

Süreç İyileştirmede Altı Sigma Yaklaşımı:
Petek Yapılı Malzeme Üretim Sürecinde Bir Uygulama

Berna Albayrak

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2007

Six Sigma Approach In Process Improvement:
An Application In The Honeycomb Material Manufacturing Process

Berna Albayrak

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

July 2007

Süreç İyileştirmede Altı Sigma Yaklaşımı:
Petek Yapılı Malzeme Üretim Sürecinde Bir Uygulama

Berna Albayrak

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yöneylem Araştırması Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. A. Sermet ANAGÜN

Temmuz 2007

Berna ALBAYRAK' ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Süreç İyileştirmede Altı Sigma Yaklaşımı: Petek Yapılı Malzeme Üretim Sürecinde Bir Uygulama” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof.Dr. A. Sermet ANAGÜN (Danışman)

Üye : Prof.Dr. Nimetullah BURNAK

Üye : Yrd.Doç.Dr. Servet HASGÜL

Üye : Yrd.Doç.Dr. Nil ARAS

Üye : Yrd.Doç.Dr. Nuray GİRGİNER

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

İşletmelerin buldukları sektörde varlıklarını sürdürmesi ve ilerleyebilmeleri için faaliyetlerini; yüksek kalite ve düşük maliyetle yerine getirmelerini sağlayacak yöntemler uygulaması gerekmektedir. Bu zorunluluk işletmeleri, mükemmellik kavramlarını içeren uygulamalara yöneltmiştir. Altı Sigma; içerdiği “sıfır hata”, “mükemmellik kavramları” ve uygulandığı pek çok işletmenin elde ettiği başarılı sonuçları nedeniyle günümüzde en popüler yaklaşımdır.

Bu çalışmada, son yıllarda hafifliği, mukavemeti ve ekonomikliği nedeniyle özellikle savunma sanayinde kullanımı yaygınlaşan petek yapıli kompozit malzemelerin üretim sürecinde altı sigma yaklaşımı uygulanmış, süreç değişkenliği analiz edilerek sürecin eniyilenmesi yönünde öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altı Sigma, Kompozit Malzeme, Deney Tasarımı, Süreç İyileştirme

SUMMARY

Companies must apply the methods which provide high quality and low cost in their activities in order to sustain and progress in the sector. This necessity directs the companies to use methods which have perfection concepts. In today, six sigma approach, the most popular method because of its “zero defect”, “excellence” concepts and successful results of companies which applied it.

In this study, six sigma approach is applied in the production of honeycomb composite materials which are widely used in the military sector because of their lightness and resistance, some proposals are given to optimize the process by analyzing process variation.

Keywords: Six Sigma, Composite Materials, Design of Experiment, Process Improvement

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren, hoşgörü ve desteğini sürekli hissettiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. A. Sermet ANAGÜN' e yürekten teşekkürlerimi sunarım.

İşletmedeki uygulamalarda bana olan yardım ve desteklerinden ötürü süreç mühendisi ile Kompozit Atölyesi çalışanlarına ve gösterdikleri sabır için çalışma arkadaşlarım End.Y.Müh. Belma ATAK ve Uçk.Müh. İbrahim SONYÜREK' e teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında beni yüreklendiren, sabır ve özveriyle destekleyen başta babam Mahmut GÜMÜŞ, annem Saliha GÜMÜŞ ile kardeşime ve desteğini hayatımın her anında hissettiğim sevgili eşim Basri ALBAYRAK' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KALİTE KAVRAMI VE TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ.....	3
2.1 Kalite Kavramı ve Gelişimi.....	3
2.2 Toplam Kalite Yönetimi.....	5
2.3 Kamu ve Askeri Kuruluşlarda Kalite Anlayışı.....	7
3. ALTI SİGMA YAKLAŞIMI	12
3.1 Tanımı ve Gelişimi.....	12
3.2 Uygulama Alanları ve Yararları.....	15
3.3 Altı Sigma Organizasyonu.....	17
3.4 Altı Sigma Uygulama Adımları.....	18
3.4.1 Tanımlama.....	21
3.4.1.1 Süreç Akış Şeması.....	21
3.4.1.2 Hata Türü ve Etkileri Analizi.....	22
3.4.1.3 Sebep-Sonuç Diyagramı.....	23
3.4.2 Ölçme.....	23
3.4.2.1 Ölçüm Sistemi Yeterlilik Analizi.....	24
3.4.2.2 Süreç Yetenek Analizi.....	27
3.4.2.3 Pareto Diyagramı.....	29
3.4.2.4 Sebep-Etki Matrisi.....	29
3.4.3 Analiz.....	30
3.4.3.1 Varyans Analizi (ANOVA).....	30
3.4.3.2 Hipotez Testleri.....	32

İÇİNDEKİLER (Devam)

3.4.4 İyileştirme.....	33
3.4.4.1 Deney Tasarımı	33
3.4.4.2 Deney Tasarım Yöntemleri.....	34
3.4.4.3 Deney Tasarımının Adımları.....	36
3.4.4.4 Benzetim.....	36
3.4.5 Kontrol.....	37
3.4.5.1 Kontrol Grafikleri.....	37
3.5 Süreç İyileştirme ve Altı Sigma.....	38
4. PETEK YAPILI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM SÜRECİNDE ALTI	
SİGMA YAKLAŞIMI İLE İYİLEŞTİRME	44
4.1 İşletmenin Tanıtımı.....	44
4.2 Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Önemi.....	45
4.3 Sürecin Çalışma Konusu Olarak Seçilme Nedenleri	49
4.4 Üretim Sürecinin Tanımlanması	50
4.5 Ölçüm Cihazı Yetenek Analizi.....	55
4.6 Süreç Yetenek Analizi.....	57
4.7 Süreç Değişkenliğinin Analizi.....	58
4.8 Süreç İyileştirmede Deney Tasarımı.....	59
4.8.1 Problemin tanımlanması.....	59
4.8.2 Amacın belirlenmesi.....	59
4.8.3 Performans karakteristiğinin belirlenmesi.....	59
4.8.4 Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi.....	59
4.8.5 Faktörlerin ve düzeylerinin belirlenmesi.....	60
4.8.6 Deney tasarımının seçilmesi.....	62
4.8.7 Test numunelerinin hazırlanması ve verilerin toplanması.....	62
4.8.8 Verilerin analiz edilmesi.....	63
4.8.9 Sonuçların yorumlanması.....	67
4.8.10 Doğrulama deney(ler)inin yapılması.....	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72

6. KAYNAKLAR DİZİNİ.....75**EKLER**

Ek-1: Kompozit Malzeme Üretimine Ait Ayrıntılı Proses Haritası

Ek-2: Sigma Değerleri Tablosu

Ek-3: Sebep-Sonuç Diyagramı

Ek- 4: Minitab Programında Elde Edilen Katsayılar

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Petek Yapılı Uçak Yapısal Elemanlarının Yapısı	49
4.2 Petek Yapılı Malzeme Üretim Süreci Genel Akış Şeması.....	54
4.3 Ölçüm Yetenek Analizi Sonuçları.....	56
4.4. Süreç Yetenek Analizi Sonuçları.....	57
4.5. Metal-Petek-Metal Yapışma Yüzeyleri.....	61
4.6 Yapışma Değeri İçin Ana Faktör Etkileri Grafiği.....	66
4.7 Faktör Etkileşimleri Grafiği.....	67
4.8 Çap 3/16 İnç İçin İyileştirme Sonrası Süreç Yetenek Analizi.....	70
4.9 Çap 1/8 İnç İçin İyileştirme Sonrası Süreç Yetenek Analizi.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Altı Sigma Uygulama Adımlarında Kullanılan Araçlar/ Teknikler	20
3.2 Ölçüm Yetenek İndekslerinin Karşılaştırması.....	27
3.3 Sebep-Etki Matrisi Yapısı.....	29
3.4 Varyans Analizi Genel Tablosu	31
4.1 İki Ayrı Operatör Tarafından Elde Edilen Sıyırma Testi Gözlem Değerleri.....	55
4.2 Analiz Aşaması Hipotez Testi Sonuçları.....	58
4.3 Sıyırma Testi Sonucu Elde Edilen Gözlem Değerleri	63
4.4 Yapışma Oranı İçin Varyans Analizi Tablosu	64
4.5 Faktörlerin F Değerlerine Göre Sıralandırması	65
4.6. Doğrulama Deneyleri Sonuçları	69

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Üretim veya hizmet sektöründe faaliyet gösteren kamu / özel işletmelerin tamamının; buldukları sektörde süreklilik göstermesi ve ilerleyebilmesi için, süreçlerini kalite standartlarına göre gözden geçirmesi ve iyileştirme sağlaması zorunluluk haline gelmiştir.

Bilgi ve iletişim teknolojilerinde dünya çapında meydana gelen hızlı gelişmelerin etkileri, rekabetin hâkim olduğu özel işletmeler piyasasına daha hızlı nüfuz etmektedir. Ancak, bürokratik kadroların, kamu hizmetlerini çağdaş ölçülerde ve vatandaşların istek ve beklentilerine uygun şekilde yerine getirmelerini amaçlayan “kamuda kalite” eğilimi, özellikle 1990’ lı yıllarda hız kazanmıştır.

Günlük yaşantımızı etkileyen unsurların dahi dünya standartlarına uyum sağlaması için yeniden düzenlenmeye çalışıldığı ülkemizde; tüm şirketlerin rekabet gücünü artırması, verimliliklerini gözden geçirmesi, vizyonunu oluşturması gerekliliği kaçınılmaz hale gelmiş, bu nedenle şirketler verimlilik ve karlılıklarını artıracak yöntem arayışlarına girmişlerdir.

Süreç mükemmelliğini hedefleyen Altı Sigma yaklaşımı, özellikle üretim süreçlerinde hata oranını en aza indirme, dolayısıyla yüksek karlılık ve verimlilik imkanı sağladığından, günümüzde bir çok işletme tarafından araştırılmakta ve uygulanmaktadır. Bir süreçteki değişkenliğin kontrol altına alınması ile hata ve verimsizliklerin engellenebileceği gerçeği, süreç değişkenlerinin kontrol altına alınmasını sağlayan Altı Sigma yaklaşımını, işletmeler tarafından öğrenilmesi zorunlu hale getirmiştir.

Savunma sanayine hizmet veren bir kamu kuruluşunda gerçekleştirilen bu çalışmanın ikinci bölümünde; kalite kavramı ve gelişimi, Toplam Kalite Yönetimi tanımı ve ilkeleri ile kamu/ askeri kuruluşlarda kalite anlayışı ve uygulamalarına değinilmiştir.

Üçüncü bölümde; altı sigma yaklaşımı tariflenmiş, organizasyonu ve uygulama adımları açıklanmıştır. Uygulama alanları ve yararları tartışılarak, dünyada ve Türkiye’de uygulama örnekleri ile işletmelere sağladığı faydalara değinilmiştir.

Çalışmanın uygulama bölümünde ise son yıllarda hafifliği, mukavemeti ve düşük maliyeti nedeniyle kullanımı araştırılan ve yaygınlaşan petek yapılı kompozit malzeme özelliklerine değinilerek, jet uçaklarının basınç ve darbeye maruz kalan bölgelerinde bulunan ünitelerinin yapısını oluşturan sandviç yapılı petek malzemelerin üretim süreci açıklanmıştır. Sandviç yapılı petek malzemenin mukavemet göstergesi olan yapışma değerinin enbüyüklenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, Altı Sigma yaklaşımı uygulanmış, sürecin en iyilenmesi yönündeki çalışma şartlarının ne olması gerektiği deney tasarımı ile araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

KALİTE KAVRAMI VE TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ

Ürün ya da hizmette ihtiyaçların karşılanma düzeyinin yükseltilmesi son yıllarda ilerleme ve kalkınmanın temel taşı olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde artan rekabet koşulları ile işletmelerin ortak hedefi, ürettiği mal veya hizmetin üretildiği anda kar getirecek miktarda talep edilmesidir. Bu amaçla mal veya hizmet üreten kurum ya da firmalar, müşterilerinin talep ettiği ürünlerin ve/veya hizmetlerin kabul edilebilir niteliklerini bilmek ve daha önemlisi bu nitelikleri sağlamak durumundadırlar.

Petek yapıları malzeme üretim sürecinde gerçekleştirilen çalışmada, sürecin eniyilenmesi yönünde öneriler geliştirilirken öncelikli amaç işgücü ve malzeme kayıplarının azaltılarak kalitenin artırılmasıdır. Bu nedenle kalite ve toplam kalite yönetimi kavramları ve gelişimleri ile kamu/ askeri kuruluşlarda kalite anlayışı kavramlarına bu bölümde yer verilmiştir.

2.1 Kalite Kavramı ve Gelişimi

Kalite kavramı en geniş anlamda “müşterinin istediği niteliklerin sağlanması” olarak tanımlanırsa, değişen pazar koşulları ve müşteri nitelikleri ile birlikte müşteri tatmini için gerekli olabilecek temel şartlar da kalite kavramı ile birlikte değişmektedir. Kalite kavramının son zamanlarda niteliksel ve müşteri odaklı bir yapıda tanımlanması ile birlikte, müşterilerin memnuniyeti hem pazar payının korunup geliştirilmesi, hem de şirketin veya kurumun gelişimi için temel çıkış noktası haline gelmiştir.

Kalitenin tek boyutu, müşterinin arzu ettiği ürün veya hizmetlerin niteliklerinin sağlanması ile sınırlı değildir. Ürün veya hizmetin işlevselliği, standartlara uygunluğu, güvenliği, dayanıklılığı, nihai müşterinin tatmin olması için ana koşullar olmakla beraber; kalitenin daha geniş boyutlara taşınması ile çalışanlar, ürün, süreç ve yönetim sistemi gibi işletmenin diğer boyutlarının kalite kavramı ile bütünleşmesi, böylece hem nihai müşterinin tatmin edilmesi, hem de çalışanların tatmin olması amaç haline gelmiştir (<http://www.mamak.bel.tr>, 09.11.2006).

Kalitenin gelişimine baktığımızda eski Mısır, Roma, Yunan uygarlıkları dönemine kadar uzandığını görürüz. Kalite, 1900'lü yılların başında üretimin denetlenmesi amacı ile ortaya atılmış ve 1930'lu yıllara doğru "kalite kontrol" şeklinde evrimleşmiştir. Bu kapsamda kalite, 1940'lı yıllarda, savaş ekonomisinin verdiği dinamizmle "istatistiksel kontrol", birçok teknolojik gelişmenin yaşamı hızla değiştirmeye başladığı 1980'li yıllarda "kalite güvence" ve globalleşmeye başlayan dünyada 1990'lı yılların sonlarına doğru ise bir sonraki başlıkta değinilecek olan "Toplam Kalite Yönetimi" kavramlarıyla evrimini sürdürmüştür (Burnak, 1997).

Tanımlar uzunca bir süre ürün temelinde devam etmiş olsa da hizmette kalitenin gerekliliği bilindiğinden; hizmeti de kapsayan ve uluslararası düzeyde kabul gören kalite tanımları aşağıda verilmiştir.

- Kullanıma uygunluktur (Juran)
- Tüketicinin şu andaki ve gelecekteki ihtiyaçlarını amaç edinmektir (Deming)
- Bir mal veya hizmetin belirli bir gereksinimi karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerin tümüdür (ASQC).
- Bir malın ya da hizmetin tüketicinin isteklerine uygunluk derecesidir (EOQC)

Diğer yandan Garvin (1984) kaliteye daha farklı bir açıdan bakmakta ve kalitenin 8 boyutunu aşağıdaki gibi vermektedir (Burnak,1997).

- Performans: Ürünün birincil özellikleri
- Diğer Unsurlar: Ürünün çekiciliğini sağlayan ikincil karakteristikler
- Uygunluk: Spesifikasyonlara, standartlara ve belgelere uygunluk
- Güvenilirlik: Ürünün kullanım ömrü içinde performans özelliklerinin sürekliliği
- Dayanıklılık: Ürünün kullanılabilirlik özellikleri
- Servis Görebilirlik: Ürüne ilişkin sorun ve şikayetlerin kolay çözülebilirliği
- Estetik: Ürünün duyulara seslenebilme özelliği
- Algılama: Ürünün kabul görmesi ya da diğer markalara göre sezgisel olarak değerlendirilmesi

2.2 Toplam Kalite Yönetimi

Toplam Kalite Yönetimi (TKY), faaliyet alanı ister mal, ister hizmet alanı olsun, bir kuruluşun tüm fonksiyonlarında gelişmeyi sağlayan bir yaklaşımdır. TKY, şirketlerin var olmalarını sağlayan karlılık ve rekabet gücü unsurlarını kalitenin sürekli geliştirilmesini sağlayarak arttırabilen çağdaş yönetim felsefesidir. TKY, organizasyon kültüründe topluca bir değişikliği gerektirir. Tüm çalışanların, süreçlerin, bütün üretim araçlarının ve ürünlerin bir bütün halinde ele alınarak, "Sürekli Gelişme - Kaizen" anlayışının kuruluşa yerleşmesi ile rekabet gücünün sağlıklı bir şekilde arttırabilmesi mümkün olacaktır.

Zorlu rekabet ortamında değişen koşullara adapte olarak, kendini geliştirerek, değişen müşteri tatmini kriterlerini zamanında yakalayıp, var olan boşlukları doldurarak hayatta kalmak ve başarılı olmak isteyen firmalar için çağdaş yönetim anlayışlarından biri olan TKY, esasen bir yönetim tekniğinden çok bir yönetim felsefesi ve hatta bir yaşam tarzıdır. TKY' yi başarmanın en önemli adımı Toplam Kalite Yönetiminin bir araçlar topluluğu değil, bir yönetim anlayışı olduğunu kavramaktır.

Çağdaş kalite kontrol ya da şimdiki adıyla istatistiksel kalite kontrol 1930'larda Bell Telefon şirketinde çalışan istatistikçi W. A. Shewhart'ın kontrol çizelgelerinin endüstriyel kullanıma girmesiyle başladı. Bu dönemde adı geçen şirkette bölümler arası koordinasyon eksikliği ve ürünlerdeki kusurlar sonucu oluşan sorunları gidermek amacıyla kalite kontrolünü Muayene Mühendisliği bölümünü kurmakla başlattı (Cutler, 2001).

Kalite kontrolü konusunda istatistikçi Shewhart tarafından başlatılan çalışmaları, Edwards Deming ve Joseph Juran'ın çalışmaları izledi. Bugün dünya literatürü incelendiğinde TKY' nin fikir babaları olarak bu kişilerin yer aldığı görülmektedir (Peker, 1996).

TKY 1980'li yıllarda ortaya çıkarak, 1990'lı yıllarda yaygınlık kazanan bir yaklaşımdır.

TKY; bir kuruluştaki tüm faaliyetlerin sürekli olarak iyileştirilmesi ve tüm çalışanların kesin aktif katılımıyla çalışanlar, müşteriler ve toplum memnun edilerek kârlılığa ulaşılması olarak ifade edilmektedir (Karyağdı, 2001).

TKY' nin bir başka tanımı ise; her kuruluşta, her düzeyde performansın iyileştirilmesine yönelik, tamamıyla entegre olmuş çabalarla, yöneticiden işçiye kadar herkesi kapsayan düzenli iyileştirme faaliyetleridir (Peşkircioğlu, 1995).

Literatürde TKY “toplam kalite”, “toplam kalite kontrol” kavramları ile de adlandırılmaktadır. Tüm süreçlerin, ürünlerin ve hizmetlerin tam katılım yoluyla geliştirilmesi, iç ve dış müşteri tatmininin artırılması ve müşteri bağlılığının yaratılmasının sağlanması amacıyla örgütte alınan sonuçların sürekli iyileştirilmesine dayanan; müşteri beklentilerini her şeyin üzerinde tutan ve müşteri tarafından tanımlanan kaliteyi, tüm faaliyetlerin yürütülmesi sırasında mal ve hizmet bünyesinde oluşturan günümüzün bir yönetim anlayışıdır (Karyağdı, 2001).

Modern bir yönetim tarzı olan TKY' nin felsefesi şu temel esaslara dayanmaktadır (Swift,1996):

1. Üst yönetimin liderliği
2. Müşteri odaklılık/müşteri tatmini
3. Tam katılım ve takım çalışması
4. Çalışanların eğitimi
5. Hata önleme/sıfır hata
6. Sürekli geliştirme/iyileştirme

TKY'nin uygulandığı işletmelere faydaları;

- Pazar payı, verimlilik, rekabet ve karlılık düzeyinde artış
- Çalışanların moral düzeylerinin yükselmesi,
- Malzeme, zaman kaybı, stok, müşteri şikayetleri maliyetlerinin azalması,
- Kurum içi iletişimin güçlenmesi,
- Tedarikçi ve tedarikçilerle olan ilişkilerin iyileşmesi,
- Müşterilerin güveninin kazanılması ve/veya var olan güvenin sürdürülmesi

şeklinde özetlenebilir.

2.3 Kamu ve Askeri Kuruluşlarda Kalite Anlayışı

Yönetim anlayışında var olan geleneksel değerlerin dünya çapında değişime uğramaya başlaması, bilgi ve iletişim teknolojilerinde meydana gelen baş döndürücü gelişmeler, insani değerlerin ön plana çıkması ve demokratikleşme gibi etkenler tüm dünya ülkelerinde yaşayan insanların devlet yönetimlerine olan bakış açılarını, kamu hizmetlerine ilişkin beklentilerini büyük ölçüde değiştirmiştir. Yaşanan bu değişim, her alanda olduğu gibi kamu kuruluşlarının da örgütsel yapılarını ve yönetim sistemlerini yeniden düzenlemeye tabi tutmalarını zorunlu kılmıştır.

Özellikle kamu sektörünün, gerek siyasal iradeden ve gerekse yapılanmasından kaynaklanan sorunları nedeniyle zamanla değişen çevreye gereğince ayak uyduramaması, günün gereklerine göre işlemeyen, hantal bürokratik bir yapıya bürünmesi gibi olumsuzluklar yeniden yapılanma gerekliliğini pekiştirmiştir.

Yaşadığımız yüzyılda, artık kamu kurumların ayakta kalabilmeleri vatandaş/müşteri odaklı yönetim anlayışına sahip olmaları ve bu anlayışın hayata geçirilmesi ile birlikte kamu hizmetlerinde kalitenin artırılması ile mümkün olabilecektir. 1980'lerden bu yana dünyada ve Türkiye'de geleneksel kamu yönetimi anlayışının hizmet kalitesinin artırılması, yeterli verimliliğin sağlanması gibi konularda başarısız olması, kamuda kalite arayışlarına yön vermiş ve vatandaş/müşteri odaklı yönetim anlayışına geçiş hızlanmıştır. Genelde kamu için önerilen tüm kalite modelleri özel sektörde uygulama alanı bulmuş ve başarıya ulaşmış kalite yönetim modelleridir.

Özel sektör, etkin, verimli ve kaliteli hizmet sunumuna geçişte kalite modellerinin uygulanmasında daha hızlı hareket edebilmekte ve değişim dalgasını daha hızlı yakalayabilmektedir. Ancak kamu kuruluşlarında aynı yetinin olmadığı görülmektedir. Devletin bürokratik yapısı, bürokratların vatandaşların hizmetle ilgili isteklerine ve performans ölçütlerine karşı olan duyarsızlığı, kamu sektöründe benzer kalite modellerinin uygulanmasını güçleştirmektedir. Kamu sektörünün sahip olduğu en ünlü organizasyon biçimi durumundaki "bürokratik örgütlenme modeli" kendi içyapısal özellikleri nedeniyle kalite yönetim modellerinin uygulanmasında bir takım zorluklar ortaya çıkarmaktadır (<http://www.maliye.gov.tr>, 28.12.2006).

Kamu hizmetlerinde bir bütün olarak kalitenin sağlanabilmesi için; sağlıklı ve iyi işleyen bir seçim sistemi, duyarlı bir kamuoyu, örgütlü toplum düzeni, kamu hizmetlerinin şeffaf ve halkın denetimine açık olması, halkta siyasal katılım bilincinin ve kalitesiz kamu hizmetlerine tepki verme refleksinin yeterli düzeyde gelişmiş olması gerekmektedir.

Bu anlamda kamu sektöründe kalite çalışmalarının geçmişi çok eski değildir. Ancak, bu eğilim, özellikle 1990'larda hız kazanmış, kalite geliştirme, vatandaş/müşteri memnuniyeti, kamu kuruluşlarında yetki devri ve hiyerarşilerin azaltılması konuları yaygın bir şekilde tartışılmaya başlanmıştır.

Özelleştirmenin, dolayısıyla devletin küçülmesinin revaçta olduğu günümüzde devlet tarafından yerine getirilmesi zorunlu temel hizmetler ile denetim, gözetim ve düzenlemeye ilişkin kamu görevleri küçülme sonrası bile küçümsenemeyecek kadar çok olacaktır. Bu bağlamda devletin "nicelik" olarak küçültülmesi yanında piyasanın etkin ve verimli bir şekilde işlemesi, toplumun demokrasi huzur ve refah içinde yaşaması için hizmetlerin "nitelik" olarak artırılması şarttır. Azalan kamu kaynakları, artan küresel rekabet ortamı bu gereği daha da belirgin hale getirmektedir.

Kamu hizmetlerinin kalitesinden bahsedebilmek için, bu hizmetleri alanların sunulan hizmetten memnun kalması gerekir, bu ise sunulan hizmetin müşterinin beklentilerine uygun olması ve/veya beklentilerin üzerine çıkması ile sağlanır. Vatandaş beklentilerini ve bu beklentilerin karşılanmasını esas aldığımızda, kamu hizmetlerinin kalitesinden bahsedebilmek için bu hizmetlerde bulunması gereken asgari özelliklerden bazılarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz (<http://www.maliye.gov.tr>, 02.10.2006):

1-Şeffaflık: Müşteriler, hizmetlerin nasıl yürütüldüğünü, memurların davranışları üzerindeki kısıtlamaları, sorumluluğun kimler üzerinde olduğunu ve hatanın düzeltilmesi için ne tür işlemlerin yapılması gerektiğini bilme hakkına sahiptir.

2-Müşteri katılımı: Müşteriler idarenin sunduğu kadarıyla yetinmek zorunda olan pasif alıcılar olarak görünmemelidirler. Alınacak kararlarda müşterilere de söz hakkı verilmelidir.

3-Müşteri ihtiyaçlarının karşılanması: Müşteriler mümkün olduğunca kendi özel durumlarına uygun hizmet almalıdırlar. "Her bedene göre" hizmetler artık vatandaşları tatmin etmemektedir. Bu tür yaklaşımlar, kamu hizmetlerinin ihtiyaçları karşılamak amacıyla esneklik göstermek zorunda olduğu ilkesine aykırı düşmektedir.

4-Hizmetin zamanında sunulması: Hizmetlerin hangi zaman diliminde sunulduğu müşteriler tarafından açıkça bilinmeli ve bu zaman diliminde hizmetler sunulmalıdır. Trenler zamanında kalkmalı, gideceği yere zamanında varmalıdır. Vergisini ödemek için mükellefler saatlerce kuyrukta bekletilmemelidir.

5-Hizmet miktarı yeterli olmalıdır: Sunulan hizmet miktarı olarak da yeterli olmalıdır. Belirli bir güzergahta yeteri kadar tren seferi, yaşlıları barındırmaya yetecek kadar huzurevi olmalıdır.

6-Hizmete erişim mümkün olmalıdır: Verilen hizmete herkes uygun şartlarda erişebilmelidir. Mesai saatlerinde çalışanlarında yararlanabileceği ek çalışma saatlerinin olması, telefonla ya da internet ortamında hizmet verilmesi, müşterilerin farklı kurumlarda ya da bir kurum içinde farklı birimlere gitmesine gerek kalmadan tek noktada işlerini halledebilmeleri bu kapsamda değerlendirilebilir.

7-Süreklilik: Verilen hizmet kesintiye uğramadan sürdürülmelidir. Telefon, elektrik, su gibi süreklilik gerektiren hizmetler bunların başında gelir.

8-Hassaslık: Ödemeler doğru olarak yapılmalı, bir konuda bilgi isteyenlere doğru bilgi verilmelidir. Borcunu ödemiş bir mükellefe ödeme emri gönderilmemeli ya da havaalanında yurt dışına çıkış yasağı olduğu söylenmemelidir.

9-Güvenilirlik: Kamu hizmetlerinin sunumu neticesinde risk en aza indirilmeli ya da ortadan kaldırılmalıdır. Basit bir alerji nedeniyle çocuğunu sağlık kurumuna götüren ebeveynler kolu kesilmek zorunda kalan sakat bir çocukla çıkma riski ile karşı karşıya olmamalıdırlar.

Kemikleşmiş yapıya sahip olan kamu kuruluşlarında kalite anlayışının yerleşmesi ve dolayısıyla toplam kalite yönetiminin uygulanabilmesi için gerekli altyapının oluşturulması normalden uzun zaman almakta ve bu süreçte aşağıda değinilen sorunlarla karşılaşmaktadır (Önder, 1997):

- Kamu hizmetlerindeki kamu işletmecilik anlayışının yapısı da, kalite modellerinin kamuya uygulanması sürecinde bir takım zorlukları da beraberinde getirmektedir. Genelde kamu için önerilen tüm kalite modelleri, özel sektörde uygulama alanı bulmuş ve başarıya ulaşmış kalite yönetim modelleridir. Özel sektör; etkin, verimli ve kaliteli hizmet sunumuna geçişte kalite modellerinin uygulanmasında daha hızlı hareket edebilmekte ve değişim dalgasını daha hızlı yakalayabilmektedir. Ancak kamu kuruluşlarında aynı yetinin olmadığı görülmektedir.

- Toplam kalite yönetimi felsefesine uyum sağlamakta çalışanların direnci, organizasyonlardaki en önemli sorundur. Bu sorun, çalışma süreçlerinin açıkça belirlendiği ve düzenlendiği kamu sektöründe daha da belirginleşir. Bu direnç karar alıcıların, toplam kalite yönetiminin var olan sorunları azaltacağı ve ileride ortaya çıkacak sorunları önleyeceğine inanmaları ile azaltılabilir.

- Kamuda yöneticiler çok sık değişmektedir. Değişen yöneticilerle birlikte hedefler de değişmekte ve uygulamaya konan bir proje sonlandırılmamaktadır.

- Sayılarla yönetim anlayışı hâkim olduğundan, sonuçtan çok çıktı üzerinde durulmaktadır.

- Toplam kalite yönetiminin başarılı bir şekilde uygulanmasının anahtarı, toplam kalite yönetiminin, kurumun en üst yönetiminde sürekli bir kararlılıkla başlaması ve buradan aşağıya doğru yayılmasıdır. Toplam kalite yönetimine en fazla direnç orta kademe yöneticilerden gelmektedir. Bu direncin en önemli nedeni psikolojiktir. Astların başarılı olması tehlike olarak görülür.

- Kalite sisteminin temelini oluşturan prosedür, yönetmelik ve talimatların düzgün bir şekilde veya işleyişe uygun yazılmaması, bu konudaki önemli sorunlardan biridir. Çalışanların yazılmış olan talimatlara uymasının sağlanması da ayrı bir sorundur.

- Ölçülemeyen şeyin değerlendirilmesi mümkün değildir. Bu nedenle anlamlı ve doğru istatistik verilere büyük ihtiyaç vardır. Ancak, bugünkü yapı içinde hem yeterince veri elde edilememektedir hem de elde edilen verilerin güvenilirliği tartışmalıdır. Sağlam bir veri sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

- Başarılı Toplam Kalite Yönetimi uygulamalarının aktarılması, toplam kalite yönetimini uygulama isteğini arttırmaktadır. Ancak, bu isteğe rağmen gerekli çaba gösterilmeden faydaları aşırı bir şekilde büyütülür ve sistemin yerleşmesi için gereken zaman dikkate alınmazsa; beklentiler boşa çıkar, maliyet ve itibar kaybına neden olur ve böyle durumlarda başarısızlık kaçınılmazdır.

Sonuç olarak, önceleri sadece özel işletmeler için geçerli bir kavram olarak düşünülen kalite, günümüz koşullarında kamu hizmeti ve sunumu açısından da son derece önemli bir kavram haline gelmiştir. Özel işletmelerde geçerli olan müşteri kavramı kamu yönetimlerinin de dikkate alması gereken bir kavram olarak, uygulama ve politikalarda yerini almıştır. Bu anlamda müşterinin istek ve ihtiyaçları doğrultusunda, istenilen yer ve zamanda hizmetin sunumu temel hedef olmuştur. Dolayısıyla kaliteli hizmet anlayışını hayata geçirmeyi başaran yerel yönetimlerde, karşılaşılan tüketici şikayetleri azalacak ve böylece tüketici tatmini yükselecektir.

Kamunun bir parçası olan askeri kuruluşlar, faaliyetlerinde modern çağın gereklerine uygun standartları sağlamak için kalite güvencesi ve kalite yönetimi konularında arayış içerisine girmişlerdir. Yönetim şekli, müşteri kavramı ile hizmet kalitesi standartlarının bilinen işletmelerden farklı olması, askeri kuruluşların farklı kalite güvence sistemi standartları (AQAP - Allied Quality Assurance Publications) uygulaması zorunluluğunu getirmiştir.

Son yıllarda askeri kuruluşlarda, TKY uygulamaları konusunda çaba ve ilerlemeler göze çarpmaktadır. Ancak yukarıda değinilen, kamu kuruluşlarında TKY'nin uygulanmasındaki zorluklar, askeri kuruluşlar için de geçerlidir. Farklı olarak askeri kuruluşlarda emir-komuta zincirinin olması, tabi olunan askeri kurallar, tayin döneminde üst ve orta düzey yöneticilerde yaşanan değişimler TKY'nin uygulanmasını daha da zorlaştırmaktadır. Üst yönetimin talimatı ile kurulan kalite çemberleri ve oluşturulan ekiplerin çalışmalarının gönüllülük esasına dayanmadığı, askeri kural ve prosedürleri aşamadığı durumlara rastlanmaktadır. Bunun yanı sıra, yöneticilik rütbe sırasına göre olduğundan kişilerde liderlik vasfının olup olmaması önem taşımamaktadır. Sonuç olarak, emir-komuta zincirinin var olması, tabi olunan askeri kurallar, TKY'ni askeri kuruluşlarda slogan olmanın ötesine geçirememektedir.

BÖLÜM 3

ALTI SİGMA YAKLAŞIMI

Mükemmellik ve sıfır hata ile gündeme gelen altı sigma yaklaşımı, işletmelerde kurumsal değişimi gerektiren bir yönetim felsefesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmanın gerçekleştirildiği süreçte hatasız üretim ve süreç performansı karakteristiklerinde iyileşme sağlanması uçuş emniyetine katkı sağlayacaktır. Bu nedenle, sürecin iyileştirilmesinde altı sigma yaklaşımı kullanılmıştır. Altı sigma yaklaşımı ve ilgili kavramlarına bu bölümde değinilecektir.

3.1 Tanımı ve Gelişimi

Altı Sigma müşteri beklentilerinin karşılanmasında mükemmel yakın bir performans hedefidir. İstatistiksel tanım olarak Altı Sigma, sürecin milyonda 3.4 hatalı ürün üretmesi demektir.

Yönetimsel olarak baktığımızda ise Altı Sigma, işletmenin, daha fazla müşteri memnuniyeti, karlılık ve rekabetçilik yönünde pozisyon almasını sağlayan bir "kültür değişimi" dir. Altı Sigma' nın en temel özellikleri müşteri ihtiyaçlarının çok iyi anlaşılması, verilere dayalı bir karar mekanizması kurulması ve süreçlerin disiplin içinde uygulanmasıdır (<http://www.kalekalip.com.tr>, 15.10.2006).

Altı Sigmanın kapsamlı bir tanımı aşağıda verilmiştir (Pande et.al., 2003):

“İş başarısını sağlamak, sürdürmek ve enbüyükmek için kullanılacak kapsamlı ve esnek bir sistemdir. Altı Sigma, sadece müşteri ihtiyaçlarının yakından anlaşılması, olayların, verilerin ve istatistiksel analizlerin sistematik kullanımı ve iş süreçlerinin yönetimi, iyileştirilmesi ve tekrar yapılandırılmasına özel önem verilmesi ile sağlanabilir.”

Altı Sigma, bu yaklaşımı seçen işletmelerin sağladıkları olağanüstü başarılar nedeniyle pek çok yönetim bilimcinin ve yazarın ilgi odağı olmuştur. Yazarlar Altı Sigma' yı; bir yönetim stratejisi, bir hedef (milyonda 3.4 den daha az hata oranı ile müşteri ihtiyaçlarını kusursuza yakın karşılama hedefi), istatistiksel yöntem (ürün ve süreçlerdeki değişkenliği azaltmak için kullanılan ileri istatistiksel yöntem) ve kültürel

değişim süreci (şirketin müşteri memnuniyeti ve karlılığını artırarak rekabetçi konumunu güçlendirmesi için gerekli kültürel değişim süreci) olarak tanımlamaktadırlar (Pande et.al., 2003).

Ancak bu tanımların hiçbiri Altı Sigma yaklaşımını tüm yönleri ile ortaya koyacak yeterlilikte değildir. Altı Sigma, “organizasyonun temel süreçlerini müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde değerlendirmek ve iyileştirmek için, şimdi ve gelecekte, tüm çalışanların bilgilerinin ve sayısal tekniklerin etkin olarak kullanılmasıdır” şeklinde tanımlanmaktadır (Filiz, 2005).

Öte yandan, istatistiksel bir ölçüm tekniği olan Altı Sigma, ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin ne kadar iyi olduğu hakkında sayısal bir göstergedir. Sürecin “sıfır hatalı” konumdan ne kadar saptığını gösterir.

Sigma, süreç performansının ne kadar iyi ya da kötü olduğunu belirlemekte kullanılan bir ölçüt olmaktadır. Yapılan işin türüne bakılmaksızın, gerçekleşen hata miktarı ile ilgilidir. Altı rakamı ise kusursuzluk düzeyi ile ilgilidir. Örneğin bir sigma seviyesinde iş yapan bir işletme 1.000.000 işlemde yaklaşık 700.000 hata yapar iken, iki sigma seviyesi ortalama 300.000 hata yaptığı anlamındadır. Yüzde 99 doğrulukla çalışan bir işletmenin 3.8 sigma ile faaliyet gösterdiği söylenebilir. Fakat % 1 lik bir hata bile pek çok durumda kabul edilemez. Bu oranı günde 200 uçağın inip kalktığı bir alanda %1 hata oranı ile çalışıldığında her gün 2 uçağın düştüğü hiç kimsenin kabul edemeyeceği bir hata oranı demektir (Filiz, 2005).

Altı Sigma, iş dünyasında rekabetin şartı müşterilerin ihtiyaçlarını doğru saptamaktan, bu ihtiyaçları rakiplerden çok daha hızlı, kaliteli aynı zamanda da daha ekonomik şekilde karşılamaktan geçmekte ve bu amacı engelleyen her şeyi problem olarak görmektedir. Kuruluşların hem kârlılığına hem de pazar payına olumsuz etki eden problemleri doğru olarak saptayabilme, tanımlayabilme, önceliklendirebilme ve bu problemleri hızlı ve başarıyla çözebilme becerisini en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır.

Sigma, Yunan alfabesindeki bir harfin adıdır. Büyük harf sigma genellikle toplam simgesi olarak, küçük harf sigma ise özellikle istatistikte ve istatistiksel süreç kontrolünde çok önemli bir ölçüt olan standart sapmanın simgesidir. Ayrıca süreç

performansının ne kadar iyi ya da kötü olduğunu belirlemede kullanılan bir ölçüttür. Standart sapma istatistiksel olarak bir dağılım, yayılma, sapma, farklılaşma ölçüsüdür. Belirli koşullarda oluşan değerler arasındaki farklılaşma ne kadar büyükse, standart sapması da o kadar büyük bir değer olarak hesaplanmış olur. Farklılıklar azaldıkça, bunların ölçüsü olan standart sapma da küçülür.

Altı Sigma' nın kökleri Carl Frederick Gauss'un (1777-1885) normal dağılımı tanımlamasına kadar dayanmaktadır (<http://www.sipoc.org>, 22.09.2006). Altı Sigma'nın ürün değişkenliğinde bir ölçüm standardı olarak kullanılması 1920'lerde Walter Shewhart' ın ortalamadan 3 sigma sapmanın süreçte iyileştirme ihtiyacını doğurduğunu ortaya koyması ile başlamıştır. Bu tarihten itibaren süreçlerde birçok kalite ölçüm standardı uygulanmaya başlamıştır.

Motorola mühendislerinden Bill Smith ve Mikel Harry, 1986 yılında uygulamanın öncüleri olmuştur. Motorola mühendisleri Altı Sigma' yı hataların ölçüm metriği, kalite geliştirmeye yönelik faaliyetler ve süreçteki hata sayısını milyonda 3.4 seviyesine indirmeye yönelik bir metodoloji olarak tanımlamışlardır. Bu şekilde verimlilik 'Sigma Seviyesi' metriği ile ölçülmeye başlamıştır. İşletmeye kazanç getirmek üzere başlayan projelerde ise, Ölçme-Analiz-İyileştirme-Kontrol aşamalarından oluşan bir metodoloji izlenmeye başlamıştır. Bu metodolojiye 1995 yılında tanımlama aşaması da dahil edilmiştir.

1991'de Motorola ilk Altı Sigma uzmanı kara kuşaklarını sertifikalandırmıştır. Aynı tarihte Allied Signal (1999'da Honeywell ile birleşmiştir) Altı Sigma' yı uygulamaya başlamış ve altı ay içinde önemli gelişmeler ve maliyet düşüşleri ile kazanç sağlamıştır.

1995 yılında GE Başkanı Jack Welch Altı Sigma'yı bir strateji olarak uygulama kararı almıştır. Bu karar bir anlamda Altı Sigma' nın dünyadaki yayılımını hızlandıran bir unsur olmuştur.

Günümüzde gerek dünya üzerinde gerek ülkemizde birçok işletme Altı Sigma yaklaşımını hayata geçirerek ve köklü kültürel değişimler ile finansal kazançlar elde etmeyi hedeflemektedir.

Sonuç olarak Altı Sigma (Harry and Schroeder 2000; Linderman et. al. 2003; <http://www.kaliteofisi.com>, 03.01.2007):

- Hedefi "mükemmel olmak" olan bir kalite ölçümüdür.
- Hizmetten üretime her türlü süreçteki hataları azaltmayı hedefleyen disiplinli ve veri odaklı bir metodolojidir.
- İyileştirme projeleri ile değişkenliğin azaltılmasına ve işlem (süreç) iyileştirmeye odaklanan ölçüm esaslı bir stratejidir.
- Bir yönetim felsefesidir.
- İstatistiğe dayalı bir yönetim şeklidir.
- Duruma dayalı izleme yöntemidir.
- Hatasız çalışma ve üretme anlayışıdır.
- Müşteri memnuniyetine odaklanmadır.
- Sürekli gelişme anlayışıdır.
- Yaratıcılığı teşvik eden bir yönetim şeklidir.
- Yapılan her işte hız ve mükemmelliktir.
- Şirket içi iletişimidir.
- Problemin tanımlanması, analiz edilmesi ve çözülmesidir.
- Problemin gelecekte ortaya çıkma olasılığını da önlemedir.

Altı Sigma, bir işin daha iyi yapılabilmesi için nelerin yapılması gerektiğinden çok, nasıl yapılabileceğinin yöntemlerini tariflemektedir (Baş, 2003). Bu amaçla veri bilimi (istatistik) teknikleri, kolay ve uygulanabilir araçlar olarak sunulmaktadır.

Bir süreci iyileştirebilmek için ölçebiliyor olmamız gerekir, ölçemediğimiz bir süreç iyileştirilemez. Ölçme sonucu elde edilen verileri, anlamlı bilgiler haline dönüştürebilmek için istatistiksel araçlar kullanılmalıdır. Bu sayede çıktılar önemli süreç girdileri ile ifade edilebilir.

3.2 Uygulama Alanları ve Yararları

Günümüzde büyümeyi sürdürebilmenin ve değişen pazarlara ayak uydurabilmenin tek yolu sürekli olarak yenilik yapmak ve organizasyonu değişen

şartları karşılayacak şekilde yeniden yapılandırmaktır. Altı Sigma, organizasyonun kendini sürekli yenileyebilmesi için gerekli yetenek ve kültürü yaratır.

Altı Sigma'nın yararları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Pyzdek, 1999, Pande et. al 2003):

- **Altı Sigma yaklaşımı herkes için bir performans hedefi sağlar:** Bir işletmedeki herkesin tek bir noktaya odaklanması ve aynı yönde faaliyet göstermesi başarının en önemli şartlarından biridir. Aslında tüm bölüm, fonksiyon ve bireylerin hedef tanımları birbirinden farklıdır. Ancak bunların hepsi müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak ürün ya da hizmet sağlamak için faaliyet gösterirler. Bu ortak özellik Altı Sigma yaklaşımının çıkış noktasıdır.

- **Müşteriye sunulan değeri artırır:** Her sanayi kolunda, giderek güçleşen rekabet koşulları yüzünden, yalnızca “iyi” ya da “hatasız” ürün veya hizmet sunmak başarı için yeterli olmamaktadır. Altı Sigma'nın özünde var olan müşteriye odaklanmanın anlamı, değerini müşteriler (ve potansiyel müşteriler) için ne anlama geldiğini öğrenmek ve bu değerini onlara karlı biçimde nasıl sunulacağını planlamak demektir.

- **İyileştirme hızını artırır:** Günümüzde yarışları, kendini en hızlı geliştiren yarışçılar kazanmaktadır. Altı Sigma, sahip olduğu güçlü araçlarla yalnız performansı iyileştirmez aynı zamanda iyileştirmeyi de iyileştirir.

- **Kalıcı başarıya götürür:** Altı Sigma kapalı döngü sistemi olarak isimlendirilen sürekli gelişmeyi sağlayan yetenek ve kültürü oluşturmaktadır. Günümüzün ağır rekabet koşulları altında büyümenin sürdürülebilmesi ve değişen pazarlara uyum sağlanabilmesi için işletmelerin sürekli yenilik yapmaları ve işletmelerine yaşanan değişimler doğrultusunda yeniden yapılandırmaları gerekmektedir.

- **Öğrenme ve bilgi alışverişini artırır:** 1990'lı yıllar “öğrenen organizasyonların doğuşuna şahit olmuştur. İlk bakışta çok cazip gelen bu kavramın uygulamaya geçirilmesinde ciddi problemler yaşanmıştır. Allied Signal yöneticilerine göre “herkes öğrenme hakkında konuşmakta fakat pek azı bunu başarabilmektedir”. Altı Sigma ise yeni fikirlerin üretilmesini ve paylaşılmasını arttıracak ve hızlandıracak

bir yaklaşımdır. GE gibi büyük ve dağınık bir şirkette dahi bir öğrenme aracı olarak son derece başarılı sonuçlar vermiştir.

- **Stratejik değişimi kolaylaştırır:** Piyasaya yeni ürünler sürmek, faaliyet alanını değiştirmek, yeni girişimlerde bulunmak, yeni pazarlara girmek, şirketleri bölmek, birleştirmek, satın almak eskiden çok nadir olarak görülen bu faaliyetler şimdi çok sayıda şirket için normal faaliyetlerden biri haline gelmiştir. Şirketinizin süreçlerini ve bir bütün olarak sistemini daha iyi anlamanız, hem küçük ayarlamaları hem de 21nci yüzyılın gerektirdiği büyük çaplı değişimleri gerçekleştirmek için daha büyük bir elastikiyet sağlayacaktır.

Altı Sigma, TKY' den farklı olarak ve ek geliştirme teknikleri sayesinde maliyet, üretim süresi ve diğer işletme sorunlarının giderilmesinde de kullanılmaktadır. Ayrıca, sadece kalite hedefleri ile yetinmeyip firma hedeflerinin tümüne uygulanması, Altı Sigma yaklaşımını diğerlerinden farklı kılmaktadır.

Altı Sigma' nın temel özelliklerinin tam olarak yerleştiği işletmelerde bu yararlar ilave olarak, çevrim sürelerinin kısaldığı, stok seviyelerinin düştüğü, verimliliğin arttığı ve tüm bunların sonucunda maliyetlerin azaldığı görülmektedir. Azalan maliyetler, yükselen müşteri tatmin oranları ve buna bağlı olarak artan pazar payı ile birlikte işletmelerde karlılık artışı sağlanmaktadır. Altı Sigma' dan elde edilebilecek potansiyel yararların hizmet işletmelerinde ya da üretim dışı faaliyetlerde de en az teknik düzeylerdeki kadar yüksek olduğu görülmektedir. (Ada vd., 2004).

Altı Sigma, işletmelerde stratejik planlama aşamasından, üretime veya müşteri hizmetlerine kadar çok değişik aşamalarda uygulanabilen bir yaklaşım olmasına karşın en yüksek başarı organizasyonun tamamında uygulandığında elde edilmektedir.

3.3. Altı Sigma Organizasyonu

Altı Sigma' nın başarısı herkesin oynayacağı rolün çok iyi belirlenmesine bağlıdır. Bu nedenle Altı Sigma organizasyonlarında tüm personele aldıkları eğitiminin türüne göre farklı unvan, yetki ve sorumluluklar verilir (Baş, 2003).

İlk bakışta Uzakdoğu sporlarının yapıldığı bir kulübün organizasyon yapısını andıran bu unvanlar Altı Sigma' nın uygulandığı organizasyonun yapısı, uygulamanın

kapsamı ve projelerin türüne bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bazı işletmeler genel kabul gören unvanlara sarı, mavi vb. kuşaklar eklerken, bazıları ise birkaç kuşakla yetinmektedir.

Bu nedenle Altı Sigma uygulamalarına geçilmeden önce işletme için uygun yapının belirlenmesi gereklidir. İşletmenin büyüklüğü ve uygulamanın kapsamına göre bu görevler birleştirilebilir ya da ek görevler oluşturulabilir. Ayrıca bu yapının sabit olmadığı değişen ihtiyaçlara göre yenilenebileceği unutulmamalıdır. Genel anlamda kabul gören yapısı; altı sigma çalışmalarını destekleyen üst kalite konseyi, üst yönetim adına çalışmalara liderlik edecek yönetim temsilcisi, iyileştirme projelerini üst kalite konseyi adına gözlemleyen kalite şampiyonu, altı sigma ile ilgili her konuda en üst düzey teknik bilgiye sahip uzman kara kuşak, iyileştirme projelerinin lideri ve sorumlusu kara kuşak, icracı personel olan yeşil kuşak şeklindedir.

3.4. Altı Sigma Uygulama Adımları

Altı Sigma uygulamasının başarısı, yukarıda kısaca açıklandığı gibi herkes tarafından oynayacağı rolün çok iyi bilinmesine bağlıdır.

Yaklaşımın başlangıcı kabul edilen "Planlama ve Altyapı" aşamasında, üst yönetimle birlikte şirketin iş hedeflerine uygun Altı Sigma stratejisi ve uygulama planı oluşturulur. Yönetici eğitimleri, karşılıklı görüşmeler sayesinde hem üst hem de orta yönetim Altı Sigma kavramları, rolleri, programın bütünü hakkında ayrıntılı olarak bilgilendirilir. Altı Sigma liderlik ekibi oluşturulur (Filiz, 2005; Baş, 2003; <http://www.basariyolu.com>, 02.06.2006).

"Uygulama ve Yayılım" adı verilen ikinci aşamada yönetimle birlikte Altı Sigma stratejisine uygun iyileştirmeye açık alanlar belirlenir. Projeler sonucunda elde edilen stratejik ve finansal kazançlar raporlanır. Bu sayede Altı Sigma programının kazançlarının tüm çalışanlar tarafından görülmesi ve tanınması sağlanır.

Üçüncü aşama "Sürdürme ve Yayılım", Altı Sigma metodolojisinin yayılımını hızlandırmayı ve günlük yaşama entegre etmeyi amaçlar.

"Kurumsal Davranış Biçimi" adı verilen dördüncü aşamada ise, mevcut problemlerin süratle çözülmesine yönelik, Altı Sigma yaklaşımının ve araçlarının

günlük faaliyetlere tümüyle entegrasyonu tamamlanır. Bu aşamada, mevcut problemlerin çözülmesi konusunda elde edilmiş kurumsal davranış biçiminin ötesine geçilmesi amaçlanır. Yeni ürünlerin veya süreçlerin problemsiz olarak tasarımı ve devreye alınmasını mümkün kılacak sistemler oluşturularak uygulanması, sürekliliğinin sağlanması ve bu sayede veriye ve verinin uygun araçlarla analizine dayalı karar verme alışkanlığının kuruluştta tümüyle yerleştirilmesi sağlanmaya çalışılır.

Altı Sigma uygulamalarında yaygın olarak TÖAİK – Tanımla, Ölç, Analiz, İyileştir ve Kontrol döngüsü kullanılmaktadır. Temel olarak PUKÖ modelinden büyük bir farklılık göstermeyen TÖAİK modelinde sadece ölçme ve iyileştirme süreçleri özel olarak vurgulanmış ve bu süreçler ayrı birer aşama olarak ifade edilmiştir. TÖAİK modeli aslında altı sigma yol haritası olarak ifade edilebilecek olup, prosesin nasıl tanımlanacağını, ölçüleceğini, iyileştirileceğini, analiz edileceğini ve kontrol edileceğini sistematik olarak irdeler. TÖAİK iyileştirme modeli kayıpların veya uygunsuzlukların olduğu ve buna bağlı olarak fırsatların bulunduğu her alanda uygulanabilir.

TÖAİK modelinde yer alan aşamaların açıklımları, kullanılan araçlar ile bu aşamalara ait çıktılar Çizelge 3.1’ de verilmiştir (Wedgwood, 2006).

Çizelge 3.1. Altı Sigma Uygulama Adımlarında Kullanılan Araçlar/ Teknikler

ADIM	AÇILIM	ARAÇ/ TEKNİK	ÇIKTI
TANIMLAMA	<ul style="list-style-type: none"> Projenin başlatılması Sürecin tanımlanması Müşteri beklentilerinin belirlenmesi Kritik süreç çıktılarının belirlenmesi 	<ul style="list-style-type: none"> Beyin fırtınası Sebebe-sonuç diyagramı Anketler Süreç akış şeması Hata türü ve etkileri analizi (FMEA) Yakınlık diyagramı 	<ul style="list-style-type: none"> Proje çizelgesi Oluşturulan proje ekibi Netleştirilmiş müşteri gereksinimleri
ÖLÇME	<ul style="list-style-type: none"> Sürecin anlaşılması Süreç girdileri üzerindeki risklerin değerlendirilmesi Müşteri beklentilerinin belirlenmesi Mevcut sistem performansının değerlendirilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> Sebebe-etki matrisi Hata türü ve etkileri analizi (FMEA) Ölçüm sistemi yeterlilik analizi Süreç yetenek analizi Grafiksel analizler 	<ul style="list-style-type: none"> Mevcut durum süreç haritası Ölçüm sisteminin doğrulanması Süreç yeteneği
ANALİZ	<ul style="list-style-type: none"> Değişik etmenlerin kritik süreç çıktıları üzerindeki etkilerine ilişkin değerlendirilmeler, analizler 	<ul style="list-style-type: none"> Çok değişkenli analizler Korelasyon Regresyon Hipotez testleri Güven aralıkları ANOVA Grafiksel analizler 	<ul style="list-style-type: none"> Hataların temel nedenlerinin belirlenmesi Kayıpların belirlenmesi İyileştirme öncelik ve hedeflerinin belirlenmesi
İYİLEŞTİRME	<ul style="list-style-type: none"> Kritik girdilerin belirlenmesi ve doğrulanması Tasarım/ mevcut sistem iyileştirmesi Yeni sistem tasarımının denenmesi/ doğrulanması 	<ul style="list-style-type: none"> Deney tasarımı Benzetim 	<ul style="list-style-type: none"> İyileştirme planı Yeni süreç tasarımı/ iyileştirmesinin dokümantasyonu
KONTROL	<ul style="list-style-type: none"> Kontrol sisteminin sonlandırılması Uzun dönem sistem performansının doğrulanması 	<ul style="list-style-type: none"> Kontrol planları İstatistiksel süreç kontrolü Önleyici bakım 	<ul style="list-style-type: none"> Kontrol grafikleri Sürekli iyileşme fırsatlarının tanımlanması Yeni sistemin/ iyileştirme için belirlenen sistem değişikliklerinin yerleştirilmesi

Altı Sigmanın 5 temel uygulama aşaması ile bu aşamalarda yaygın olarak kullanılan önemli araç/ teknikler bu bölümde özet olarak açıklanacaktır.

3.4.1 Tanımlama

Bu aşamada projenin amaç ve kapsamı tanımlanır. Süreç ve müşteri hakkında bilgi toplanır. Seçilen ve tanımlanan projenin daha yüksek bir kalite yaratma ve maliyetleri azaltma olasılığının yüksek olması önemlidir. Öncelikle planlanan iyileştirmeye görev ve yetkileri uygun olan proje ekibi oluşturulur. Bu aşamanın çıktısı; planlanan iyileştirmenin ayrıntılı tanımı, müşteri için önemli olan faktörlerin listesi, üzerinde çalışılacak sürecin akış diyagramı yardımı ile detaylı gösterimidir. Bu aşamada yaygın olarak kullanılan araçlar; süreç akış şeması, hata türü ve etkileri analizi (FMEA), sebep-sonuç diyagramıdır.

3.4.1.1 Süreç akış şeması

Belli bir süreçteki adımları grafik sembollerle gösteren şemadır. Sürecin temel girdi ve çıktı değişkenleriyle birlikte tam olarak algılanması için süreç akış şeması oluşturulur. Süreç akış şeması, sürecin yazılı hale getirilmesi ve şekilsel bir gösterimidir. İş akış şemaları kullanılarak büyük bir süreçte çeşitli basamaklar tanımlanır ve yapılan işin herkes tarafından anlaşılması sağlanır. Çoğu zaman süreçte meydana gelen olaylar gerçekte olması gerekenden farklıdır. İş akış şeması oluşturmakla belli bir süreçte atılması gereken adımlara daha yakından bakma imkanına kavuşulur. Akış şemaları aynı zamanda sürece kimin nasıl katılacağını belirlemede önemli katkı sağlamaktadır.

Süreç akış şeması ile zaman içinde süreçte meydana gelen değişkenlerden kaynaklanan değişkenliğin azaltılması, gereksiz faaliyetlerin belirlenmesi ve kontrolün sağlanması amaçlanır.

Süreç akış şeması oluşturulurken aşağıdaki adımlar izlenir (QA. Inc, 2000):

1. Genel girdilerin ve önemli çıktı değişkenlerinin belirlenmesi,
2. Katma değer yaratan ve yaratmayan adımların tanımlanması,
3. Sürecin her adımında temel çıktılarının gösterilmesi,

4. Temel girdilerin listelenmesi ve süreç girdilerinin sınıflandırılması,
5. Kontrol edilebilir ve kritik girdiler için operasyon spesifikasyonlarının ve süreç hedeflerinin eklenmesi

Süreç akış şeması oluşturulurken kullanılan semboller ve açıklamaları aşağıda verilmiştir (Damelio, 1996):

- *Süreç Parametreleri*: Temel süreç girdi değişkenleri olup, temel süreç çıktı değişkenleri üzerindeki etkiyi görmek için değiştirilebilirler.

- ↑ *Gürültü Girdileri*: Temel süreç çıktı elemanları üzerinde etkisi olan fakat kontrolü güç olan veya mümkün olmayan girdi değişkenleridir.

- ◇ *Kritik Parametreler*: Temel süreç çıktı parametrelerinin değişkenliğine büyük etkisi olan girdilerdir.

- ★ *Standart Operasyon Prosedürleri*: Süreci yürütmek için kullanılan standart prosedürlerdir.

İş akış şemalarını hazırlamak ve kullanmak yönetim ve üretimle ilgili süreçlerde, süreç kontrolüne imkan tanıyan en önemli faaliyetlerden birisidir. Süreç akış şemalarının faydaları kısaca aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- Olayların sırasını açık olarak anlamaya yardımcı olur.
- İyileştirme fırsatlarını belirlemeye yardımcı olur.
- Veri toplanacak alanları ve teknikleri tarif etmeyi kolaylaştırır.

3.4.1.2 Hata türü ve etkileri analizi

Hata Türü ve Etkileri Analizi- HTEA (Failure Mode and Effect Analysis-FMEA), müşteri gereksinimlerinin sürekli karşılanması amacıyla, hem tasarım hem de üretim kalitesini güvence altına alan ürün ve süreçlerin tasarımında kullanılan önleyici bir yaklaşımdır. Yöntemde, ürünün işlevleri sorgulanır ve bu işlevlerin yerine getirilmemesi durumunda müşteriye ne gibi bir hata olarak ulaşacağı, hatanın ortaya çıkma olasılığı, hatanın farkına varılma olasılığı ve yaratacağı hasarın önemi araştırılır.

Tanımlanan hata türlerinden sonra, hataların etkilerinin belirlenmesi için etkenler 1' den 5' e kadar puanlanır, puanların çarpımı bir puanlama sistemi içinde değerlendirilir ve bu puan yüksekse puanın düşürülmesi için alınabilecek önlemler araştırılır. Böylece önemli hatalar ortaya çıkmadan tasarım aşamasında önlenmiş olmaktadır. (Gevirtz, 1994; Kolarik, 1995)

3.4.1.3 Sebep-sonuç diyagramı

Bir sorunun çeşitli nedenlerini belirlemeye, sıraya dizmeye ve göstermeye yarayan bir araçtır. Bir iş sürecini geliştirmek için süreç ve süreç sonunda elde edilen çıktılar hakkında yeterli ve gerekli bilgiye sahip olmak gerekir. Sebep-Sonuç Diyagramı bu amaca ulaşmak için önemli bir kalite aracıdır. Belirlenen bir sonuç ve onu etkileyen tüm etkenlerin ilişkileri grafiksel olarak gösterilir. Sebep-Sonuç Diyagramı, "Balık Kılıcı Diyagramı" olarak da bilinmektedir. Şemanın yapısı problem üzerinde çalışanların sistematik bir şekilde düşünmesine yardımcı olmaktadır (Montgomery, 2001).

3.4.2. Ölçme

Bu aşamada mevcut durumu tüm yönleriyle açıklayan bilgiler toplanır. Geçerli ve doğru ölçümler olmaksızın, sürecin mevcut performansını ve yapılan iyileştirmelerin etkilerini belirlemek mümkün değildir. Bu aşamanın çıktısı; sürecin mevcut performansı, problemi ya da problemin oluşumunu açıklayan veriler, problemin daha özel ve detaylı bir tanımıdır. Ölçmenin de bir süreç olduğu unutulmamalı ve bütünsel yaklaşım içinde ölçüm değerlerine etki edebilecek içsel ve dışsal faktörler dikkate alınmalıdır. Felsefesi itibariyle sürekli ölçüm yaklaşımı, Altı Sigma' nın önemli bir özelliğidir. Böylece sürekli bir kontrol sağlanacak ve iyileştirme olanaklarının yakalanması olasılığı artacaktır. Bu ölçümler süreç yapıları incelendiğinde sebep – sonuç ilişkilerini ve sistem dinamiklerinin etkilerinin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayacaktır. Bu şekilde müşteri verileri ile şekillenen ölçüm sürecinde hedefler doğrultusunda gereksiz ölçümlerden kaçınılacak ve hedefe dönük ölçüm başarılabilecektir.

Dolayısıyla bu adımda öncelikle ölçüm sisteminin yeterliliği ve sistemin mevcut performansı belirlenmelidir. Pareto diyagramı ile sebep-etki matrisi bu aşamada yaygın olarak kullanılan diğer araçlardır.

Ölçüm, bir büyüklüğün değerinin bulunmasına yönelik işlemler dizisi olarak tanımlanmaktadır (UME 97–004). Söz konusu dizi:

- Ölçülecek büyüklüğün belirlenmesi,
- Ölçülecek nesne ve yerin belirlenmesi,
- Ölçüm yönteminin seçilmesi,
- Ölçüm düzeneğinin kurulması,
- Gözlemlerin gerçekleştirilmesi,
- Gerekli hesaplamaların yapılması

adımlarından oluşmaktadır.

Ölçümler sonucunda, elde edilen veriler ile istenilen spesifikasyonların sağlanma derecesi tespit edilerek üretim süreci her aşamada kontrol altında tutulabilir. Yapılan ölçümler sonucunda spesifikasyon dışı bir durum tespit edildiğinde, bunun sebebi belirlenmeli ve sorun giderilmelidir. Ürünün belirlenen kalite düzeyinde oluşması isteniyor ise, kalite kontrol çalışmaları dikkatli biçimde yürütülmelidir.

Kontrol çalışmaları sırasında yapılabilecek bir yanlışlık (hatasız ürünün hatalı olarak veya hatalı ürünün hatasız olarak nitelenmesi), direkt olarak ürünün kalitesi ile ilgili kararı etkileyecektir. Bu açıklamadan da anlaşılacağı gibi, ölçümleme sonucunda güvenilir veriler elde edebilmek için ölçüm sisteminin de güvenilir olması gerekmektedir.

3.4.2.1 Ölçüm sistemi yeterlilik analizi

Ölçüm sistemi operatörler ve ölçüm araçlarından oluşmaktadır. Ölçüm sistemini oluşturan operatörlerin, ölçüm yapabilme yetenekleri tespit edilmeli ve eksiklik, yetersizlik görüldüğünde gerekli eğitimler verilmelidir. Aynı şekilde, ölçüm araçları da ölçümleri doğru yapabilecek şekilde ayarlanmalı, belirlenen dönemlere uygun olarak kalibrasyonları veya doğrulamaları yapılmalıdır. Gerek operatörler gerekse ölçüm araçları zaman içerisinde bazı nedenlerden ölçülen verilerde değişkenliğe neden

olabilmektedirler. Dolayısıyla, operatörler ve ölçüm araçlarından oluşan “ölçüm sistemi” belirli zamanlarda istatistiksel olarak analiz edilerek, güvenilirliği sağlanmalıdır (Breyfogle, 1999).

Kalite kontrol çalışmalarında, ölçüm sonuçlarının hatalı olmadığını varsaymak veya bu konuya yeterli önemi vermemek yanlış bir yaklaşımdır. Ölçüm sisteminin hatalı olmadığını kabul edip, kontrol çalışmalarına başlamak ise, daha en baştan kalite kontrol sisteminin güvenilirliğini olumsuz etkiler.

Gerçek süreç değişkenliğini ortaya çıkarmak için ölçüm sistemlerinden (ölçüm cihazından ve ölçüm cihazının kullanımından) kaynaklanan değişkenlik öncelikle tanımlanmalı ve sürecinkinden ayrıştırılarak ayrı olarak yorum yapılmalıdır.

Bir ölçümde gözlenen değer, gerçek değer ile ölçüm hatasının toplamı olarak ifade edilebilir. Ölçüm hatası, gözlenen değer gerçek değerden sapmasına neden olan tüm ölçüm değişkenliği kaynaklarının net etkisi anlamında istatistiksel bir terimdir. Bir süreçteki toplam değişkenlik ise süreç değişkenliği ve ölçüm değişkenliğinin toplamı olarak ifade edilebilir. Doğru bir süreç analizi ve iyileştirmesi yapabilmek için ölçüm değişkenliğinin süreç değişkenliğinden küçük olması gerekir. Bir ölçüm sisteminin güvenilirliğini belirlemede aşağıdaki etkenler göz önüne alınmalıdır (Kolarik, 1995):

- Ölçüm aracının yinelenabilirliğinin belirlenmesi,
- Ölçüm aracının türetilebilirliğinin belirlenmesi,
- Ölçümler arasındaki zaman farklılığının ölçüm sonuçlarına etkisinin belirlenmesi,
- Farklı ölçüm araçları ile yapılan ölçümleme sonuçlarının karşılaştırılması,
- Ölçümleme planının oluşturulması,
- Ölçümlere etki edebilecek çevre faktörlerinin belirlenmesi

Ölçüm yeterliliği çalışmasında, birden fazla operatör birden fazla parçanın aynı özelliğini birden çok kez ölçerler. Farklı operatörlerin ölçüm sonuçları karşılaştırılarak tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik ve kararlılık analizleri yapılarak ölçüm sisteminin güvenilirliği ve değişkenliği incelenir. Buradaki amaç, ölçümlerin aynı veya farklı kişiler tarafından yapılması durumunda ölçüm sonuçlarının farklılık gösterip göstermediğini tespit etmektir (AIAG, ASQC, 1998).

Tekrarlanabilirlik (repeatability): aynı parçanın aynı karakteristiğinin bir ölçüm cihazı kullanılarak bir operatör tarafından birçok kere ölçüldüğünde ortaya çıkan değişkenliktir. Değişkenlik azsa tekrarlanabilirlik iyidir.

Yeniden üretilebilirlik (reproducibility): aynı parça üzerinde aynı karakteristiğinin birçok kere farklı operatör tarafından aynı ölçüm cihazı kullanılarak yapılan ölçümlerinin ortalamasındaki değişkenliktir. Fark küçükse yeniden üretilebilirlik iyidir.

Kararlılık (stability) ise uzun bir süre içinde aynı ana parçaların bir karakteristiğinin bir ölçüm sistemi (test/cihaz) aracılığıyla elde edilen ölçümlerindeki toplam değişkenliktir. Fark küçükse kararlılık iyidir (Breyfogle, 1999). Bu parametrelere ilave olarak, ölçüm sistemi yeterlilik analizinde iki temel gösterge dikkate alınır. Bunlar %R&R ve %P/T' dir. Ölçüm sistemi değişkenliğinin sürecin parça değişkenliği ile karşılaştırılması olarak tanımlanan %R&R, ölçüm sistemindeki toplam değişkenlik (parçadan parçaya olan değişkenlik ve ölçüm sistemleri değişkenliği) doğrultusunda, tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik problemlerinden ileri gelen bir standart sapma bulur.

%R&R (Repeatability & Reproducibility):

Toplam değişkenliğin yüzde kaçının ölçüm hatasından kaynaklandığını açıklayan kavramdır. Tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirliği içerir.

$$\%R\&R = \frac{5,15 * \sigma_{\text{ÖlçümSistemi}}}{\sigma_{\text{Toplam}}} \quad (3.1)$$

%R&R değeri için en iyi durum % 10' dan küçük olan durumdur. Ancak kabul edilebilirlik sınırı % 30' dur. %R&R değerinin %30'dan büyük olması, gerçek süreç değişkenliğini görmek için yetersiz bir ölçüm sistemi kullanıldığını gösterir.

%P/ T (Precision/ Tolerance):

Toleransın yüzde kaçının ölçüm hatası tarafından kullanıldığını açıklayan kavramdır. Hassasiyet/ Tolerans oranı;

$$\% P/T = \frac{5,15 * \sigma_{\text{ÖlçümSistemi}}}{\text{Tolerans}} \quad (3.2)$$

şeklinde hesaplanır.

En iyi durum % 10' dan küçük olan durumdur. Ancak kabul edilebilirlik sınırı % 30' dur. %P/T değerinin %30'dan büyük olması, süreç toleransına ilişkin olarak kötü bir ölçüm sistemi kullanıldığını gösterir.

5,15 değeri, cihaz anakütle dağılımının değişkenliğini temsil edebilmek için deneysel olarak geliştirilmiştir (Breyfogle, 1999).

%R&R ve %P/T yetenek indekslerinin karşılaştırması Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ölçüm Yetenek İndekslerinin Karşılaştırması

%R&R ve %P/T	SONUÇ
< %5	Hiçbir sorun yok
<= % 10	Ölçüm sistemi uygun
%10- %30	Uygulamanın önemi ve maliyet faktörü temelinde kabul edilebilir
>%30	Ölçüm sistemi iyileştirme gerektirir

Buna göre ölçüm sisteminin yeterliliği kabul edildikten ve değişkenlik oranlarının belirlenmesinden sonra analiz ve iyileştirme aşamalarına geçilebilecektir.

3.4.2.2 Süreç yetenek analizi

Bir sürecin üretim yeteneğini tanımlama yollarından birisi süreç yetenek analizidir. Süreç, bir ürün veya hizmeti üretmek için gerek duyulan aşamaların tümüdür. Süreç yeteneği “bir sürecin sağlayabildiği en az kalite değişkenliği” olarak tanımlanabilir. Süreç yeteneği insan, cihaz, materyal, metot ve çevre faktörlerine bağımlı olup bu faktörlerin değişiminden etkilenmektedir.

Süreçlere uygulanan istatistiksel süreç kontrol işleminde sürecin değişkenliğini göstermek, istikrarı sağlamak, kalite, verim ve performansını arttırmak amacıyla sürecin uygunluk oranının bir ölçüsü olarak süreç yetenek katsayıları tanımlanmıştır.

Normal dağılımlar için süreç yeterliliğinin belirlenmesinde C_p ve C_{pk} olarak isimlendirilen süreç yetenek indekslerinden faydalanılır. Bunlardan C_p indeksi sürecin

sadece yayılımını kontrol ederken, C_{pk} indeksi ise sürecin hem yayılımını hem de ortalamasının hedeflerden sapmasını kontrol etmektedir. C_{pk} indeksinin bu kontrolü yapabilmesi için çift taraflı olarak yapılması gerekmektedir. Sayısal olarak spesifikasyon limitleri ve dağılım arasındaki ilişkiyi ifade eden süreç yeteneğinin kontrol altında olduğu varsayıldığında, üretilen parçaların % 99,7'si süreç yeteneği karşılığı olan alan içinde yer alacaktır (Akın, 1996).

C_p ve C_{pk} indeksi süreç yeteneğinin uygunluğunun sayısal olarak değerlendirilmesidir. Sürecin değişiminin spesifikasyon limitleri içinde olup-olmadığını belirlememize yardımcı olur. Değişik değer aralıklarında farklı yorumlanan bu indeksler, üst ve alt spesifikasyon sınırları, sırasıyla ÜSS ve ASS, sürecin standart sapması da σ olmak üzere,

$$C_p = \frac{\text{ÜSS} - \text{ASS}}{6\sigma} \quad (3.3)$$

şeklinde hesaplanır.

Genellikle sürecin standart sapması bilinmediğinde tahmin edilmesi gerekir. Tek yanlı spesifikasyon değerlerinin bulunması durumunda, üst ve alt spesifikasyonlar için sırasıyla,

$$C_{pu} = \frac{\text{ÜSS} - \mu}{3\sigma} \quad C_{pa} = \frac{\mu - \text{ASS}}{3\sigma} \quad (3.4)$$

eşitlikleri kullanılır. Bir sürecin hesaplanan C_p değerinin yorumlanabilmesi için karşılaştırılabilecek bazı değerler gerekmektedir (Burnak, 1997).

- C_p ve $C_{pk} > 1,33$ ise yeterli süreçtir. Süreç tamamen spesifikasyonları karşılayabilecek yetenektedir.
- $1,33 \geq C_p$ ve $C_{pk} > 1,0$ ise süreç kabul edilir. Ancak bu süreç spesifikasyonları karşılamada zorluk çekmektedir. Bu nedenle süreç izlenmeye devam edilmelidir.
- $1 \geq C_p$ ve C_{pk} ise süreç yetersizdir. Süreci geliştirmek için yaygın çaba gösterilmelidir.

3.4.2.3 Pareto diyagramı

Pareto analizi değişik sayıdaki önemli sebepleri, daha az önemde olan sebeplerden ayırmak için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik bir olayın grafik yardımıyla gösterilmesi ve karşılaşılan problemin veya konunun en önemli sebebi üzerinde dikkati yoğunlaştırdığından ve önceliklerin belirlenmesine yardımcı olduğundan her alanda kullanılabilir niteliktedir (Burr, 1994).

Pareto Diyagramı Oluşturma Adımları:

1. Hangi soruna ilişkin daha fazla bilgi istenildiğine karar verilir,
2. Gerekli veriler toplanır,
3. Her kategorinin diğerlerine göre görülme sıklığı (ya da maliyeti) bulunur,
4. Sorun kategorilerini (görülme sıklığına göre azalan sırayla) yatay çizgiye, görülme sıklıkları dikey çizgiye listelenir,
5. Toplam yüzde çizgisini grafiğe eklenir,
6. Sonuçları yorumlanır.

3.4.2.4 Sebep-etki matrisi

Kritik süreç parametrelerini etkilediği düşünülen sebeplerin puanlandırılmasına dayanan bir yöntemdir. Sebep-etki matrisi yapısı Çizelge 3.3' te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Sebep-Etki Matrisi Yapısı

Müşteri İçin Önem Derecesi		PUANLAMA		
		A	B	...
Süreç Girdileri		Hata Türleri (1,2,...)		TOPLAM
1		X_{11} 1nci girdinin, 1nci hata türüne etki derecesi	X_{12} 1nci girdinin, 2nci hata türüne etki derecesi	$aX_{11}+bX_{12}+....$
2		X_{21}	X_{22}	
3				
...				
TOPLAM		$aX_{11}+aX_{21}+...$...

Matrisin satırları sebepleri ifade etmekte ve burada kritik süreç girdileri yer almaktadır, sütunları ise etkileri ifade etmekte ve hata türleri yer almaktadır.

Sebep-önem dereceleri hesaplanırken, sebebi oluşturan faktörün ilgili puanı ile bu faktörün etkisinin puanı çarpılır. Tüm etkilerden aldığı toplam puan, o sebebin puanını oluşturur. Böylece sürecin müşteri için önemli olan parametreleri ile bunlar üzerinde kritik etki yaratan girdileri belirlenerek iyileştirme hedeflerinin belirlenmesi sağlanacaktır.

3.4.3. Analiz

Bu aşamanın amacı problemin asıl nedenlerini tanımlamak ve bunların nedenlerini doğrulamaktır. Dolayısıyla bu aşamanın çıktısı, test edilen ve doğrulanan bir hipotez olacaktır.

Analizin temel mantığı sistem yaklaşımı çerçevesinde analize yaklaşarak çoklu kriterler eşliğinde ilişkiler ağı mantığıyla bütünselliği yakalamaktır. Sorunların ortaya konmasında ne, nerede, ne zaman, ne kadar ve hangi etkide tipi sorulara verilecek cevaplar analizi kolaylaştıracaktır. Analizde kullanılacak istatistiksel metotlar, hem hızlı hem de düşünülen duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilerek farklı senaryolara uyum sağlayabilecek esneklikte bir karar verilmesine yardımcı olacaktır. Geliştirilmesi veya kaldırılması gereken süreçler belirlenir. İyileştirilmesi düşünülen süreçler için alternatif projeler oluşturulur. Bu alternatif projeler arasından maliyet - fayda analizi ve müşteriye değer yaratma noktalarındaki en iyi proje seçilir.

Analiz aşamasında yaygın olarak varyans analizi ve hipotez testleri gibi istatistiksel teknikler kullanılmaktadır.

3.4.3.1 Varyans analizi (ANOVA)

Süreç performans karakteristiğindeki değişkenliğin hangi faktör ve etkileşimleriyle açıklanabileceğini dolayısıyla faktör ve faktör etkileşimlerinin etki düzeylerini belirlemek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilir. Varyans analizi genelleştirilmiş yapısı Çizelge 3.4' te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Varyans Analizi Genel Tablosu

Değişkenlik Kaynağı (Source)	Serbestlik Derecesi (Degrees of Freedom)	Kareler Toplamı (Sum of Squares)	Kareler Ortalaması (Mean of Squares)	F Varyans Analizi Test İstatistiği	P Önem Derecesi
A	$v_A = a-1$	SS_A	$MS_A = SS_A / v_1$	MS_A / MS_H	
B	$v_B = b-1$	SS_B	$MS_B = SS_B / v_2$	MS_B / MS_H	
...
AB Etkileşimi	$v_{AB} = (a-1)(b-1)$	SS_{AB}	$MS_{AB} = SS_{AB} / v_{AB}$	MS_{AB} / MS_H	
....
....
C*D*E Etkileşimi	$v_{CDE} = (c-1)(d-1)(e-1)$	SS_{CDE}	$MS_{CDE} = SS_{CDE} / v_{CDE}$	MS_{CDE} / MS_H	
....
A*B*C*D*E	$v_{ABCDE} = (c-1)(d-1)(e-1)$	SS_{ABCDE}	$MS_{ABCDE} = SS_{ABCDE} / v_{ABCDE}$	MS_{ABCDE} / MS_H	
Hata	$v_H = abcde(n-1)$	SS_H	$MS_H = SS_H / v_H$		
Toplam	$v_t = abcde n - 1$	SS_T			

✓ P; α anlam düzeyinde ilgili faktörün ya da faktör etkileşiminin kritik etki yaratabilme olasılığıdır.

✓ Source: Değişkenlik Kaynağı, ana faktörleri ve faktör etkileşimlerini içermektedir. Performans karakteristiğinin hangi faktör ve etkileşimleri tarafından açıklanabilirliğini analiz etmek için kullanılacaktır.

✓ DF: Serbestlik Derecesi (Degrees of Freedom)

$v_A = a-1$ (a : A faktörünün düzey sayısı)

$v_{AB} = (a-1)(b-1)$ (a : A faktörünün düzey sayısı, b: B faktörünün düzey sayısı)

Hata (error) serbestlik derecesi = abcde (n-1) olarak, toplam için serbestlik derecesi ise; abcde n-1 şeklinde hesaplanmaktadır.

$$\checkmark \text{ SS: Kareler Toplamı } SS = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.5)$$

$$\checkmark \text{ MS: Kareler Ortalaması; } MS = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / v \quad (3.6)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

3.4.3.2 Hipotez Testleri

Bir popülasyon hakkında ileri sunulan hipotezinin kabul edilip edilmeyeceğini belirlemek için örnekleme dayalı sistematik izlenen bir seri işlemlerdir. 5 aşamadan oluşur (Çömlekçi, 2001).

1. Sıfır (Null) ve alternatif hipotezin belirlenmesi :

Sıfır hipotezi: Bir popülasyon parametresi hakkında ileri sürülen varsayım. Genellikle bu varsayımda popülasyon parametresinin belli bir değeri olduğu varsayılır.

H_0 = Sıfır hipotezi

Alternatif hipotez: Örnekleme ait veriler Sıfır hipotezinin yanlış olduğuna ait deliller sunduğu durumlarda kabul edilen hipotezdir

H_a = alternatif hipotez

2. Önem veya Risk Derecesinin Belirlenmesi(α): Aslında doğru olan sıfır hipotezinin reddedilme olasılığıdır.

Risk derecesinin seçimi tercihe dayalıdır ancak araştırmalarda genelde 0.05 yani % 5 ve % 1 risk dereceleri araştırmalarda kullanılmaktadır.

I. tip hata: Sıfır hipotezi doğru iken reddedilir.

I. Tip hata yapma olasılığı α olarak bilinmektedir.

II. tip hata: Sıfır hipotezi yanlış iken reddedilmez.

II. Tip hata yapma olasılığı β olarak bilinmektedir.

Daima bu hatalardan birini yapma ihtimali vardır. Bu ihtimalleri risk derecesini belirleyerek azaltmak isteriz.

3. İstatistiksel test metodunun belirlenmesi: Sıfır hipotezinin ret edilip edilmeyeceğinin belirlenmesinde kullanılan ve popülasyon örneklemeinden elde edilen değerdir. Örnek: t, F, ve ki kare istatistik testleri

4. Sıfır hipotezinin hangi koşullarda kabul ve hangi koşullarda reddedileceğinin belirlenmesidir.

5. Karar verilmesi: Sıfır hipotezinin alınan risk derecesi doğrultusunda reddi ya da kabulüdür.

3.4.4. İyileştirme

İyileştirme aşamasında problemin temel nedenlerini ortadan kaldıracığı iddia edilen çözümler denenir ve uygulamaya konulur. Bu çözümler daha iyi bir tahmini, daha iyi bir programlamayı, daha iyi bir prosedürü ya da daha iyi bir ekipmanı içerebilir. Bu aşamada ayrıca sonuçların bir sonraki aşamada nasıl değerlendirileceğini açıklayan bir plan oluşturulmalıdır.

Bu aşamada en yaygın olarak kullanılan araçlar deney tasarımı ve benzetimdir.

3.4.4.1 Deney tasarımı

Deney tasarımı, bir sürece etki edebilecek faktörlerin değerlerinin sistematik olarak değiştirilerek göreceli etkilerin ağırlıklarını belirlemek amacıyla bir veya bir takım sıralı deneylerin gerçekleştirilmesi yöntemidir.

Deney tasarımı daha önce geliştirilmiş olmasına rağmen, bu kavramı ürün performansındaki varyansın azaltılması için ilk uygulayan kişi Dr. Genichi Taguchi olmuştur. Taguchi deney tasarımının kullanımının aşağıdaki noktalarda önemli olduğunu belirtmiştir (Box and Bisgaard, 1987):

- Ortalama ya da hedef değerden olacak varyansın enazlanması,
- Çevre koşullarına karşı duyarsız (robüst) ürün üretilmesi,
- Parçalardaki varyansa karşı duyarlı olmayan ürünlerin üretilmesi,
- Ürün ömrünün enbüyüklenmesi.

Deney tasarımı kullanılarak tüm yeni ürün ve süreç tasarımlarında daha üretime geçmeden oluşabilecek kritik kalite problemleri önlenebilir. Böylece önemli bir kalite seviyesi yakalanır ve maliyette önemli bir düşüş olur (http://www.geocities.com/alti_sigma, 01.04.2006).

Deney Tasarımı;

- Aynı anda birçok faktörün etkisinin görülmesinde,
- Faktörler arasındaki etkileşimlerin anlaşılmasında,
- Kaliteyi ve güvenilirliği etkileyen faktörlerin araştırılmasında,

- Ürünün fonksiyonunun ya da sürecin işleyişini gösterecek hipotetik model kurulmasında,
- En iyi (robust) ürün ve süreç tasarımında,
- Ürün ve süreç kalitesinin iyileştirilmesinde,
- Ölçüm hatasının belirlenmesinde,
- Kalibrasyon çalışmalarında,
- Yeni bir ekipmanın değerlendirilmesinde

kullanılmaktadır (Lochner and Matar, 1990).

3.4.4.2 Deney tasarım yöntemleri

Ürün ve/veya süreç performansına etki eden faktörlerin sayı ve özelliklerine bağlı olarak farklı deney tasarımı yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanacaktır.

Tam Rassal Deneyler: Tam rassal deneylerde, ana faktör düzeyleri deney varlıklarına rassal olarak atanır. Rassallıkla kastedilen deney varlıklarının rassal olarak belirlenen sırada denenmesidir. Örneğin; 3 ana faktör düzeyi mevcut ve her düzey 2 defa çalıştırılacaksa 6 faktöriyel kadar olası deney sırası söz konusu olacaktır.

Rassal Blok Deneyler: Bu tür deneylerde, ana faktörle ilgili bir faktör veya değişken ile aynı zamanda çeşitli gürültü faktörleri mevcuttur.

Gürültü faktörleri sonucu etkileyen fakat temel olmayan faktörlerdir. Gürültü faktörlerini kontrol edebiliyorsak, bloklama gürültü faktörlerinden kaynaklanan deney hatalarını azaltmada veya elimine etmede kullanılabilen önemli bir yöntemdir (Montgomery, 2005). Ana kavramı, sabit tutulan gürültü faktörleri ile değişken olduğu kabul edilen faktörler arasında homojen bloklar yaratmaktır. Bloklar arasında, analizde hesaplanan blok faktörlerindeki değişimlerden endişe edilmeksizin faktörün farklı düzeylerdeki etkisini değerlendirmek mümkündür.

Latin Kare Deneyleri: Deney birimlerini etkileyen faktörler arasında birimin bulunduğu yer, konum ve koşullar etkili ise ve birimleri bu etkenlere göre değişik zamanlarda birer kez denemeye alma olanağı varsa uygulanan bir deneme düzenidir

(Montgomery, 2005). Rassal seçilen koşul sayısı kadar birim, her koşulda en az bir kez denemeye alınarak verileri elde edilir ve farklı yer, konum ya da koşulun bağımlı değişken üzerindeki etkisi elimine edilerek deneme yürütülür. Birimlerin koşullarda deneme sırası rasgele olarak belirlenir.

Latin kare deneyleri ve ilişkili Graeco-Latin kare ve Hyper-Graeco-Latin kare deneyler, karşılaştırmalı deneyin özel türleridir.

Tam Faktöriyel Deneyler: Tam faktöriyel deney tasarımlarında her bir faktörün her düzeyi için eşit sayıda gözlem değeri kullanılarak, diğer faktörlerden bağımsız olarak ürün performansına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliğe “ortagonallık” denir. Ürün performansına etki eden faktör sayısının sınırlı (1-5) olduğu durumlarda kullanılan bir tasarımdır.

Birbirleri ile etkileşim (interaction) içinde olabilecek en az iki faktörün en az ikişer seviyelerinin (etki düzeyleri, dozları vb.) birlikte ele alınarak denendiği deneme düzenleridir. Bağımsız değişkene etki ettiği düşünülen en az iki faktör alınır ve bu faktörlerin her birinin en az iki etki seviyesi dikkate alınarak denemeler kurulur. Faktöriyel düzenler çok sayıda faktörün çok sayıda düzeyi dikkate alınarak yapılabilir.

Kesirli Faktöriyel Deneyler: Gerek zaman gerekse malzeme, işgücünden kaynaklanan yüksek maliyet nedeniyle, tam faktöriyel deney yapmak ekonomik ve etkin olmayabilir. Bu durumda, faktörlerin ürün performansına olan etkilerini belirlemek amacıyla daha az deneyin yapıldığı deney stratejileri kullanılır.

Plackett- Burman Deneyleri: Plackett-Burman deneyi, her değişkenin ana etkilerini az sayıda tekrar ile inceleme imkanı sağlar. Bu yöntemin bir dezavantajı, bir değişkenin etkisi diğer bir değişkenin değeriyle değişiyorsa, tahmin edilen etkilerin taraflı olmasıdır (Montgomery, 2005).

Petek yapılmış malzeme üretim sürecinde gerçekleştirilen çalışmada ikişer düzeyli 5 ana faktör belirlendiğinden, tam faktörlü deney tasarımı uygulanacaktır.

3.4.4.3 Denev tasarımıının adımları

Bir denev tasarımı, ürün ya da süreç performansında ya da ürünün (sürecin) bazı temel karakteristiklerinde beklenenden farklı bir şekilde değışkenliğin olması durumunda söz konusu problemin tanımlanması ile başlayıp, problemin çözümlenip çözümlenmediğinin ortaya çıkarılması ile son bulan aşğıda verilen bir dizi adımda gerçekleştirilir (Anagün, 1997):

1. Problemin tanımlanması,
2. Amacın belirlenmesi,
3. Performans karakteristiğinin seçilmesi,
4. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi,
5. Faktörlerin düzeylerinin seçilmesi,
6. Denev tasarımıının seçilmesi,
7. Verilerin toplanması,
8. Verilerin analiz edilmesi,
9. Sonuçların yorumlanması,
10. Doğrulama denev(ler)inin yapılması

Dördüncü bölümde açıklanacak olan, petek yapılı malzeme üretim sürecinin altı sigma yaklaşımı ile iyileştirilmesi çalışmalarında eniyilemeye yönelik süreç parametrelerinin belirlenmesinde denev tasarımı kullanılacak olup, uygulama yukarıdaki adımlara göre yürütülecektir.

3.4.4.4 Benzetim (Simülasyon)

Benzetim, gerçek bir dünya süreci veya sisteminin işletilmesinin zaman üzerinden taklit edilmesidir (Banks and Carson, 1984). Sistem objeleri arasında tanımlanmış ilişkileri içeren sistem veya süreçlerin bir modelidir. Dinamik bir sistemin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığıyla belirleyen bir tekniktir.

Denev yapılmasının zor ve maliyetli olduğu sistemlerde, sisteme ilişkin verilerle benzetim modeli oluşturulması tercih edilmektedir.

3.4.5. Kontrol

Bu aşamanın amacı uygulanan iyileştirme planını ve elde edilen sonuçları değerlendirmek ve elde edilen kazançların sürdürülmesi ve artırılması için yapılması gerekenleri ortaya koymaktır. Bu aşamada en yaygın olarak kullanılan araç ise kontrol grafikleridir.

3.4.5.1 Kontrol Grafikleri

İstenilen kalite düzeyinde mamul üretebilmek için sürecin istatistiksel olarak kontrol ve analiz edilmesinde, Shewart kontrol grafikleri olarak da bilinen kontrol grafiklerinin yaygın bir kullanımı vardır. Grafikler, görünen basitliklerine karşın kullanıcı için izleyen biçimde özetlenebilecek bir bakış açısı yaratmaktadır.

Üretilen mamulün ölçülen kalitesi her zaman şans nedeniyle belirli bir miktarda değişimin etkisi altındadır. Bir kısım kararlı şans etkileri üretimin ya da muayenenin herhangi bir safhasında içsel olarak vardır. Bu kararlı düzende değişkenlik kaçınılmazdır. Kararlı düzen dışında oluşan değişkenlik saptanabilir ve düzeltilir.

Kontrol grafiklerinin gücü, süreçte meydana gelen ve kaliteyi etkileyen bu belirlenebilir nedenleri ayırabilmesidir. Böylece birçok üretim sorununun teşhisi ve düzeltilmesi mümkün olur. Sadece şans etkileri nedeniyle değişkenlik gözlenen bir süreç istatistiksel olarak kontrol altında olarak tanımlanır. Belirlenebilir nedenlerin varlığı altında çalışan bir süreç ise kontrol dışındadır (Burnak, 1997).

Bir kontrol grafiğini oluşturmak için; ilgilenilen kalite karakteristiği W , ortalama μ_w ve standart sapması σ_w olmak üzere, kontrol sınırlarının orta çizgiden olan uzaklığını standart sapma biriminden ifade eden katsayı k olarak kabul edildiğinde orta çizgi ve kontrol sınırları;

$$\text{ÜKS}_w = \mu_w + k \sigma_w$$

$$\text{OÇ}_w = \mu_w$$

$$\text{AKS}_w = \mu_w - k \sigma_w \quad (3.7)$$

olarak belirlenir (Montgomery, 1991).

3.5. Süreç İyileştirme ve Altı Sigma

Altı Sigma yaklaşımında amaç, süreçlerde sıfır hata oranlarına yani mükemmellik düzeyine ulaşmaktır.

Bu doğrultuda Altı Sigma kesinlikle TKY' ne bir alternatif değil, aksine onu bütünleyen bir yaklaşımdır. Altı Sigma yaklaşımı, mükemmellik düzeyine erişmek için, neler yapmamız gerektiğinden çok, nasıl yapabileceğimizin yöntemlerini tariflemekte, bu amaçla istatistiksel teknikleri, kolay ve uygulanabilir araçlar olarak süreç iyileştirmelerinde kullanmaktadır.

Müşteriye dokunan süreçler de önemli ölçüde verimsizlik potansiyeli olması nedeni ile Altı Sigma için iyi bir iyileştirme alanıdır. Altı Sigma tarafından önemli olan doğru süreçlere odaklanarak iyileştirme yapılmasıdır. İş hedefleri, ölçütler, temel süreçler ve anahtar durumdaki önemli problemlerin bilgiye dayandırılması ve endüstri standartlarının baz alınması, iyileştirme yolunda doğru adım olacaktır.

Altı Sigma teknikleri sürecin değişkenliğini azaltmaya dayalıdır. Süreçte değişkenlik yaratan faktör ve hatalar azaltılarak, süreç kontrol altına alınır. Başka bir deyişle süreçteki hata ve değişkenliğin sebeplerinin belirlenmesi, önlem alınması ve sürekli iyileştirmenin sağlanması için istatistiksel tekniklerin uygulanmasıdır.

Altı Sigma' nın başarısı için doğru süreçlerin seçimi, ölçüm sistemlerinin var olması ve bilgi sistem altyapısının istenen verileri üretebiliyor olması son derece önemlidir.

Uygulamaya başlandığı noktada performans kriterlerinin belirsizliği ve ölçümlenmemesi aşağıdaki sorunların oluşmasına sebep olabilir (<http://www.isixsigma.com>, 18.12.2005):

- Projeler sırasında performansa etki eden parametrelerin analiz güçlükleri,
- Herhangi bir alt sürecin iş sonuçlarına ne oranda etkisi olduğunun ölçümlenememesi ve ele alınan süreçler analiz edildiğinde toplam sonuca etkisinin küçük olması,

- Arzu edilen boyutta iyileşme sağlamak için birden fazla ana sürecin ele alınması gerekliliği ve birden fazla ana sürecin ele alındığı projelerde yönetim, kaynak ve zaman sorunları.

Organizasyonel olgunluk seviyeleri, süreçlerin tanımlanması, yönetilmesi, kurumsallaştırılması, ölçümü ve sürekli iyileşebilmesi adımlarını içerir. Altı Sigma' yı ancak süreçlerin tanımlı, ölçütlerin ve ilgili verilerin belirli olduğu bir organizasyonda kalıcı kılmak mümkün olacaktır.

Gerekli ölçüm/süreç altyapısı sağlanmadığı takdirde çok kısa bir süre içinde proje bulamama sorunu ortaya çıkacak ya da her süreçte yapılan ilk projeler, süreci tanımlamaya ve ölçüm altyapısını oluşturmaya yönelik olacaktır. Özellikle satış ve pazarlama gibi müşteriye dokunan süreçlerde yapılan projeler, geri plandaki süreçlere göre daha zordur. Bu sorun genellikle bu tarafta verilerin az ve süreç yapılanmasının zayıf olmasından kaynaklanır.

Başlangıç noktasında veri olmaması işleri gerçekten zorlaştırır; bu engel olarak değil, doğru gösterge ve verileri oluşturmak için fırsat olarak değerlendirilmelidir. Üretim dışındaki süreçlerde veri ihtiyacı çok az olan projeler de yapılabilir. Dikkat edilmesi gereken nokta ise hizmet süreçlerine üretim süreçleri gibi yaklaşmama gereğidir. Üretim dışı süreçlerde iyileştirme etkisini ölçmek zordur, ama bunun en başarılı biçimde yapılabileceği yöntem Altı Sigma olduğu için tercih sebeplerinden biri olmalıdır.

Altı Sigma tüm organizasyon tarafından desteklenmesi gereken bir programdır ve en üst seviyede güçlü bir liderlik gerektirir (Baş, 2003). Başarı için öncelikle küçük adımlar ile başlayarak çabuk kazanımlar elde edilmesi, daha önce hiç ölçülmemiş süreçlerde istatistiksel tekniklerin kullanılmaması, sürecin müşteri ve kazanç odaklı tasarımı ve özellikle son olarak da organizasyonel bir Altı Sigma deneyimi edinmeden müşteriye dokunan süreçlerde proje yapılmaması önem taşımaktadır. Altı Sigma, müşteri memnuniyetini artırmak ve kayıpları azaltmak için yönetimi destekleyen çok güçlü bir araçtır. Ancak unutulmamalıdır ki; tüm süreç iyileştirme programları uzun dönemli yatırımlardır ve sabır gerektirir.

1985 yılında Motorola tarafından uygulanmaya başlayan Altı Sigma, bugün ABB, Texas Instruments, General Electric, Whirlpool, Boeing, Sony, Allied Signal gibi uluslararası kuruluşlar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, General Electric (GE)'de 1997 yılında Altı Sigma konusundaki eğitimlere 400 milyon dolar harcanmış, karşılığında 600 milyon dolar getiri elde edilmiştir. GE'nin bu işe başladığı 1995 yılında 3 sigma olan kalite düzeyi, 22 ayda 3.5 sigma seviyesine çıkmıştır. GE'nin bugünkü düzeyi 5.6 sigmadır (Filiz, 2005)

Altı Sigma ile elde edilen başarılar GE ile sınırlı değildir. Altı Sigmayı 1980 yılından beri uygulayan Motorola'nın 19 yılda elde ettiği getiri 11 milyar dolar civarındadır. Motorola dünya çapında verimliliğini 3 katına çıkarmıştır. Altı Sigmaya 1991 yılında başlayan 14 milyar dolar ciroya sahip Allied Signal Inc.'nin 8 yılda elde ettiği getiri 800 milyon doları aşmıştır. Bu miktar toplam cironun % 6'sı civarındadır (Filiz, 2005).

Hollanda'da hizmet veren 385 yatak kapasiteli Red Cross Hastanesinde gerçekleştirilen altı sigma çalışması ile;

- Jinekoloji hastalarının kalış sürelerinin azaltılması, hastane bütçesine göre her hasta girişinde sabit miktar ücret alındığından, bu sayede daha fazla hasta kabulünün yapılarak olumlu finansal sonuçların elde edilmesi,
- Serum hazırlama sürelerinin kısaltılması,
- Geçici personel kiralama için yapılan harcamaların (faturaların) kontrol altına alınması

sağlanmıştır (Heuvel et.al., 2004).

Hırvatistan'da otomotiv sektöründe hizmet veren Cimos tesislerinde; havşa kompresörü tasarımında altı sigma yaklaşımı uygulanmış, FMEA teknikleri de kullanılarak süreçte oluşabilecek hataların önceden görülmesi sağlanarak, maliyetlerin azaltılması hedeflenmiştir (Sokovic et.al., 2005).

İlaç endüstrisinde altı sigma yaklaşımı ile; yeni bir ilacın bulunması, geliştirilmesi, hastalar üzerinde denenmesi ve piyasaya sürülmesi süreçlerinde

karşılaşılabilecek risklerin ve hataların azaltılması konularında çalışma yapılmıştır (Liu, 2006).

Türkiye’de Altı Sigma’yı ilk uygulayan kuruluş, Eskişehir’de faaliyet gösteren TEI’dir (Turkish Engine Industry). Hisselerinin büyük bir bölümü GE’ye ait olan TEI, GE’ nin Altı Sigma’ yı yaygınlaştırması kapsamında, 1996 yılından itibaren süreçlerinde bu yaklaşımı kullanmaya başlamıştır. TEI’ nin Altı Sigma anlayışı, müşteri ve paydaşların beklentilerini en kısa sürede, en düşük maliyet ve en yüksek kalitede ürün ve hizmetler sağlayarak karşılamak ve aşmaktır. TEI Altı Sigma stratejisi dört ana temel üzerine dayanır.

- Müşteri tatmini
- Paydaşların istek ve beklentileri (iş sonuçları)
- Çalışanlar
- Çevrenin beklentileri ve TEI’ nin sorumlulukları

Türkiye’de Altı Sigma’yı uygulayan ikinci kuruluş ise Arçelik’tir. Arçelik, 1999 yılında, özellikle üretim bazlı süreçlerinde, Altı Sigma’yı yaygınlaştırmış ve 2002 yılında bu yaklaşımı, hizmet süreçlerine doğru yaymaya başlamıştır.

Süreç iyileştirme çalışmalarına önce Altı Sigma ile başlayan Arçelik, şirket yönetiminin öncelikle nereleri iyileştirmeleri gerektiği ve iyileştirilecek konudaki problemin ne büyüklükte olduğunu görebilmek için zaman içinde “Süreçlerle Yönetim: Kurumsal Bütünlük” çalışmasına başlamıştır.

Bu çalışma başlamadan önce çalışanlar, kendi bölümlerindeki görevlerin yanı sıra, işlerin normal akışı dahilinde görev aldıkları farklı süreçlerde ek çalışmalar yapmakta ancak yıl sonunda sadece kendi görev tanımları kapsamında performans değerlendirmesine girmektedirler. Kurumsal Bütünlük çalışması kapsamında bölümler arası süreçlerin tanımlanması ile aslında bir bölümün birden fazla süreç içinde yer aldığı tüm şirket çalışanları tarafından görüldü ve onaylandı.

Süreç beklentilerinin tanımlanmasıyla, hangi konularda iyileştirmelerin öncelikli olduğu ve problemin büyüklüğü ölçülebilir hale geldi. Şirket hedefleri süreç hedeflerine, süreç hedefleri bölüm hedeflerine ve çalışanların hedeflerine kadar indirgenerek, yapılan en ufak bir iyileştirmenin, emeğin gözden kaçmayacağı, sayısal,

ölçülebilir bir sistem kuruldu. Bu sistemle beraber Altı Sigma eğitimlerini tamamlamış Yeşil ve Kara Kuşaklar projelerini daha net biçimde uygulamaya başladılar.

Savunma sanayine hizmet veren ASELSAN'da Altı Sigma, ulaşılmak için çalışılan bir hedef ve istatistiksel bir tanım olarak kullanılmaktadır. Mükemmel bir ürünün üretimi, üretim ve tasarım bölümlerinin eş zamanlı mühendislik (concurrent engineering) yaklaşımıyla ürünün tasarımına kaliteyi de eklemesiyle olabilir ve altı sigma olgusu bu amaca ulaşmayı hedefler. İstatistiksel teknikler, sayısal karşılaştırma, süreç hatalarını bulma metotları ve deney tasarımı temel kavramlardır.

ASELSAN'da bu amaç çerçevesinde, toplanan veriler irdelenerek iyileştirmeye açık alanlar belirlenmekte ve yeniden yapılandırma kurullarının, süreç iyileştirme ekiplerinin, kalite çemberlerinin, malzeme inceleme komisyonlarının, üretim teknolojilerini yakından takip eden uzman kadroların çalışmaları neticesinde ve Aselsan'ın kurulduğu ilk günden itibaren tüm personelin katılımına açık olan Aselsan Modifikasyon ve Öneri Sisteminin desteğiyle, hata sayılarının düşmesi ve sigma seviyelerinin yükselmesi sağlanmaktadır.

1996 yılından bu yana "İş Mükemmellik Modeli"ni uygulayan Bosch, süreçleri daha da iyileştirerek müşteri memnuniyetini yükseltmek, rekabet gücünü artırmak ve iş sonuçlarını iyileştirmek amacıyla 2002 yılında "Altı Sigma" yaklaşımını kullanmaya başlamıştır. Sistemin Türkiye'de ve dünyadaki öncü ve başarılı uygulayıcıları arasında yer alan Bosch, sisteme yöneticilerin de entegre olabilmeleri için üst yönetim dahil tüm yöneticiler, "Altı Sigma" şampiyon eğitimine dahil edilmiştir. Bursa'daki fabrika ve İstanbul'daki satış ofisinde dört binden fazla çalışanıyla birlikte Altı Sigma yaklaşımını uygulayan Bosch, 33 kara kuşak, 101 yeşil kuşak ve 2 uzman kara kuşak yetiştirmiştir.

Son yıllarda altı sigma yaklaşımı ile;

- Üretim sektöründe; General Electric, Boeing, DuPont, Toshiba, Seagate, Allied Signal, Kodak, Honeywell, Texas Instruments, Sony gibi şirketlerde; süreç hata seviyelerinin azaltılması, çevrim zamanlarının azaltılması, teslim sürelerinin kısaltılması konularında milyon dolarla ifade edilen kazanç sağlanan projeler,

- Finans sektöründe; nakit toplama süresinin azaltılması, nakit toplama performansındaki değişkenliğin azaltılması konularında çalışmalar,
- Sağlık sektöründe; tıbbi hataların analizi ve azaltılması, tıbbi malzeme stoklama ve buna bağlı oluşan maliyetler konularında çalışmalar,
- Mühendislik ve inşaat sektöründe; süreç ve maliyet yönetiminin eniyelenmesine yönelik, milyon dolarla ifade edilen tasarruf sağlayan projeler,
- Araştırma- Geliştirme sektöründe; maliyetlerin düşürülmesi, pazar payının arttırılmasına yönelik projeler

gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 4

PETEK YAPILI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİM SÜRECİNDE ALTI SİGMA YAKLAŞIMI İLE İYİLEŞTİRME

Bu bölümde, kalite odaklı problemlerin çözümü ile süreç iyileştirme çalışmalarında benimsenen ve bir önceki bölümde tartışılan altı sigma yaklaşımının, son yıllarda özellikle savunma sanayinde kullanımı yaygınlaşan kompozit malzemelerin bir türü olan petek yapılı malzeme üretim sürecinin iyileştirmesine ilişkin uygulama adımları açıklanacaktır.

4.1 İşletmenin Tanıtımı

Savunma sanayine hizmet vermekte olan kuruluşta; jet uçakları ile motorlarının fabrika seviyesi bakım/tadilatları ile lojistik sistemin idamesi için gerekli olan ünitelerin bakım/onarım/revizyon faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği bölümde ise; jet uçaklarına fabrika seviyesi bakım, onarım, tadilat, yenileme ve modernizasyon işlemleri uygulanmaktadır. Ayrıca boya söküm, boya yenileme ve büyük yapısal tadilatları da gerçekleştirilmektedir.

Son yıllarda modernizasyon projeleri ile, uçak yapısal ömür uzatma tadilatları, kablo donanım imali ve uçak üzerinde komple kablo donanım değişimi ve testi, gösterge panel modifikasyonları, petek malzeme imali, yeni aviyonik sistemlerin uçak üzeri testleri konusunda yeni kabiliyetler kazanılmıştır.

Uçak yapısal parçalarındaki aksaklıkların tespitinde floresant penetrant, ultrasonik, manyetik parçacık, eddy current ve radyografik kontrol süreçlerinin tümü çatlak kontrolü, kalınlık ölçümü ve iletkenlik ölçümü amacıyla kullanılmaktadır. Radyografik yöntemle yapılan kontrollerde film üzerine yapılan çekimler kullanıldığı gibi, gelişmiş teknoloji ürünü olan ve yapılan çekimin eş zamanlı olarak ekrandan izlenebildiği X-ray cihazı ile kanat ve gövde gibi büyük uçak elemanlarının kontrolü çok daha kısa sürede yapılabilmektedir.

İşletmede mevcut olan plastik parçacık püskürtme (bead-blasting) yöntemi ile uçaklar üzerindeki eski boya katmanları emniyetli ve pratik bir şekilde sökülmeştir. Böylece kimyasal maddeler kullanılmadığı için, uçak yapısına ve diğer uçak elemanlarına verilen zarar en aza indirgenmekte ve kimyasal atıkların çevreye vereceği zarar tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Boyası sökülen uçakların boya yenileme işlemleri boya sürecinin gerektirdiği otomatik ısı kontrollü iki adet boya hangarında yapılmaktadır.

Uçak üzerinde mevcut olan her türlü kablo donanımının imalatı, komple uçak üzeri kablo değişimi ve uçak gösterge panellerinin imalat ve modifikasyonu da müdürlüğün kabiliyetleri arasında yer almaktadır. Uçak üzerindeki kablo donanımının testi de bilgisayar kontrollü test cihazlarıyla yapılmakta, kablolardaki hasarlar veya yanlış bağlantılar kolayca tespit edilebilmektedir.

Uçak kompozit parçalarının imalatı da işletme bünyesinde yer alan önemli süreçlerden biridir. İçerisinde petek malzeme yer alan bazı uçak parçalarının yeniden imalatı kompozit atölyesinde gerçekleştirilmektedir.

Çalışma, süreç mühendisi, atölye şefi ve atölye çalışanlarından oluşturulan bir ekip ile birlikte yürütülmüştür.

4.2 Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Önemi

İki ya da daha fazla malzemenin uygun özelliklerini tek malzemede toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemelere “kompozit malzemeler” denir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir. Kompozitler, bileşenlerinin en iyi özellikleri veya niteliklerini ya da hiçbir bileşen tarafından ortaya konmayan bazı özellikleri oluşturmak amacıyla tasarlanırlar. Gerçek bir kompozit, bileşenlerinin tek başına ortaya koyamadıkları karakteristikleri elde etmek için her iki fazın birlikte faaliyet gösterdiği, matris malzemenin takviye malzemesini tamamen çevrelediği bir yapıya sahiptir. Bir kompozitteki çözünmez fazlar veya ana bileşenler kendi kimliklerini kaybetmezler (Chawla, 1987).

Kompozit malzemeler, tahta gibi doğal olarak oluşan kompozitleri, aynı zamanda sentetik veya insan yapımı kompozitleri de kapsar. Tıp alanındaki kompozitlerdeki gelişmenin son örneği; üç kalsiyum fosfat ve kalsiyum karbonatın kuru olarak karıştırılmasından oluşan macuna bir sodyum fosfat çözeltisi ilave edilmesiyle el edilen mono kalsiyum fosfat monohidrat' tır. Bu macun, kötüye giden kemik kırıklarına cerrahi olarak aşılır ve on dakika içerisinde sertleşir. Doğal kemik kendisini bu macun ile yer değiştirirken kırılmış kemiği yerinde tutar. Bu yeni malzeme, ağır ve rahatsız edici alçılara ihtiyacı ortadan kaldırmıştır.

Kompozit malzemelere neden ihtiyaç duyulduğu, “ileri teknoloji” ve “modern teknoloji malzemeleri” olarak da bilinen ve uygulama potansiyelleri giderek artan bu malzemelerin alışla gelmiş diğer mühendislik malzemelerine göre üstünlükleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Güllüoğlu, 1993):

- Sertliği, mukavemeti ve boyutsal kararlılığı artırmak,
- Tokluğu (darbe mukavemeti) artırmak,
- Isı-saptırma sıcaklığını artırmak,
- Mekanik sönümlemeyi artırmak,
- Gazlara veya sıvılara karşı nüfuziyeti düşürmek,
- Elektriksel direnci artırmak,
- Maliyeti düşürmek,
- Su emmeyi düşürmek,
- Termal genleşmeyi azaltmak,
- Kimyasal aşınma ve korozyon direncini artırmak,
- Ağırlığı azaltmak,
- Korozyon yapıcı bir ortamda, zorlama altında yüksek bir sıcaklıkta mukavemet/ sertliği muhafaza etmek,
- İkinci kez kullanılabilirliği artırmak ve çevreye karşı negatif etkiyi düşürmek,
- Dizayn esnekliğini artırmak

Metalik malzeme ile kompozit malzemeler karşılaştırıldığında ise kompozit malzemelerin aşağıda kısaca açıklanan özellikleri ön plana çıkmaktadır (Venere, 2002):

- **Yüksek Mukavemet:** Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve istenen bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedan tasarruf edilerek daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilir.

- **Kolay Şekillendirebilme:** Büyük ve kompleks parçalar tek işleme bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

- **Elektriksel Özellikler:** Uygun malzemenin seçilmesiyle çok üstün özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilir. Günümüzde büyük enerji hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda iyi bir yapı malzemesi olarak kullanılabilirler.

- **Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet:** Kompozitler hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler, kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörleri, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması nedeniyle başta havacılık olmak üzere sanayide geniş bir alanda tercih edilmektedir.

- **Isıya ve Ateşe Dayanıklılık:** Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı daha fazla artırılabilir.

- **Titreşim Sönümlendirme:** Kompozit malzemelerde esneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece enazlanmış olmaktadır.

Kompozit malzemeler çok önceden beri kullanılmaktadır. Antik İsraililer çamur tuğlaları takviye için saman kullanmışlar, Eski Mısırlılar bir tip kontra plak imal etmişlerdir.

Bu tür malzemeler 1940 yılında, ilk tamamen kompozit Mosquito uçağının imalatında mukavemeti ve düşük ağırlığı sebebiyle kullanılmasıyla tanınmıştır.

Kompozit malzemelerin üç ana elemanı bulunmaktadır (MIL- HDBK-349):

1. Matris Elemanı: Kompozit malzemelerde matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmektedir. Matris malzemesi, termoset veya termoplastik polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak polyesterler kullanılır. Bunun yanı sıra vinil ester/bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplastik grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanımını görülmekte (yaklaşık % 68, 3), bunların yanı sıra hibrid formda polietilen ve polibutilen tereftalat, polietereterketon ve polietersulfon kullanımı da dikkat çekmektedir.

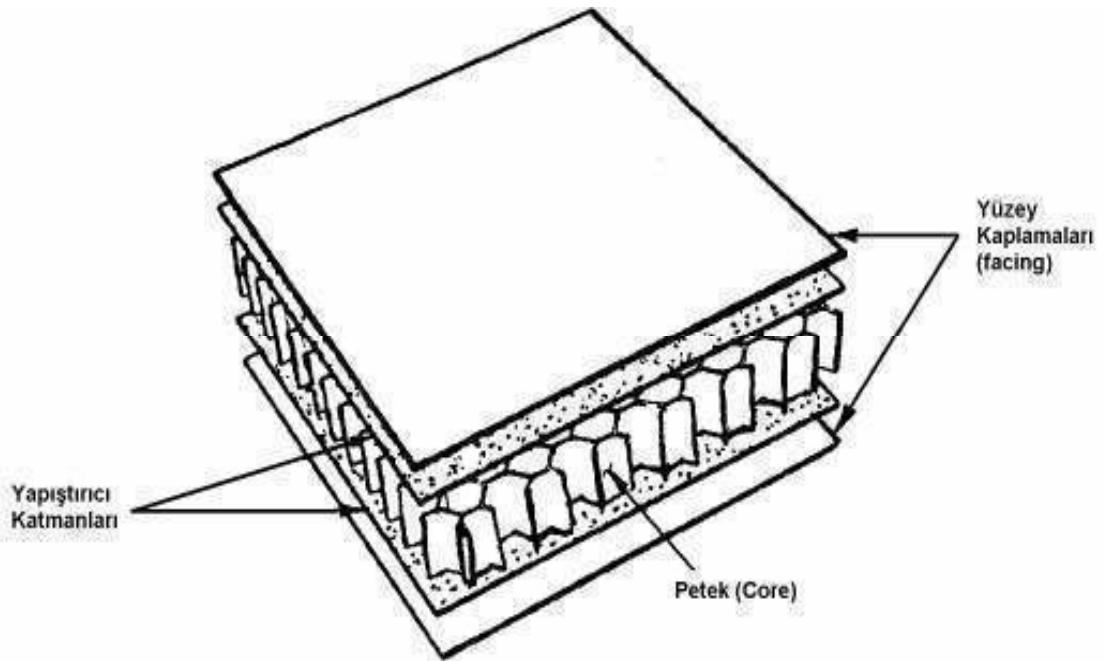
2. Takviye Elemanı: Matris malzeme içinde yer alan takviye elemanı kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SIC), alümina, cam ve polietilen malzemelerin kısa veya uzun süreli elyaf formunda kullanıldığı ve matrisi yaklaşık % 60 hacim oranında pekiştirici işlevi olan malzemelerdir.

3. Katkı Maddeleri: Dolgular, kimyasallar ve diğer katkıları matrise niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler.

Kompozit malzemeler, uçak-uzay, savunma, yapı-inşaat, tüketim mallarında, korozyon dayanımı gerektiren uygulamalarda, elektrik-elektronik, denizcilik, kara taşıtlarında ve özel amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle havacılık ve otomotiv sektöründe giderek artan ve % 6'ya yaklaşan bir uygulama artış hızı görülmektedir.

4.3 Sürecin Çalışma Konusu Olarak Seçilme Nedenleri

Uçak sanayine hizmet veren kuruluşta, uçakların korozyona ve basınca maruz kalan yüzeylerinin imal edildiği ve özel süreç olarak ele alınan sandviç yapılı kompozit malzeme Şekil 4.1.' de verilmiştir. Bunlar; rijit, ince ve yüksek mukavemetli yüzeyler (kaplama); bir yüzeyden diğer yüzeye yükleri taşıyacak, düşük yoğunluklu, hafif petek; petek ve yüzeyleri bir arada tutarak, yükler karşısında tek bir parça gibi davranmasını sağlayacak yapıştırıcılarıdır.



Şekil 4.1. Petek Yapılı Uçak Yapısal Elemanlarının Yapısı (MIL-HDBK-349)

Yüzey kaplamalarının ana fonksiyonu eğilme ve kesme dayanımı ile eksenel, eğilme ve kesme yüklerini taşımaktır. Havacılıkta yaygın olarak reçine emdirilmiş fiberglas bez (genellikle “prepreg”), grafit prepreg; alüminyum, titanyum veya paslanmaz çelik levhalar kullanılır.

Petekler ise, yapıya hem hafiflik hem de rijitlik sağlar. Peteğin ana işlevi yüzeyleri sabitlemek ve gelen yüklerin büyük kısmını tüm kalınlığı boyunca taşımaktır. Petekler de yüzey kaplamaları gibi değişik malzemelerden imal edilmiş olabilirler.

Sandviç yapıyı oluşturan elemanlar; petek malzeme, metal yüzey ve yapıştırıcı, izleyen alt başlıklarda açıklanacak olan süreç adımları ile teknik şartnamenin öngördüğü spesifikasyonlara (petek çapı, metal yüzeyin korunması, fırın sıcaklığı) göre hazırlanarak fırında pişirilmektedir. Pişen parçalar “Peel Test” denilen sıyırma testine tabi tutulmaktadır. Test cihazında, metalin petek malzemedan ilk ayrıldığı değer okunmakta ve bu değer 10 ve 10’dan yüksek olması parçanın kullanılabilir olduğunu göstermektedir. 10’dan düşük değer okunan parçalara herhangi bir düzeltici işlem uygulanamamakta ve parçalar ıskartaya ayrılmaktadır.

Parçaların pişirmeye hazırlanması toz kontrollü bir odada gerçekleştirilmekte, çalışan personelin eğitilmiş olmasına ve melbusat kullanımına önem verilmektedir. Bütün koşulların uygun olarak sağlandığı durumlarda dahi, yüksek yapışma değerinin elde edilememesi, sürece etki eden tüm faktörlerin tek bir pişirme sürecinde birleşmesi ve denenmesi, faktörlerin sürece olan etkisini ve birbirleriyle olan etkileşimlerini belirlemeyi zorlaştırmaktadır.

Atölyede işin üzerinde çalışan personel ile süreç mühendisleri tarafından faktörlerin sürece etki düzeyinin detaylı olarak bilinmemesi, tahmine ve deneyimlere dayalı çalışma sürdürülmesi nedeniyle kompozit malzeme üretiminin çalışma konusu olarak seçilmesine karar verilmiştir.

Altı Sigma çalışmasıyla elde edilecek sonuçlar ile mevcut çalışma standartlarında verilen koşulların doğruluğunun sınanması ve daha yüksek yapışma değeri (mukavemet ve çekme dayanımının yükseltilmesi) elde edilmesi için sürecin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

4.4 Üretim Sürecinin Tanımlanması

Sandviç yapıli petek malzeme üretim süreci; yüzeylerin (kaplama) yapıştırma için hazırlanması, petek malzemenin yapıştırma için hazırlanması, yapıştırıcıların seçimi ve hazırlanması, kür öncesi paketleme işlemi, kür işlemleri ve kür sonrası test işlemleri işlem basamaklarını içermektedir. İşlem basamakları aşağıda kısaca açıklanacaktır.

Yüzeylerin hazırlanmasında, öncelikli adım yüzeyin temizlenmesidir. Bunun için malzemenin yağ ve pislikten arındırılmasını sağlayacak solvent ile doldurulmuş tank kullanılmaktadır. Solvent en az 85 °C' ye ısıtılmalı, parçaların birbirine temas etmesi önlenmeli ve daldırma hızı 12 ft/ dk' yı aşmamalıdır. Yüzey hazırlamada diğer adım ise, yüzeyin korunması amaçlı anodize işlemidir.

Fosforik asid anodize işlemi sırasında; anodize solüsyonun çalışma sıcaklığı 19-25 °C olmalıdır. Malzeme alkali tipi temizleyici ile en az 10 dakika temizlenmeli ve bekletmeden en az 50 °C sıcaklıktaki su içinde 5 dakika çalkalanmalıdır. Soğuk suda 5 dakika çalkalanmalıdır. Anodize işlemi süresi 10 ± 1 voltta 20–25 dakika olmalıdır. Kurutma sıcaklığı en fazla 70 °C olmalıdır.

Petek malzeme yüzey hazırlama işleminde ise, yüzey hazırlanmasında olduğu gibi temizleyici solvent ile tank kullanılmaktadır. Petek malzemenin yüzeylerine lifsiz bir bez ile alkalın temizleme işlemi yapılmalıdır.

Yüzey hazırlama işlemlerinde dikkat edilecek hususlar;

- Silikon esaslı kesme ve şekillendirme sıvıların kullanılmaması,
- Temizleme işlemlerinde yüzeylere çıplak elle temastan kaçınılması,
- Parçaları tutarken temiz, beyaz keten eldiven giyilmesi,
- Zehirli özelliği olan malzeme ile temizlemede personelin maske takması veya uygun havalandırmanın yapılması,
- Asit tipli malzeme ile çalışırken personelin koruyucu gözlük ve eldiven kullanılması,
- Parçaların kurutulmasında kimyasal operasyonlar uygulanmaması,
- Parçalar temizlenip kurutulduktan sonra sülfür içermeyen nötr koruyucu kağıtla veya temiz plastik film ile sarılması,
- Parçalar koruyucu malzeme ile kaplandıktan sonra bir saat içerisinde kontrollü alana getirilmesi, taşıma esnasında taşıma yapıldığı korumasız alanda toz, yağ buharı ve yapışmayı tehdit edici diğer içerikler olmamasına dikkat edilmesi şeklinde sıralanabilir.

Yüzey hazırlanmasından bir sonraki önemli adım, yapıştırıcıların seçimi ve hazırlanmasıdır. Yapıştırıcılar, yüzeylerin durumu, parçanın uçuş şartlarına göre maruz kalacağı sıcaklık dikkate alınarak MMM-A -132 veya MIL-A-25463 şartnamelerine

uygun olarak seçilir. Küçük tamirlerde iki bileşenli yapıştırıcı, daha geniş boyutlu tamirlerde ise film yapıştırıcı kullanılmaktadır. Çalışmada elen alınan süreç, üretim süreci olduğu ve geniş yüzeyli parçaları içerdiği için film yapıştırıcı kullanılmıştır.

Film yapıştırıcı kullanımında, yapıştırıcı rulosu buzdolabından çıkarılarak kullanım tarihine bakılmalı, yapıştırıcı kesilmeden önce oda sıcaklığına gelinceye kadar en az 20 dakika bekletilmelidir. İki bileşenli yapıştırıcı kullanımı esnasında da yapıştırıcının bileşenleri buzdolabından çıkarılarak kullanım tarihine bakılmalıdır. Yapıştırıcı oda sıcaklığında 20 dakika bekletilmelidir. Yapıştırıcı bileşenlerinin karışımları imalatçının ürün prospektüsüne uygun oranda yapılmalıdır.

Kür öncesi paketleme işlemi ile kastedilen, metal-petek-metal ya da metal-metal malzemelerin fırına yerleştirilmeden önceki yapıştırma ve hazırlanmasıdır. Kür işlemi ise, paketlenen parçaların özel fırında pişirilmesidir.

Yapıştırmada, film yapıştırıcının yapışacak yüzeye tamamen temas etmesi sağlanmalıdır. Yapıştırıcı uygulanmış parçaların bekletilmeden birleştirilmesi ve kir, gres, yağ vb.' den kaçınılması gerekir. Çıplak elle dokunulmamalıdır. Paketleme işleminde, yapıştırılan ve yerleştirilen tabakalar kaymamaları için yüksek ısıya dayanıklı maskeleme bandıyla sabitlenirler.

Fırını kullanılarak kür yapma esnasında; paketlenmiş formda kaçak olmadığından emin olunduktan sonra, fırının giriş havasının biriken suyu boşaltılmalı ve soğutma suyunun açık olduğundan emin olunmalıdır. Kür süresi dolduktan sonra da fırının içindeki basınçlı havanın boşaldığından emin olana kadar kapağı açılmamalıdır.

Kür sonrasında metal-metal parçaların dayanımını ve yapışma değerini ölçmek için "Lap Shear" olarak adlandırılan "koparma" testi, metal-petek-metal malzemeler için ise "Peel Test" olarak adlandırılan sıyırma testi uygulanır.

Çalışmada ele alınan metal-petek-metal malzeme üretim süreci olduğundan, sıyırma testi uygulanmıştır. Sıyırma testi ile elde edilen gözlem değerleri kullanılmıştır. Belirlenen her bir koşul için bir tabaka hazırlanmış olup, her tabakadan 3 numune elde edilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

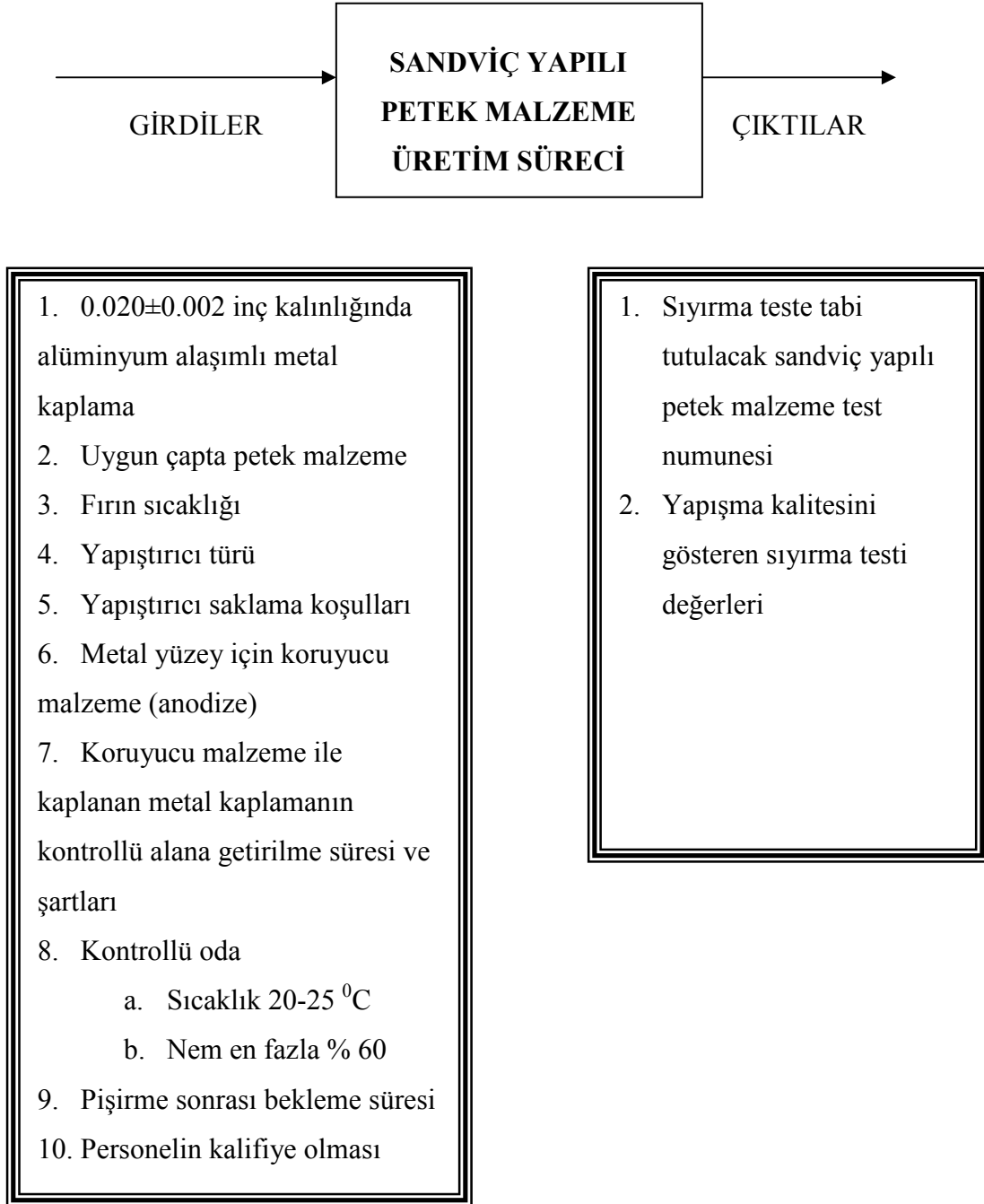
Sıyırma testi 20-25 °C' deki oda sıcaklığında yapılır. Test işlemi örnekler bu sıcaklığa ulaştıktan 10±2 dakika sonra yapılır. Sıyırma testi için hazırlanan numune test

cihazına uygun şekilde takılır ve tanbur üzerindeki vida sıkılarak petek kaplamasını tutması sağlanır. Hava tazyiki yavaş yavaş arttırılarak metal ve petek malzemenin birbirinden sıyrılması sağlanır. Cihazın göstergesinde ilk kopma başlangıcı esnasında görülen değer kaydedilir. Test sonrası alüminyum kaplama üzerinde kalan yapıştırıcı filmin dağılımı incelenerek uygun yapıştırma sağlandığının gözle kontrolü yapılır.

Mevcut uygulamada sıyırma esnasında ilk kopmanın gerçekleştiği değer 10 ve 10' un üzerinde olan parçalar faal olarak kabul edilmektedir. Değerler limit altında bulunduğu takdirde süreç mühendisi ve süreç kontrol mühendisine durum bildirilerek sürecin gözden geçirilmesi sağlanmaktadır. 10' un altında kalan parçalar için düzeltici işlem söz konusu olmamakta ve parçalar ıskartaya ayrılmaktadır.

Sıyırma testi sonucunda okunan değerın olabildiğince büyük olması arzu edilmekle birlikte, şartnamede belirtilen yapışma değerinin sağlanması, parçanın kullanılabilir olması anlamındadır. Bir başka ifadeyle, müşteri konumu için önem derecesi, şartnamenin mutlaka sağlanması durumunu tanımlayacak şekilde tek değerdir. Bu nedenle, sürece etkisi olabilir sebepler için bir sebep-etki matrisi oluşturulmamış, aksine mümkün sebeplerin hepsinin etkisinin olabileceği kabul edilmiştir.

Altı Sigma yaklaşımının tanımlama aşaması için oluşturulan, sandviç yapılı petek malzemenin üretim sürecine ait genel akış şeması Şekil 4.2' de, ayrıntılı süreç haritası ise Ek-1' de verilmiştir.



Şekil 4.2. Petek Yapılı Malzeme Üretim Süreci Genel Akış Şeması

4.5 Ölçüm Cihazı Yetenek Analizi

Uygulanan yaklaşımının ölçme aşaması için öncelikle ölçüm cihazı yetenek analizi gerçekleştirilmiştir.

Üretimi tamamlanan petek yapılı malzemenin, mukavemetini gösteren ve yapışma değerini belirleyen “Sıyırma Testi” cihazı için gerçekleştirilen yetenek analizi çalışmasında aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

1. Test Numunelerinin Hazırlanması: Sac malzeme ile petek malzeme kullanılarak sandviç yapılı 6 adet test tabakası hazırlanmış, her tabakadan 3’ er adet test numunesi elde edilmiştir.

2. Ölçümü Alacak Personelin Seçimi: Atölyede çalışan personelden; biri 15 yıl diğeri 5 yıl deneyimli 2 ayrı operatörün ölçüm değerlerini alması sağlanmıştır.

3. Ölçümlerin Alınması: Numuneler belirlenen 2 ayrı operatör tarafından, sıyırma test cihazında sıyırma testine tabi tutulmuş olup, elde edilen değerler Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. İki Ayrı Operatör Tarafından Elde Edilen Sıyırma Testi Gözlem Değerleri

Parça	Operatör	Sıyırma	Operatör	Sıyırma
1	1	10	2	11
1	1	10	2	10
1	1	9	2	12
2	1	10	2	10
2	1	11	2	11
2	1	11	2	12
3	1	12	2	13
3	1	13	2	13
3	1	13	2	14

4. Cihaz Yeterlilik Analizlerinin Yapılması: Elde edilen değerler doğrultusunda gerçekleştirilen ölçüm cihazı yeterlilik analizi sonuçları Şekil 4.3’ de verilmiştir.

Gage R&R Study - Nested ANOVA

Source	DF	SS	MS	F	P
Operatör	1	2,7222	2,72222	0,4375	0,54449
Parça (Operatör)	4	24,8889	6,22222	11,2000	0,00051
Repeatability	12	6,6667	0,55556		
Total	17	34,2778			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,55556	22,73
Repeatability	0,55556	22,73
Reproducibility	0,00000	0,00
Part-To-Part	1,88889	77,27
Total Variation	2,44444	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,74536	3,83858	47,67	63,98
Repeatability	0,74536	3,83858	47,67	63,98
Reproducibility	0,00000	0,00000	0,00	0,00
Part-To-Part	1,37437	7,07800	87,90	117,97
Total Variation	1,56347	8,05188	100,00	134,20

Şekil 4.3. Ölçüm Yetenek Analizi Sonuçları

Ölçüm cihazı yetenek analizinde, aşağıda açıklanan iki yaklaşım söz konusudur (Henderson, 2006):

- Crossed: Her bir parçanın her bir operatör tarafından ölçülebilme durumu, bir operatör tarafından yapılan ölçümlemenin diğer operatör tarafından da yapılabilme durumu
- Nested: Her bir parçanın yalnızca bir operatör tarafından ölçülebilme durumu

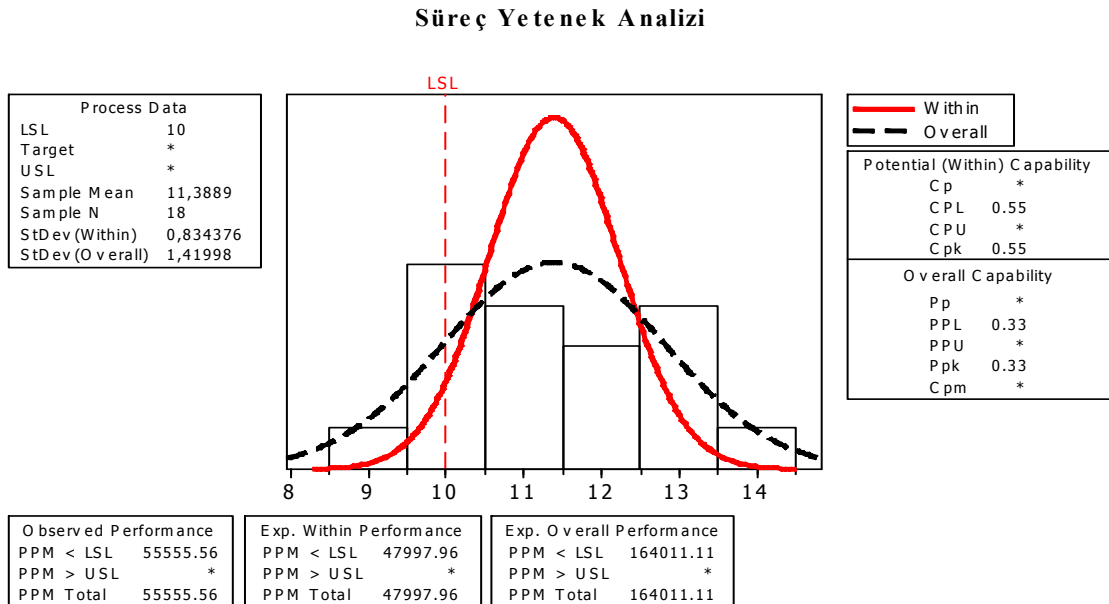
Tahribatlı muayene olarak adlandırılan ikinci türde; ölçüm yapılan parçalar test esnasında, zarar görmekte ve tekrar kullanılamaz hale gelmektedir. Sıyırma testine tabi tutulan test numunelerinin kullanılması mümkün olmadığından, Gage R&R Nested analiz türü seçilmiştir.

Gerçekleştirilen cihaz yetenek analizi sonuçları değerlendirildiğinde; tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik değişkenlik kaynaklarının toplamı olan %R&R değerinin %22,73, ölçüm hatasının tolerans içindeki payı olarak tanımlanan

%P/T değerinin ise %63,98 olduğu görülmektedir. Ölçüm sistemine ilişkin %R&R değişkenliğinin toplam değişkenlik içindeki payının %30'un altında olması, sistemin yeterli kabul edilebileceğini, ölçüm sisteminin toleransa ilişkin yetersiz olduğunu ifade etmektedir. Öte yandan, aynı şartlarda hazırlanan parçaların sıyırma testi sonuçlarında %77,27 oranında değişkenlik olması, sürecin, çalışma şartlarından etkilendiğini göstermektedir. Bu durum, ölçüm sistemi analizinde kullanılan veriler ile gerçekleştirilen süreç yetenek analizi sonuçlarıyla da örtüşmektedir.

4.6 Süreç Yetenek Analizi

Sandviç yapıli petek malzeme üretim sürecinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen süreç yetenek analizi sonuçları Şekil 4.4' de verilmiştir. Analiz gerçekleşen yapışma değeri ortalamasının yaklaşık 11,39 olduğunu göstermekle birlikte, şartname ile belirlenen değerin altında parça üretildiğini ve 0,55 süreç yetenek katsayısı ile sürecin yeterli olmadığı görülmektedir. Bir başka ifadeyle, sürecin mevcut şartlarda çalışmasına izin verilmesi durumunda, bir milyonda 55555,56 adet sandviç yapıli petek malzemenin gerekenden düşük yapışma değeri ile üretilecektir.



Şekil 4.4. Süreç Yetenek Analizi

Mevcut durumda sistem performansı Ek-2' de yer alan "Sigma Değerleri" tablosuna göre 3.1 sigma değeri ile ifade edilmektedir.

4.7 Süreç Değişkenliğinin Analizi

Genel anlamda ölçüm sistemi yeterli olmakla birlikte, operatörlerin sürece olan etkilerinin olup olmadığının belirlenmesi amacıyla, altı sigma yaklaşımının analiz aşaması için, operatörlerden ayrı ayrı alınan ölçüm değerlerine ilişkin hipotez testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan her bir test için;

$$H_o : \mu = 10$$

$$H_a : \mu \neq 10$$

hipotezleri kurulmuş ve örnek büyüklüğü dikkate alınarak 0,05 anlam düzeyi için t testi yapılmış, aynı zamanda %95 güven seviyesinde güven aralıkları oluşturulmuştur.

Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Analiz Aşaması Hipotez Testi Sonuçları

Operatör	Test İstatistiği	p	Sonuç	Güven Aralığı
1	2,12	0,067	H ₀ red edilemez	9,9129-12,0871
2	3,82	0,005	H ₀ kabul edilemez	10,7059-12,8496

Çizelge 4.2 incelendiğinde, 0,05 anlam düzeyinde, birinci operatör tarafından yapılan test işlemlerinde elde edilen sıyırma değerlerinin istatistiksel olarak 10 değerinde ($p>0,05$), ikinci operatör tarafından yapılan test işlemlerindeki sıyırma değerlerinin ise 10’dan farklı ($p<0,05$) olduğu görülmektedir. Öte yandan, %95 güven seviyesinde, birinci operatörün şartnamede verilen 10 referans değerinin altındaki (9,9129-12,0871) sıyırma değerlerinde çalışma eğiliminde, ikinci operatörün ise öngörülen değeri sağlayacak (10,7059-12,8496) yeterlikte olduğu anlaşılmaktadır.

Sıyırma testi sonuçlarının şartnameyi sağlayamama riskinin yanı sıra, yapılan analizden elde edilen bir başka sonuç ise, ölçüm değerlerinin dar bir aralıkta olması ve süreçte olabilir değişkenlik kaynaklarının giderilerek parçaların sıyırma testine ilişkin mukavemet değerlerinin enbüyüklenmesi gerekliliğidir. Bu bağlamda, sürecin iyileştirilmesine karar verilmiş altı sigmanın izleyen aşamalarına geçilmiştir.

4.8 Süreç İyileştirmede Deney Tasarımı

Ölçüm sistemi ve süreç yetenek analizleri tamamlandıktan sonra, sürecin eniyilenmesine yönelik çalışma şartlarının belirlenmesi amacıyla deney tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Deney tasarımında Bölüm 3.4.4.3' te değinilen çalışma adımları izlenmiştir.

4.8.1 Problemin tanımlanması

Uçak üzerinde basınca ve darbeye maruz kalan bölgelerde kullanılan, sandviç yapılı petek malzemelerin üretim sürecinde, imal edilmiş ürünün spesifikasyonları sağlamaması durumunda düzeltici işlem uygulanamamakta ve parçalar ıskartaya ayrılmaktadır. Bu durum işçilik, malzeme ve enerji kayıplarına yol açtığından, sürece etki eden faktörlerin ve düzeylerinin tespit edilmesi ve süreç değişkenliğinin kontrol altına alınması gerektiği değerlendirilmiştir.

4.8.2 Amacın belirlenmesi

Bu çalışmanın amacı özet olarak, sürecin kontrol altına alınmasını sağlayarak, yüksek mukavemetli petek yapılı malzeme üretimi yani yüksek yapışma değerinin elde edilmesidir.

4.8.3 Performans karakteristiğinin belirlenmesi

Sıyırma testi sonucu belirlenen yapışma değeri, ürün için performans karakteristiği olarak seçilmiştir.

4.8.4 Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi

İncelenen sürece etki edebilir faktörler araştırılmış ve oluşturulan sebep-sonuç diyagramı Ek-3' de verilmiştir.

- İnsan faktörlerinde;
 - Üretim sürecini gerçekleştiren personelin, işletmenin Kalite Güvence birimi tarafından vasıflandırılmış personel olması nedeniyle eğitim, vasıf, dikkat faktörleri,

- Aynı işçi sağlığı ve iş güvenliği kurallarına tabi olduğundan melbusat kullanımı

sabit kabul edilmiştir.

- Deneyim faktörü,
- Personelin motivasyonu, alışkanlıkları kontrol edilebilen faktör olmadığı ve her bireye göre farklılık göstereceği için,

gürültü faktörü olarak kabul edilmiştir

- Malzeme faktörlerinden; sac malzeme kalınlığı, tüm parçalarda aynı sac malzeme kullanıldığından sabit kabul edilmiştir. Yapıştırıcı türü ve petek malzeme çapı, sürece etkileri nedeniyle ana faktör olarak ele alınmış ve detayları izleyen bölümde açıklanmıştır.

- Metot faktörlerinden; temizlik, uygun paketleme, iş planlarına uygunluk, işletmede belirlenen iş standartlarına göre her parçada aynı yöntemlerle gerçekleştirildiğinden sabit kabul edilmiştir. Fırın sıcaklığı ve metal saca koruyucu uygulanması ise izleyen bölümde detayı açıklanacak olan ana faktörlerdir.

- Donanım faktörü olan, fırının bakım ve kontrolü, periyodik olarak gerçekleştirildiğinden sabit kabul edilmiştir.

- Çevre faktörlerinden; nem oranı, ortam sıcaklığı ve yapıştırıcı saklama koşulları sürece etkilerinin yüksek olmaması ve değişkenlik göstermemesi nedeniyle gürültü faktörü olarak ele alınmıştır. Toz kontrollü oda, ayda bir toz ölçümü yapılan ve sürecin gerçekleştirildiği bölüm olup, toz faktörünün sürece etkisinin büyük olacağı değerlendirilerek ana faktör olarak ele alınmıştır.

- Ölçüm faktörleri; test cihazının kalibrasyonu periyoduna uygun olarak gerçekleştirildiği için, ölçüm öncesi bekleme süresi ile ölçüm cihazından değerin doğru okunması sürece olan etkilerinin büyük olmaması ve deneyimli personel tarafından iş planlarına uygun olarak gerçekleştirilmesi nedeniyle sabit kabul edilmiştir.

4.8.5 Faktörlerin ve düzeylerinin belirlenmesi

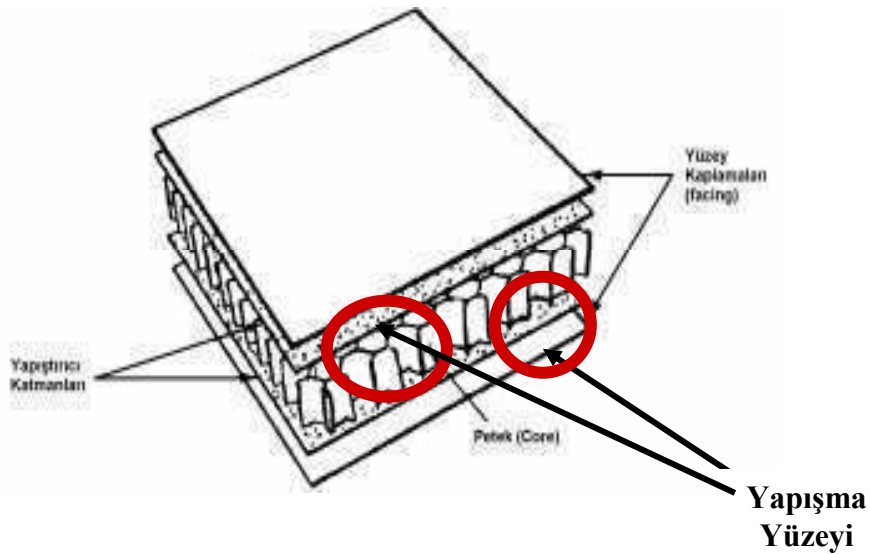
Sandviç yapılı petek malzeme üretim sürecinin incelenmesi, atölye personelinin ve süreç mühendisinin süreçte daha önce karşılaşılan problemlerle ilgili deneyim ve

görüşlerinden faydalanılarak, yapışma değerine birebir etki eden ve birbirleri arasında etkileşimi olduğu belirlenen 5 ana faktör belirlenmiştir.

- **Yapıştırıcı:** Metal-petek-metal yapışma değerinin en büyüklenmesi probleminde yapıştırıcı türünün etkisi önemlidir. Ele alınan üretim sürecinde film yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Üretim sürecinde iki tür film yapıştırıcı kullanılmaktadır.

Aynı firmadan tedarik edilen ve benzer özellikler taşıyan, Redux 308 ve Redux 308NA bu faktörün 2 düzeyini oluşturmaktadır.

- **Petek Malzeme Çapı:** Sandviç yapıda kullanılan petek malzemenin, petek hücrelerinin çapı, Şekil 4.5' de görüldüğü gibi, metal-petek-metal temas yüzeyini, dolayısıyla yapışma yüzey alanını etkileyen önemli bir faktördür. Sandviç yapılı uçak üniteleri, 1/8 veya 3/16 inçlik petek malzemeler kullanılarak üretilmektedir.



Şekil 4.5. Metal- Petek-Metal Yapışma Yüzeyleri

- **Pişirme Sıcaklığı:** Hazırlanan sandviç yapı malzemenin fırındaki kür (pişirme) sıcaklığı, yapıştırıcının kuvvetini bire bir etkileyen faktörlerdendir. Süreç iş planı doğrultusunda, malzeme özelliklerine göre uygulanan 120°C ve 175°C olmak üzere iki farklı kür sıcaklığı mevcuttur.

- **Sac Özelliği:** Üretim süreci standartlarına göre metal yüzeyin korunması için Bölüm 4.4' te açıklanan anodize işleminin uygulanması gerekmektedir. Bunun etkisinin anlaşılması için, anodize uygulanmamış sadece herhangi bir kir/ pas etkisini gidermek için zımpara uygulanmış yüzeylerden test numuneleri hazırlanmıştır. Bu durumda; sac özelliği faktörü, anodize uygulanmış ve uygulanmamış olmak üzere iki düzey içermektedir.

- **Malzemenin Hazırlandığı Ortam:** Atölyede, düzenli olarak toz ve nem ölçümlerinin yapıldığı ve personel girişlerinin kontrollü olduğu toz kontrollü oda mevcuttur. Süreç iş planına göre malzemelerin bu odada hazırlanması gerekmektedir. Toz ve nemin yapışma kalitesi üzerinde önemli etkisi olduğu değerlendirilmektedir. Bunun doğrulanması için test numunelerinin atölye ve toz kontrollü oda olmak üzere iki farklı ortamda hazırlanmasına karar verilmiştir.

4.8.6 Deney tasarımının seçilmesi

Petek yapıları uçak üniteleri üretim sürecinde, sürece etki eden 5 ana faktör belirlenmiş olup, faktör sayısının 1-5 arasında olması durumunda tercih edilen tam faktöriyel deney tasarım yöntemi izlenmiştir. Tam faktöriyel deney tasarımlarında her bir faktörün her düzeyi için eşit sayıda gözlem değeri kullanılarak, diğer faktörlerden bağımsız olarak ürün performansına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

4.8.7 Test numunelerinin hazırlanması ve verilerin toplanması:

Bölüm 4.8.5'te açıklanan faktörler ve düzeylerine uygun olarak, 9x12 inç boyutundaki tabakalar hazırlanmış ve her tabakadan 3x12 inç büyüklüğünde 3 adet test numunesi elde edilmiştir.

Tam faktöriyel deney tasarımı uygulanmasına karar verildiğinden, buna uygun olarak $2^5=32$ test tabakası, atölye planlı faaliyetlerini aksatmayacak şekilde süreç mühendisi nezaretinde hazırlanmıştır. Üretim planlamalarında aksamaya sebep olmamak ve ekonomik olması açısından aynı şartlarda pişirilecek parçalarla beraber test numunelerinin üretilmesi sağlanmıştır.

Her tabakadan elde edilen 3 eşit boyutlu test numunesi, dolayısıyla belirlenen faktör kombinasyonlarında üretilen 96 test numunesi ayrı ayrı sıyırma testine tabi tutulmuştur. Test sonucu elde edilen gözlem değerleri Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Sıyırma Testi Sonucu Elde Edilen Gözlem Değerleri

Deney S/N	Yapıştırıcı	Çap	Sıcaklık	Sac	Ortam	Gözlem		
						Test-1	Test-2	Test-3
1	308	1.8	120	ANODİZE	ODA	9	9	8
2	308NA	1.8	120	ANODİZE	ODA	8	9	8
3	308	3.16	120	ANODİZE	ODA	10	9	10
4	308NA	3.16	120	ANODİZE	ODA	10	11	11
5	308	1.8	175	ANODİZE	ODA	18	18	19
6	308NA	1.8	175	ANODİZE	ODA	17	18	17
7	308	3.16	175	ANODİZE	ODA	18	16	17
8	308NA	3.16	175	ANODİZE	ODA	16	16	18
9	308	1.8	120	DEĞİL	ODA	12	11	10
10	308NA	1.8	120	DEĞİL	ODA	9	10	8
11	308	3.16	120	DEĞİL	ODA	16	16	15
12	308NA	3.16	120	DEĞİL	ODA	15	14	13
13	308	1.8	175	DEĞİL	ODA	13	13	12
14	308NA	1.8	175	DEĞİL	ODA	12	11	13
15	308	3.16	175	DEĞİL	ODA	12	13	11
16	308NA	3.16	175	DEĞİL	ODA	17	18	18
17	308	1.8	120	ANODİZE	ATÖLYE	11	10	12
18	308NA	1.8	120	ANODİZE	ATÖLYE	12	11	10
19	308	3.16	120	ANODİZE	ATÖLYE	10	11	9
20	308NA	3.16	120	ANODİZE	ATÖLYE	11	12	13
21	308	1.8	175	ANODİZE	ATÖLYE	15	17	14
22	308NA	1.8	175	ANODİZE	ATÖLYE	14	15	17
23	308	3.16	175	ANODİZE	ATÖLYE	13	13	14
24	308NA	3.16	175	ANODİZE	ATÖLYE	14	15	15
25	308	1.8	120	DEĞİL	ATÖLYE	11	12	10
26	308NA	1.8	120	DEĞİL	ATÖLYE	10	9	8
27	308	3.16	120	DEĞİL	ATÖLYE	9	8	10
28	308NA	3.16	120	DEĞİL	ATÖLYE	10	9	9
29	308	1.8	175	DEĞİL	ATÖLYE	11	12	11
30	308NA	1.8	175	DEĞİL	ATÖLYE	12	13	12
31	308	3.16	175	DEĞİL	ATÖLYE	18	19	19
32	308NA	3.16	175	DEĞİL	ATÖLYE	17	19	18

4.8.8 Verilerin analiz edilmesi:

Öncelikle yapışma değerindeki değişkenliğin hangi faktör ve faktör etkileşimleriyle açıklanabileceğini belirlemek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Ele aldığımız problem için elde edilen deney sonuçları kullanılarak, Minitab programı ile gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA), Çizelge 4.4' te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yapışma Değeri İçin Varyans Analizi Tablosu

Source	df	SS	MS	F	p
Yapıştırıcı	1	0.667	0.667	0.850	0.359
Çap	1	57.042	57.042	73.010	0.000
Sıcaklık	1	504.167	504.167	645.330	0.000
Sac	1	4.167	4.167	5.330	0.024
Ortam	1	8.167	8.167	10.450	0.002
Yapıştırıcı* Çap	1	15.042	15.042	19.250	0.000
Yapıştırıcı*Sıcaklık	1	6.000	6.000	7.680	0.007
Yapıştırıcı*Sac	1	0.667	0.667	0.850	0.359
Yapıştırıcı*Ortam	1	0.167	0.167	0.210	0.646
Çap*Sıcaklık	1	0.375	0.375	0.480	0.491
Çap* Sac	1	70.042	70.042	89.650	0.000
Çap* Ortam	1	5.042	5.042	6.450	0.014
Sıcaklık*Sac	1	37.500	37.500	48.000	0.000
Sıcaklık*Ortam	1	0.000	0.000	0.000	1.000
Sac*Ortam	1	0.167	0.167	0.210	0.646
Yapıştırıcı*Çap*Sıcaklık	1	0.042	0.042	0.050	0.818
Yapıştırıcı*Çap*Sac	1	0.375	0.375	0.480	0.491
Yapıştırıcı*Çap*Ortam	1	2.042	2.042	2.610	0.111
Yapıştırıcı*Sıcaklık*Sac	1	16.667	16.667	21.330	0.000
Yapıştırıcı*Sıcaklık*Ortam	1	2.667	2.667	3.410	0.069
Yapıştırıcı*Sac*Ortam	1	4.167	4.167	5.330	0.024
Çap*Sıcaklık*Sac	1	30.375	30.375	38.880	0.000
Çap*Sıcaklık*Ortam	1	45.375	45.375	58.080	0.000
Çap*Sac*Ortam	1	0.042	0.042	0.050	0.818
Sıcaklık*Sac*Ortam	1	112.667	112.667	144.210	0.000
Yapıştırıcı*Çap*Sıcaklık*Sac	1	1.042	1.042	1.330	0.253
Yapıştırıcı*Çap*Sıcaklık*Ortam	1	9.375	9.375	12.000	0.001
Yapıştırıcı*Çap*Sac*Ortam	1	5.042	5.042	6.450	0.014
Yapıştırıcı*Sıcaklık*Sac*Ortam	1	6.000	6.000	7.680	0.007
Çap*Sıcaklık*Sac*Ortam	1	26.042	26.042	33.330	0.000
Yapıştırıcı*Çap*Sıcaklık*Sac*Ortam	1	9.375	9.375	12.000	0.001
Error	64	50	0.781		
Total	95	1030.5			

Faktör ve etkileşimlerinin kritik etki yaratıp yaratmadığına ilişkin değerlendirmede, Varyans Analizi tablosunda yer alan p değerleri dikkate alınmış ve faktör ve/ veya etkileşimlerinin kritik olup olmadığına 0,05 anlam düzeyi kullanılarak karar verilmiştir.

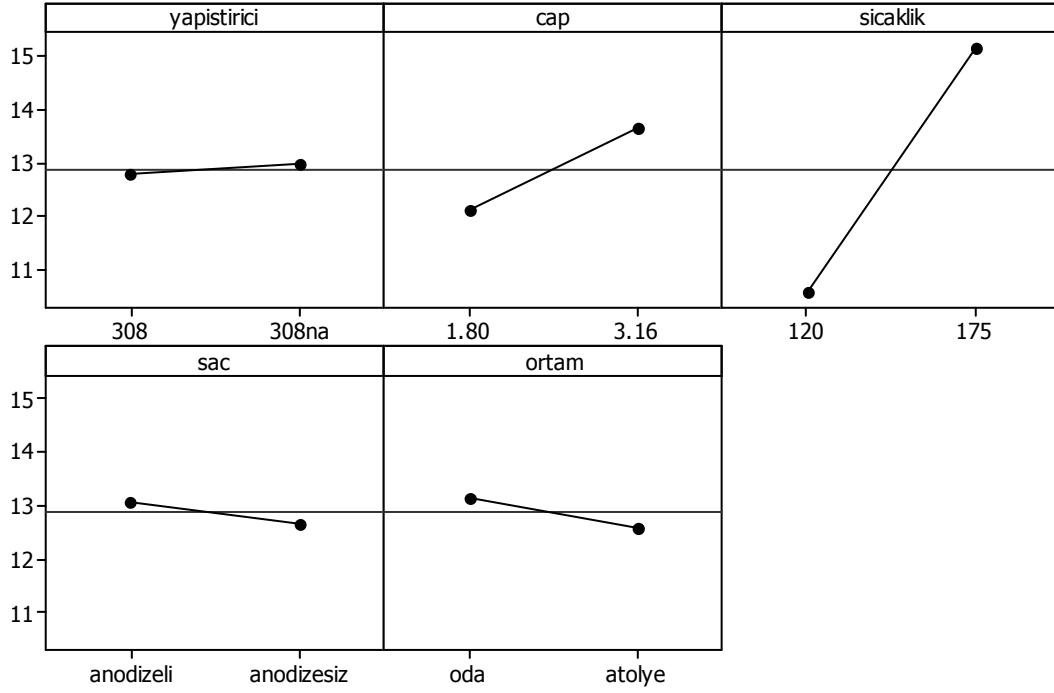
Seçilen anlam düzeyine göre kritik etki yaratan faktör ve etkileşimler, faktörlerin uygun düzeylerinin belirlenmesi amacıyla önem sırasına konulmuş ve sıralanmış durumu Çizelge 4.5' te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Faktörlerin F Değerlerine Göre Sıralandırması

S/N	Source	df	SS	MS	F	p
1	Sıcaklık	1	504.167	504.167	645.330	0.000
2	Sıcaklık*Sac*Ortam	1	112.667	112.667	144.210	0.000
3	Çap* Sac	1	70.042	70.042	89.650	0.000
4	Çap	1	57.042	57.042	73.010	0.000
5	Çap*Sıcaklık*Ortam	1	45.375	45.375	58.080	0.000
6	Sıcaklık*Sac	1	37.500	37.500	48.000	0.000
7	Çap*Sıcaklık*Sac	1	30.375	30.375	38.880	0.000
8	Çap*Sıcaklık*Sac*Ortam	1	26.042	26.042	33.330	0.000
9	Yapıştırıcı*Sıcaklık*Sac	1	16.667	16.667	21.330	0.000
10	Yapıştırıcı* Çap	1	15.042	15.042	19.250	0.000
11	Yapıştırıcı*Çap*Sıcaklık*Ortam	1	9.375	9.375	12.000	0.001
12	Yapıştırıcı*Çap*Sıcaklık*Sac*Ortam	1	9.375	9.375	12.000	0.001
13	Ortam	1	8.167	8.167	10.450	0.002
14	Yapıştırıcı*Sıcaklık	1	6.000	6.000	7.680	0.007
15	Yapıştırıcı*Sıcaklık*Sac*Ortam	1	6.000	6.000	7.680	0.007
16	Çap* Ortam	1	5.042	5.042	6.450	0.014
17	Yapıştırıcı*Çap*Sac*Ortam	1	5.042	5.042	6.450	0.014
18	Sac	1	4.167	4.167	5.330	0.024
19	Yapıştırıcı*Sac*Ortam	1	4.167	4.167	5.330	0.024
20	Yapıştırıcı*Sıcaklık*Ortam	1	2.667	2.667	3.410	0.069
21	Yapıştırıcı*Çap*Ortam	1	2.042	2.042	2.610	0.111
22	Yapıştırıcı*Çap*Sıcaklık*Sac	1	1.042	1.042	1.330	0.253
23	Yapıştırıcı	1	0.667	0.667	0.850	0.359
24	Yapıştırıcı*Sac	1	0.667	0.667	0.850	0.359
25	Çap*Sıcaklık	1	0.375	0.375	0.480	0.491
26	Yapıştırıcı*Çap*Sac	1	0.375	0.375	0.480	0.491
27	Yapıştırıcı*Ortam	1	0.167	0.167	0.210	0.646
28	Sac*Ortam	1	0.167	0.167	0.210	0.646
29	Yapıştırıcı*Çap*Sıcaklık	1	0.042	0.042	0.050	0.818
30	Çap*Sac*Ortam	1	0.042	0.042	0.050	0.818
31	Sıcaklık*Ortam	1	0.000	0.000	0.000	1.000
	Error	64	50	0.781		
	Total	95	1030.5			

Seçilen α anlam düzeyine göre (0.05), 1 ve 64 serbestlik dereceleri için F tablosundan okunan değer dikkate alınarak yapılan değerlendirme sonrasında, Çizelge 4.5’de ilk 19 sırada yer alan faktör ve etkileşimlerinin sıyırma testi üzerinde kritik etki yarattıkları sonucuna ulaşılmıştır.

Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimlerinin uygun düzeylerinin belirlenmesi amacıyla etkileşim grafikleri oluşturulmuştur. Tasarım matrisinde yer alan her bir faktörün Ana Faktör Etkileri Grafiği (Main Effects Plot) Şekil 4.6' da verilmiştir.



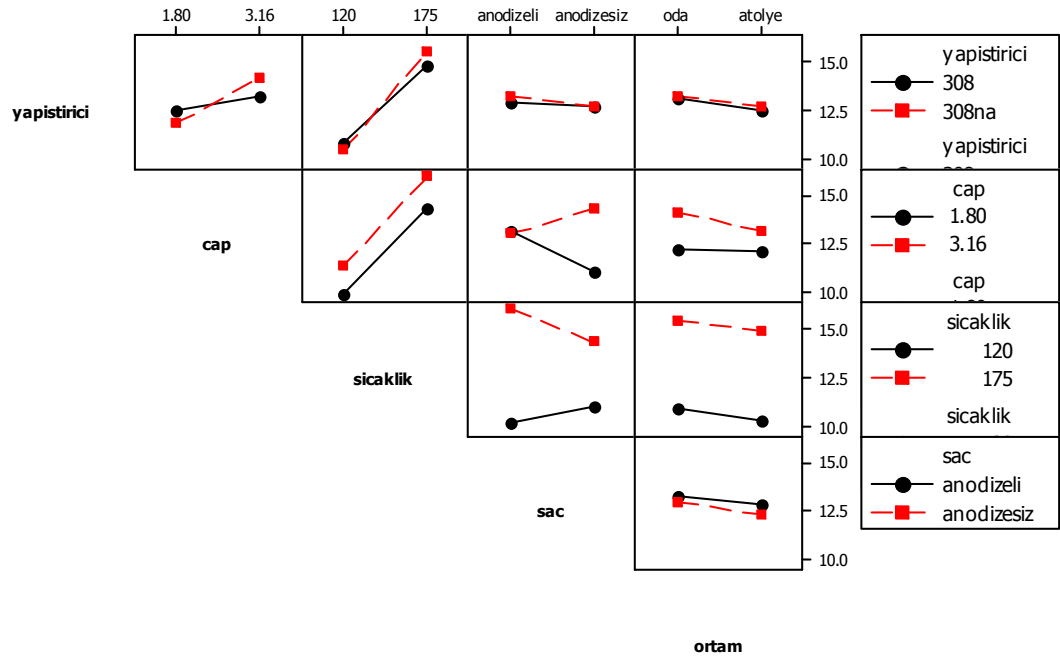
Şekil 4.6. Yapışma Değeri İçin Ana Faktör Etkileri Grafiği

Şekil 4.6 incelendiğinde;

- Yapıştırıcının iki türünün yapışma değerine büyük oranda etkisinin olmadığı,
- Petek malzeme çapının 3/16 inç değerinde, yapışma değerini artırıcı yönde etkisi olduğu,
- Sıcaklık faktörünün ise grafik eğiminden de anlaşıldığı üzere ikinci düzeyinde yani 175 °C sıcaklıkta yapışma değerini en büyükleme eğiliminde olduğu,
- Sacın anodizeli olmasının yapışma değerini artırıcı etki yaptığı,
- Ortamın ise birinci düzeyinde, yani toz kontrollü ortamda yapışma değerini artırıcı etkisi olduğu

görülmektedir.

Faktörlerin birbiriyle etkileşimlerini incelemek için oluşturulan faktör etkileşimleri grafikleri Şekil 4.7' de verilmiştir.



Şekil 4.7. Faktör Etkileşimleri Grafiği

Şekil 4.7 incelendiğinde ise;

- Yapıştırıcı faktörünün diğer tüm faktörler ile etkileşimi olduğunu,
- Petek malzeme çapının yapıştırıcı dışındaki faktörlerle önemli bir etkileşimi olmadığı,
- Sıcaklık faktörünün yapıştırıcı ile etkileşimi olduğu,
- Sacın anodizeli/anodizesiz oluşunun yapıştırıcı ve çap faktörleri ile etkileşimi olduğu,
- Ortam faktörünün yapıştırıcı faktörü ile etkileşiminin olduğu görülmektedir.

4.8.9 Sonuçların yorumlanması

Bu aşamada kritik etki yaratan faktör ve/veya etkileşimlerin uygun düzeyleri dikkate alınarak bir tahmin denklemi oluşturulur. Bu amaçla, dikkate alınan faktörler; A: Yapıştırıcı, B: Çap, C: Sıcaklık, D: Sac ve E: Ortam şeklinde sembolleştirilmiştir. Oluşturulan tahmin denkleminde kullanılacak, faktörler ve etkileşimlerine ait katsayılar Ek-4' te verilmiştir.

Tahmin değeri hesaplanırken, F değeri yüksek olan bir faktörün düzeyinin ne olması gerektiği belirlendiğinde, faktörün yer aldığı diğer etkileşimlerde bu düzeyin değiştirilmesine izin verilmemiştir. Örneğin; 144.21 F değerine sahip olan C*D*E (Sıcaklık*Sac*Ortam) etkileşiminde, Sac için atanması gereken düzeyin birinci düzey (anodizeli) olduğu görülmektedir. Bir sonraki yüksek F değerine sahip B*D (Çap*Sac) etkileşiminde, D faktörü ikinci düzeyinde olması gerekiyor gibi görünse de bir önceki satırda belirlenen birinci düzeyi korunmuştur.

Buna göre yapışma değerini enbüyükleyecek yönde etki yapacak uygun faktör düzeyleri:

A (Yapıştırıcı)	C (Sıcaklık)	D (Sac)	E (Ortam)
308	175	Anodizeli	Toz Kontrollü

şeklinde belirlenmiştir.

Petek malzemenin çapı faktörü için deneylerde kullanılabilir iki farklı değer dikkate alınarak ayrı ayrı tahmin denklemleri oluşturulmuştur.

Analiz sonrası belirlenen faktör düzeyleri için sıyırma testi tahmini değerleri ve %95 güven seviyesi için güven aralıkları;

$$\hat{Y} = 12.875 + 2.292X_3 + 1.083X_3X_4X_5 + 0.354X_2X_4 + 0.771X_2 + 0.688X_2X_3X_5 + (-0.625)X_3X_4 + 0.563X_2X_3X_4 + 0.521X_2X_3X_4X_5 + 0.417X_1X_3X_4 + 0.396X_1X_2 + (-0,313)X_1X_2X_3X_5 + (-0.313)X_1X_2X_3X_4X_5 + (-0.292)X_5 + 0.25X_1X_3 + (-0.25)X_1X_3X_4X_5 + (-0.229)X_2X_5 + (-0.229)X_1X_2X_4X_5 + (-0.208)X_4 + (-0.208)X_1X_4X_5$$

Çap =3/16 inç için :

$$\hat{Y} = 12.875 + 2.292(1) + 1.083(1)(-1)(-1) + 0.354(1)(-1) + 0.771(1) + 0.688(1)(1)(-1) + (-0.625)(1)(-1) + 0.563(1)(1)(-1) + 0.521(1)(1)(-1)(-1) + 0.417(-1)(1)(-1) + 0.396(-1)(1) + (-0,313)(-1)(1)(1)(-1) + (-0.313)(-1)(1)(1)(-1)(-1) + (-0.292)(-1) + 0.25(-1)(1) + (-0.25)(-1)(1)(-1)(-1) + (-0.229)(1)(-1) + (-0.229)(-1)(1)(-1)(-1) + (-0.208)(-1) + (-0.208)(-1)(-1)(-1)$$

$$\hat{Y} = 17.25; 16.45 \leq \hat{Y} \leq 18.05$$

Çap =1/8 inç için :

$$\hat{Y} = 12.875 + 2.292(1) + 1.083(1)(-1)(-1) + 0.354(-1)(-1) + 0.771(-1) + 0.688(-1)(1)(-1) + (-0.625)(1)(-1) + 0.563(-1)(1)(-1) + 0.521(-1)(1)(-1)(-1) + 0.417(-1)(1)(-1) + 0.3961(-1) + (-0.313)(-1)(-1)(1)(-1) + (-0.313)(-1)(-1)(1)(-1)(-1) + (-0.292)(-1) + 0.25(-1)(1) + (-0.25)(-1)(1)(-1)(-1) + (-0.229)(-1)(-1) + (-0.229)(-1)(-1)(-1)(-1) + (-0.208)(-1) + (-0.208)(-1)(-1)(-1)$$

$$\hat{Y} = 18.75; 17.95 \leq \hat{Y} \leq 19.55$$

olarak elde edilmiştir.

Küçük çap ölçüsü için elde edilen yapışma değerinin büyük olması, petek malzemenin metal yüzeye daha iyi bir yapışma sağladığını göstermektedir.

4.8.10. Doğrulama deney(ler)inin yapılması

Altı sigma yaklaşımının kontrol aşamasında; iyileştirmenin anlamlılığını araştırmak, kullanılmakta olan prosedür ve kontrol planlarında bir düzenlemenin gerekliliğini değerlendirmek amacıyla, petek çapı 3/16 ve 1/8 inç olmak üzere iki ayrı grupta 15' er gözlem yapılarak doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deney sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

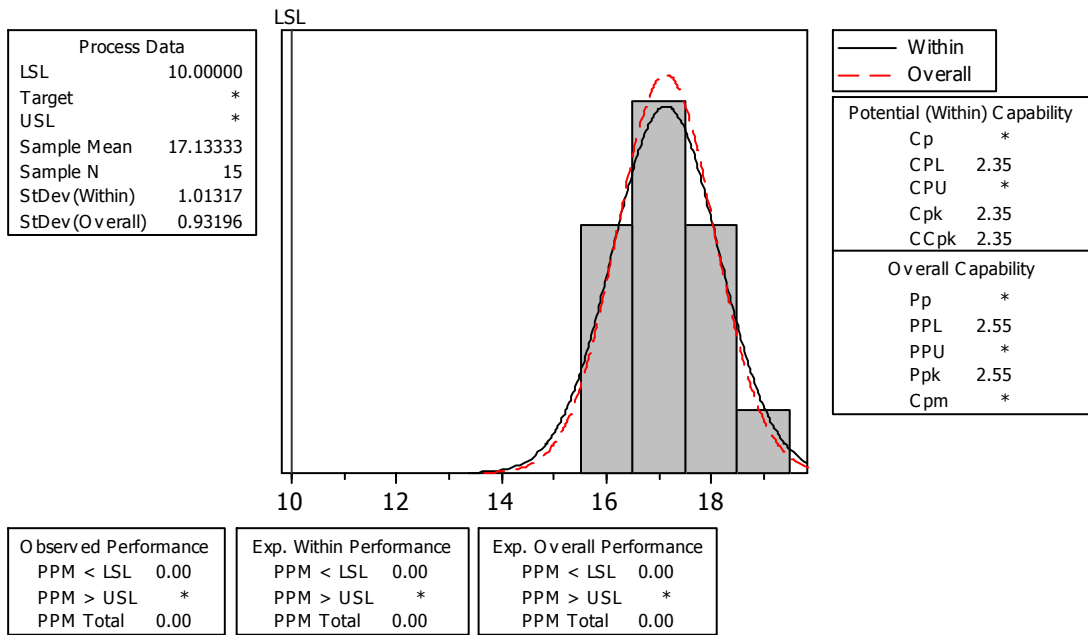
Çizelge 4.6. Doğrulama Deneyleri Sonuçları

Deney S/N	Yapıştırıcı	Çap	Sıcaklık	Sac	Ortam	Gözlem		
						Test-1	Test-2	Test-3
1	308	3/16	175	ANODİZE	ODA	18	18	19
2						16	16	17
3						16	17	17
4						17	18	17
5						17	16	18
1	308	1/8	175	ANODİZE	ODA	18	19	20
2						18	19	17
3						17	18	19
4						18	17	19
5						20	19	19

Yapılan doğrulama deneylerinden hareketle; 3/16 inç çap için 17.13, 1/8 inç çap için ise 18.47 ortalama yapışma değerleri elde edilmiştir. Elde edilen ortalamaların, çap temelinde belirlenen güven aralıkları içinde yer almaları, deney tasarımı sonuçlarının tutarlı dolayısıyla iyileştirmenin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Doğrulama deneyleri sonrası, yapışma değerinin enbüyüklenmesine yönelik olarak çalışma koşulları sabitlendikten sonra süreç yetenek analizleri gerçekleştirilmiştir. İyileştirme sonrası, çap 3/16 inç çap için gerçekleştirilen süreç yetenek analizi Şekil 4.8’ de, 1/8 inç çap için gerçekleştirilen süreç yetenek analizi Şekil 4.9’ da verilmiştir.

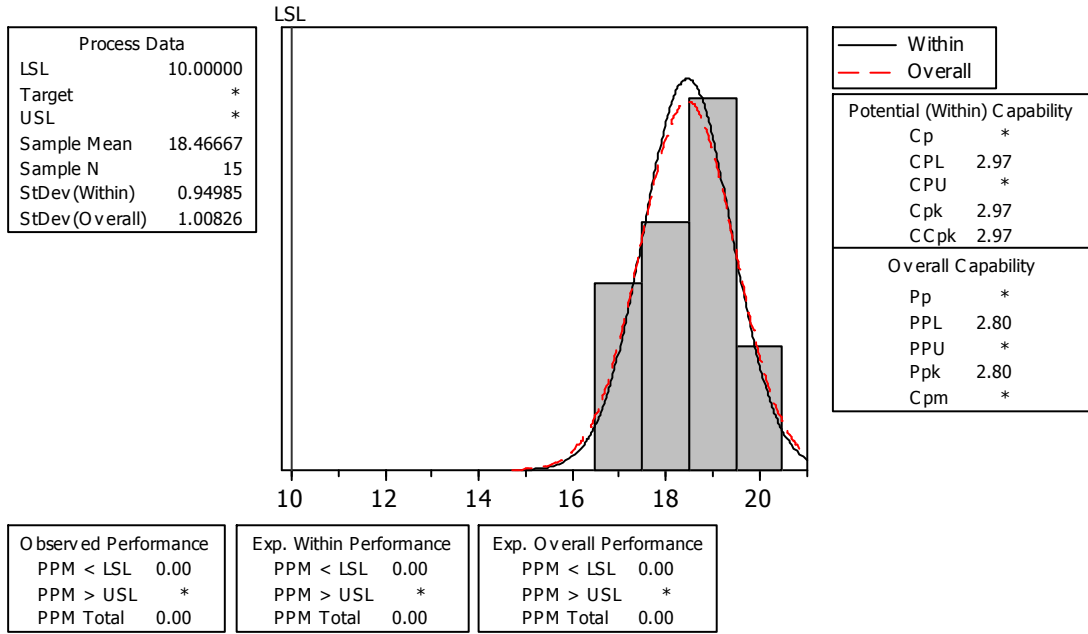
Süreç Yetenek Analizi (Çap=3/16 İÇİN)



Şekil 4.8. Çap 3/16 İnç İÇİN İyileştirme Sonrası Süreç Yetenek Analizi

Şekil 4.8 incelendiğinde; süreç yetenek katsayısının 2,35’e yükseldiği ve kısa dönem milyonda kusurlu oranının PPM = 0’ a düştüğü görülmektedir.

Süreç Yetenek Analizi (Çap=1/8 İçin)



Şekil 4.9. Çap 1/8 İnc İçin İyileştirme Sonrası Süreç Yetenek Analizi

Şekil 4.9 incelendiğinde; süreç yetenek katsayısının 2,97' ye yükseldiği ve kısa dönem milyonda kusurlu oranının PPM = 0' a düştüğü görülmektedir.

İyileştirme öncesi petek yapılı malzeme üretim sürecinin performansı 3.1 sigma ile ifade edilirken çap 1/8 ve çap 3/16 için çalışma koşulları sabitlendiğinde süreç performansının 6 sigma düzeyine yükseltildiği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Altı Sigma yaklaşımının temel amacı, tüm süreçlerde 6 sigma yeterliliğini sağlamak ve değişkenlikleri azaltmaktır. İşletmelerin müşteri ihtiyaç ve beklentilerini, rakiplerinden daha hızlı ve ekonomik olarak karşılmasına engel olabilecek tüm faktörler Altı Sigma yaklaşımında problem olarak ele alınmakta ve analiz edilmektedir. Dolayısıyla, bu yaklaşım ile işletmelerin verimliliğine, kalite düzeyine ve pazar payına olumsuz etki edebilecek problemlerin saptanması, tanımlanması, analiz edilmesi ve çözülmesi konularındaki becerilerin üst düzeye çıkması beklenmektedir.

Ülkemizde Altı Sigma yaklaşımının son yıllarda, rekabetin hakim olduğu özel işletmeler piyasasında yaygın olarak benimsenmeye ve araştırılmaya başlandığı gözlenmektedir. Bu çalışmanın gerçekleştirildiği işletme ve benzeri kamu kuruluşlarında, kavram olarak anlaşılmaya çalışıldığı ancak uygulama aşaması için belirgin ilerlemeler kaydedilemediği düşünülmektedir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği işletme, savunma sanayine hizmet veren bir kamu kuruluşu olduğu için, benzer faaliyetlerin gerçekleştirildiği işletme sayısı azdır ve müşterisi sabittir. Ancak, işletmenin gerçekleştirdiği tüm faaliyetlerde kalite spesifikasyonlarının sağlanması ve kalite düzeyinin yükseltilmesi uçuş emniyeti açısından önemlidir. Altı Sigma yaklaşımı uygulanmasına karar verilen kompozit malzeme üretim süreci ise, işletmede malzeme özelliği ve teknolojisinin farklı olması nedeniyle özel süreç olarak takip edilmekte ve istatistiksel süreç kontrolü teknikleri uygulanmaktadır. Ancak, şartname limitlerini sağlamayan parçalara düzeltici işlem uygulanamamakta ve parçalar ıskartaya ayrılmaktadır. Kompozit malzeme hafifliği ve mukavemeti nedeniyle, uçakların özellikle basınç ve korozyona maruz kalabilecek bölgelerinde kullanılmaktadır.

Uçakların kritik bölgelerinde kullanılan sandviç yapılı petek (kompozit) malzeme üretim sürecinin performans karakteristiği mukavemet olarak belirlenmiş, bu amaçla metal-petek-metal yapışma değerinin enbüyüklenmesi ve ıskarta parça sayısının sıfırlanması hedeflenmiştir.

Hedef bu şekilde belirlendikten sonra, üretim süreci altı sigma yaklaşımı ile detaylı analiz edilerek süreci etkileyen faktörler belirlenmiştir. Atölye personeli ve süreç mühendisi ile kurulan ekiple, faktör düzeyleri tespit edildikten sonra tam faktöriyel deney tasarımı kapsamında deneyler gerçekleştirilmiştir.

İşletmede söz konusu süreç için belirlenen alt spesifikasyon değeri 10 olup, sıyırma test cihazından okunan değeri 10 ve daha büyük olan parçalar faal kabul edilmektedir. Sıyırma testlerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, varyans analizleri gerçekleştirilmiş, faktörlerin her birinin sürece olan etkisi ile birbirleri arasındaki etkileşimler ve bu etkileşimlerin de sürece olan etkileri analiz edilmiştir. Bunun sonucunda kritik faktörlerin olması gereken düzeyleri tespit edilmiştir. Buna göre Redux 308 yapıştırıcı türü, 175 °C fırın sıcaklığı, anodizeli sac kullanımı ve toz kontrollü oda koşullarının sabitlenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu durumda petek malzeme çapı 1/8 inç ve 3/16 inç çap için elde edilecek yapışma değerinin her zaman 10 ve 10' dan büyük olması beklenecektir.

Elde edilen sonuçlar ve %95 seviyesinde 1/8 inç ve 3/16 inç çap için belirlenen güven aralıkları göz önüne alınarak, alt spesifikasyon değerinin yükseltilebileceği ve iş planlarının buna göre revize edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

İşletmede mevcut olan şartnameye göre, 3/16 inç çap kullanımı ağırlıklıdır. Ancak elde edilen tahmin değeri 1/8 inç çap için 18.75, doğrulama deneylerinden elde edilen ortalama değer 18.46 olup 3/16 inç çap için elde edilen değerlerden yüksektir.

Uzman personel ile yapılan görüşmelerde, 3/16 inç çap petek malzeme ile üretimi gerçekleştirilen ünitelerde 1/8 inç çaplı petek malzeme kullanımının teknik açıdan sakıncası olmayacağı bilgisi alınmıştır. Bu durumda özellikle fazla yüke maruz kalan bölgelerde yer alan ünitelerin üretiminde 1/8 inç çaplı petek malzeme kullanımının değerlendirilmesi önerilmektedir.

Fiyat/maliyet araştırmasında 1/8 inç çap petek malzeme temininin daha yüksek maliyetli olduğu görülmüştür. 3/16 inç çap petek kullanılan ünitelerin ıskarta oranları ile tamire girme sıklıklarının analiz edilerek, bu kaybın neden olduğu maliyetin hesaplanması, buna karşılık 1/8 inç çap petek malzeme kullanımı ile elde edilecek net

kazancın (satınalma maliyeti düşölerek) karşılaştırılması konusunda çalışma yapılması önerilmektedir.

Bundan sonraki aşamada, süreci etkileyebilir faktörler; özellikle parçaların fırın içerisine yerleştirildiği konumun ve beraber pişirildiği diğer parçaların etkileri de göz önüne alınarak, bu çalışmasının genişletilmesi mümkündür.

İşletmede mevcut iş standartlarına göre kompozit malzemenin kullanıldığı parçalar için elde edilen çalışma sonuçları göz önüne alınarak, hafifliği, ekonomikliği ve mukavemeti nedeniyle savunma sanayinde kullanımı yaygınlaşan kompozit malzeme ile uçağın diğer bölgelerinde yer alan parçaların (kaplama sacı, kapaklar vb.) tasarımının olurluluk çalışmasının yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Altı Sigma çalışmasının işletmenin diğer bölümlerinde özellikle imalat alanında yeni kazanılan kabiliyetlerde uygulanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ada E., Aracıoğlu ve B., Kazançođlu Y., 2004, Türk İşletmelerinde Verimlilik Artışı İçin Altı Sigma Yönetim Sistemi Modeli, YA/EM'2004-Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi
- Akın, B., 1996, ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol Teknikleri, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 150 s.
- Anagün, A.S., 1997, Kalite Kontrolde İleri Teknikler, Ders Notları, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir, (yayımlanmamış).
- Banks J and J.S. Carson, 1984, Discrete – Event System Simulation, Prentice Hall, New Jersey, 514 p.
- Baş, T., Altı Sigma, Şubat 2003, Kalite Ofis Yayınları, No 5, İstanbul
- Box G. and Bisgaard S., 1987, The Scientific Context of Quality Improvement, Quality Progress
- Breyfogle, F.W., 1999, Implementing Six Sigma, John Wiley & Sons, New York, 146 p.
- Burnak N., 1997, Toplam Kalite Yönetimi –İstatistiksel Süreç Kontrolü-, Tekam Yayın, Eskişehir, 222 s.
- Burr, J.T., 1994, Going With The Flow (Chart), Total Quality Management, The Dryden Pres, 312 p.
- Chawla K., 1987, Composit Materials, Springer-Verlag, New York, 475 p.
- Cutler A.N., 2001, Biography of Walter A Shewhart, Sigma Engineering, United Kingdom, 28-31 p.
- Çömlekçi, N., 2001, Bilimsel Araştırma Yöntemi ve İstatistiksel Anlamlılık Sınamaları, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 325 s.
- Damelio R., 1996, The Basics Of Process Mapping, Productivity Pres, New York, 341p.
- Eckes G., 2003, Six Sigma For Everyone, John & Wiley Sons, New Jersey, 127 p.
- Filiz A., 2005, Altı Sigma Prensipleri ve Uygulamaları Eğitim Notu, KOBİ AB Uyum ve e-dönüşüm Uzmanlık- Danışmanlık Eğitimi Programı, MUDSEM Projesi, T.C. Maltepe Üniv., İstanbul
- Filiz A., 2005, İş Süreçlerinin İyileştirilmesinde Altı Sigma Felsefesi, Sektörel Tanıtım Dergisi, 86, 57-61

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Gevirtz C., 1994, Developing New Products with TQM, McGraw-Hill International Editions, New York, 308 p.
- Güllüoğlu A., 1993, Uçak ve Uzay Malzemeleri, Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi (yayımlanmamış)
- Harry, M. and Schroeder, R., 2000, Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionising The World's Top Corporations, Random House, New York
- Henderson G.R., 2006, Six Sigma Quality Improvement with MINITAB, Wiley Sons, New York, 452 p.
- Heuvel J., Ronald J. M. M. and Vermaat M. B, 2004, Six Sigma in a Dutch Hospital: Does It Work in the Nursing Department? Quality And Reliability Engineering International, 20, 419-426
- Karyağdı N., 2001, Toplam Kalite Yönetimi ve Türk Vergi İdaresi, Ankara Sanayi Odası, 51, 61
- Kolarik W.J., 1995, Creating Quality, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 800 p.
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S. and Choo, A.S., 2003, Six Sigma: A Goal-Theoretic Perspective, Journal of Operations Management, 21, 193-203
- Liu E., 2006, Clinical Research The Six Sigma Way, Feature Story, JALA 11, 42-49
- Lochner, R.H. and Matar, J.E., 1990, Designing For Quality, ASQC Quality Pres, NY
- Montgomery, D.C., 1991, Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Inc., New York, 332 p.
- Montgomery, D.C., 2001, Introduction to Statistical Quality Control, 4. Ed., John Wiley & Sons, New York., 816 p.
- Montgomery, D.C., 2005, Design and Analysis of Experiments, 6 Ed., John Wiley & Sons, New York, 660 p.
- Önder M., 1997, Toplam Kalite Yönetimi; Kamu Yönetiminde Uygulanması ve Karşılaşılan Sorunlar, Türk İdare Dergisi, Ankara, Eylül/97, 125
- Pande PS, Neuman RP and Cavanagh RR. (Çev.: Güder N, Tokcan G.), 2003, Six Sigma Yolu GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yolları, Klan Yayınları, İstanbul, 317 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Peker Ö., 1996, Toplam Kalite Yönetimi ve Kamu Hizmetinde Kalite, Çağdaş Yerel Yönetimler, Cilt 54, Sayı:6, 50-51
- Peşkircioğlu, N.,1995, Toplam Kalite Yönetimi ve Katılımcılık, Verimlilik Dergisi, MPM Yayınları, Ankara, Sayı :31, 20-23
- Pyzdek T., 1999, The Value of Six Sigma, Mc-Graw Hill, USA, 695 p.
- Sokovic M. Pavletic D. and Fakin S., 2005, Application of Six Sigma Methodology For Process Design, Journal of Materials Processing Technology, Vol 162, 777–783
- Swift, J.A., 1996, Using TQM to identify education improvement opportunities in the College of Engineering at the University of Miami, Computers in Engng, Vol. 31 No.1, 13-16
- Venere E., 2002, Engineers Create Robotic System To Make Composite Material, Purdue News, 15-18
- Wedgwood Ian D., 2006, Lean Six Sigma A Practitioner' s Guide, Prentice Hall, New Jersey, 461 p.
- MIL-HDBK-349: -Military Standardization Handbook, Manufacture And Inspection Of Adhesive Bonded Aluminium Honeycomb Sandwich Assmblies For Aircraft (Yapıştırılmış Alüminyum Petekli Uçak Yapıları İçin İmalat ve Kontrol Askeri Standardizasyon El Kitabı)
- <http://www.mamak.bel.tr/TR/makale0.mamak> (Erişim Tarihi: 09/11/2006)
- <http://www.maliye.gov.tr/kalite/menu/elkitabi/arac1.htm> (Erişim Tarihi: 28/12/2006)
- http://www.kalekalip.com.tr/kalekalip/six_sigma.asp (Erişim Tarihi:15/10/2006)
- http://www.sipoc.org/sipoc_metodoloji.htm (Erişim Tarihi:22/09/2006)
- <http://www.basariyolu.com/genel.asp?id=969> (Erişim Tarihi: 02/06/2006)
- <http://www.isixsigma.com/spotlight/> (Erişim Tarihi: 18/12/2005)
- <http://www.kaliteofisi.com> (Erişim Tarihi: 03/01/2007)
- http://www.geocities.com/alti_sigma (Erişim Tarihi: 01/04/2006)

Süreç İyileştirmede Altı Sigma Yaklaşımı:
Petek Yapılı Malzeme Üretim Sürecinde Bir Uygulama

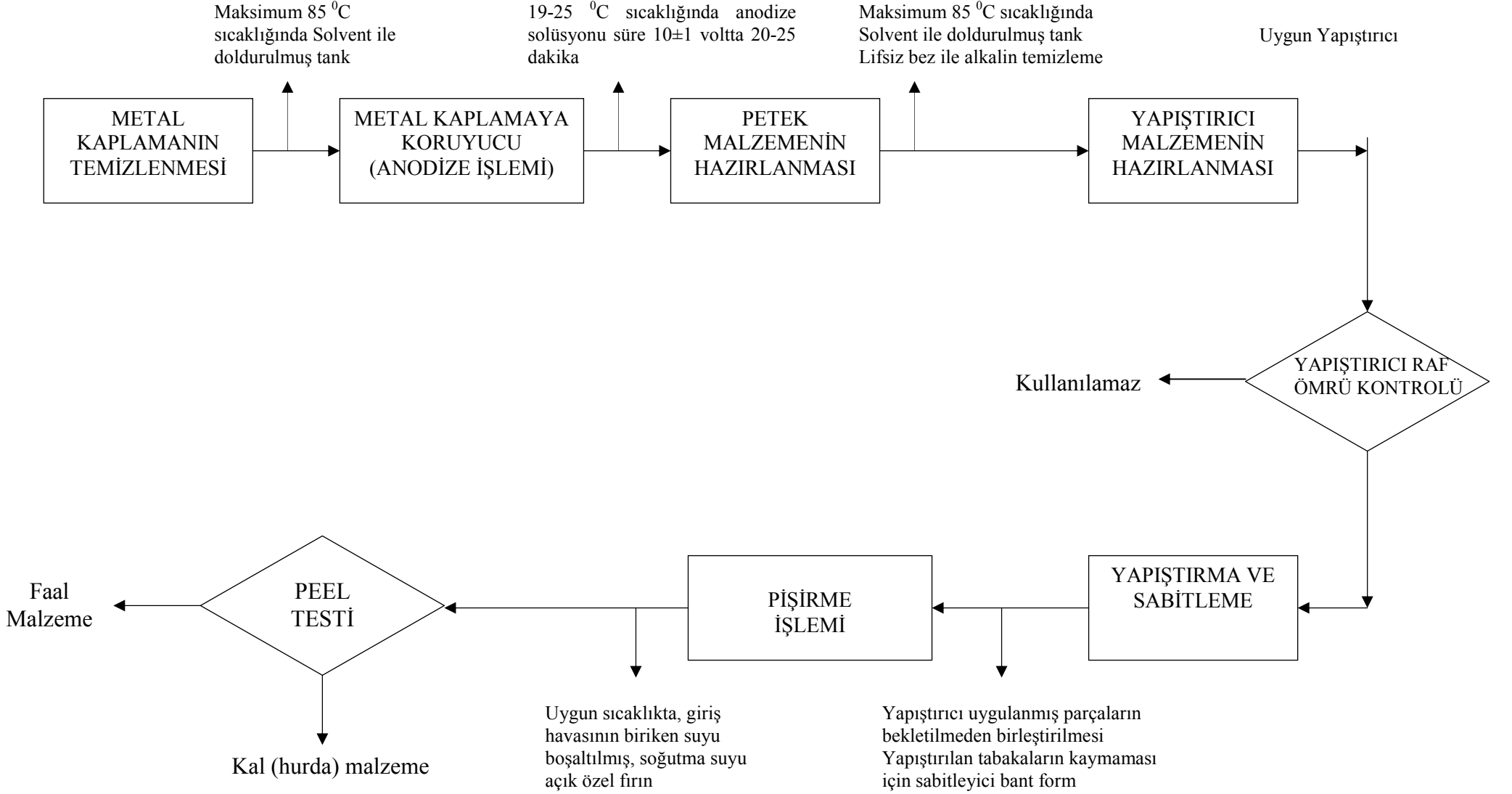
Berna Albayrak

EKLER

- Ek.1. Kompozit Malzeme Üretimine Ait Ayrıntılı Proses Haritası
- Ek.2. Sigma Değerleri Tablosu
- Ek.3. Sebep-Sonuç Diyagramı
- Ek.4. Minitab Programında Elde Edilen Katsayılar

Temmuz 2007

Ek.1. Kompozit Malzeme Üretimine Ait Ayrıntılı Proses Haritası

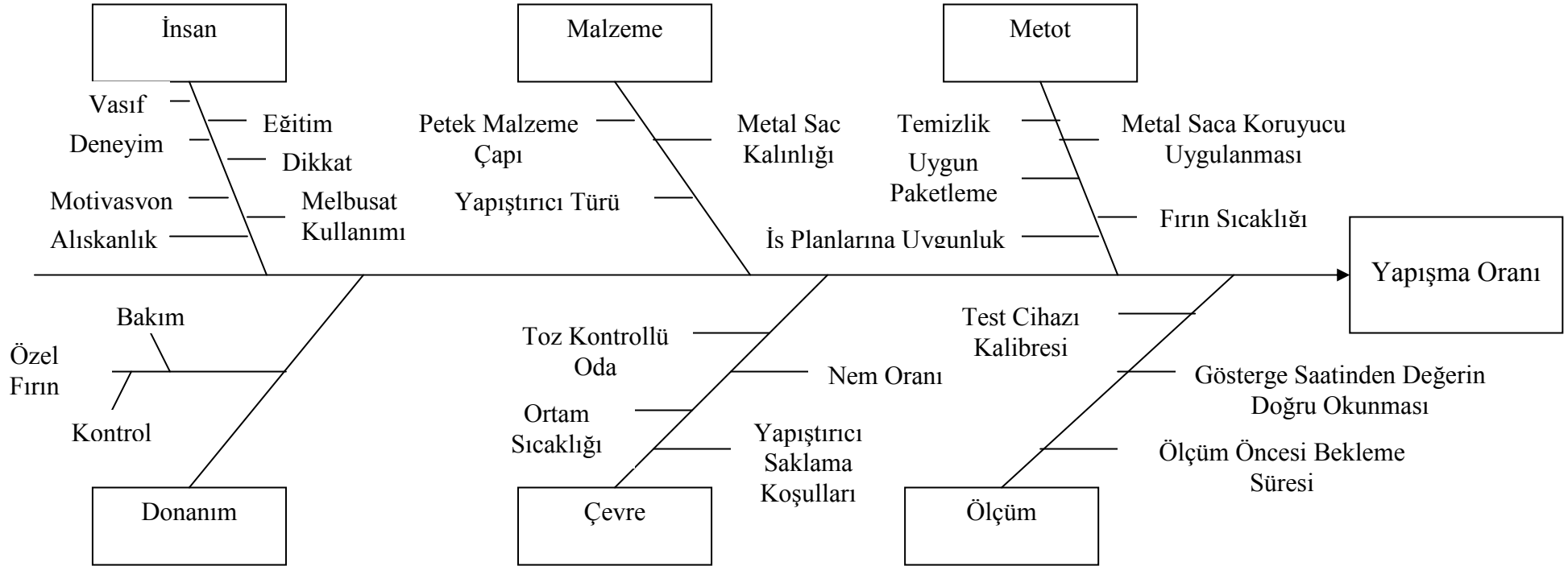


Ek.2. Sigma Değerleri Tablosu (Eckes, 2003)

Uzun Dönem Kazanç (%)	Uzun Dönem Sigma Değeri	Kısa Dönem Sigma Değeri	1,000,000'da Kusurlu Oranı	10,000' de Kusurlu Oranı	100' de Kusurlu Oranı
99.99966	4.5	6.0	3.4	0.034	0.00034
99.9995	4.4	5.9	5	0.05	0.0005
99.9992	4.3	5.8	8	0.08	0.0008
99.9990	4.2	5.7	10	0.1	0.001
99.9980	4.1	5.6	20	0.2	0.002
99.9970	4.0	5.5	30	0.3	0.003
99.9960	3.9	5.4	40	0.4	0.004
99.9930	3.8	5.3	70	0.7	0.007
99.9900	3.7	5.2	100	1.0	0.01
99.9850	3.6	5.1	150	1.5	0.015
99.9770	3.5	5.0	230	2.3	0.023
99.9670	3.4	4.9	330	3.3	0.033
99.9520	3.3	4.8	480	4.8	0.048
99.9320	3.2	4.7	680	6.8	0.068
99.9040	3.1	4.6	960	9.6	0.096
99.8650	3.0	4.5	1,350	13.5	0.135
99.8140	2.9	4.4	1,860	18.6	0.186
99.7450	2.8	4.3	2,550	25.5	0.255
99.6540	2.7	4.2	3,460	34.6	0.346
99.5340	2.6	4.1	4,660	46.6	0.466
99.3790	2.5	4.0	6,210	62.1	0.621
99.1810	2.4	3.9	8,190	81.9	0.819
98.930	2.3	3.8	10,700	107	1.07
98.610	2.2	3.7	13,900	139	1.39
98.220	2.1	3.6	17,800	178	1.78
97.730	2.0	3.5	22,700	227	2.27
97.130	1.9	3.4	28,700	287	2.87
96.410	1.8	3.3	35,900	359	3.59
95.540	1.7	3.2	44,600	446	4.46
94.520	1.6	3.1	54,800	548	5.48
93.320	1.5	3.0	66,800	668	6.68

Uzun Dönem Kazanç (%)	Uzun Dönem Sigma Değeri	Kısa Dönem Sigma Değeri	1,000,000'da Kusurlu Oranı	10,000' de Kusurlu Oranı	100' de Kusurlu Oranı
91.920	1.4	2.9	80,800	808	8.08
90.320	1.3	2.8	96,800	968	9.68
88.50	1.2	2.7	115,000	1,150	11.5
86.50	1.1	2.6	135,000	1,350	13.5
84.20	1.0	2.5	158,000	1,580	15.8
81.60	.9	2.4	184,000	1,840	18.4
78.80	.8	2.3	212,000	2,120	21.2
75.80	.7	2.2	242,000	2,420	24.2
72.60	.6	2.1	274,000	2,740	27.4
69.20	.5	2.0	308,000	3,080	30.8
65.60	.4	1.9	344,000	3,440	34.4
61.80	.3	1.8	382,000	3,820	38.2
58.00	.2	1.7	420,000	4,200	42
54.00	.1	1.6	460,000	4,600	46

Ek.3. Sebep-Sonuç Diyagramı



Ek.4. Tahmin Denkleminde Kullanılan Katsayılar

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		12,8750	0,09021	142,72	0,000
A	0,1667	0,0833	0,09021	0,92	0,359
B	1,5417	0,7708	0,09021	8,54	0,000
C	4,5833	2,2917	0,09021	25,40	0,000
D	-0,4167	-0,2083	0,09021	-2,31	0,024
E	-0,5833	-0,2917	0,09021	-3,23	0,002
A*B	0,7917	0,3958	0,09021	4,39	0,000
A*C	0,5000	0,2500	0,09021	2,77	0,007
A*D	-0,1667	-0,0833	0,09021	-0,92	0,359
A*E	0,0833	0,0417	0,09021	0,46	0,646
B*C	0,1250	0,0625	0,09021	0,69	0,491
B*D	1,7083	0,8542	0,09021	9,47	0,000
B*E	-0,4583	-0,2292	0,09021	-2,54	0,014
C*D	-1,2500	-0,6250	0,09021	-6,93	0,000
C*E	0,0000	0,0000	0,09021	0,00	1,000
D*E	-0,0833	-0,0417	0,09021	-0,46	0,646
A*B*C	0,0417	0,0208	0,09021	0,23	0,818
A*B*D	0,1250	0,0625	0,09021	0,69	0,491
A*B*E	-0,2917	-0,1458	0,09021	-1,62	0,111
A*C*D	0,8333	0,4167	0,09021	4,62	0,000
A*C*E	-0,3333	-0,1667	0,09021	-1,85	0,069
A*D*E	-0,4167	-0,2083	0,09021	-2,31	0,024
B*C*D	1,1250	0,5625	0,09021	6,24	0,000
B*C*E	1,3750	0,6875	0,09021	7,62	0,000
B*D*E	0,0417	0,0208	0,09021	0,23	0,818
C*D*E	2,1667	1,0833	0,09021	12,01	0,000
A*B*C*D	0,2083	0,1042	0,09021	1,15	0,253
A*B*C*E	-0,6250	-0,3125	0,09021	-3,46	0,001
A*B*D*E	-0,4583	-0,2292	0,09021	-2,54	0,014
A*C*D*E	-0,5000	-0,2500	0,09021	-2,77	0,007
B*C*D*E	1,0417	0,5208	0,09021	5,77	0,000
A*B*C*D*E	-0,6250	-0,3125	0,09021	-3,46	0,001

S = 0,883883 R-Sq = 95,15% R-Sq(adj) = 92,80%