13, S = 4		P = 13, S = 5	
P = 14, S = 2	L36	P = 14, S = 3	L36	P = 14, S = 4	L'32	P = 14, S = 5	L50
P = 15, S = 2		P = 15, S = 3		P = 15, S = 4		P = 15, S = 5	
P = 16, S = 2	L50	P = 16, S = 3	L50	P = 16, S = 4	L'32	P = 16, S = 5	L50
P = 17, S = 2		P = 17, S = 3		P = 17, S = 4		P = 17, S = 5	
P = 18, S = 2	L50	P = 18, S = 3	L50	P = 18, S = 4	L'32	P = 18, S = 5	L50
P = 19, S = 2		P = 19, S = 3		P = 19, S = 4		P = 19, S = 5	
P = 20, S = 2	L50	P = 20, S = 3	L50	P = 20, S = 4	L'32	P = 20, S = 5	L50
P = 21, S = 2		P = 21, S = 3		P = 21, S = 4		P = 21, S = 5	
P = 22, S = 2	L50	P = 22, S = 3	L50	P = 22, S = 4	L'32	P = 22, S = 5	L50
P = 23, S = 2		P = 23, S = 3		P = 23, S = 4		P = 23, S = 5	
P = 24, S = 2	L50	P = 24, S = 3	L50	P = 24, S = 4	L'32	P = 24, S = 5	L50
P = 25, S = 2		P = 25, S = 3		P = 25, S = 4		P = 25, S = 5	
P = 26, S = 2	L50	P = 26, S = 3	L50	P = 26, S = 4	L'32	P = 26, S = 5	L50
P = 27, S = 2		P = 27, S = 3		P = 27, S = 4		P = 27, S = 5	
P = 28, S = 2	L50	P = 28, S = 3	L50	P = 28, S = 4	L'32	P = 28, S = 5	L50
P = 29, S = 2		P = 29, S = 3		P = 29, S = 4		P = 29, S = 5	
P = 30, S = 2	L50	P = 30, S = 3	L50	P = 30, S = 4	L'32	P = 30, S = 5	L50
P = 31, S = 2		P = 31, S = 3		P = 31, S = 4		P = 31, S = 5	

2.9. Kayıp Fonksiyonu

Taguchi kaliteyi, ürünün yeterli bir kalite düzeyine ulaşmaması durumunda uğradığı kayıp olarak tanımlamaktadır. Bu kayıp müşterinin memnuniyetsizliği, yenileme veya tamir maliyetleri, pazardaki imaj kaybı ve pazar payı kaybı olarak ifade edilebilir. Taguchi oldukça istatistiksel olan yaklaşımına bağlı kalarak bir ürünün yalnızca spesifikasyonlara uymaması durumunda değil, aynı zamanda bir hedef değerden sapması durumunda da bu kaybın ortaya çıkacağını ifade etmektedir. Kalite kaybı, bir ürün teslim edildikten sonra topluma yüklenen bir kayıptır. Bu toplumsal kayıp bir ürünün istenilebilirliğini belirler. Burada kaybın az olması ürünün istenilebilirliğini artırır. Taguchi için toplumsal kayıp kalite maliyetine ilişkin kararları etkiler. Diğer bir deyişle, kalite geliştirme için yapılan yatırımlar, yalnızca işletmede değil, toplumda yaratacağı tasarruflarla karşılaştırılmalıdır. Sonuçta, toplum işletmeyi toplumda sağlayacağı tasarruflara bakarak ödüllendirecek veya cezalandıracaktır [17].

Tablo 2.8.'de Taguchi'nin topluma olan kaybını gösteren tablo yer almaktadır.

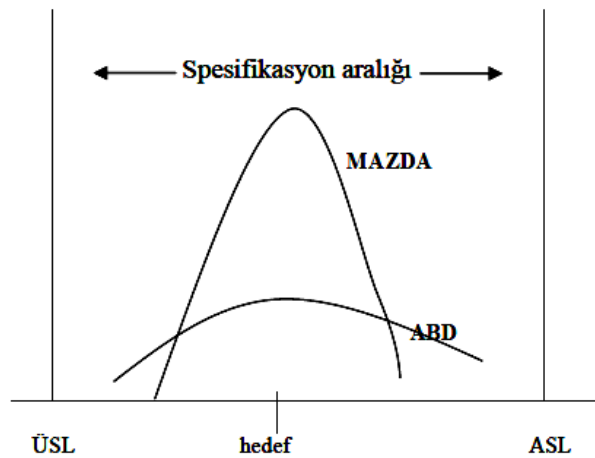
Tablo 2.8. Topluma Olan Kaybın Yapısı [47]



Taguchi'nin yaklaşımında tasarım kavramının yanı sıra kayıp kavramı önemli bir yere sahiptir. Taguchi kaliteyi, ürünün istenilen kalite seviyesine ulaşmaması durumunda uğradığı kayıp olarak tanımlamıştır. Bu kayıp müşterinin memnuniyetsizliği, yenileme

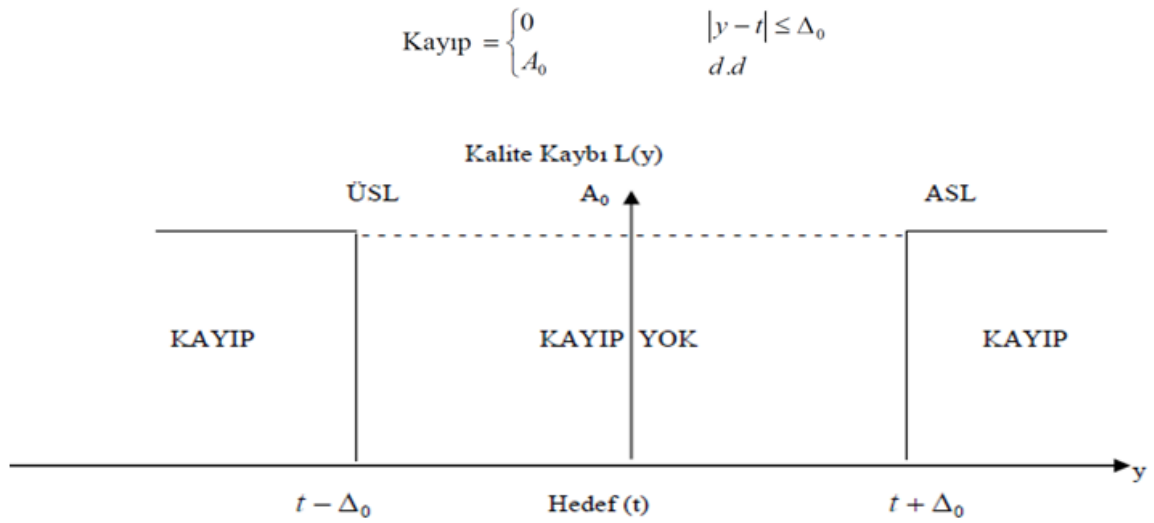
veya tamir maliyetleri, pazardaki imaj kaybı ve pazar payı kaybı olarak ifade edilebilir. Bu yaklaşımda bir ürün, spesifikasyonları karşılayabilir; fakat müşteri şartlarını (hedef değeri) karşılamayabilir. Taguchi kaybın sadece spesifikasyonlara uymaması durumunda değil, hedef değerden sapması durumunda da ortaya çıkabileceğini ifade etmektedir [46].

Taguchi yaklaşımını desteklemek üzere pek çok örnek verilebilir. Bunlardan biri de Şekil 2.4.'de gösterilen Ford örneğidir. Ford Şirketi'nin 1980'lerdeki bir deneyimi, parça üretiminde hedef değerden sapma sonucunda oluşan değişkenliğin, işletmeye parasal kayıp olarak döndüğünü ortaya koymuştur. Ford Şirketi, imal etmekte olduğu otomobillere şanzıman üretmek üzere iki ayrı firmaya sipariş vermiştir. Tedarikçi firmalardan biri Ford Şirketi'nin A.B.D.'deki kendi üretim tesisi, diğeri ise Japon Mazda firmasıdır. Her iki firmada şanzımanları, Ford'un spesifikasyonlarına uygun olarak üretilip teslim ederler. Garanti süresi içinde şanzıman sorunlarından kaynaklanan garanti talepleri ortaya çıkar. Ford yetkilileri sorunlu şanzımanları üretici firmaya göre sınıflandırdıklarında, A.B.D. firmasının ürettiği parça grubunun sayısal olarak diğerinden birkaç kat daha fazla olduğunu görürler. Bunun üzerine parçaların bazı kritik performans değerlerinin olasılık dağılımlarını hesaplarlar. Burada her iki firmanın ürettiği parçaların performans ortalamaları aynı olmakla birlikte, A.B.D. firmasının parçalarının performanslarının standart sapması, dolayısıyla varyansı Mazda'ninkilerden daha fazladır. Bu durumda A.B.D. firmasının parçaları daha sık arıza yapıp Ford'un maliyetlerini arttırmaktadır [25].



Şekil 2.4. Ford Örneği [25]

Geleneksel kalite kontrol anlayışında parçalar hedef değerden sapmalarına bakılmaksızın spesifikasyon sınırları içinde olup olmadıklarına göre değerlendirilirler. Şekil 2.5.'de geleneksel kayıp anlayışı gösterilmiştir. Parça, sınırların dışında ise hurdaya ayrılır, içinde ise kabul edilir. Firma açısından kayıp ya tamdır ya da sıfırdır [25]. Burada, y performans karakteristiğini ve t hedef değeri gösterir. A_0 sınırların dışındaki kaybı ifade etmektedir.



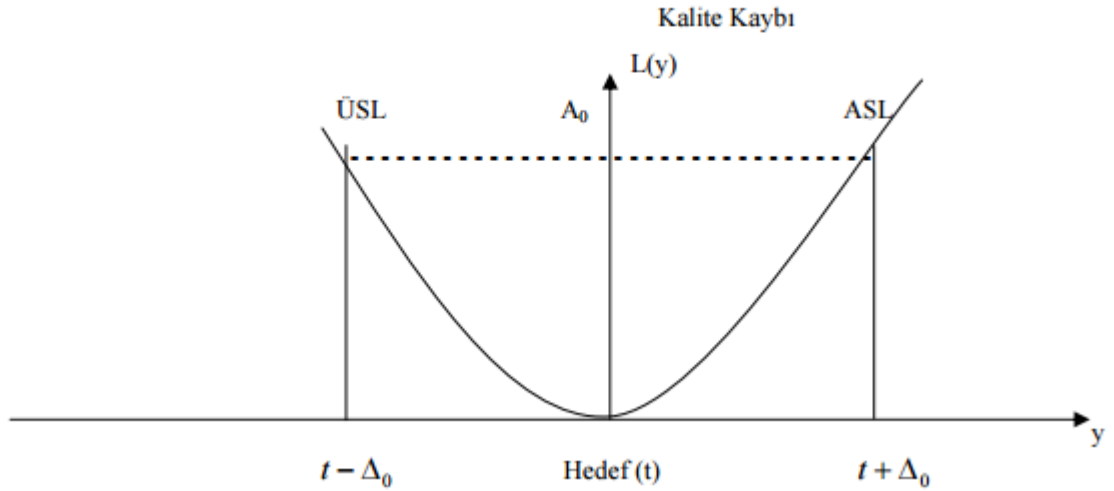
Şekil 2.5. Geleneksel Kayıp Anlayışı [30]

Taguchi bu geleneksel görüşün yerine, ürünün yalnızca spesifikasyonlara uymaması durumunda değil aynı zamanda hedef değerden sapması durumunda da kaybın ortaya çıkacağını, hedef değerde olmayan her ürün karakteristiğinin toplumsal kayba neden olduğunu ifade etmektedir. Bu ifadeyi karesel kayıp fonksiyonu ile açıklamıştır.

Eşitlik de y değişkenin ölçülen değeri, t hedef değerdir ve k ise sapmayı para birimine çeviren katsayı olarak kullanılır.

$$\text{Kayıp} = k(y - t)^2$$

Taguchi kalite kaybını ikinci dereceden (karesel) kayıp fonksiyonu (Şekil 2.6.) ile açıklayarak parasal kaybı fonksiyonel spesifikasyonlarla birleştirmiştir. Hedef değerden sapma arttıkça kayıp, sapmanın karesi miktarında artmaktadır. Bu fonksiyon hedef değer en iyi olarak kabul edildiği durumdur. Performans karakteristiği y 'nin hedeften sapması ile y simetrik olarak artar [30].



Şekil 2.6. Taguchi Kayıp Fonksiyonu [30]

2.10. L9 Deneyleri

L9 deneyi hakkında incelemiş olduğum çalışmada, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin yüzey frezeleme işlemi sonrası oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Tablo 2.9’da gösterildiği gibi malzeme sertliği (M), ilerleme hızı (f) ve kesme hızı (V_c) değişken olarak seçilmiş, bu faktörlerin her biri için üç farklı seviye belirlenmiştir [48].

Tablo 2.9. Deneylerde Kullanılan Kontrol Faktörleri ve Seviyeler

Sembol	Kontrol Faktörleri	Birim	Seviyeler			
			Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
A	Malzeme Sertlik	HRC	M	M1	M2	M3
B	İlerleme Hızı	mm/dev	f	0,05	0,10	0,15
C	Kesme Hızı	m/dak	V_c	70	90	110

Deney sonuçlarında, %95 ($\alpha=0,05$) güven düzeyinde Anova analizleri uygulanarak, yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. Taguchi deney tasarımı ve Anova analizlerinin değerlendirilmesinde Minitab15 paket programı kullanılmıştır.

AISI D2 soğuk iş takım çeliği üzerinde, Taguchi’nin L9 deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, elde edilen R_a değerleri ile hesaplanan S/N

oranları, Tablo 2.10.'da verilmiştir. Tablo 2.10'a göre yüzey pürüzlülük aritmetik ortalaması (TRa) 0,193 μm , Ra-S/N oranı aritmetik ortalaması (TRa) 14,485 dB olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2.10. Deney Sonuçları ve S/N Oranları

Deney Numarası	Kontrol Faktörü			Yüzey Pürüzlülük	Ra - S/N oranı
	A	B	C	Ra (μm)	(dB)
1	1	1	1	0,140	17,0774
2	1	2	2	0,169	15,4423
3	1	3	3	0,263	11,6009
4	2	1	2	0,168	15,4938
5	2	2	3	0,230	12,7654
6	2	3	1	0,148	16,5948
7	3	1	3	0,199	14,0229
8	3	2	1	0,168	15,4938
9	3	3	2	0,255	11,8692

TRa (Ra aritmetik ortalaması) = 0,193 μm

TRa (Ra-S/N aritmetik ortalaması) = 14,485 dB

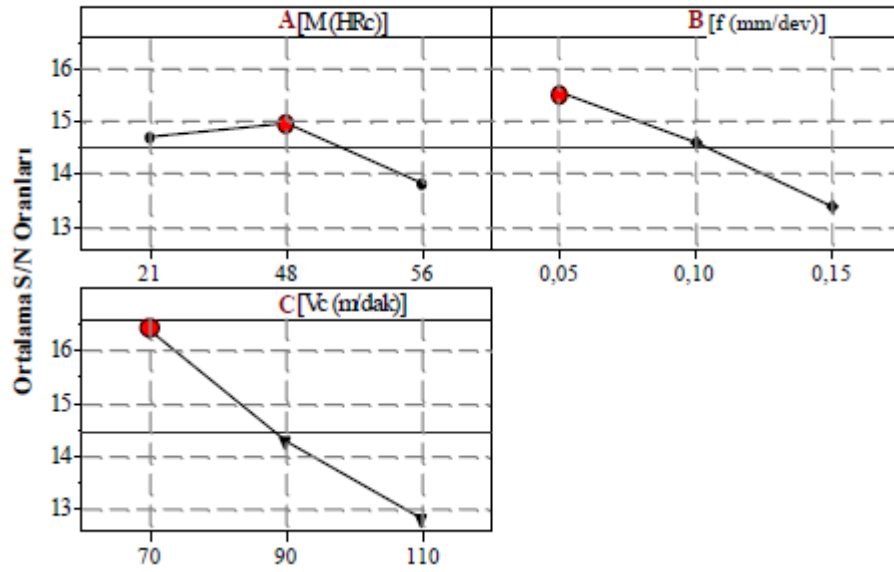
Analizlerde, yüzey pürüzlülüğüne kontrol faktörlerinin etkisi (M, f, Vc), Tablo 2.11.'de verilmiştir. Kontrol faktörlerine ait optimum seviyelerin belirlenmesinde Taguchi yöntemiyle oluşturulan S/N yanıt tablosu kullanılmaktadır. Taguchi teknikleri kullanılarak oluşturulan bu tablodaki en büyük S/N değerleri, o kontrol faktörüne ait optimum seviyeyi göstermektedir.

Tablo 2.11. S/N yanıt tablosu

Seviyeler	Kontrol Faktörleri		
	Yüzey Pürüzlülük (Ra)		
	A	B	C
Seviye 1	14,71	15,53	16,39
Seviye 2	14,95	14,57	14,27
Seviye 3	1,16	13,35	12,80
Delta	1,16	2,18	3,59

Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörü optimum seviyeleri koyu ile gösterilmiştir.

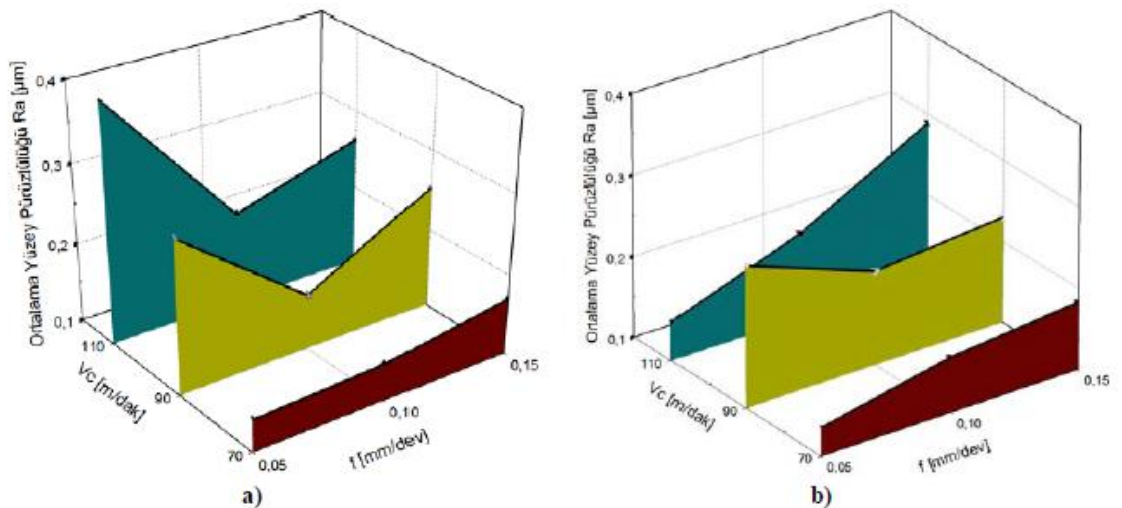
Taguchi yöntemiyle elde edilen kontrol faktörlerinin etkilerini gösteren S/N ana etki grafiği Şekil 2.7.'de verilmiştir.

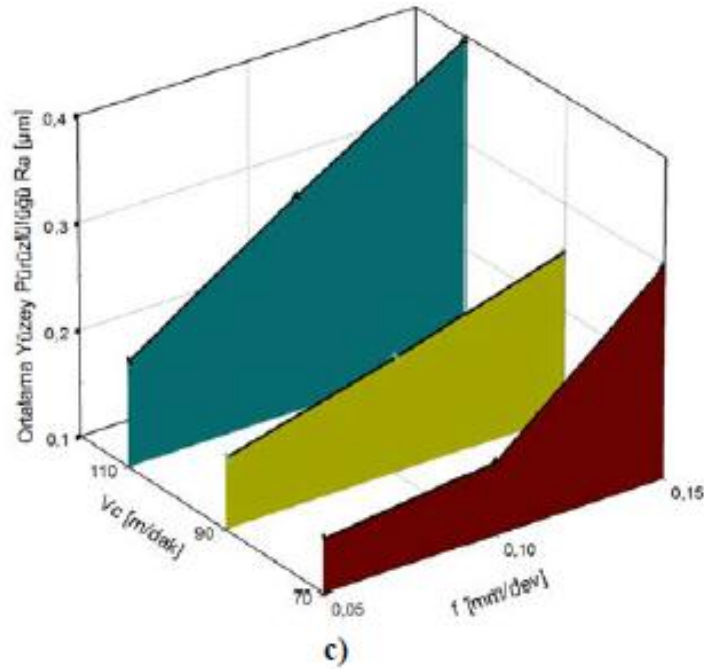


Şekil 2.7. S/N Oranları Ana Etki Grafiği

2.10.1. Deneyslerde Elde Edilen Sonuçlar

S/N oranları ve seviyelere göre; R_a için A faktörü S/N=14,95, B faktörü S/N=15,53 ve C faktörü=16,39 optimum değerlerine sahiptir. Bir başka ifadeyle, R_a için; 48 HRc sertlikteki M2 deney malzemesi (A2), 0,05 mm/dev f ilerleme hızı (B1) ve 70 m/dak V_c kesme hızı (C1) optimum değerleridir. Şekil 2.7.'de farklı sertliklere sahip deney malzemelerinin (M1: 21 HRc, M2:48 HRc, M3:56 HRc), deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Taguchi L9 deney tasarımı sonuçlarıyla deneyler sonucunda elde edilen veriler aynıdır.





Şekil 2.8. İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri a)M1, b)M2, c)M3

Şekil 2.8. incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü değeri en düşük Şekil 4-b'de 48 HRc sertlikteki deney malzemesinde, 70 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında olduğu görülmektedir ($Ra=0,135 \mu m$).

2.10.2. Anova Sonuçları

Deney tasarımında kullanılan tüm kontrol faktörlerinin birbiriyle olan etkileşimlerinin belirlenmesinde, Anova yöntemi kullanılmıştır. Tablo 2.12.'de yüzey pürüzlülüğü için Anova sonuçları görülmektedir. Her bir değişkenin sonuçlar üzerindeki anlamlılık düzeyini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi DF , kareler toplamı SS , kareler ortalaması MS , F değerleri ve yüzde etki oranları PCR görülmektedir. Bu analiz % 95 güvenirlilik ve %5 önem seviyeleriyle gerçekleştirilmiştir. Anova'daki kontrol faktörlerinin etkisi F değerlerinin karşılaştırılmasıyla belirlenir. F değeri en büyük olan faktör, sonuca en fazla etki eden faktördür. Anova sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametre %55,66 oranla kesme hızıdır (C). Anova sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etki eden kontrol faktörleri sırasıyla; C (kesme hızı- V_c) %55,66, B (ilerleme hızı- f) %25,57 ve A (deney malzeme sertliği- M) %5,92 etki oranlarına sahiptir. Analiz hesaplanmasında oluşan hata %12,85 etki oranında kalmıştır.

Tablo 2.12.Yüzey Pürüzlülüğünün Varyans Analizi

Kontrol Faktörü	Serbestlik Derecesi [DF]	Kareler Toplamı [SS]	Kareler Ortalaması [MS]	F Oranı	P Değeri	Etki Oranı [PCR] (%)
A	2	0,000995	0,000497	0,46	0,685	5,92
B	2	0,004298	0,002149	1,99	0,335	25,57
C	2	0,009355	0,004677	4,33	0,188	55,66
Hata	2	0,002161	0,001080			12,85
Toplam	8	0,016808				100

2.10.3. Optimum Yüzey Pürüzlülüğü

Taguchi optimizasyon tekniğiyle, doğrulama deneylerinin gerçekleştirilmesi için optimum koşullar belirlenir. Optimum yüzey pürüzlülüğü tahmini değerleri hesaplanmasında Eş.1'de kullanılmıştır.

$$Ra_p = T_{Ra} + (A_2 - T_{Ra}) + (B_1 - T_{Ra}) + (C_1 - T_{Ra}) \quad (1)$$

Bu eşitlikte; A2B1C1 optimum koşulu için yüzey pürüzlülük aritmetik ortalaması Rap Tablo 2.10.'daki ve deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük aritmetik ortalaması Tra Tablo 2.13.'deki veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörü ortalama tepki değerleri Tablo 2.13.'de görülmektedir.

Tablo 2.13. Ortalama Tepki Tablosu

Seviyeler	Kontrol Faktörü Yüzey Pürüzlülüğü $Ra (\mu m)$		
	A	B	C
Seviye 1	0,1907	0,1690	0,1520
Seviye 2	0,1820	0,1890	0,1973
Seviye 3	0,2073	0,2220	0,2307
Delta	0,0253	0,0530	0,0787

Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörü optimal seviyeleri koyu ile gösterilmiştir.

Eş.1'de Tablo 2.10. ve Tablo 2.13.'den alınan değerler yerlerine konulduğunda $Rap=$ 0,117 μm olarak hesaplanır.

2.10.3. Doğrulama Deneyleri

Taguchi metodunda, değişken seviyelerin optimal değerlerinin belirlenmesinden sonra yapılan doğrulama deneylerinde elde edilen sonuçlar, optimizasyon değerleri aralığında olmalıdır. Yüzey pürüzlülüğü R_a için belirlenen değişken seviyelerin optimum değerleri (A2B1C1) ve gerçekleştirilen doğrulama deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde, Eş.2 ve Eş.3'den hesaplanan Güven Aralığı (CI) sonuçları dikkate alınır.

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;f_e} \cdot V_e \cdot X \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (2)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + [T_{dof}]} \quad (3)$$

Eş.2'de yer alan $F_{\alpha;1;f_e}$, α önem seviyesini, f_e serbestlik derecesinin hatasını, V_e varyansın hatasını, n_{eff} gerçek tekrar sayısını ve r doğrulama deneyi tekrar sayısını göstermektedir. Eş.3'te ise N toplam deney sayısını ve T_{dof} ise serbestlik derecesinin ana faktörlerinin toplamını ifade etmektedir.

$F_{0.05;1;2} = 18,5128$ (F test tablosundan), $V_e = 0,001080$ $r = 3$, $n_{eff} = 3,857$. Eş.5'te değerler yerlerine konulduğunda Güven Aralığı (CI) $= \pm 0,106$ olarak bulunmuştur. %95 güvenirlikte tahmini ortalama optimal yüzey pürüzlülüğünün güven aralığı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$[Rap] - [CI] < Rad < [Rap] + [CI] \dots [0,117-0,109] < Rad < [0,117+0,109] = [0,008] < \mathbf{0,135} < [0,226]$$

Doğrulama deney sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülük değeri $R_{ad} = 0,135 \mu m$, güven aralığı değerleri içinde yer aldığından, Taguchi yöntemiyle 0,05 anlamlılık düzeyinde optimizasyonun başarılı olduğu görülmüştür.

3. BÖLÜM

UÇAK PNÖMATİK SİSTEMLERİ VE BASINÇLI BÖLGELER

3.1. Pnömatik

Pnömatik, Yunanca bir kelime olan pneuma (hava, rüzgar) kelimesinden türetilmiştir. Basınçlı havanın davranış ve özelliklerini inceleyen bilim dalıdır. Önceleri sadece havanın basıncından yararlanılarak çalışan birçok makine, araç ve gereç vardı. Diğer enerji çeşitlerine göre dar ve kısa alanda daha hızlı, kolay elde edilen, ucuz olan hava enerjisi son zamanlarda durumu değiştirilerek kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle otomasyon ile üretimde durum değişikliğinden fazlaca yararlanılmaktadır. Hava atmosferde bol miktarda bulunmaktadır. Uygun yöntemlerle alınıp, depolanabilir, basınç kazandırılabilir. Her durumda değişim gösterir. Bu değişimler ne olursa olsun tekrar atmosfere bırakılabilir. Özel gazlarda böyle bir durum söz konusu değildir. Havanın atmosferde bol miktarda bulunması, elde edilmiş (hammadde) maliyetinin düşük olmasını sağlar. Havanın depolanması da mümkündür. Depolanması sırasında basınçlı, basınçsız her türlü kaptaki depolanabilir. İstenildiği an kullanıma hazırdır. Kullanım hızı da çok yüksektir. Basınçlı havanın bir enerji olarak kullanılması çok eski yıllara rastlar. Madencilikte, otomobillerde ve demiryollarındaki havalı frenlerde uzun zamandan beri basınçlı havadan yararlanılmaktadır. Endüstriyel alanlardaki uygulamaların yaygınlaşması ise 1950 yıllarında başlar. Endüstrinin hemen her alanında iş parçalarının sıkılması, gevşetilmesi, ilerletilmesi, doğrusal ve dairesel hareketlerin üretilmesi gibi çeşitli işlemler için pnömatik sistemlerden yararlanıldığında daha ekonomik ve hızlı çözümler üretilebilmektedir [49].

Pnömatik sistemlerin uygulama alanları seçilirken yapılacak işin özelliklerine göre seçim yapılmalıdır.

Pnömatik sistemler genel olarak aşağıdaki alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [49].

- Robot teknolojileri
- Tarım ve hayvancılık
- Elektronik ve madencilik sanayi
- Gıda, kimya ve ilaç sanayi
- Otomatik dolum üniteleri
- Taşımacılık işlemleri

Otomasyon ve robotik uygulamalar

- Dolum ve ambalaj makineleri
- Temizlik işlemleri
- Boyama işlemleri
- Montaj hatları
- CNC makineler
- Vakum uygulamaları (tutma ve taşıma işlevi)
- Gemi ve denizcilik endüstrisi
- İş makineleri ve motorlu araçlar

3.2. Pnömatiğin Endüstrideki Yeri ve Önemi

Endüstriyel sistemlerde pnömatiğin kullanılmadığı alan yok gibidir. Bir fabrika projesi hazırlanırken elektrik, ısıtma, soğutma, havalandırma gibi tesisatların yanı sıra basınçlı hava tesisatı da hazırlanmaktadır. Orta ve büyük ölçekli işletmelerin tamamında küçük işletmelerin ise bir kısmında pnömatik sistemler kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi gibi pnömatik enerji de işletmelerin olmazsa olmazlarından biridir.

Pnömatik sistemlerin avantajlarını açıklayacak olursak;

Pnömatik sistemlerde gerekli olan hava kolayca ve her yerde sınırsız ölçüde bulunabilir. Havanın sürtünme kayıpları azdır, uzak mesafelere taşınabilir. Basınçlı hava kullanılan ortamlar temizdir. Sistemde meydana gelebilecek sızıntılar çevreyi kirletmez.

- ✓ Pnömatik devre elemanlarının yapıları basit ve ucuzdur.
- ✓ Montaj ve bakımları kolaydır.
- ✓ Basınçlı havanın yanma ve patlama tehlikesi yoktur.
- ✓ Havanın sıcaklığa karşı duyarlılığı azdır. Hız ayarları sıcaklıkla değişmez.
- ✓ Basınçlı hava gerektiğinde kullanılmak üzere depo edilebilir.
- ✓ Yüksek çalışma hızları elde edilebilir. Piston hızı 3 m/sn'ye ulaşabilir

Pnömatik sistemlerin dezavantajlarını açıklayacak olursak;

- ✓ Basınçlı havanın devre elemanlarına zarar vermemesi için öncelikle işlenmesi gerekmektedir.
- ✓ Çalışma basıncına bağlı olarak maksimum 4-5 tonluk kuvvetler elde edilebilir.
- ✓ Sistemde işi biten hava dışarı atılırken gürültü yapar.
- ✓ Hava sıkıştırılabilir özellikte olduğundan düzgün bir hız elde etmek zordur.
- ✓ Yüksek çalışma basınçları elde edilemez [49].

3.3. Pnömatik Sistemler

Pnömatik sistemlerde basınçlı havanın bir enerji olarak kullanılması endüstriyel çalışmalara da büyük katkılar sağlamıştır. Diğer enerji türlerinin petrole dayalı kaynaklardan elde edilmesi hem maliyet hem de çevre sağlığı açısından birçok olumsuzluğu da beraberinde taşımaktadır. Pnömatik sistemler çevre dostu sistemler olarak da bilinmektedir.

Pnömatik, gaz basıncı ile çalışan, hareket eden makine demektir. Endüstride, basınçlı ve kontrol edilebilen gaz ile çalışan sistemlere de “Pnömatik Sistemler” denir. Endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan gaz, hava olmakla beraber karbondioksit ve azot gibi gazlar da kullanılabilir [50].

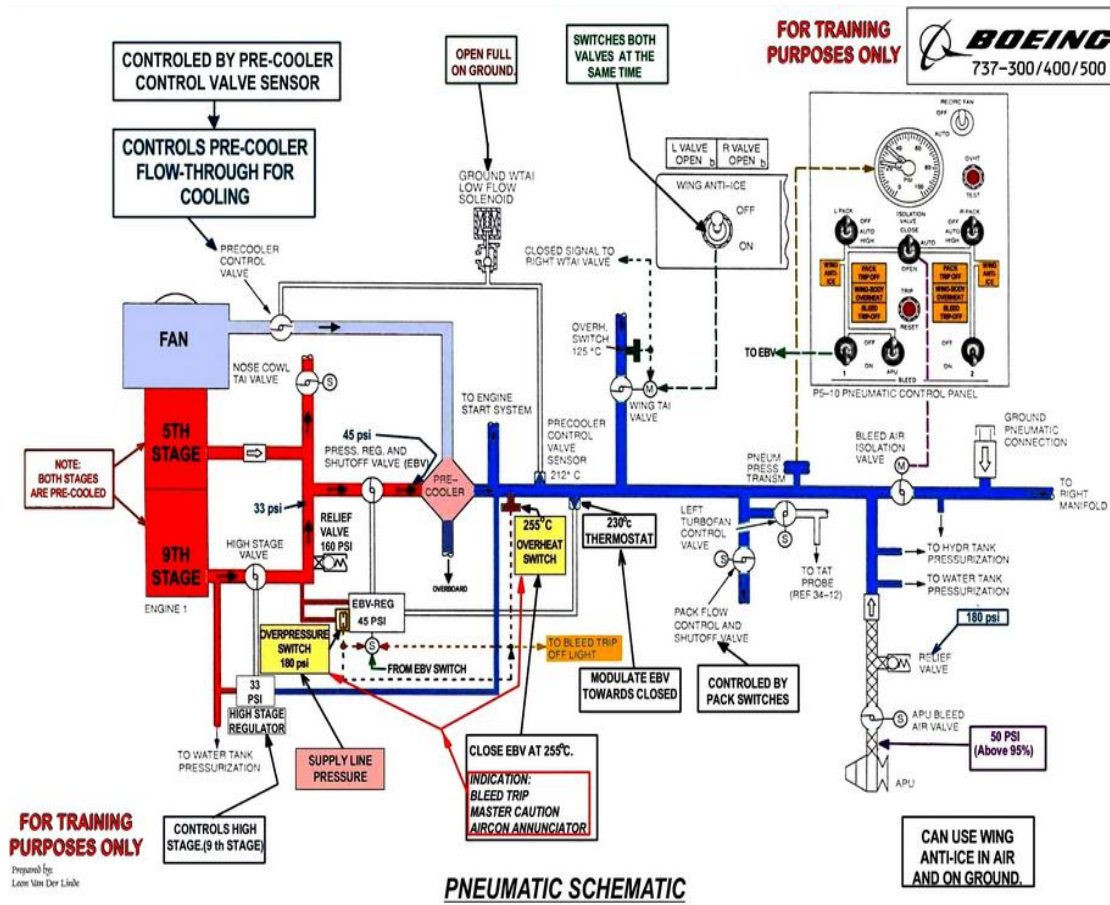
Pnömatik sistemlerin iş yapma biçimlerinden bazıları; hava el aletlerinin, doğrusal hareket cihazlarının, kapı açma sistemlerinin ve döner hareketli cihazların çalıştırılmasını içerir. Pnömatik kaldırma cihazı birçok ağır sanayi tesislerinde bulunabilir; pnömatik konveyörler ise ham maddelerin işlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Pnömatik sistemler, kimyasal işlem cihazında ve büyük kapasiteli iklimlendirme sistemlerinde mevcut akış valflerinin kontrolünde bulunur. Daha gelişmiş sistemlerde ise, sıralama kontrol valflerini çalıştırmak için pnömatikten, elektrik rölelerinden olduğu biçimde yararlanılır [51].

Bir sanayi tesisinde bulunan bir pnömatik sistem, genellikle basınçlı hava kullanılır. Bu basınçlı hava vasıtasıyla; matkap, sıkma anahtarı, talaş kaldırma aletleri gibi havalı el aletleri ile birlikte mengene, torna aynası ve diğer sıkma aparatları çalıştırılır [51].

3.4. Uçak Pnömatik Sistemi

Pnömatik sistemin amacı, tüm uçuş ve yer işlemlerinde belirlenmiş basınç ve sıcaklıkta uçak sistemlerine basınçlı hava temin etmektir. Hava, motor içinden geçen havadan (engine bleed), APU’ dan ya da yer kaynaklarından temin edilir. Şekil 3.1.’ de Boeing uçak tiplerinin pnömatik sistem şeması gösterilmiştir.

Pnömatik sistem, motor hava kaynaklarından sağlanan havanın sıcaklığını ve basıncını kontrol eder. Sistem; hava koşullandırma, basınçlandırma, kanat ve motor kaportası buzlanma önleme, su sistemi, hidrolik sistem ve motor sistemi için basınçlı hava sağlar. Motor bleed havasının normal kaynağı, motorun orta basınç kademesinden sağlanır. Motorun düşük devirlerinde orta basınç kademesi, pnömatik sistem için yetersiz olacağından yüksek basınç kademesi çıkışındaki yüksek kademe valfinin açılmasıyla sisteme takviyede bulunulur. Orta basınç kademesi üzerindeki çek valf ters akışı önler [52].



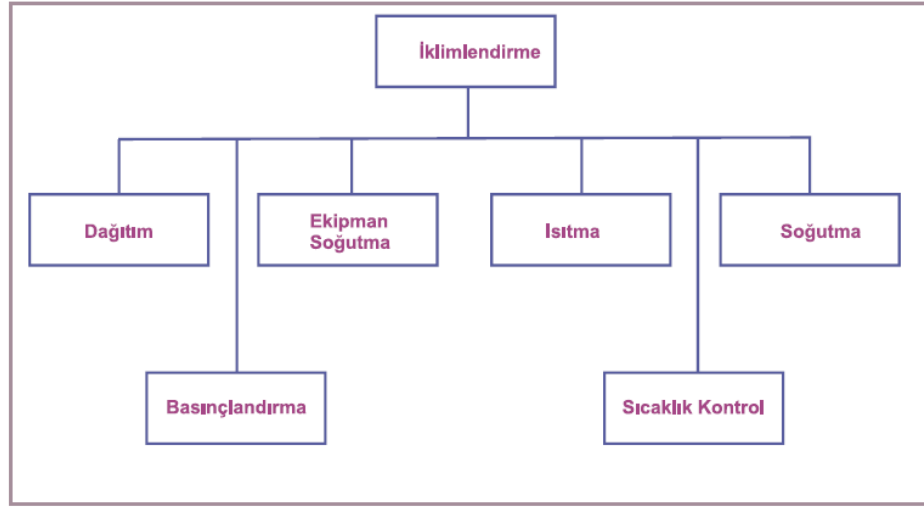
Şekil 3.1. Boeing Uçaklarında Pnömatik Sistem Şeması [53]

3.5 Uçak İklimlendirme Sistemi

Uçak motorları ve APU tarafından tedarik edilen hava uçak iklimlendirme sisteminde önemli görevleri yerine getirir.

Uçaklarda iklimlendirme sistemleri, hava taşımacılığında konfor kavramına etki eden basınç, sıcaklık, nem, hava miktarı gibi parametrelerin havacılık otoriteleri tarafından istenilen seviyelerde tutmak için dizayn edilmişlerdir. Yüksek irtifalar uçuş yüksekliği seçildiğinden ve bütün bu konfor faktörleri çoğu zaman hayati önem taşır. Bu faktörlerin iyileştirilmesi yolcuya rahat ve huzurlu bir seyahat imkanı sağladığı gibi gökyüzünde yaşamı sürdürmenin de şartıdır [54]. Tablo 3.1.' de uçak iklimlendirme sistemi gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Uçak İklimlendirme Sistemi [55]



3.6. Pnömatiğin Temel Prensipleri

3.6.1. Basınç ve Vakum Kavramı

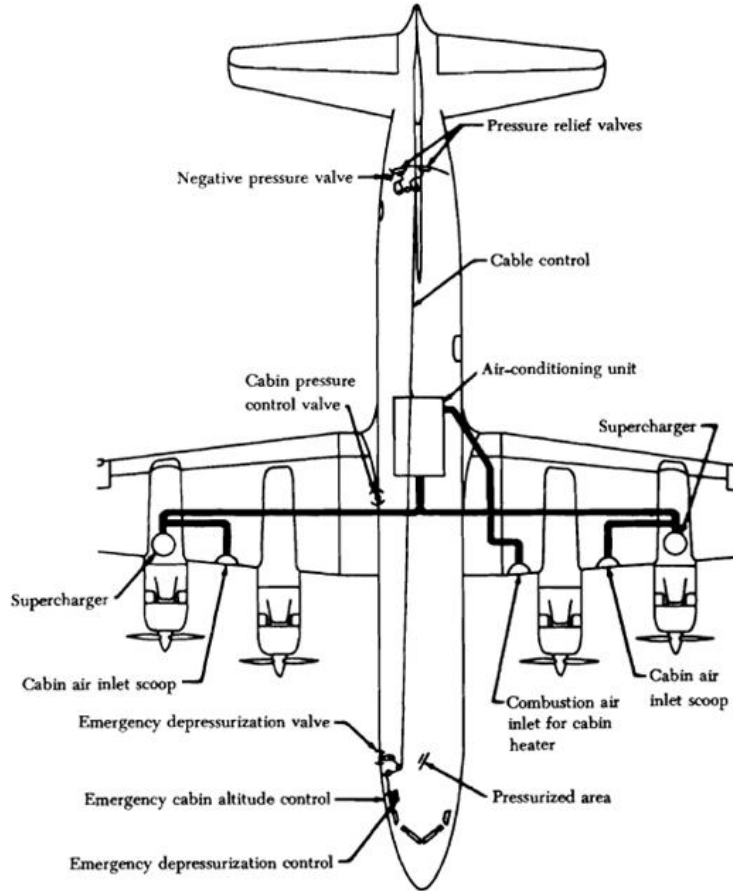
Pnömatik sistemde basınç, kompresörler tarafından, vakum ise vakum enjektörleri ya da vakum pompaları tarafından üretilmektedir. Her iki elemanın çalışma prensipleri birbirine göre terstir. Kompresörler bir ortama hava basıp basınç oluştururken, vakum üreteçleri ise ortamdaki havayı emerek basıncı yok etmeye çalışır [56].

Bir uçak aynı hızda yüksek irtifalarda uçarken, düşük irtifada yaktığına oranla daha az yakıt harcar. Diğer bir deyişle uçaklar yüksek irtifada daha verimlidir. Ek olarak, fırtınaların üzerindeki nispeten düzgün havada uçarak, kötü hava koşullarından ve türbülanslardan kaçınılmış olur. İklimlendirme ve basınçlandırma sistemi olmayan uçaklar genellikle düşük irtifada uçmaya mahkûmdur.

Bir kabin basınçlandırma sistemi, yolculara rahatlık ve güvenlik bakımından elverişli ortam sağlamak için birçok fonksiyonu yerine getirmek zorundadır. Kabin basınç sistemi, uçağın çıkabileceği maksimum yüksekliklerde bile kabin irtifasını yaklaşık 8.000 ft. de sabit tutacak kapasitede olmalıdır. Aynı zamanda sistem, yolcu ve uçuş ekibine rahatsızlık veya zarar verecek ani kabin irtifası değişikliklerinden kaçınacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Ek olarak basınçlandırma sistemi makul bir hızda, havanın kabin içinden dışına doğru akışını sağlamalıdır. Bu, havadaki kokunun ve bayatlığın geçmesi için önemlidir.

Tipik bir basınçlandırma sisteminde kabin, kokpit ve kargo dahil, dış atmosfer basıncından daha yüksek basınca maruz kalacak dayanımda mühürlenmiş olmalıdır. Basınçlı hava, en yüksek irtifada bile nispeten sabit hacimde havayı mühürlenmiş gövdeye, kabin süper şarjları ile pompalanır. Hava; gövdeden dışarı, out flow valfi denilen bir cihaz ile bırakılır. Süper şarjlar basınçlı bölgeye hava sağlar ve out flow valfi da dışarıya havanın çıkışına izin vererek kabin basıncını dengeler. Bunlar başlıca basınçlandırma kontrol sistemidir.

Out flow valfinden geçen hava, valfin açılma derecesi ile ayarlanır. Bu valf, uçuş ekibi tarafından ayarlanabilen otomatik bir sistem tarafından kontrol edilir. Çoğu zaman otomatik kontrol sadece izlenmesi gerekirken bazı durumlarda birkaç ufak ayar yapılması gerekebilir. Otomatik kontrolde bir arıza meydana gelmesi durumunda el ile de kontrolü mümkündür. Temel basınçlandırma sisteminin şematik görünümü Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Uçak Temel Basınçlandırma Sisteminin Gösterimi [56]

3.6.2. Basınç ve Yükseklik

Yükseklere çıkıldıkça oksijen transferinin miktarı düşer. 3 000 m. yükseklikten sonra O₂ azlığı kendini göstermeye başlar. Bir insan normalde almış olduğu havanın sadece 3/4' ünü alabilir. O halde uçak içerisinde deniz seviyesi şartlarına eşit bir ortam oluşturulmalıdır. Bu da kabin yüksekliği kavramını doğurur. Havacılıkta kabin yüksekliğini düşürmenin iki yöntemi vardır; yeterli miktarda O₂ sağlanması ve hava basıncının yükseltilmesi. Bu noktada kabin basınçlandırılması söz konusu olur. Bunun anlamı uçağın bir balon gibi şişirilmesidir.

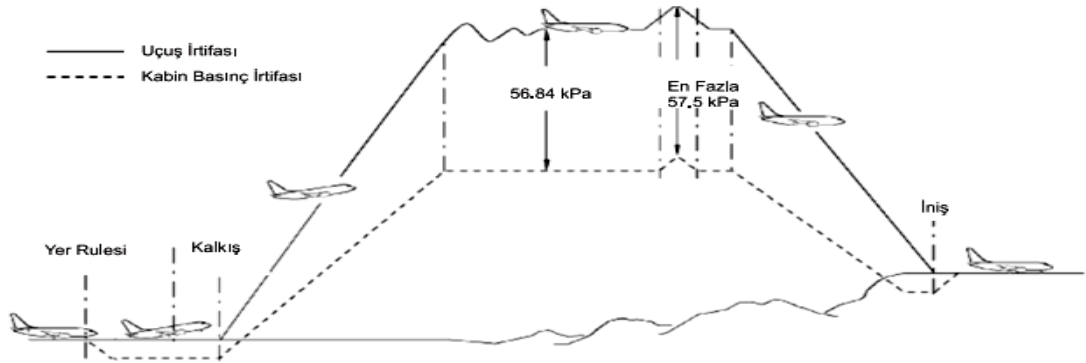
Havacılık otoriteleri dünya çapında bilinen ticari uçaklar için kabin yüksekliğini 8000 feet (2438 n1) ile sınırlamışlardır. Bu yükseklik insanın herhangi bir cihaz kullanmadan normal nefes alabileceği yükseklik sınırıdır. Uçağın yükselmesiyle kabin basınçlandırma sistemi devreye girer ve bu sayede yolcu açısından değişen kabin yüksekliklerine uyum sağlamak için önemli bir değişiklik yapılmaz ve nefes alınma oranında fark edilir değişiklik görülmez [56].

Bilindiği gibi irtifa alındıkça dış basınçta ve solunan havanın oksijen oranında azalma olur. Uçan insanın performansını ve tıbbi konforunu idame ettirmek için de uçak içi basıncı artırılır. Örneğin 36 bin ft. irtifada uçan uçağın kabin içi 6-8 bin ft. irtifaya eşdeğer basınçlanır. Bunu 0 ft'e ayarlamak da mümkündür, ama dış basınç ile iç basınç arasındaki makas çok açıldığında, olası bir kabin patlamasındaki fizik ve fizyolojik zarar büyür. Örneğin deniz seviyesine ayarlanmış bir kabin içinde 760 mmHg basınç olacaktır; 36 bin ft. irtifada kabin patlaması vukuunda, dış basınç 180 mmHg olduğundan aradaki farkın büyüklüğü sorunları da büyütecektir. Bunun yerine kabin içinin 8 bin ft'e ayarlanmasıyla basınç 564 mmHg olacak, kabin patlaması durumunda 180 mmHg dış basınçla arasındaki fark görece az olduğundan olası zararlar da görece azalacaktır. Ayrıca uçak gövdesinin de iç ve dış basınç arasındaki aşırı farktan olumsuz etkilendiği bilinmektedir. Aslında kabin patlaması terimi uç bir durumun ifadesidir; daha genel bir isimlendirme olarak kabin basıncı kaybı (dekompresyon) kullanılır [57].

3.6.3. Basınç Kontrol Sistemi

Basınç kontrol sistemi kabin basıncının ve irtifasını güvenli bir seviyede tutar. Uçak yapısının güvenliği açısından önemli olan nokta ise Kabin Fark Basıncıdır. Yüksek

irtifalarda dış basıncın düşük olması sonucu dış ve iç ortam arasında bir fark oluşur. Bu fark nedeniyle gövde iç çeperlerine basınç uygulanır. Uygulama basıncın şiddeti aradaki farka bağlıdır ve kontrolsüz olarak bu farkın artması durumunda gövdede çatlama ve hatta kırılmalar oluşabilir. Bunun önlenmesi için kabinin en yüksek fark basınca 56,84 kpa (8,35psi) olabilir. Şekil 3.3.'de kabin ve uçuş irtifasının karşılaştırılması gösterilmiştir [55].



Şekil 3.3. Kabin ve Uçuş İrtifasının Karşılaştırılması [55]

Ön ve arka kargo kompartımanlarında bulunan Basınç Eşitleme Valfleri kargo ile kabin bölümleri arasında oluşabilecek basınç farklılığı durumlarında çift yönlü çalışarak basıncı eşitler. Kargo kompartımanlarında bulunan Patlama Panelleri Basınç Eşitleme Valflerinin arızalanması durumunda yerlerinden çıkarak kargo ile kabin bölümleri arasında basıncın eşitlenmesini sağlar. Kargo kompartımanlarında bulunun Patlama Panelleri, Basınç Eşitleme Valflerinin arızalanması durumunda yerlerinden çıkarak kargo ile kabin bölümleri arasında basıncın eşitlenmesini sağlar. Şekil 3.4.'de Patlama paneli basınç eşitleme valfi gösterilmiştir [58].



Şekil 3.4. Patlama Paneli ve Basınç Eşitleme Valfi [58]

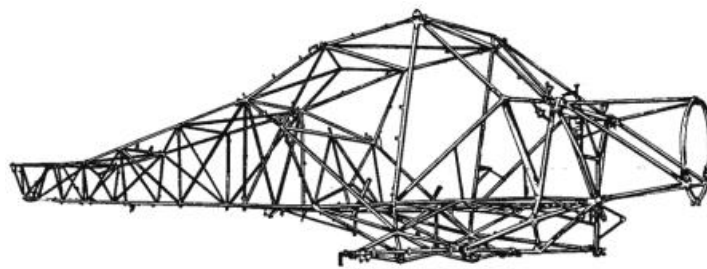
3.6.4.Uçak Gövde Yapısı

Uçaklarda gövde, motoru, iniş takımını, kuyruğu, kanatları, yakıt tankını ve diğer uçuş elemanını üzerinde taşıyan, hepsini bir araya getiren bir yapıdır. Uçak gövdesi ayrıca mürettebatı, yükü, yolcu da üzerinde muhafaza etmektedir. Tasarımında gerekli sürüklemeyi (drag), yakıt tüketimini en az elde etmek ve hava akışını sürekli (laminar) elde etmek gerekmektedir. Çeşitlerine göre, uçuş range'ine göre, uçuş yüksekliğine, amaç ve kullanım koşullarına sıralamak mümkündür. Gövde genelde parça parça imal edilir. Ancak büyük uçaklar altı-yedi parça şeklinde üretilmektedir. Boru şeklindeki çubuk elemanlar özel birleştirme parçaları ile veya kaynakla birbirine bağlanır. Ayrıca üretim metotlarına göre ayrılmaktadır [59].

Uçak gövdesi, kafes tip yapı, monokok tip yapı ve yarı - monokok tip yapı olarak 3'e ayrılmaktadır.

3.6.4.1. Kafes Tip Yapı

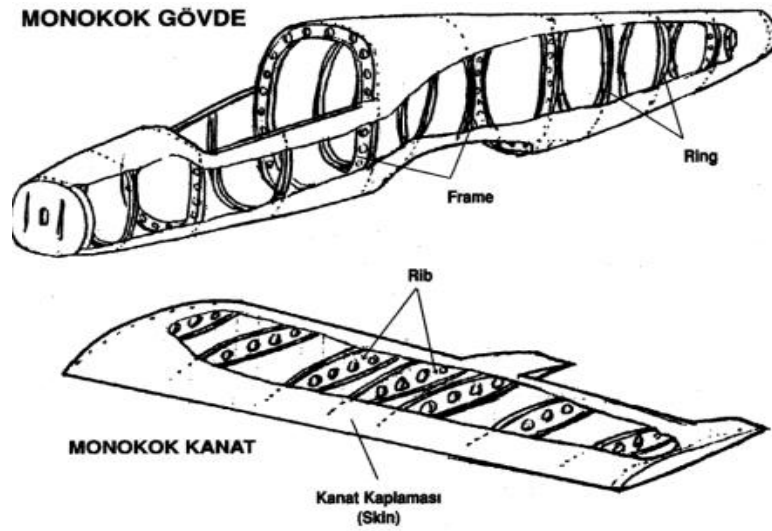
Birbiri içine geçirilmiş çelik boruların kaynak yapılması sonrası çıkan kafes yapıya benzer ve sonra dışına kaplanan fiberglas veya bez ile şekli verilmektedir. Eski bir metot olup kullanım alanı çok fazla değildir. Şekil 3.5.'de Kafes Yapı gösterilmiştir [60].



Şekil 3.5. Kafes Yapı [60]

3.6.4.2.Monokok Tip Yapı

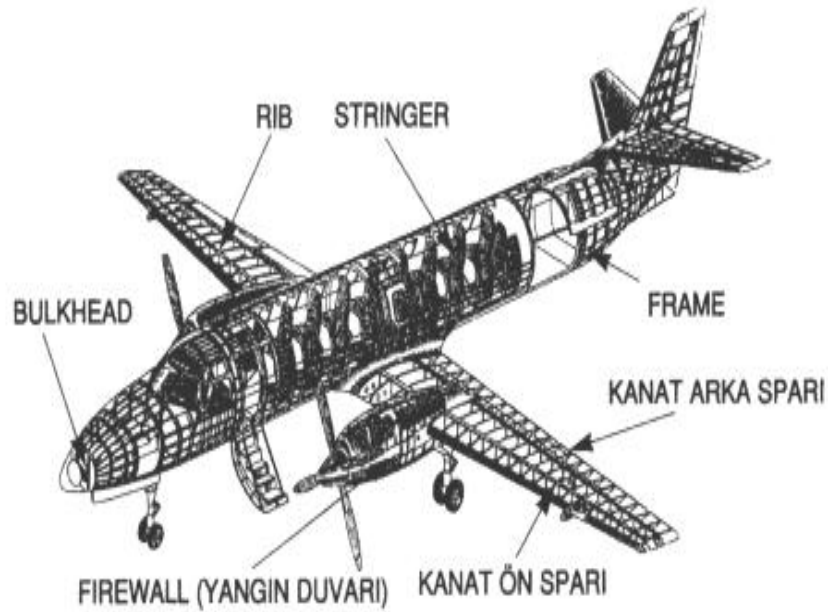
Gövde kaplaması gövdede bulkhead/formerlara veya ringlere, kanatta ise riblere perçinlenip uçağın şeklini oluşturuyorsa ve asıl yükü metal saçtan veya kompozit olan kabuk (shell) taşıyorsa bu yapıya monokok yapı denmektedir. Şekil 3.6.'da Monokok Yapı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Monokok Yapı [60]

3.6.4.3.Yarı-Monokok Tip Yapı

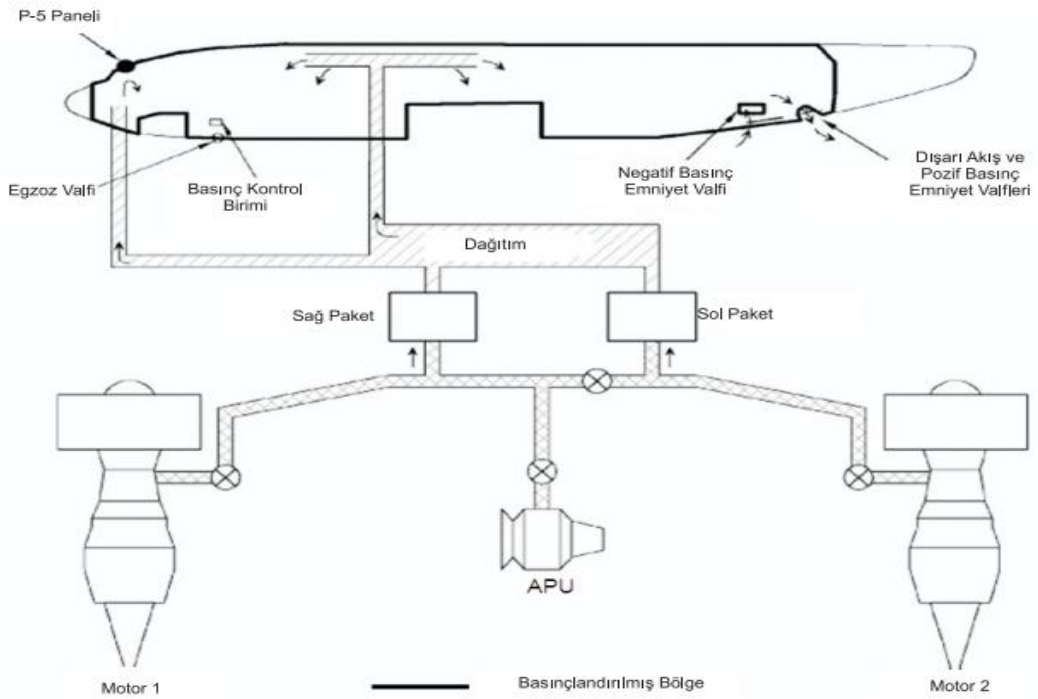
Günümüzde uçaklarda kullanılan en yaygın metottur. Bu tip yapıda bulkhead, frame gibi diklemesine elemanlara ek olarak yerine göre boylamasına longeronlar, keel beamlar, hem yapısal yük taşırlar hem de diklemesine yükleri taşırlar. Şekil 3.7. 'de yarı monokok bir yapı görülmektedir.



Şekil 3.7. Yarı Monokok Yapı [60]

Zemin yapısının üst kısmı, yolcu ve uçuş kompartımanlarını taşımaktadır. Tüm bu bölge kabinin ön ve arka ucundan pressure bulkhead (basınç bölmesi) ile kapatılmıştır. Bu basınç bölmeleri, kabin havası ile ona göre düşük basınçlı olan dış ortam basıncını birbirinden ayırır. Bu bölgede kaplama devamlı sayılabilecek bir şekilde kabini örter [60].

Şekil 3.8.'de uçtaki basınçlı bölgeler gösterilmiştir. Basınçlı bölgelerin bitiminden sonra uçta basınçsız bölgeler yer alır ve bu ayırım bölgelerinde Bulkhead'ler kullanılır.

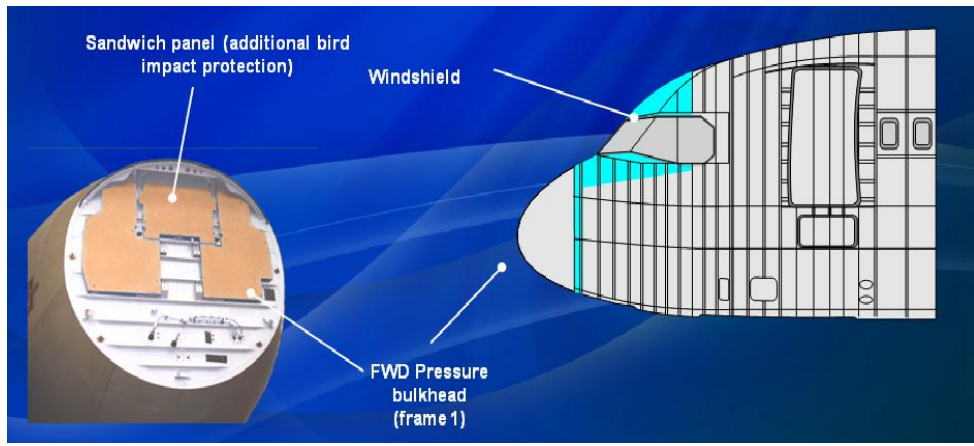


Şekil 3.8. Uçtaki Basınçlı Bölgeler [55]

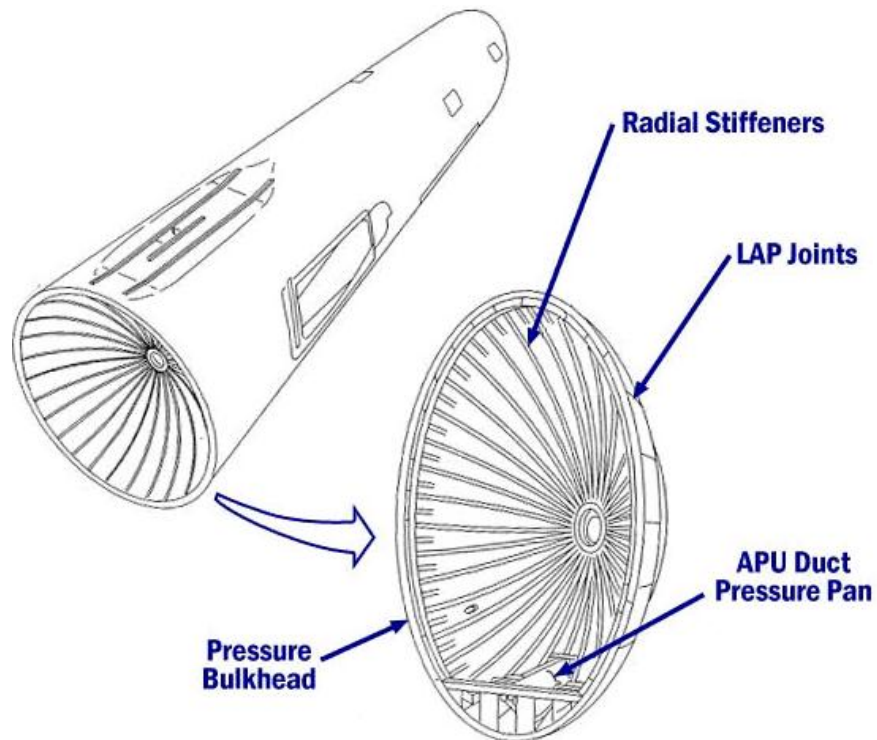
3.6.5. Bulkhead

Bulkhead'ler frame'lere benzer fakat daha güçlü yapılardır. Gövde üzerinde belli yerlerde yerleşmişlerdir. Gövde de oluşan farklı yükleri taşır ve dağıtır. Gövde üzerinde kanat bağlantılarının olduğu bölgede, iniş takımları ve kuyruk bölümü yüzeyinde bulunur. Bu bölgeler gövde üzerinde yüksek yoğunluklu kuvvetlerin bulunduğu kısımlardır. Yapı üzerinde büyük gerilmeleri karşılar. Ayrıca gövdenin ön ve arka kısmında, pressure bulkhead denilen basınca karşı kurulmuş farklı yapıda bulkhead'ler bulunur. Ön ve arka pressure bulkhead'ler duvar şeklinde örülmüş yapılardır. Gövde

yapısını bir cam tüpe benzetecek olursak pressure bulkhead'ler bu tüpü kapatan ve gövdenin basınçlandırılmasını yani uçak yapısında basınçlı bölge ile basınçsız bölgeleri ayıran bir yapıdır. Ön ve arka pressure bulkhead'ler arasında kalan gövde yapısı, basınçlandırılmış kabin yapısını oluşturur [61]. Pressure bulkhead'lerden sonra uçak içerisinde gövdenin basınçsız bölgeleri yer almaktadır. Şekil 3.9.'da ön bulkhead ve Şekil 3.10.'da arka bulkhead resimleri verilmiştir. Şekil 3.11.'de ise arka bulkhead uçak içinde gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Ön Bulkhead [61]



Şekil 3.10. Arka Bulkhead [62]



Şekil 3.11. Arka Bulkhead Uçak İçerisindeki Görüntüsü

Bulkheadler uçak ana gövdesinde vazgeçilemeyecek bölümlerden biridir. Tablo 3.2.'de bulkhead malzemesi ve kullanım özellikleri verilmiştir. Bulkhead'lerde kullanılan malzemelerin yorulma ve kırılma dayanımları yüksektir. Tablo 3.3.'de bulkheadler de kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri yer almaktadır.

Tablo 3.2. Bulkhead Malzemesi ve Kullanım Özellikleri [61]

ALLOYS	PRODUCT FORMS	MAJOR APPLICATIONS	USAGE RATIONALE
2324-T39 2224-T351	PLATE/EXTRUSION	LOWER WING SURFACE	HIGHER TENSILE STRENGTH THAN 2024-T3 WITH ADEQUATE FRACTURE, FATIGUE AND CORROSION PROPERTIES
7150-T6	PLATE/EXTRUSION	UPPER WING SURFACE	HIGHER STRENGTH THAN 7178/7075-T6 WITH ADEQUATE FATIGUE, FRACTURE AND CORROSION PROPERTIES
2024-T3	SHEET	BODY	NO CHANGE - SAME RATIONALE AS FOR OTHER AIRPLANES
7075-T6	PLATE/EXTRUSION	HORIZONTAL TAIL	HIGH STRENGTH WITH ADEQUATE FATIGUE, FRACTURE AND CORROSION PROPERTIES (SIMILAR TO OTHER AIRPLANES)
7075-T6	PLATE/EXTRUSION	VERTICAL TAIL	NO CHANGE - SAME RATIONALE AS FOR OTHER AIRPLANES
7150-T6	EXTRUSION	KEEL BEAM CHORD	HIGHER COMPRESSION STRENGTH THAN 7178/7075-T6, WITH ADEQUATE FATIGUE AND CORROSION PROPERTIES
7075-T73	FORGING	WING AND BODY FITTINGS	NO CHANGE - SAME RATIONALE AS FOR OTHER AIRPLANES
7050/7175-T736	FORGING	WING AND BODY BULKHEADS AND FITTINGS	HIGHER STRENGTH THAN 7075-WITH EQUIVALENT FATIGUE AND FRACTURE PROPERTIES
365/A356/A357	CASTING	HYDRAULIC MANIFOLD AND CONTROL LINKAGE	NO CHANGE - SAME RATIONALE AS FOR OTHER AIRPLANES

Tablo 3.3. Bulkheadler de Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri [63]

7050 Alüminyum Alaşım Mekanik Özellikleri

Isıl İşlem (Temper)	Çekme Dayanımı, R m MPa	Akma Dayanımı, R p0,2 MPa	Uzama Dayanımı %	Kesme Modülü MPa	Elastisite GPa
T76,T76511	552	489	11	324	70,3
T74,T74511	524	469	11	303	70,3

7175 Alüminyum Alaşım Mekanik Özellikleri

Isıl İşlem (Temper)	Çekme Dayanımı, R m MPa	Akma Dayanımı, R p0,2 MPa	Uzama Dayanımı %	Kesme Modülü MPa	Elastisite GPa
T66	590	520	11	350	72
T74	524	455	11	310	72
T651	586	510	13	-	72
T7351	505	435	13	300	72
T7651	-	-	12	-	72
T736, T736x	550	485	12	326	72
W51	-	-	-	-	-

4. BÖLÜM

PERÇİN

4.1. Perçin

Bir başı hazır diğer başı bağlantı yerinde oluşturulan sökülemeyen bağlantı elamanına perçin denir [64]. Yuvarlak çelikten presleme suretiyle elde edilen, delik çevresinde ezilme ve gövdesinde makaslama etkisiyle yük taşıyan birleştirme aracıdır [65].

4.2. Perçinleme

İki parçanın birbirine perçin bağlantı elamanıyla sökülemeyecek şekilde birleştirilmesine de perçinleme denir [64].

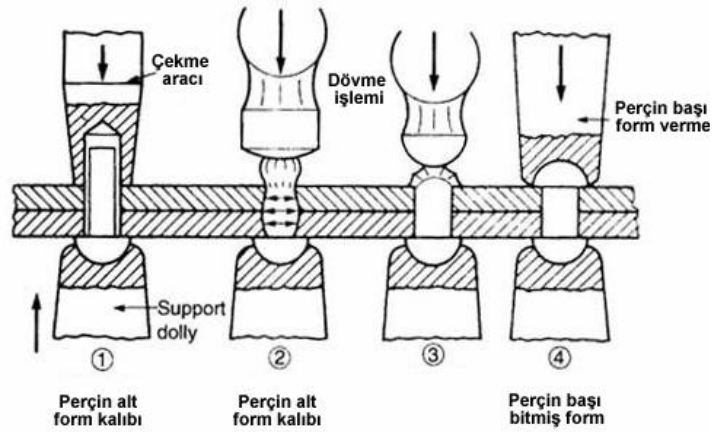
4.3. Perçinlemenin Gereği ve Önemi

Özellikle ince, aynı ve farklı cins metallerin, metal olmayan parçaların veya biri metal diğeri metal olmayan parçaların birleştirilmesi söz konusu ise perçinleme vazgeçilemez bir yöntemdir. Kaynaklı veya diğer birleştirme yöntemleri bu konuda yetersiz kalmaktadır [64].

4.4. Perçin Tarihçesi

Perçinleme insanoğlunun kullandığı en eski birleştirme tekniklerinden biridir. Perçinlemenin ilk uygulamaları öncelikli olarak ağaçların birleştirilmesinde kullanılmıştır. Metal perçinler yaklaşık 2500 yıl önce Yunanlıların bronz parçaları birleştirmede kullandıkları görülmüştür. Perçinler ağırlıklı olarak 19. Yüzyılın sonlarına doğru kaynak bulununcaya kadar ağırlıklı olarak kullanılagelmiştir. En meşhur perçinleme örneklerinden biride hiç şüphesiz 1.050.846 adet perçini olan Paris'teki meşhur Eiffel Kulesi'dir. Perçinlemenin tarihteki diğer bir örneği ise gemilerdir. 1935'lerin sonunda "Norveç" ve Fransız gemisi "Blue Ribbon" da 13 milyondan fazla

perçin kullanılmıştır. Şekil 4.1.'de gösterilen geleneksel perçinleme işleminde mekanik özelliklerin çok iyi olmasına rağmen seri üretimde çok zaman kaybettiğinde tercih edilememektedir. 19.Yüzyılın sonlarında kaynakla birleştirme bulunduktan sonra artık insanoğlu birleştirmede kaynağı tercih etmeye başlamıştır. Ancak farklı özellik ve alaşımlardaki malzemelerin kaynağı da mümkün olmadığından perçinler yine vazgeçilmez bir birleştirme yöntemi olmaya devam etmektedir. Otomobil endüstrisinde geçtiğimiz birkaç yıla kadar yumuşak çelikler ve bu çeliklerinde birleştirilmesinde de nokta kaynağı kullanılmaktadır. Çünkü yumuşak çelikler ucuz ve dayanıklıdır, aynı zamanda nokta kaynağı da bilinen en ucuz birleştirme yöntemlerinden biridir. Bir otomobilin şasisinde ortalama 3000-4000 civarında nokta kaynağı bulunmaktadır [66].



Şekil 4.1. Geleneksel Perçinleme Sistemi [66]

4.5. Perçin Avantaj ve Dezavantajları

- Farklı malzemelerden parçalar perçinle birleştirilebilir.
- Kolay yapılabilen bir yöntemdir.
- Sarsıntılara dayanıklı ve emniyetlidir.
- Kristal yapıda bir değişim, dolayısı ile çarpılma olmaz.
- Kaynağa göre daha elastik bir bağlantıdır.
- Ana malzemedeki perçin deliği mukavemeti azaltır.
- Ancak bindirme bağlantı mümkündür, bu da konstrüksiyonu ağırlaştırır.

4.6.Perçin Çeşitleri ve Perçinlerin Sınıflandırılması

4.6.1. Kullanım Yerlerine Göre

- Çelik inşaat perçinleri
- Kazan perçinleri
- Lokomotif perçinleri
- Diğer (mutfak eşyası, kayış, fren balatası vb.) perçinleri

4.6.2. Malzemesine Göre

- Çelik perçinler
- Bakır perçinler
- Alüminyum perçinler
- Alaşımli perçinler

4.6.3. Perçin Başı Biçimlerine Göre

- Yuvarlak başlı perçinler
- Yuvarlak yassı başlı perçinler
- Mercimek başlı ve havşa mercimek başlı perçinler
- Havşa başlı perçinler
- Düz silindirik başlı perçinler
- Konik başlı perçinler

❖ Yuvarlak Başlı Perçinler

Perçin başının yarım yuvarlak olması sebebiyle bu isimle anılır. Perçin çapına göre başları sıcak ya da soğuk olarak biçimlendirilebilir.

❖ Mercimek Başlı Perçinler

Perçin başı yarım yuvarlaktır. Yarım yuvarlak kısmı şekilde görüldüğü gibi yuvarlak başlı perçine göre daha incedir. Özellikle ince kesitli parçalarda kullanılırlar. Perçin başı çıkıntısının az olması bir avantajdır.

❖ **Mercimek-Havşa Başlı Perçinler**

Yarım yuvarlak kısmın yarısı havşa şeklindedir. Perçinli birleştirmenin yuvarlak başlı perçin kadar sağlam ama perçin başının fazla çıkıntı yapmaması istenen yerlerde kullanılır. Perçin deliğine havşa açılır.

❖ **Havşa Başlı Perçinler**

Perçin başı düz ve havşalıdır. Perçin başının perçinlenecek yüzeyde çıkıntı yapması istenmiyorsa parçada bu tür perçinler kullanılır. Perçin deliğine havşa açılır.

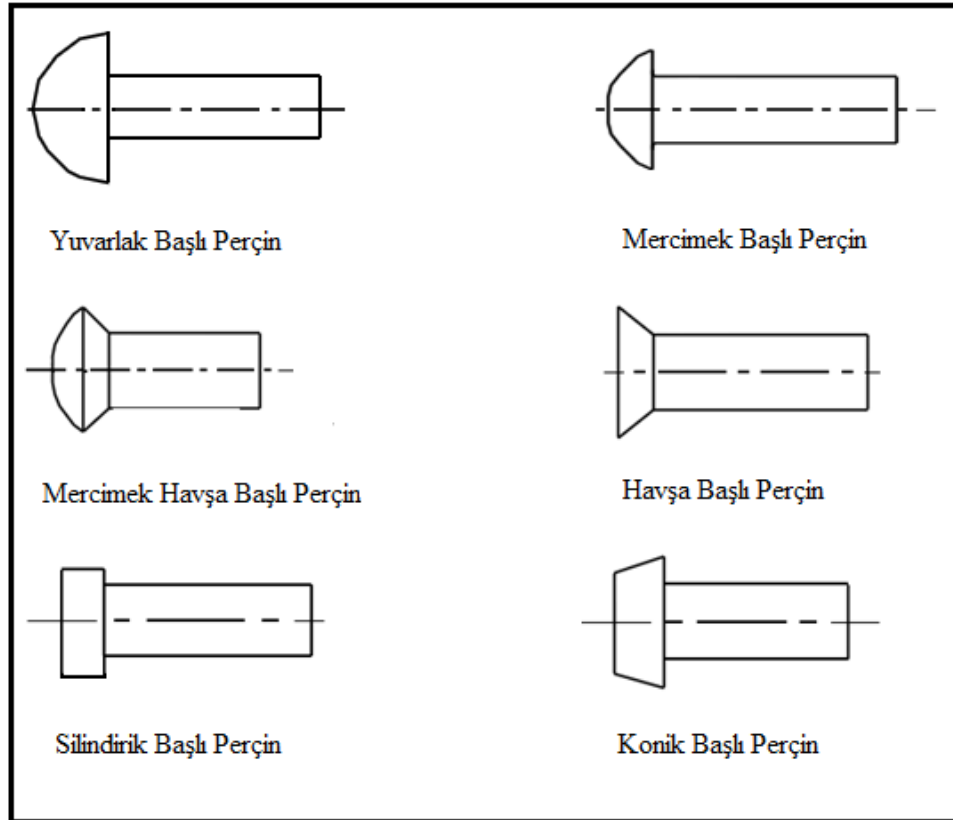
❖ **Silindirik Başlı Perçinler**

Perçin başı silindirik biçimdedir. Genellikle sacların perçinlemesinde kullanılır.

❖ **Konik Başlı Perçinler**

Bazı perçinlerin kolay takılabilmesi için baş kısımları konik olarak üretilir. Bu tür perçinlere konik başlı perçin denir [67].

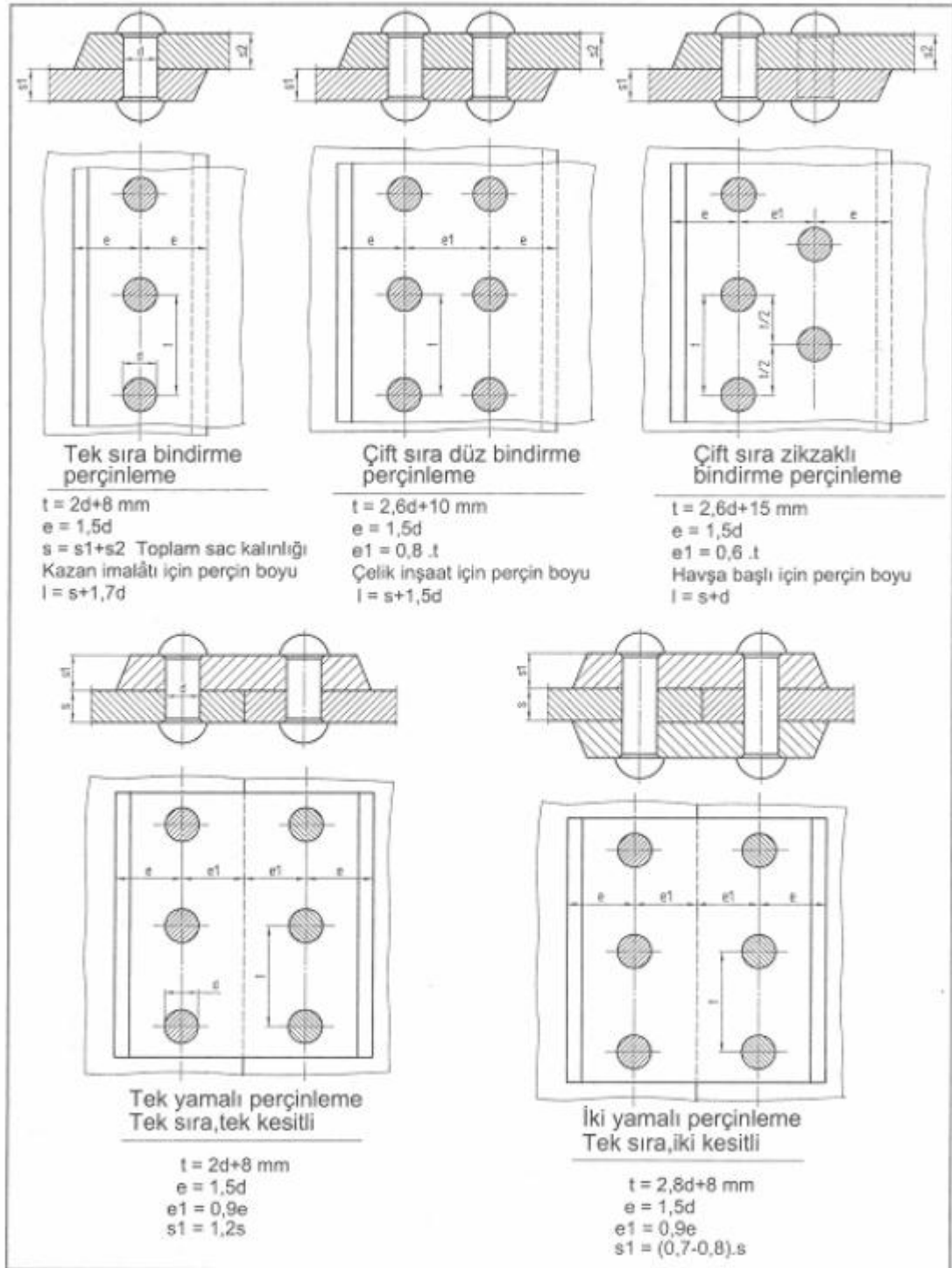
Şekil 4.2.'de Perçin baş şekillerine göre gösterim yapılmıştır.



Şekil 4.2. Perçin Baş Şekillerine Göre Perçinler [67]

4.7. Perçin Bağlantı Çeşitleri

Endüstri de kullanılan üç ayrı perçin bağlantı çeşidi bulunmaktadır. Bu bağlantılar Şekil 4.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Perçin Dikiş Şekilleri [68]

Zayıflama oranı perçin bağlantısı yapılmış sistemin mukavemetinin, levhanın kendi mukavemetine oranıdır. Tablo 4.1.'de perçin bağlantılarındaki zayıflama oranı gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Perçin Bağlantılarındaki Zayıflama Oranı [69]

Bağlantı şekli		Zayıflama oranı (%)
Bindirme bağlantı	Bir sıralı	50...60
	İki sıralı	60...72
	Üç sıralı	72...80
Alın bağlantı (ek levhali)	Bir sıralı	55...60
	İki sıralı	76...84
	Üç sıralı	80...88

4.8. Perçinli Birleştirmede Meydana Gelen Hatalar

Perçinleme hataları çoğu kez yanlış hesaplar ya da kuralların dikkate alınmamasından ortaya çıkar. Şekil 4.4.'de bazı perçinleme hataları gösterilmiştir. Perçinleme hataları aşağıdaki sebeplerden dolayı meydana gelmektedir [64];

4.8.1. Perçin Boyunun Yanlış Hesaplanması

Perçin boyunun kısa tutulması perçin başının oluşmamasına neden olur. Perçinin uzun tutulması ise perçin başının gereğinden fazla yayılmasına neden olur.

4.8.2. Perçin Çektirmesinden Kaynaklanan Hatalar

Perçin çektirmesi kullanılmadığı ya da yeterli çektirme işlemi yapılmazsa parçalar birbirlerine tam temas etmez, dolayısıyla dövme sırasında iki parça arasındaki perçin gövdesi şişme yapar.

4.8.3. Perçin Gövdesinin Eğik Hale Gelmesi

Perçin delik çaplarının büyük olması perçin gövdesinin eğik hale gelmesine neden olur.

4.8.4. Çekiçleme Sonrası Meydana Gelen Hatalar

Kuralına uygun yapılmayan çekiçleme ya da gereğinden fazla uygulanan çekiç darbeleri kapama başında ezilmelere yol açar.

4.8.5. Eksenel Kaçıklıkların Meydana Getirdiği Hatalar

Perçinin deliğe girmemesine neden olur.

4.9. Perçinleme İşleminde Dikkat Edilecek Hususlar

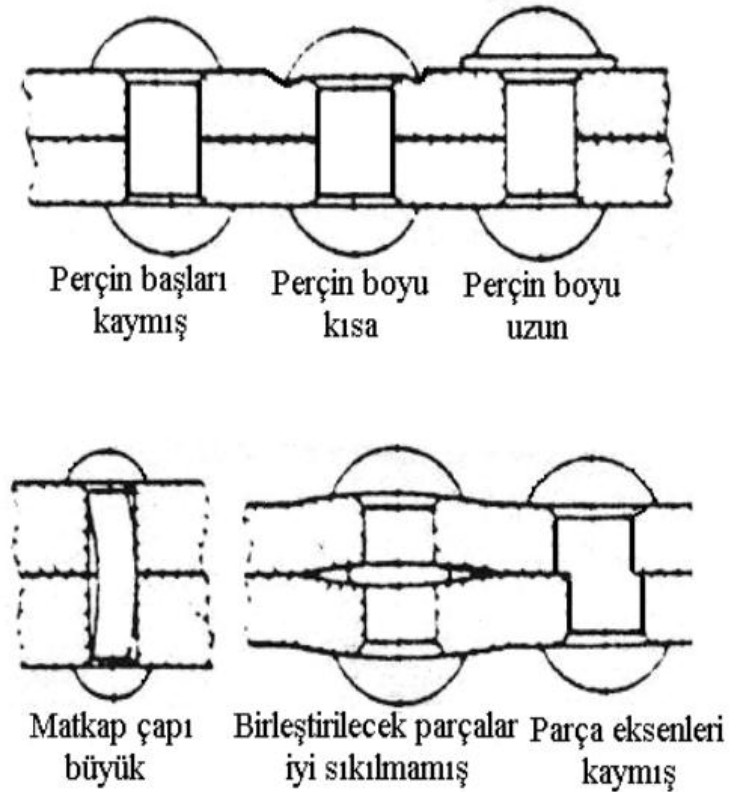
Sağlıklı bir perçinleme işlemi yapabilmek için aşağıdaki maddelere dikkat edilmelidir.

4.9.1. Çekici Vurulması Gereken Yere Yönlendirmek

Perçinin kapama yapılacak ucuna önce çekiçle kabaca şekil verilir. Daha sonra kapama başının biçimine göre kalıp kullanarak perçinleme yapılır.

4.9.2. Çekiç Darbelerine Karşı Dikkatli Olmak

Çekiç darbelerini uygularken çekicinin kayması ya da çekiç sapının çıkması size zarar verebilir. Mutlaka çekiçleme işlemine başlamadan önce çekiç başı ve sapı kontrol edilmelidir.



Şekil 4.4. Perçinleme Hataları [70]

4.10. Perçinlerin Uçaklar da Kullanımı

Perçinler, birleştirme işlemleri ve uçak üzerinde hasar onarımı amacıyla kullanılır. Her uçağa, bakım el kitaplarında (Maintenance Manual) belirtilen hasar onarımı bilgilerine göre bakım ve onarım yapılır. Önce hasarın boyutları tespit edilir sonra yama parçasının biçimi, kalınlığı ve bağlantı elemanı miktarı ile çeşitleri belirlenir. Daha sonra hasarlı bölge, yapıya uygun şekilde kesilerek veya matkapla çürütülerek çıkarılır.

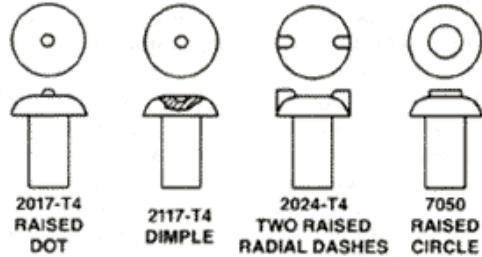
Tamir edilecek yapının önemine göre perçinler, yapılacak yama da tek sıra, çift sıra veya üç ile dört sıra olabilir. Perçinleri seçerken Aerodinamik düzgünlük istenen yerlerde havsalı, içyapıda ise üniversal baş yapısına benzer perçinler tercih edilir. Gövde kaplamalarında genel olarak NAS 1097 küçük havşa başlı perçinler kullanılır. Perçin çapı, malzeme kalınlığının üç katından az olmaması sağlanmalıdır. Eğer az olursa bağlantı zayıflayacak ve yapıya yük bindiğinde anda perçin kesilecek veya kapanacaktır. Çap büyük olursa perçin tabancası perçinlenen malzemeyi genişletecek ve malzeme hasar görecektir.

Uçak yapısında kullanılan perçinler, çelikten daha güçlü fakat çelikten daha hafif olmalıdır. Korozyona neden olmamak amacıyla uçak üzerinde kullanılan metallerle birleştirme elemanları aynı cins malzemeden olur. Bu nedenle alüminyumun magnezyum, bakır, çinko ile alaşımları olan perçinler çok kullanılır. Şekil 4.5. ve Tablo 4.2.'de gösterildiği gibi perçin başlarındaki semboller perçin malzemesinin alaşımını gösterir. Bu alaşımlar harflerle ifade edilir [71].



Şekil 4.5. Perçin Başlarındaki Semboller [72]

Tablo 4.2. Perçin Baş Şekline Göre Malzemeler [73]



RIVET ALLOY	AN OR MS20 CODE	MARKING ON MFG HEAD	MAJOR ALLOYING INGREDIENT	CONDITION USED	AFTER DRIVING
1100	A	PLAIN	NONE	AS REC./MFG	1100
5056H32	B	RAISED CROSS	MAGNESIUM	AS REC./MFG	5056H32
2117T4	AD	DIMPLE	COPPER	AS REC./MFG	2117T3
2017T4	D*	RAISED DOT	COPPER	AS REC./MFG	2017T3
2017T4	D**	RAISED DOT	COPPER	RE-HEATED	2017T31
2024T4	DD	TWO RAISED SHOULDERS	COPPER	RE-HEATED	2024T31
7050T73	E	RAISED CIRCLE	ZINC	AS REC./MFG	7050T73

* MEANS ALCO CRACK FREE 2017T4 ALUMINUM ALLOY.
** MEANS RE-HEAT-TREATED ABOVE 3/16 INCH DIAMETER.

A Perçin: Bu tip perçinlerin başında herhangi bir işaret yoktur. Bu perçinler büyük kuvvet gerektirmeyen yerlerde, genellikle küçük anahtar muhafazaları ve kapakları gibi yapısal olmayan alanlarda kullanılır. 1100 kodlu alaşım A harfi ile gösterilir. Yumuşak ve dayanımı yüksek olmayan perçinlerdir. Malzeme sipesifikasyonu 100 olup madeni olmayan parçalarda kullanılır.

B Perçin: 5056 kodlu alüminyum-magnezyum alaşımı bu perçinler B harfi ile gösterilir. Perçin başında (X) Şeklinde bir çıkıntı vardır. Bu perçinler korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Uçak yapısal elemanlarının birleştirilmesinde kullanılırlar.

D Perçin: 2017 kodlu alüminyum-bakır alaşımı bu perçinlerin baş kısımlarının üstünde dışarıya doğru küçük bir nokta şeklinde çıkıntı vardır. En çok 707 ve B-727 uçaklarında kullanılırlar. AD perçinine göre daha fazla dayanıklılık ve yüksek kesme kuvveti gerektiren yerlerde kullanılır.

AD Perçin: 2117 kodlu alüminyum-bakır alaşımı bu perçinlerin baş kısmında içeriye doğru küçük bir delik vardır. Korozyon ve çatlaklara karşı dayanıklı olan bu perçinler kanat kaplamalarında ve aynı zamanda yakıt tankları gibi sızdırmazlık istenen yerlerde kullanılır. OC-9 ve DC-10 uçaklarımızda en çok kullanılan perçinlerdir.

DD Perçin: 2024 kodlu alüminyum-bakır alaşımli bu perçinlerin baş kısmının üzerinde kabartma şeklinde iki çıkıntı vardır. Montaj perçini olan bu perçinler diğer alüminyum-bakır alaşımli perçinlere göre çok serttir. Yüksek dayanımlı ve korozyon çatlağına karşı üstün bir dirence sahiptir. Uçakların iç ve dış yüzeylerinde kullanılır. Bu perçinler ısıtılıp yumuşatılmadan kullanılmaz.

E Perçinler: 7050 kodlu alüminyum-magnezyum-çinko alaşımı olan bu perçinlerin baş kısmında bir halka vardır. Modern jet uçaklarının kanat ve kuyruk yüzeylerinde kullanılır [70].

4.11. Dolu Gövdeli Perçinler

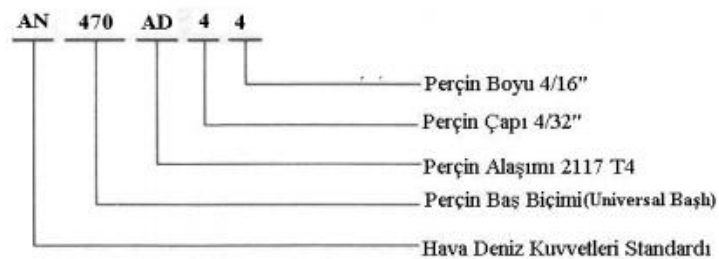
Perçin kodları (Numaralandırılması) bütün dolu gövdeli perçinlerin üretimi QQ-A-430 standartlarla belirlenmiştir. Dolu gövdeli perçinlerin baş biçimi, alaşım içeriği, gövde çapı ve gövde uzunluğu baz alınarak katalog oluşturulmuştur. Bu kodların kısaltılması bütün perçinlerde kullanılmaktadır [70].

4.11.1. Dolu Gövdeli Perçinlerin Kodlanması

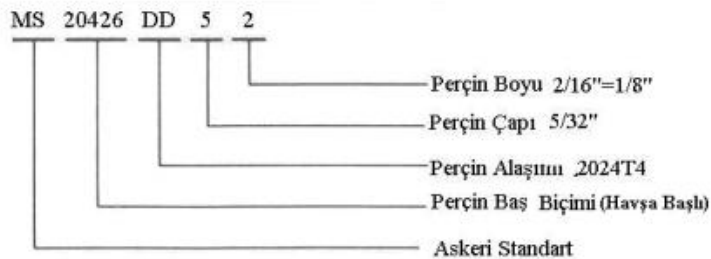
AN: Air Force Navy (Hava ve Deniz Kuvvetleri Standardı)

MS: Military Standart (Askeri Standart)

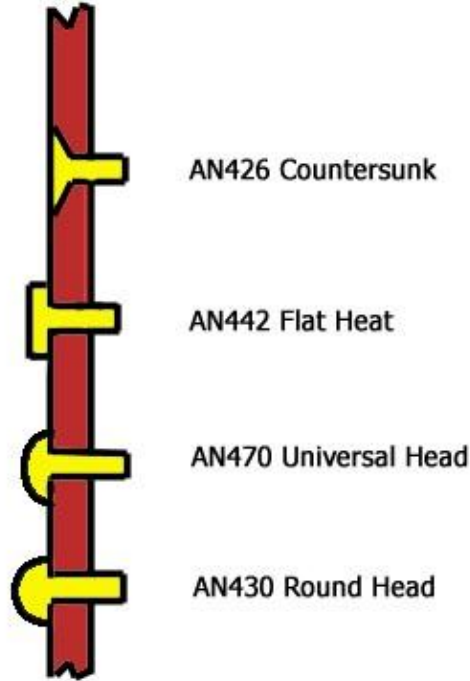
Örnek – 1



Örnek – 2

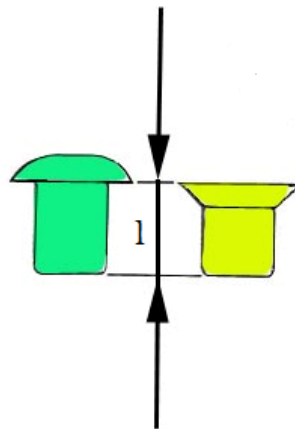


Havacılık perçinleri Şekil 4.7.'de gösterildiği gibi 4 ortak baş şekline sahiptir. En popülerleri AN470 Üniversal Baş ve AN426 Havşa Baş perçinlerdir.



Şekil 4.7. Havacılıktaki Ortak Kullanılan Perçin Başları [72]

Havşa başlı perçinler de perçin uzunluğuna baş kısmı da katılır. Üniversal peçinler de ise perçin uzunluğuna baş kısmı dahil edilmez. Şaft kısmı perçin uzunluğunu tanımlar. Şekil 4.8.'de Üniversal Baş ve Havşa Baş perçinlerin uzunluk ölçümleri gösterilmiştir. Tablo 4.3.'de ise nationalrivet firmasından talep etmiş olduğum havacılık da kullanılan perçinlerin kesme ve çekme değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.8. Üniversal Baş ve Havşa Baş Uzunlukları [72]

Tablo 4.3. Uçak Perçinlerinin Kesme ve Çekme Değerleri [74]

ALLOY	Tensile		Shear		Tensile		Shear		Tensile		Shear		Tensile		Shear	
	1/16		3/32		1/8		5/32		3/16		1/4		5/16		3/8	
1100 Alum. H-4	54	33	122	75	221	135	344	210	495	302	882	540	1375	840	1980	1210
2117 Alum. T-4	130	85	292	190	527	343	820	535	1180	770	2100	1370	3285	2140	4730	3080
5056 Alum. H-32	127	78	285	176	515	318	805	496	1150	715	2060	1270	3210	1985	4610	2860
5052 Alum.H-32	99	60	224	135	491	245	630	382	906	549	1617	980	2522	1529	3630	2200
6051 Alum. T-6	127	81	285	183	515	331	805	515	1150	741	2060	1323	3210	2064	4610	2970
C1006 Steel	180	120	407	271	736	490	1146	764	1647	1098	2940	1960	4587	3058	6600	4400
C1018 Steel	240	159	543	359	981	650	1528	1012	2196	1455	3920	2597	6116	4051	8800	5830
CDA 270 Brass	180	120	407	271	736	490	1146	764	1647	1098	2940	1960	4587	3058	6600	4400
430 S. Steel	252	171	570	387	1030	699	1605	1090	2306	1565	4116	2793	6421	4357	9240	6270
304 S. Steel	301	225	679	510	1227	920	1911	1433	2746	2059	4900	3675	7645	5733	11000	8250
Copper	171	96	387	217	699	392	1090	611	1565	878	2793	1568	4357	2446	6260	3520

5. BÖLÜM

UÇAKLARIN BASINÇLI BÖLGELERİNDE KULLANILAN PERÇİNLERİN TAGUCHI METODUYLA OPTİMİZASYONU

5.1. Deney Metodu

Bu çalışma da günümüz yolcu uçaklarında kullanılan perçin bağlantılarının Taguchi metoduyla optimizasyonu incelenmiştir. Deney numuneleri TURKISH HABOM Yapısal Atölyesinde yapılmıştır. Deneyler ise TURKISH ENGINE CENTER (TEC) NDT Laboratuvarında Çekme Test Cihazında (Şekil 5.1.) yapılmıştır.



Şekil 5.1. Testlerin Yapıldığı Çekme Test Cihazı

Çalışmamda yapmış olduğum uygulama safhaları aşağıda sıralanmıştır:

- a. Hava araçlarının pnömatik sistemlerinde kullanılan perçin bağlantıları için parametrelerin seçilmesi ve deney tasarımının belirlenmesi
- b. Deneyde kullanılacak numunelerin hazırlanması
- c. Deneyin yapılacağı cihaz seçimi ve cihazın düzenlenmesi
- d. Deneyin uygulanması
- e. Deney sonuçlarının çıktılarının alınması ve Minitab programına aktarılması
- f. Minitab programında Taguchi deney tasarımı L9 seçilerek sonuçların alınması
- g. Çıkan sonuçlara göre en iyi parametrelerin bulunması ve sonuçların yorumlanması

Hava araçlarındaki perçin bağlantıları için uygun olan parametreler; perçinlerin sıra dizilimi, baş şekli ve perçin malzemesi olarak seçildi. Her bir parametre 3 seviye olarak seçilerek Taguchi 3^3 L9 dizaynı seçilmiştir. Klasik yöntem ile deney yaptığımız takdirde 27 adet deney yapmamız gerekecekti. Klasik yöntem ile yapılacak deney dizilimi aşağıda Tablo 5.2.'de gösterilmiştir. Fakat Taguchi yöntemini kullanarak 9 adet deney yapmış olduk. Böylece hem zamandan hem de maliyetten kazanç sağlamış olduk. Yapılan deneyler de kullanılan parametreler ve seviyeler aşağıda Tablo 5.1.'de gösterilmiştir. Tablo 5.3.'de ise deney tasarımı gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Seçilen Parametreler ve Seviyeleri

TAGUCHI TASARIMI			
Faktör\SEVİYE	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Perçin Düzeni	Tek Sıra	Çift Sıra	Zigzag
Perçin baş şekli	NAS1097	MS20426	MS20470
Perçin malzemesi	AD	D	DD

Tablo 5.2. Klasik Deney Yöntemi

Parça Adedi	PERÇİNLEME ŞEKİLLERİ			PERÇİN BAŞ ŞEKLİ			PERÇİN MALZEMESİ		
	Tek Sıralı	Çift Sıralı	Zikzak	NAS1097	MS20426	MS20470	AD	D	DD
	A FAKTÖRÜ			B FAKTÖRÜ			C FAKTÖRÜ		
1	X			X			X		
2	X			X				X	
3	X			X					X
4		X		X			X		
5		X		X				X	
6		X		X					X
7			X	X			X		
8			X	X				X	
9			X	X					X
10	X				X		X		
11	X				X			X	
12	X				X				X
13		X			X		X		
14		X			X			X	
15		X			X				X
16			X		X		X		
17			X		X			X	
18			X						X
19	X					X	X		
20	X					X		X	
21	X					X			X
22		X				X	X		
23		X				X		X	
24		X				X			X
25			X			X	X		
26			X			X		X	
27			X			X			X

Tablo 5.3. L9 Deney Tasarımı

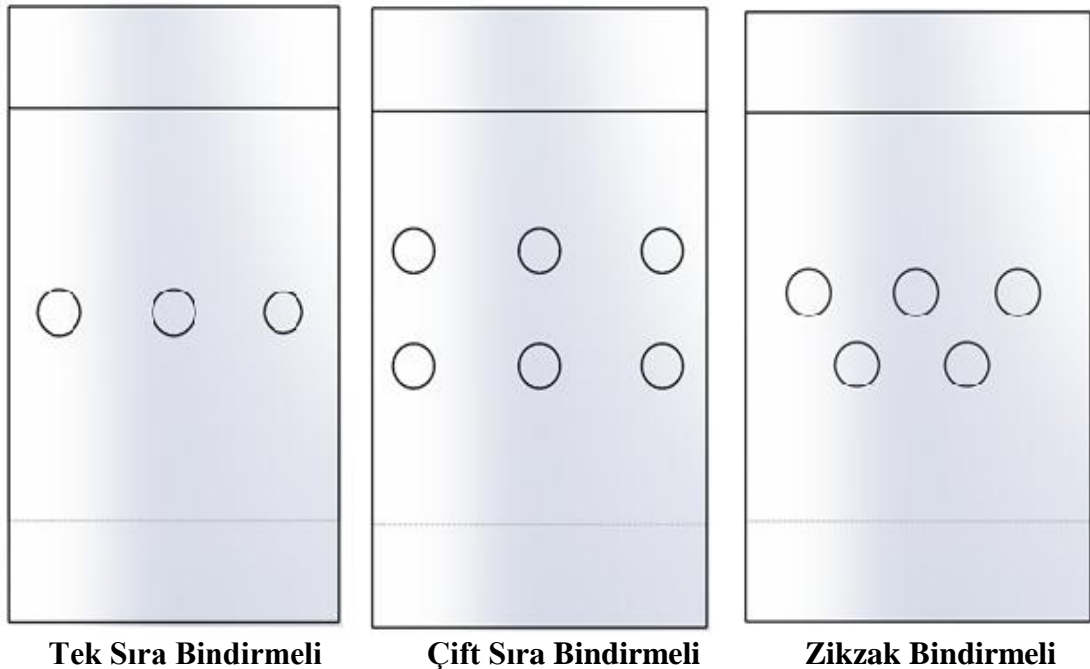
L9	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

5.2. Deney Parametreleri

5.2.1. Bindirme Perçinleme

Hava araçlarının hem üretimlerinde hem de onarım işlerinde perçinlerin dizilişleri önem arz etmektedir. Bindirme perçinleme yaygın olarak kullanılmasının yanı sıra üzerlerine açılan delikler ile farklı isimler ile adlandırılır. Tek sıralı, çok sıralı (paralel veya zikzak) şeklinde Şekil 5.2.'deki gibi tanımlanır. Bu şekilde farklı sıra dizilimleri olması hem perçinin hem de perçinlerin bağlanacağı sistemdeki malzemelerin farklı kuvvetlere maruz kalmasından kaynaklanır.

Perçinleme işlemlerinde perçinlerin zorlanacağı gerilmeler göz önüne alınarak, perçinlerin birleştirme şekillerine göre; baş başa ek veya bindirmeli tip birleştirme şekli göz önüne alınarak perçinlerin mukavemet analizleri yapılır. Nihayetinde perçinlerde genel olarak üç türlü gerilmenin olduğu ortaya çıkar. Bu gerilmeler perçinde kesme, perçinde basma perçinde oluşurken; perçinlenecek levhada ise çekme gerilmesi oluşur. Bunların yanı sıra perçinlenecek levhalar bir eğilmeye maruz kalıyor ise eğilme gerilmesi de dikkate alınır [75].



Şekil 5.2. Tek Sıralı, Çift Sıralı ve Zikzak Perçinleme

5.2.2 Üniversal Ve Havşa Başlı Perçinler

Havşa başlı perçinler hava araçlarında aerodinamik yapının ön planda tutulduğu bölgeler de tercih edilirken üniversal başlı perçinler baş yapısından dolayı hava araçlarında hava ile irtibatlı olmayan kapalı alanlar da kullanılır. Şekil 5.3.'de solda 100^0 havşa başlı NAS1097 perçin, ortada MS20470 üniversal başlı perçin ve sağ tarafta 100^0 havşa başlı MS20426 perçin gösterilmiştir. NAS1097 ve MS20426 aynı çap da olmalarına rağmen baş şeklinin yassılığı farklıdır. MS20426'nın baş kısmı daha büyüktür.



Şekil 5.3. NAS1097, MS20470 ve MS20426 Perçinlerinin Görünümü

Tez numunelerinde kullanılmak üzere üniversal başlı ve havşa başlı perçinler tercih edilmiştir ve Tablo 5.4.'de perçinlerin mekaniksel kuvvet olarak verilen çekme sonucu kesilme değerleri verilmiştir.

Tablo 5.4. NAS1097, MS20426, MS20470 Perçinlerinin Kesme Değerleri [76]

Material		Protective finish	Shear strength (psi) min
Aluminum alloy	2117-T4	Anodize	26,000
	5056-H32	Anodize	24,000
	2017-T4	Anodize	33,000
	2024-T4	Anodize	37,000

Tablo 5.4.a NAS1097 kesme mukavemeti değeri

Material		Protective finish	Shear strength (psi) min
Aluminum	1100-F	None	Not specified
Aluminum alloy	5056-H32	Anodize	24,000
	2117-T4	Anodize	26,000
	2024-T4	Anodize	37,000
	2017-T4	Anodize	33,000

Tablo 5.4.b MS20426 kesme mukavemeti değeri

Material.....	Aluminum 1100	Aluminum alloy 2117	Aluminum alloy 5056	Aluminum alloy 2017	Copper	Monel	Monel
Protective Finish.....	None	Anodize			None	None	Cad. plate
Shear Strength.....	Not Specified	26,000	24,000	33,000	17,000		

Tablo 5.4.c MS20470 kesme mukavemeti değeri

5.2.3 AD, D VE DD Perçin Malzemesi

Test numunelerini hazırlarken üç farklı alaşım tipi seçilerek perçinli bağlantılar oluşturulmuştur. Perçin malzemesi olarak alüminyum alaşımları tercih edilmiştir. AD perçin (2117) kodlu alüminyum ve bakır alaşımından, D perçin (2017) kodlu alüminyum bakır alaşımından ve DD (2024) kodlu alüminyum bakır alaşımından oluşmuş alaşımlı perçinler kullanılmıştır. Tablo 5.5.`de Alaşımlı perçinlerin kesme kuvveti değerleri verilmiştir.

Tablo 5.5. Alaşımlı Perçinlerin Kesme Kuvveti Değerleri [77]

Undriven			Driven		Rivet Designation	Rivet Size							
Rivet Material	F _m (ksi)		Rivet Material	F _m ^b (ksi)		1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8
	Min	Max				Driven Single Shear Strength, lbs ^c							
5056-H32	24	n/a	5056-H321 ^d	28*	B ^f	99	203	363	556	802	1450	2290	3275
2117-T4	26	n/a	2117-T3	30*	AD	106	217	389	596	860	1555	2455	3510
2017-T4	35	42	2017-T3	38*	D	134	275	493	755	1085	1970	3115	4445
2024-T4	37	n/a	2024-T31	41*	DD	145	297	532	814	1175	2125	3360	4795
7050-T73	41	46	7050-T731 ^d	43*	E ^h	152	311	558	854	1230	2230	3520	5030
Monel	49	59	Monel	52*	M	183	376	674	1030	1490	2695	4260	6085
Ti-45Cb	50	59	Ti-45Cb	53*	T	187	384	687	1050	1515	2745	4340	6200
A-286	85	95	A-286	90*	-	317	651	1165	1785	2575	4665	7375	10500

5.3. Deneyin Uygulanması

Taguchi metodu ile yapılan deneyin uygulama aşamaları maddeler halinde belirtildikten sonra detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Test numuneleri TURKISH HABOM Yapısal Atölyesinde üretilmiş olup çekme testleri ise TURKISH ENGINE CENTER (TEC) NDT Atölyesinde gerçekleştirilmiştir.

- 1) L9 deney tasarımına uygun olarak 9 adet bindirmeli perçin numunemiz için 100*60 mm'lik AL2024 T3 malzemesinden 18 adet plaka üretilmiştir.
- 2) Test plakaları SRM (Structural Repair Manual)'de belirtilen şekilde hesaplamalar yapılarak markalama işlemi yapılmıştır.
- 3) İki adet plaka bindirme perçinleme yapabilmek için delme işlemi yapılmış plakaları bir arada tutacak şekilde fastener ile tutturulmuştur.
- 4) Delme işlemleri sonrası Taguchi metodunda kullanmak için seçmiş olduğumuz parametrelerdeki uygun perçinler delik yuvalarına oturtularak perçin tabancası ile perçinleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.
- 5) Oluşturmuş olduğumuz 9 adet bindirme perçin numunemiz çekme test cihazında testleri yapılmıştır.
- 6) Yapılan testlerin sonuçları Minitab programında Taguchi deney tasarımına uygun olarak aktarılmıştır.

- 7) Minitab programına aktarılan veriler en büyük en iyi olarak yorumlanarak grafiksel olarak sonuçlar alınmıştır.
- 8) En son aşama da ise en önemli faktörün belirlenmesi ve hangi faktörün % olarak önemi bulunmuştur.

5.3.1. Test Plakasının Seçimi AL2024 T3

Deneilerin yapılabilmesi için uçakların yapısal parçalarında yaygın olarak kullanılan alüminyum malzemesi AL 2024 T3 seçilerek başlanmıştır. AL 2024 T3 malzemesi kalınlığı 0,071" olarak seçilmiştir. Şekil 5.4.'de kullanmış olduğum 60*100 mm'lik alüminyum plaka gösterilmiştir. Tablo 5.6.'da Alüminyum malzemelerinin çeşitli ısıl işlem sonuçlarındaki mekanik özellikleri verilmiştir.



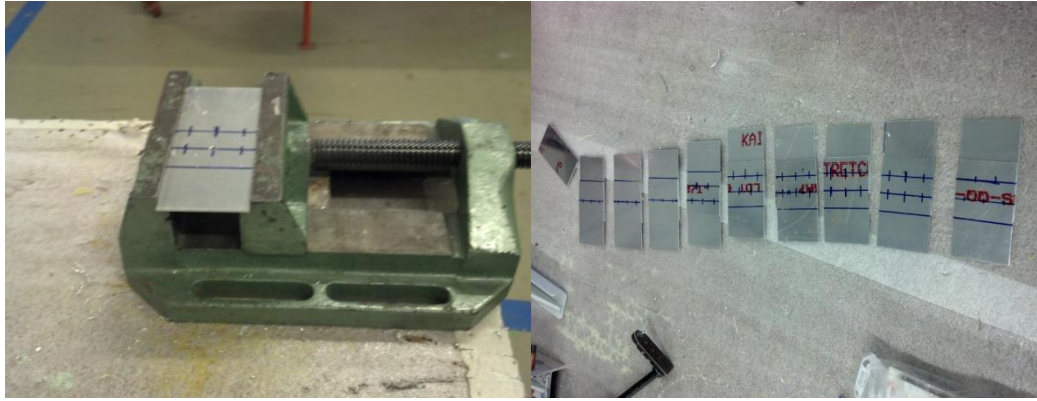
Şekil 5.4. AL 2024 Malzemesi

Tablo 5.6. Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri [78]

Isıl İşlem Koşulu	$R_{p0.2}$ (Akma Dayanımı) [N/mm ²]	R_m (Çekme Dayanımı) [N/mm ²]	A (Kopma Uzaması) [%]	Sertlik HB	Sertlik HV
O	75	185	20	55	60
T3	340	475	18	120	125
T4	330	460	20	120	125
T6	345	427	5	125	130
T8	450	485	6	130	140

5.3.2. Parçaların Markalanması

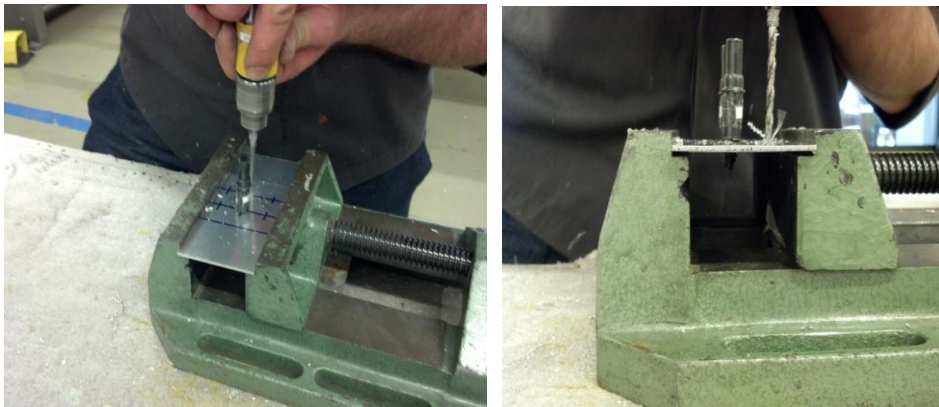
Deney numuneleri hazırlanırken delme ve perçinleme işlemlerinin sorunsuz yapılabilmesi için plakalar önceden markalanarak delik açılacak yerleri işaretlenmiştir. Markalama işlemini yaparken Uçak Yapısal Tamir Kılavuzunda (SRM) yer alan hesaplamalar kullanılarak yapılmıştır. Şekil 5.5.'de numunelerin markalanması gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Numunelerin Markalanması

5.3.3. Parçaların Delinmesi ve Fastener ile Bağlanması

Uçak yapısal işlemlerinde perçin uygulamaları yaparken fastener dediğimiz bağlayıcılar ile iki veya daha fazla malzemeyi birbirine tuttururuz. Böylece yapılacak olan delme veya perçinleme işlemi daha az hata ile gerçekleştirilmiş olur. Şekil 5.6.'da parçaların delinmesi ve fastener ile bağlanması gösterilmiştir. Şekil 5.7.'de ise numunelerin delme işlemlerinin en son hali gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Numunelerin Fastener İle Bağlıyken Delme İşlemlerinin Yapılması



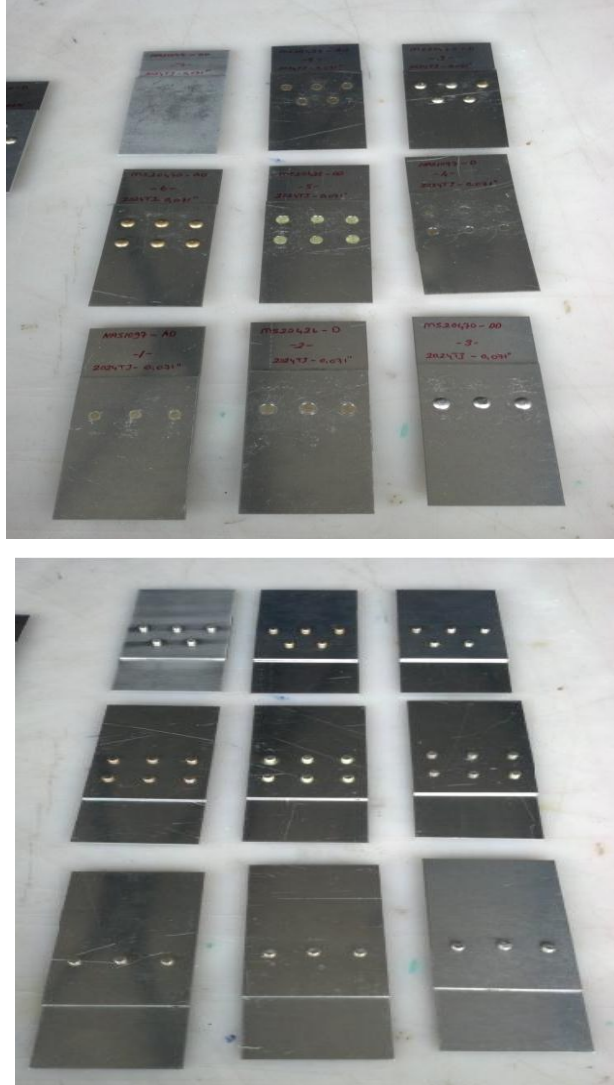
Şekil 5.7. Delme İşlemlerinden Sonraki Görüntü

5.3.4. Perçinlerin Taguchi Metoduna Uygun Yerleştirilmesi

Deney uygulamamızı Taguchi metodu ile yaparken 3 farklı parametre ve 3 seviye belirlemiştik. Belirlediğimiz parametreler perçinlerin sırası, perçinlerin baş şekli ve perçin malzemesiydi. Kullanmış olduğumuz perçinler; NAS1097, MS20426 ve MS20470. Kullanmış olduğumuz perçin malzemeleri; AD, D ve DD. Perçin çapını ise 5/32" olarak belirledim. Aşağıda perçinlerin Taguchi L9 dizaynına uygun olarak yapılmış sıralaması gösterilmiştir.

- 1) Tek sıralı, NAS1097, AD
- 2) Tek sıralı, MS20426, D
- 3) Tek sıralı, MS20470, DD
- 4) Çift sıralı, NAS1097, D
- 5) Çift sıralı, MS20426, DD
- 6) Çift sıralı, MS20470, AD
- 7) Zikzaklı, NAS1097, DD
- 8) Zikzaklı, MS20426, AD
- 9) Zikzaklı, MS20470, D

Şekli 5.8.'de hazırlanan numunelerin önden ve arkadan çekilmiş görüntüleri yer almaktadır.



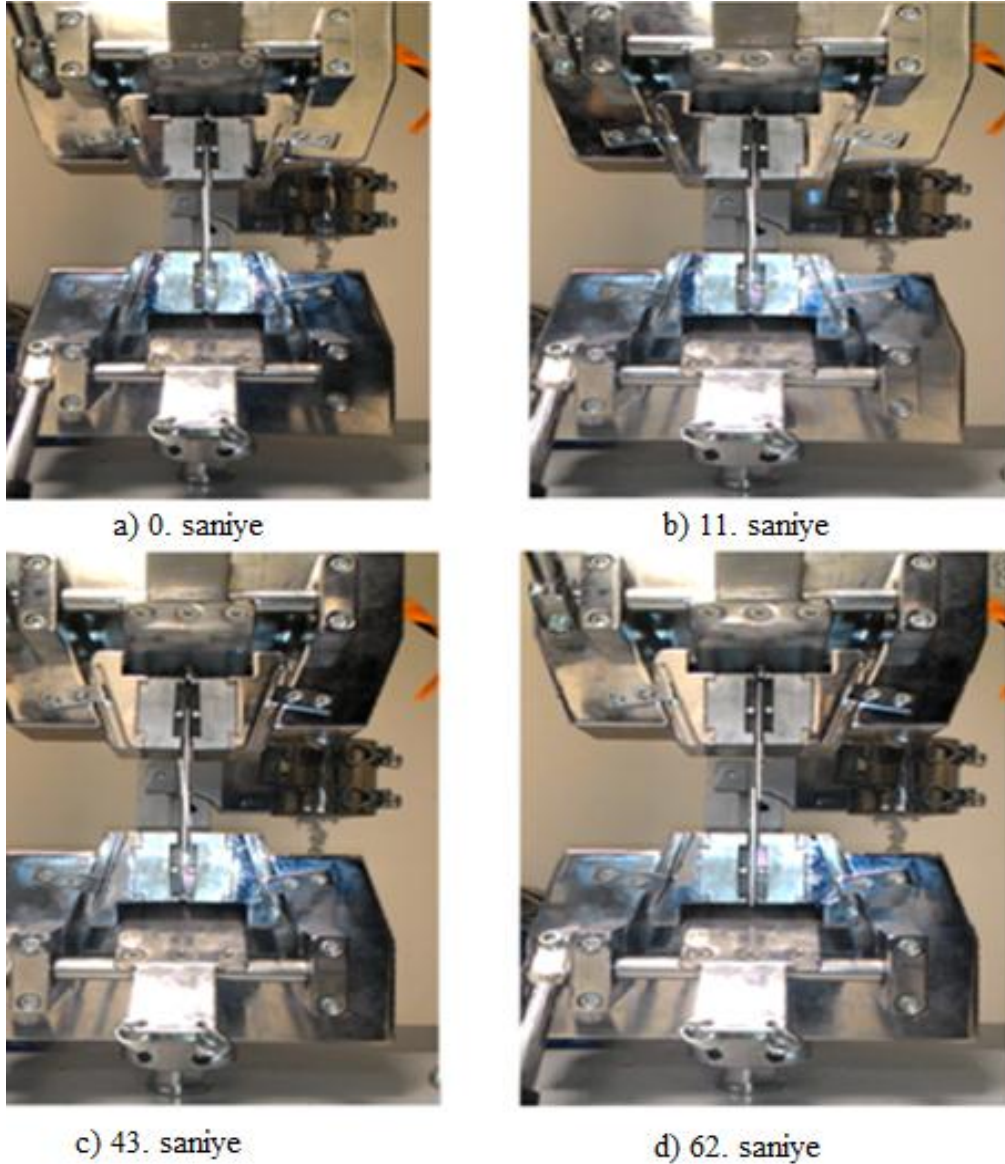
Şekil 5.8. Hazırlanan Numunelerin Son Halleri

5.3.5. Deney Numunelerinin Testlerinin Yapılması

TEC firmasında yapılmış olan testler de, M01 numaralı özel olarak imal edilmiş çekme test cihazı kullanılmıştır. Laboratuvar ortam sıcaklığı 20-25 °C arasında değişiklik göstermiştir. Deney numunelerinin test için kodlanması, sıralama yapılması ve deneyin uygulama süresi yaklaşık olarak 100 dakika sürmüştür.

Parça bağlama aparatı genişliği: 68 mm

Şekil 5.9.'da hazırlamış olduğumuz deney numunelerinden 3 numaralı numunenin test işlemi sürecindeki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.9. Çekme Test İşleminin Uygulanma Süreci

5.3.5.1. Çekme Testi

Perçinli bağlantılarda mekanik testler yapılırken perçinde olabilecek kesme ve ezilme durumuna göre formüller kullanılır. Çekme Test cihazında test sonuçlarının hesabının yapılabilmesi için aşağıdaki formüllerin kullanılması gerekir. Yapılan testler sonucunda her bir deney numunemizdeki perçinlerde kesilme (kopma) meydana geldiğinden perçin de kesme formülünü hesaplamalar da kullanacağız [79].

Perçinde Kesme:
$$\tau = \frac{F}{znA} \leq \tau_{em}$$

z: perçin sayısı
n: tesir sayısı
A: perçin şaftının kesiti

Perçinde Ezilme:
$$P = \frac{F}{zds} \leq P_{em}$$
 s: parça kalınlığı minimum olan alınır.

Yapısal parçaları bir arada tutan perçinlerin zarara uğramasının haricinde yapısal parçalarda mekanik kuvvetler karşısında değişimlere uğrar. Aşağıda kuvvetler karşısında yapısal parçalar da meydana gelen değişimler ve değişimlerin hesaplanması için kullanılan formüller verilmiştir [80].

Sac Parçasının Yüzey basıncına Maruz kalması sonucu ezilmesi;
$$p = \frac{F}{z.d_1.s} \leq p_{em}$$

Sac Parçasının Kopması;
$$\sigma_s = \frac{F}{s(b - zd_1)} \leq \sigma_{em}$$

Sac Parçasının Yırtılması;
$$\tau = \frac{F}{z.2.(e_1 - \frac{d_1}{2})s} \leq \tau_{em}$$

5.3.5.2 Çekme Test Sonuçlarının Yorumlanması

Deney numunelerimizin testini gerçekleştirirken perçinde mi yoksa parçada mı deformasyon olacağı bilinmediği için perçin kesiti tüm deneyler için ortak seçilerek deneyler yapılmıştır. Yapılmış olan testler de perçinlerin hepsinde kesilme meydana geldiği için perçinde kesme formülünü kullanarak sonuçlar elde edildi.

Kullandığımız perçinler 5/32" olarak seçilmiştir. Tesir sayısı da bindirmeli tip olduğu için 1 değeri alınmıştır. Test işlemleri bittikten sonra çıkan Çekme Kuvveti (F) değerlerini perçinlerimizin hepsinde kesilme meydana geldiği için Perçinde Kesme formülünden yararlanarak aşağıdaki değerleri elde ettik.

Hesaplama da kullandığımız değerler;

$$A = \pi r^2$$

Perçin Çapı (d): 5/32 " = 3,96875 mm

Tesir Sayısı (n): 1

Perçin Sayısı (z) için aşağıdaki değerler alınmıştır.

- Tek Sıra Bindirmeli: 3
- Çift Sıra Bindirmeli: 6
- Zikzak Bindirmeli: 5

Çekme Test cihazında yapılan deneyler sonucunda alınan değerler aşağıdaki Tablo 5.7.' de verilmiştir. İlk sütun bizim deney için hazırlamış olduğumuz numunelerden oluşmaktadır. İkinci sütun cihazdan alınan yükleme sonucu alınan değerler. Üçüncü sütunda ise her bir numunedeki perçin sayısına göre kopma (kesilme) kuvvetleri verilmiştir.

Tablo 5.7. Çekme Test Cihazından Alınan Değerler

DENEY NUMUNELERİ	TEST CİHAZI YÜKLEME (N)	PERÇİNDE KOPMA (Nt/mm2)
Tek sıralı, NAS1097, AD	9158.8	246.788
Tek sıralı, MS20426, D	9472.6	255.243
Tek sıralı, MS20470, DD	10590.5	285.365
Çift sıralı, NAS1097, D	21612.4	291.178
Çift sıralı, MS20426, DD	23583.4	317.732
Çift sıralı, MS20470, AD	20720.1	279.171
Zikzaklı, NAS1097, DD	21181.0	342.440
Zikzaklı, MS20426, AD	16856.5	272.525
Zikzaklı, MS20470, D	18405.9	297.574

5.3.6. Test Sonuçlarının Minitab Programına Aktarılması

Çekme test cihazında yapmış olduğumuz deneylerin sonuçlarını cihaz için hazırlanmış programdan aldıktan sonra tablo 5.7.'deki üçüncü sütuna yerleştirdik. Ayrıca bu değerler Minitab programında bulunan Taguchi tasarım modülünde (3³) L9 tasarımı

seçilerek en büyük en iyi seçeneği uygulanarak tez çalışmasının sonuçları elde edilmiştir.

5.3.7 Minitab Programında Sonuçların Yorumlanması

Çalışmada deney tasarımının gereği olarak 9 deney yapılmış ürün kalitesinin belirlenmesi için iş parçalarında meydana gelen kesme değerleri ölçülmüştür. Toplanan gözlem verileri Minitab programının Taguchi analiz kısmında en büyük en iyi kriterine göre çözümlenerek gerekli veri ve grafikler elde edilmiştir.

5.3.7.1 Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

5.3.7.1.1 S/N analizi

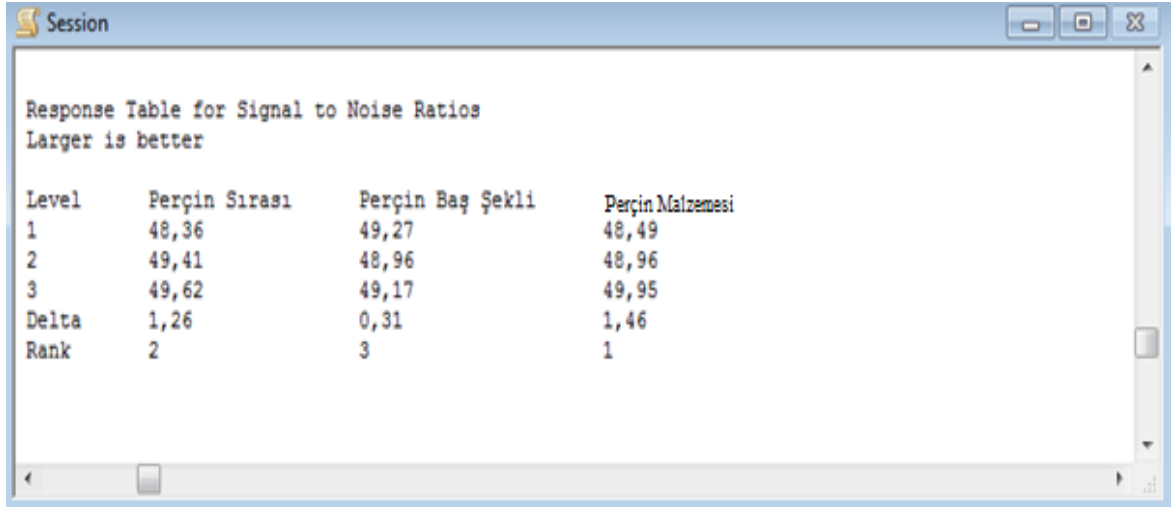
Taguchi yönteminde performans belirlemede ve sisteme ait varyasyonu ölçmede S/N analizi kullanılır. Yapısal bağlantıların güçlü olması için perçinlerin özelliklerinin uygun seçilmesi veya kabul edilebilir seviyede olması istendiği için sinyal-gürültü faktörlerinin analizinde ‘en büyük en iyi’ yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu yaklaşıma göre elde edilen çekme test sonuçları ve S/N değerleri Tablo 5.8.’de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. Çekme Test Sonuçları ve S/N Oranları

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	A	B	C		SN			
1	1	1	1	246,788	47,8465			
2	1	2	2	255,243	48,1391			
3	1	3	3	285,365	49,1080			
4	2	1	2	291,178	49,2832			
5	2	2	3	317,732	50,0412			
6	2	3	1	279,171	48,9174			
7	3	1	3	342,440	50,6917			
8	3	2	1	272,525	48,7081			
9	3	3	2	297,574	49,4719			

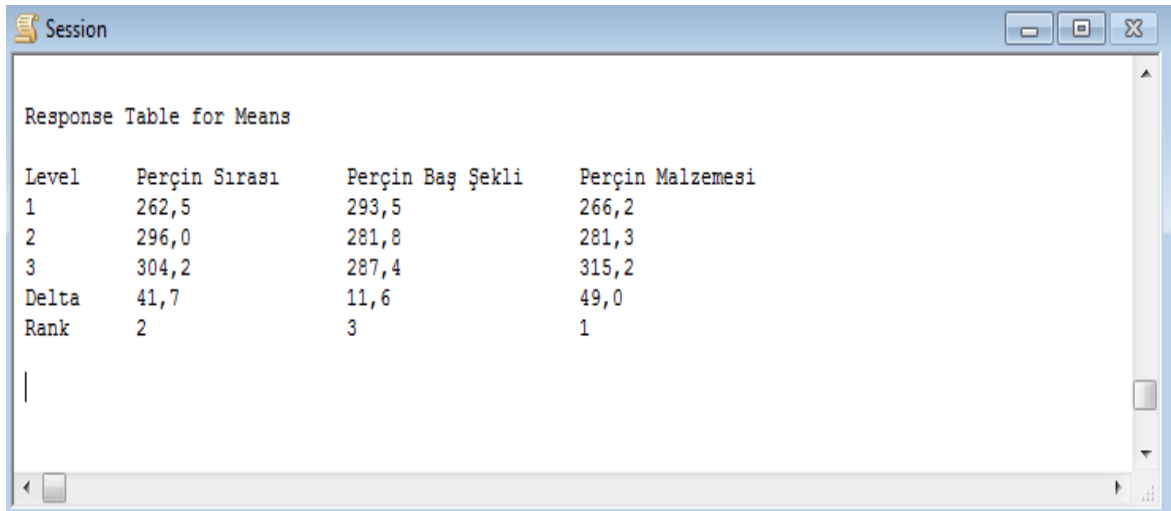
Perçinleme işleminde her bir kontrol faktörünün etkisinin analizi S/N tablosu kullanılarak yapılmıştır. Tablo 5.8.’de ve Tablo 5.9.’ da her bir kontrol faktörünün seviyesinin değişimiyle S/N oranlarının ve ortalamalarının nasıl değiştiği gösterilmektedir.

Tablo 5.9. Perçinleme İşleminin Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları



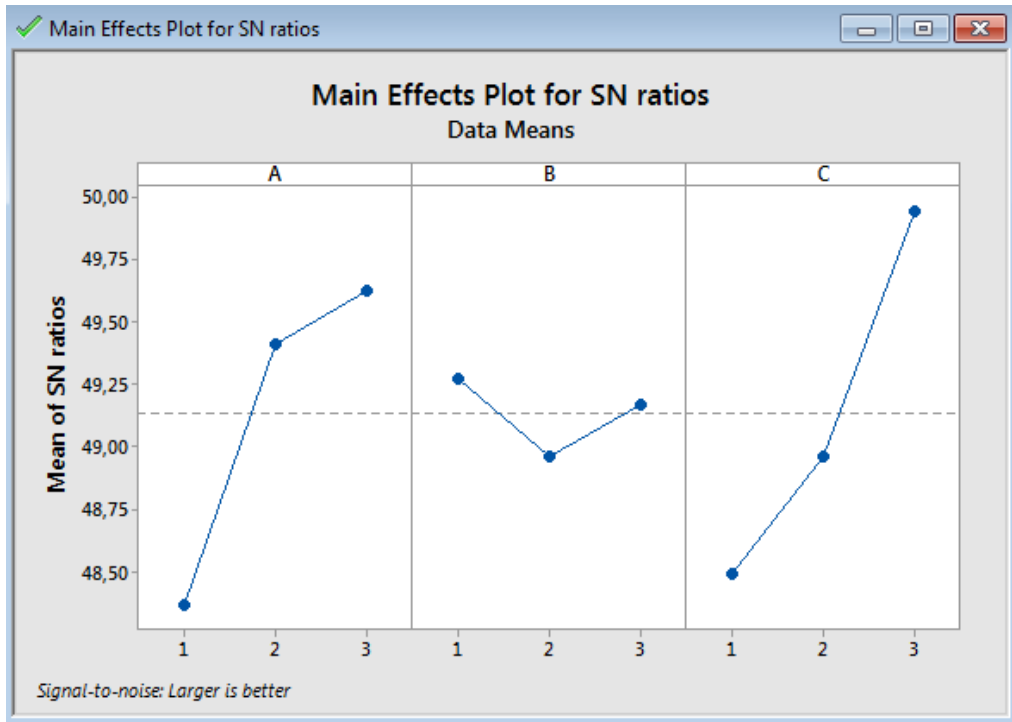
Level	Perçin Sırası	Perçin Baş Şekli	Perçin Malzemesi
1	48,36	49,27	48,49
2	49,41	48,96	48,96
3	49,62	49,17	49,95
Delta	1,26	0,31	1,46
Rank	2	3	1

Tablo 5.10. Perçinleme İşlemleri İçin Kontrol Faktörlerinin Ortalama Değerleri



Level	Perçin Sırası	Perçin Baş Şekli	Perçin Malzemesi
1	262,5	293,5	266,2
2	296,0	281,8	281,3
3	304,2	287,4	315,2
Delta	41,7	11,6	49,0
Rank	2	3	1

Tablo 5.9. ve Tablo 5.10.'da Taguchi yöntemi uygulaması sonucu oluşan faktör seviyeleri verilmektedir. S/N oranları ve ortalamalar için verilen yanıt çizelgeleri (Tablo 5.9. ve Tablo 5.10.) ve S/N oranına etki eden ana etkenler (Şekil 5.10.) gösterildiği gibi en iyi faktör kombinasyonunun A3B1C3 olduğunu göstermektedir. Şekil 5.11.'de ise 7 nolu (en iyi faktör kombinasyonu) deney numunesinin deney sonrası görüntüsü verilmektedir. Şekil 5.10.'da ise perçin sırası (A), perçin baş şekli (B) ve perçin malzemesi (C) olmak üzere 3 faktörün 3 seviyesinin kopma üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Perçinleme İşleminin Kopma Kuvvetine Etkileri ve S/N oranları

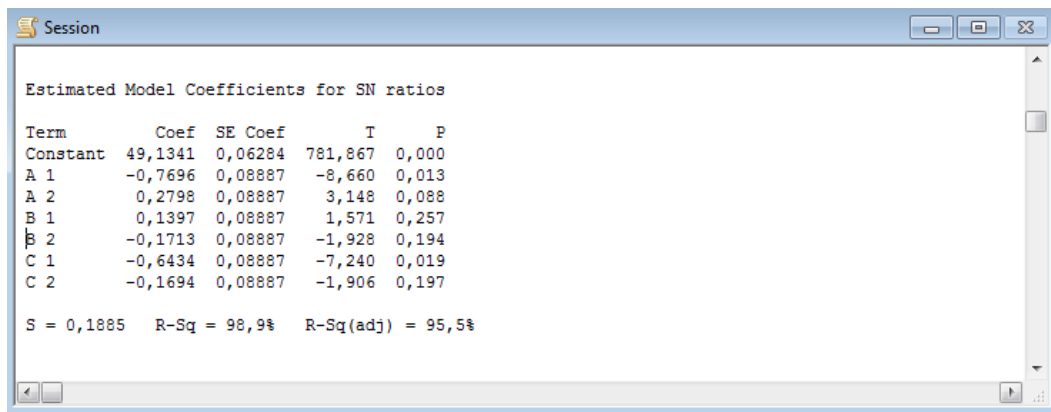


Şekil 5.11. En İyi Faktör Kombinasyonu

5.3.7.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Kesme kuvveti için hesaplanan S/N oranı varyans analizi sonuçları Tablo 5.11.' de sunulmaktadır. S/N oranları baz alındığında %95 güven düzeyinde A ve B faktörlerinin ($p < 0.05$) sonuçlar üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu görülmektedir (Tablo 5.11.). Ayrıca elde edilen R2 değerinin %95,5 olarak elde edildiği görülmektedir (Tablo 5.11.). Bu sonuç uygulamanın geçerli olduğunu ve açıklayıcılık gücünün oldukça fazla olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.11. Kesme Kuvveti İçin Anova Analizinin Sonuçları

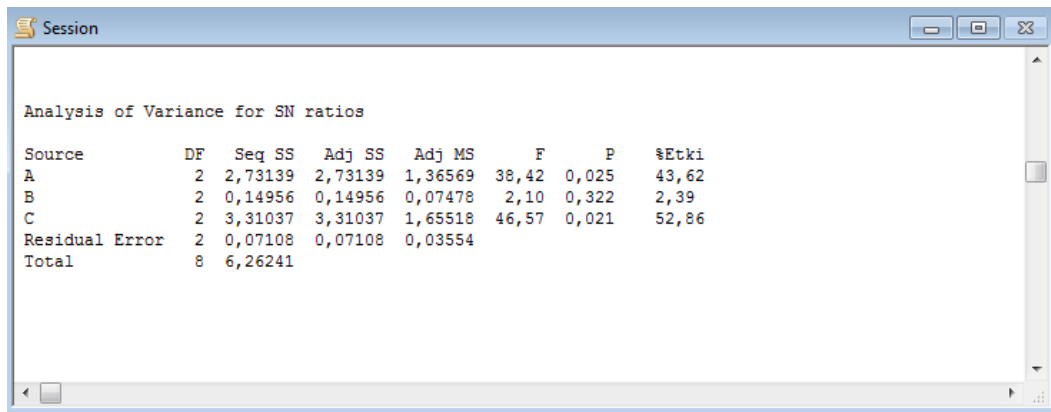


Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	49,1341	0,06284	781,867	0,000
A 1	-0,7696	0,08887	-8,660	0,013
A 2	0,2798	0,08887	3,148	0,088
B 1	0,1397	0,08887	1,571	0,257
B 2	-0,1713	0,08887	-1,928	0,194
C 1	-0,6434	0,08887	-7,240	0,019
C 2	-0,1694	0,08887	-1,906	0,197

S = 0,1885 R-Sq = 98,9% R-Sq(adj) = 95,5%

Tablo 5.12. Kesme Kuvveti İçin Anova Analizi Tablosu



Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	%Etki
A	2	2,73139	2,73139	1,36569	38,42	0,025	43,62
B	2	0,14956	0,14956	0,07478	2,10	0,322	2,39
C	2	3,31037	3,31037	1,65518	46,57	0,021	52,86
Residual Error	2	0,07108	0,07108	0,03554			
Total	8	6,26241					

Tablo 5.12.'de verilen ve % olarak belirtilen değerler her bir faktörün toplam değişkenlik üzerindeki etkisini gösterir. C (perçin malzemesi) faktörü %52,86'lık etkiyle en önemli faktör olarak kendini göstermektedir. A (perçin sırası) faktörü %43,62'lik etkiyle ikinci sıradaki faktör olarak etki etmektedir. B (perçin baş şekli) % 2,39'luk etkiyle en az etkiye sahip olan faktör olarak yer almaktadır.

6. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bilimsel metotların endüstri de kullanımının artmasıyla yeni üretilecek bir ürünün veya mevcut haldeki herhangi bir ürünün maliyeti azaltılmış olup zamandan da kazanım sağlanacaktır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla paralel olarak artan talep firmaların kar paylarını önemli ölçüde etkilemiştir. Bu durumda firmalar talebi karşılayabilmek için yeni yöntemler uygulamak mecburiyetinde kalmışlardır. Taguchi'nin geliştirmiş olduğu ortogonal diziler sayesinde ürün geliştirme ve araştırma geliştirme faaliyetlerinde maliyet, minimuma indirilecek ve zamandan kazanım sağlanacaktır. Taguchi metodunun üretimin her aşamasında kullanılabilir olması hata yapma olasılığını azaltmış olacaktır. Böylece ürünün tasarımından itibaren çıkabilecek aksaklıklar düzeltilecek ve ürün ile ilgili yapılacak iyileştirmeler anlam kazanacaktır.

Yapılan bu çalışma da Taguchi metodunun hava araçlarındaki bağlantı elemanlarının dizaynı üzerine etkileri araştırılmıştır. 3 seviyeli 3 adet faktör seçilerek, uçaklardaki basınçlı bölgelerde de kullanılan perçinlerin çekme gerilmesi sonucu gösterdikleri performans incelenmiştir. Uygun olan perçin çapını belirlemek için yaklaşık olarak 3, 4, 5 mm çaplarında perçinler kullanarak örnek numuneler oluşturdu. Fakat kullanmış olduğum sac malzemesine ve cihazın kapasitesine uygun olan deney numunelerini çapları 4 mm' ye yakın olan 5/32" olan perçinleri kullanarak elde ettim. Yapmış olduğum 9 adet numunede kullanmış olduğum üç ana faktörü; Perçin sırası, perçin baş şekli ve perçin malzemesi olarak belirledim. Perçin sırası olarak tek sıralı, çift sıralı ve zikzak bağlantıları seçtim. Perçin baş şekli olarak NAS 1097 (100⁰ havşa başlı), MS20426 (100⁰ havşa başlı) ve MS20470 (üniversal başlı) perçinleri seçtim. Perçin malzemesi olarak AD (2117-Alüminyum Bakır alaşımı), D (2017-Alüminyum Bakır alaşımı) ve DD (2024-Alüminyum Bakır alaşımı) perçinleri seçtim. Turkish Engine

Center (TEC) firmasında çekme test cihazında çekme testi sonuçlarını elde ettim. Çekme test sonuçlarını minitab programına aktarıp Taguchi deneysel tasarım modunu seçerek en etkili faktör ve seviyeleri belirledim. Taguchi metoduna göre en etkili faktör perçin malzemesi %52,86 ile ilk sırada, perçin sırası %43,62 ile ikinci sırada ve perçin baş şekli %2,39 etkiyle son sırada etkili olan faktörler olarak belirlendi. Her bir faktör içindeki seviyelerin etkililik sırası şu şekilde bulundu; Perçin malzemesi: DD, D, AD, perçin sırası: zikzak, çift sıralı, tek sıralı, perçin baş şekli: NAS 1097, MS20470, MS20426 olarak bulundu. Taguchi metodunu kullanarak yapmış olduğum 9 adet numune ile elde ettiğim sonuçlara ulaştım. Klasik metot ile 27 deney yapmak zorunda kalacaktım. Söz konusu deney uygulamam hem malzeme tedariki zor hem de yapımı uzmanlık gerektirdiği için Taguchi metodu ile daha az sayıda ve daha kısa zaman da gerçekleştirildi.

6.2. Öneriler

Çalışma da L9 Taguchi tasarımı kullanılarak belirlenmiş olan parametrelerin hava araçlarındaki perçin bağlantılarına olan etkisi araştırılmıştır. Taguchi metodunun hava araçlarındaki diğer sistemlere de uygulanması ile üretim ve bakım maliyetleri en aza indirgenerek kayıp zamanında azaltılması mümkün olacaktır. Taguchi tasarımının uygulanabilirliği bakım işlerinde de işlevsellik kazanacaktır.

Taguchi tasarımının kullanımını arttırıp daha fazla alana yaymak hem bu yöntemin tanınabilirliğini hem de daha başka alanlar da kullanabilirliğini arttıracaktır.

KAYNAKLAR

1. Salkım, İ., 2012. Taguchi Optimizasyon Yönteminin Anten Tasarım Problemlerine Uygulanması, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 117s.
2. Tozkoparan, D., 2010. Plazma Sprey Kaplama Kalitesine Etki Eden Faktörlerin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 90s.
3. Yang, W.H., Tarn, Y.S.,1998. Design Optimization Of Cutting Parameters For Turning Based On The Taguchi Method, Taiwan, **Journal Of Materials Processing Technology**, **84** (1-3): 122-129.
4. Oudjene, M., Ben-Ayed, L., 2008. “On the parametrical study of clinch joining of metallic sheets using the Taguchi method”, **Engineering Structures**, **30** (6) 1782–1788.
5. Ghani, J., A., Choudhury, I.A., Hassan, H.H., 2004. Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters. **Journal of Materials Processing Technology**, **145** (1): 84–92.
6. Hamzaçebi, C., Kutay, F., 2003. Taguchi metodu: bir uygulama. **Teknoloji Dergisi**, **3** (4): 7- 17.
7. Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen. M., 2004. Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu, **İTÜ Mühendislik Dergisi**, **3** (6): 117-128.
8. Karagöz, N., 2013. Taguchi Metodunun Hava Aracı Kanat Tasarımı Sürecine Uygulanması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran, Kayseri, 84 s.
9. Yücel, E., 2011. Yüksek Alaşımlı Beyaz Dökme Demirlerin (Ni-Hard) İşlenebilirlik Parametrelerinin Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, Karabük, 103 s.
10. POYRAZ, S., B., 2010. Pnömatik İki-Eksenli Bir Kartezyen Robot Sistemi İle Malzeme Taşıma Otomasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eylül, İzmir, 130 s.
11. Ying, C., Jia-Fan, Z., Can-Jun, Y. and Bin, N., 2007. “Design and hybrid control of the pneumatic force-feedback systems for arm-exoskeleton by using on/off valve”, **Mechatronics**, **17** (6): 325–335.

12. Situm, Z., 2013. "Control of a pneumatic drive using electronic pressure valves", **Transactions of the Institute of Measurement and Control**, **35** (8): 1085–1093.
13. Liao, M., Shi, G., and Xiong, Y., 2001. Analytical methodology for predicting fatigue life distribution of fuselage splices, **International Journal of Fatigue**, **23** (1): 177-185.
14. Yaban, E., 2012. Bir Uçağın Basınç Duvarının Yapısal Optimizasyonu Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şubat, Ankara, 90s.
15. Nouari, M., List, G., Girot, F., Coupard, D. 2003. "Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys", **Wear** **255** (7-12) 1359-1368.
16. Erturun, V., 2006. Uçaklardaki Perçin Bağlantılarında Fretting Yorulma Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Temmuz, Kayseri, 188 s.
17. Aytaç, A., Yılmaz, B., Deniz, V., 2008. Kord bezi üretiminde büküm yönünün etkilerinin farklı deney tasarımı yöntemleri ile incelenmesi. **Dokuz Eylül Fakültesi İşletme Fakültesi Dergisi**, **9** (1): 61-71.
18. Şeker, M., 2013. Fren Balatalarının Üretim Şartları ve İçeriğinin Performansa Etkisini Taguchi Yöntemiyle Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147 s.
19. Erdem, V., Belevi M., Koçhan C., 2010. Taguchi metodu ile plastik enjeksiyon parçalarda en aza indirilmesi. **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, **12** (2): 17-29.
20. Akman, G., Çoşkun Ö., 2011. Sac imalatında karşılaşılan yapışma probleminin deney tasarımı ile çözümü. **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, **12** (2): 187-199.
21. Ferah, M., 2003. Çok yanıtlı Taguchi deneysel tasarım metodu ve alüminyum sanayinde bir uygulama. **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi**, **7** (2): 61-69.
22. Kırış, Ş., Anagün S. ve Yüzügüllü N., 2007. "Bir kalite karakteristiğinin deney tasarımı ile iyileştirilmesi", Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği **27. Ulusal Kongresi**, İzmir, 851-856 s.

23. Asılıtürk, İ., Neşeli, S., 2004. Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis, **Measurement** **45** (4): 785–794.
24. Taylan, D., 2009. Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 73 s.
25. Şirvancı, M., 1997. Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı, Literatür Yayınları, İstanbul, 112 s.
26. Baynal K., 2005. Çok yanıtli kalite karakteristiklerin eşzamanli eniyilenmesinde Taguchi yöntemi ve otomotiv endüstrisinde bir uygulama, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, **16** (2): 1-24.
27. Şanyılmaz, M., 2006. Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi İle Bir Uygulama, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 87 s.
28. Kamber, Ö., Ş., 2008. Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Basınç ve Sıcaklık Parametrelerinin Ürün Kalitesine Etkileri ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 176 s.
29. Durmaz, S., 2008. Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyonu prosesine uygulanması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 164 s.
30. Çelikkan, H., 2009. Taguchi Kayıp Fonksiyonu ile Ekonomik Sipariş Miktarı ve Yeni Bir Model Önerisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 100 s.
31. Koçoğlu, E., 2015. Kalite Yönetim Sistemleri http://www.ercankocoglu.com/2013/kalite_yonetim_sistemleri.pdf (Ocak 2015).
32. Samtaş, G., 2010. Kalite güvencesi ve standartları ders notları.
33. Tayfun, Ö., 2000. İstatiksel Kontrol, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No: 62 Ankara, 313 s.
34. Demirkan, Mahmut, 1997. “Toplam Kalite Yönetimi”, Değişim Yayınları, Sakarya, 33-40.
35. Şimşek, M., 2000. “Sorularla Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemleri”, Alfa Yayınları, İstanbul, 3 s.

36. Uğur, N., 1995. Kalite Maliyeti, Kosgeb Ankara Eğitim Merkezi, Yayın No:29, Ankara, 10 s.
37. Harrington, H. J., 1999. ” Performance Improvement: A Total Poor Quality Cost System”, **The TQM Magazine**, **11** (4): 221- 230 s.
38. Özenci, T.B. ve Cunbul Ö.L., 1998. Kalite Ekonomisi, İkinci Basım, Kalder Yayınları: 2, İstanbul,
39. Çakırkaya, Sezen, 2012. Kalite maliyetleri <http://sezencakirkaya.com/tag/toplam-kalite-yonetimi/page/2/>(Ocak 2015).
40. Erginel, N., 2015. Kalite Maliyetleri Ders Notları http://www.endustri.anadolu.edu.tr/nerginel/TKY302/icerik/4_Kalite%20Maliyetleri_ders%20notlar%C4%B1.pdf (Ocak 2015).
41. Gökçe, B., Taşgetiren, S., 2009. **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, **6** (1): 71-83.
42. Yıldırım, S., 2011. Ürün tasarımı geliştirilmesi: Taguchi tasarımı, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 70 s.
43. Turgut, E., Dikici A., 2011. Eş Eksenli Bir Isı Değiştiricisinin Tasarım Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu. *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey. 278-281
44. Uslu, T., 2007. Faktöriyel tasarım ve süreç optimizasyonu. **Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, **9** (1): 534-551
45. Mezarciöz, S., Ogulata R.T., 2010. Süprem kumaşlarda patlama mukavemeti değerinin Taguchi ortogonal dizayna göre optimizasyonu, **Tekstil ve Konfeksiyon**, **20** (4): 320-328.
46. ÇAKIR, S., 2007. Çoklu Kalite Karakteristikleri İçin Karesel Kayıp Fonksiyonları ve Sinyal Gürültü Oranlarının Kullanımı Üzerine Bir Uygulama, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 131 s.
47. Saat, M., 2000. Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı. **Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, **2** (3): 97-108.
48. Şirin, Emine, Şirin Şenol, Turgut Yakup, 2015. AISI D2 Soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün taguchi metodu ile optimizasyonu, **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, **3** (1):132-144.

49. MEB, Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri, Temel Pnömatik, 2007. http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/endustriyel_otomasyon/moduller/TemelPnomatik.pdf (Ocak 2015)
50. MEB, Motorlu Araçlar Teknolojisi, Araçlar da Pnömatik Sistemler Temel Pnömatik, 2014. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Ara%C3%A7larda%20Pn%C3%B6matik%20Sistemler.pdf (Ocak 2015).
51. Buldum, Berat Barış, 2006. Dental Restoratif Materyallerin Yorulma ve Kırılma Dayanımını Test Eden Okluzal Yükleme Makinasının Tasarımı ve İmalatı Yüksek Lisans Tezi Makina Eğitimi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, 138 s.
52. MEB, Uçak Bakım, Temel Uçak Sistemleri, 2012. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Temel%20U%C3%A7ak%20Sistemleri.pdf (Şubat 2015).
53. Boeing 737 Teknik Sitesi, 2015. http://www.b737.org.uk/images/schem_pneumatic.jpg (Ocak 2015).
54. Çakır, K., Öcal M., Taymaz, İ, 2003. Ticari uçaklar da iklimlendirme sistemi ve konfor, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 7 (2): 229-235 <http://oaji.net/articles/2014/1084-1417702102.pdf> (Mart 2015).
55. Uçak İklimlendirme Sistemlerinde İç Hava Kalitesi Üzerine Etkisi 22-24 Ekim 2009, MMO, Denizli 4. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, **Mühendis ve Makina**, 51 (607): 9-19.
56. Airframe And Powerplant Mechanics Airframe Handbook, U.S. Department Of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service 1972-1976 541-542s.
57. Çetingüç, M., 2012. Kabin Basıncı Kaybı, Kabin Patlaması, <http://www.hvtd.org/yeni/?p=345> (Şubat 2015).
58. Qantas Teknik Eğitim Notu, (Şubat 2002).
59. <https://aviationwriter.wordpress.com/2012/04/16/ucak-govdesiaircraft-fusalage/> (Ocak 2015).
60. MEB, Uçak Bakım, Uçak Gövde Yapısı, 2015 http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/U%C3%A7ak%20G%C3%B6vde%20Yap%C4%B1s%C4%B1.pdf (Şubat 2015).

61. THY Uçak Yapıları Eğitim Dokümanı (2015).
62. FAA Federal Aviation Administration, 2015. http://lessonslearned.faa.gov/Japan123/Jal_bulkhead_diagram.jpg (Ocak 2015).
63. Referans Metal Katalog Değerleri, 2015. <http://www.referansmetal.com/mak-oz.html>. (Ocak 2015).
64. MEB, Metal Teknolojisi Perçinleme, 2005. <http://hbogm.meb.gov.tr/moduler-programlar/kursprogramlari/metal/moduller/percinleme.pdf> (Ocak 2015).
65. Felekoğlu, B., 2015. Alternatif Yapı Malzemeleri Ders Notları 2 http://kisi.deu.edu.tr/burak.felekoglu/02.Celik_Part2.pdf (Ocak 2015).
66. Gökçe, B., 2007. Kendinden delmeli perçinler. **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, (4): 39-44.
67. MEB, Metal Teknolojisi Perçinleme, 2011. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Per%C3%A7inleme.pdf (Ocak 2015).
68. MEB, Makine Teknolojisi, Sökülemeyen Birleştirme Elemanları, 2011. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/S%C3%B6k%C3%BClemeyen%20Birle%C5%9Firme%20Elemanlar%C4%B1.pdf (Şubat 2015).
69. TEMİZ, V., 2015. Ders notları - perçin, <http://web.itu.edu.tr/temizv/VTDN/Percin.pdf> (Ocak 2015).
70. MEB, Uçak Bakım, Uçak Perçinleri, 2011. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/U%C3%A7ak%20Per%C3%A7inleri.pdf (Ocak 2015).
71. <http://www.uteddergi.com/sayi/2012/7/files/assets/seo/page15.html> (Şubat 2015).
72. AVAM 2102 Class Notes., 2015. AME Structures, Solid Rivet Identification, <http://www.auburn.wednet.edu/cms/lib03/WA01001938/Centricity/Domain/2208/Solid%20Rivet%20Information.docx> (Ocak 2015).
73. http://www.rv7-a.com/builder_docs/rivet_alloys.gif (Ocak 2015).
74. Nationalrivet firması perçin katalogu (2015).
75. Kürşad, D., Özkan, M. T., 1996. Perçinlerin mukavemet analizi ve optimizasyonu. **G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi**, 4 (4): 155-162.

76. Military Standard Rivets And Rivet Type Fasteners Preferend For Desing, Listing Of 10 July 1979 Section 718, 710, 722.
77. <http://rivet-table-info.blogspot.com.tr/2012/04/aeroteaching-aircraft-hardware-ms20470.html> (Ocak 2015).
78. Aydın, H., Bayram, A., 2010. Farklı ısıtım koşullarındaki 2024 alüminyum alaşımlarının korozyon sonrası mekanik özelliklerindeki kaybın belirlenmesi. **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 15 (1): 159-160.
79. Kaymaz, İ., Alsaran A., Hacısalihoğlu, İ., 2015. Makine Elemanları Ders Slaytları, <http://mehmetademyildiz.com/wpcontent/uploads/2014/09/Perçin-ve-Yapıştırıcı%20Bağlantıları.pdf> (Ocak 2015).
80. Belevi, M., 2015. Makine Tasarımı I, <http://kisi.deu.edu.tr//melih.belevi/percin2013.pdf> (Ocak 2015).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mahmut ÇAPKURT
 Görevi : Uçak Teknolojisi Program Sorumlusu
 Doğum Yeri ve Tarihi : Kayseri-16.03.1981
 Medeni Hali : Bekar
 Tel : 0505-6863772
 E-posta : mahmut.capkurt@kapadokya.edu.tr
 Yazışma Adresi : Kapadokya Meslek Yüksekokulu / İSTANBUL

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık ABD	-
Lisans	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümü	2010
Lise	Arif Molu Anadolu Meslek Lisesi	2004

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Kurum	Görev
2012-	Kapadokya Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi
2008-2010	Tüvtürk	Araç Muayene Uzmanı
2007	Isısan A.Ş	Ar-Ge Uzmanı

YABANCI DİL

İngilizce