



## İşletmelerde Hatasızlığa Yönelim, Altı Sigma Ve Hata Türü Etkileri Analizi

Nafiz DURU<sup>1</sup>, K. Hüseyin KOÇ<sup>2</sup>, Yüksel TAŞ<sup>3</sup>

### Özet

Bu çalışmada işletmelerde hatasızlığa yönelimde önemli bir kavram olan Altı Sigma metodolojisi ile Hata Türü ve Etkileri Analizi kavramı ele alınmıştır. Özellikle kurum ve kuruluşların Altı Sigma uygulamalarına geçmeden önce veya uygulama sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi Tekniğinden yararlanmalarının hatasızlığa yönelimde başarı düzeyini artıracığı düşünülmektedir. Zira üretim süreçleri başta olmak üzere tüm süreçlerdeki temel hata türleri tanımlı olmayan, takip edilmeyen ve hata kaynakları bilinmeyen işletmelerin doğrudan hatasızlığı hedeflemeleri çok da gerçekçi görünmemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İşletmelerde hatasızlığa yönelim, altı sigma, hata türü ve etkileri analizi, kalite güvencesi

## Defect-Free Intention Of Companies, Six Sigma And Failure Mode Effects Analysis

### Abstract

This study covers six sigma methodology and failure mode effects analysis as there are important concepts for defect-free intention of companies. It is considered that the institutions and organizations should benefit failure and effects technique before or during six sigma applications as this would increase the level of success. Yet, it would not be realistic for those companies where there are no failure definitions or unknown source of failure, to intend defect-free processes.

**Keywords:** Defect-Free Intention of Companies, Six Sigma, Failure Mode Effects Analysis, Quality Insurance

### 1. Altı Sigma Kavramı

Eski bir yunan harfi olan “*Sigma*” istatistikte bir değişkenlik ölçüsü olan standart sapmayı gösterir. Standart Sapma istatistiksel olarak bir dağılım, yayılma, sapma, farklılaşma ölçütüdür. Altı Sigma yaklaşımı, ölçüm aracı olarak ünite başına hata sayısını (DPU) kullanır. Ünite başına hata sayısı bir prosesin veya ürünün kalitesini ölçmek için iyi bir araçtır. Böylece kusurlar, maliyet ve zaman arasından bağlantı kurulur.

Sigma değeri kusurların hangi sıklıkta meydana geldiğini ifade eder. Daha yüksek sigma değeri daha düşük kusur olasılığı demektir. Kusur müşterinin memnuniyetsizliğine sebep olan herhangi bir şeydir. Bundan dolayı sigma değeri artarken maliyet ve çevrim zamanı azalmakta aynı zamanda müşteri memnuniyeti artmaktadır.

Altı Sigma düzeyindeki firmalar sınıflarının en iyisi olarak kabul edilmektedirler. Bugün firmaların çoğu üç veya dört sigma düzeyindedir. Bu süreçlerdeki hata oranlarının milyonda 6210 ile 66800 arasında olduğunu gösterir. Bu firmalardan hurda ve tamirlerden kaynaklanan başarısızlık maliyetleri satışların %10 -15’i düzeyindedir.

Altı Sigma şirketlerinde ise bu oran sifıra yakındır. Şirketlerin ortalama %10 karlılıkla çalıştığı düşünülürse, Sigma şirketlerin Altı Sigma şirketleri karşısında ayakta kalma şansı oldukça azdır. Çizelge 1’de Sigma düzeyi ile bağlantılı kusur sayısı değerleri verilmiştir. Bir organizasyonda Altı Sigmanın uygulanması ile süreçlerin özelliklerinin belirlenmesi, en iyileştirilmesi ve kontrolüne yönelik standart bir metodoloji ve eğitilmiş bireyler ile çalışılarak, bu çerçevede bir kültür oluşturulur.

<sup>1</sup> Prof.Dr., İstanbul Aydın Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup> Prof.Dr., İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü

<sup>3</sup> Orman Endüstri Yük.Müh., VOLO Mobilya Üretim Planlama Müh.

**Çizelge 1. Sigma Düzeyi ile Bağlantılı Kusur Sayısı Değerleri**

<b>SİGMA DÜZEYİ</b>	<b>MİLYONDA KUSUR SAYISI</b>
6 $\sigma$	3,4
5 $\sigma$	233
4 $\sigma$	6210
3 $\sigma$	66807
2 $\sigma$	308537
1 $\sigma$	690000

### 1.1. Altı Sigmanın Yararları

Altı Sigmanın yararları “sürdürülebilir başarı, herkes için ortak bir performans amacı oluşturulması, müşteriye sunulan değeri artırması, öğrenmeye önem verilmesi, stratejik değişimi gerçekleştirilmesi, hata oranını azaltıp, çıktının iyileştirilmesi, tutarlı ölçüm yönteminin geliştirilmesi, rekabet gücünün artırılması, garanti giderlerinin azaltılması,..” olarak sıralanabilir.

Başarılı uygulamalara bazı örnekler vermek gerekirse, Altı Sigmayı 1890’den beri uygulayan Motorola’nın 19 yılda elde ettiği getiri 11 milyar dolar civarındadır. Motorola dünya çapında verimliliğini 3 katına çıkarmıştır. Diğer bir örnek ise; Altı Sigmaya 1991 yılında başlayan 14 milyar dolar ciroya sahip Allied Signal Inci’nin 8 yılda elde ettiği getiri 800 milyon doları aşmaktadır. Bu miktar toplam cironun %6’sı civarındadır.

### 1.2. Altı Sigma Uygulamalarının Temel Adımları

Süreçlerin sigma düzeylerinin artırılması, Altı Sigma stratejilerinde kullanılan güçlü istatistiksel yöntemlerin doğru kullanılmasıyla çok daha kolaylaşmaktadır. Altı Sigma stratejilerinde, hedeflerin gerçekleştirilmesi için problemlere, her biri güçlü istatistiksel yöntemlerle desteklenen beş bölüm ile yaklaşılmaktadır (Polat ve ark., 2004).

Tanımlama : Süreçten müşterinin beklentileri nelerdir?

Ölçme : Hataların frekansı (sıklığı) nedir?

Analiz : Neden, ne zaman ve nerelerde hatalar olmaktadır?

İyileştirme : Süreci nasıl iyileştirebiliriz?

Kontrol : Süreci iyileştirdikten sonra bu şekilde kalmasını nasıl sağlayabiliriz?

Altı Sigma varolan bir sürecin iyileştirilmesi için kullanılabilmesi gibi, bir sürecin veya ürünün tasarımı için de kullanılabilir.

**Tanımlama:** Bu aşamada projenin amacı tanımlanır, süreç ve müşteri hakkında bilgi toplanır. Bu aşamada yaygın olarak kullanılan araçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Proje uyum planı,
- Yakınlık (affinity) diyagramı,
- Ürün analizi,
- Paydaş analizi,
- Müşterinin sesi,
- Kano modeli,
- Tedarikçiler, girdiler, prosesler, çıktılar ve müşteriler
- Kritik kalite faktörleri ağacı

**Ölçme:** Bu aşamada mevcut durumu tüm yönleriyle açıklayan bilgiler toplanır. Ölçme aşaması Altı Sigma projelerinin en önemli aşamalarından birisidir. Bu aşamada yaygın olarak kullanılan araçlar;

- Veri toplama planı,
- Öncelik matrisleri,
- Tabakalandırma,
- Çetele diyagramı,
- HTEA (FMEA),
- Koşu şemaları,
- Frekans poligonları,
- Süreç yeterliliği,
- Kontrol şemaları,
- Pareto şeması,
- Süreç sigması,
- Örneklem,
- Tekrar edebilme&yeniden üretebilme ölçümü,

**Analiz:** Analiz safhasında problemlerin temel nedenleri hakkında teoriler geliştirilecek, bu teoriler verilerle doğrulanacak ve en son olarak problemlerin temel nedenleri tanımlanacaktır. Bu aşamada yaygın olarak kullanılan araçlar;

- Yakınlık diyagramları
- Sebeup-sonuç diyagramları,
- Çetele diyagramı,
- Deneu tasarımı,
- Frekans poligonları,
- Güven aralıkları,
- Serpme diyagramı,
- Pareto şemaları,
- Beyin fırtınası,
- Veri toplama planı,
- Kontrol grafikleri,
- Akış şeması,
- Hipotez testleri,
- Regresyon analizi,
- Örnekleme,

**İyileştirme:** İyileştirme safhasında nedenleri ortadan kaldırmayı hedefleyen çözümler geliştirilir, uygulanır ve değerlendirilir. Bu aşamada yaygın olarak kullanılan araçlar;

- Beyin fırtınası,
- Deneu tasarımı,
- HTEA (FMEA),
- Planlama araçları (Ağaç diyagramı Gantt şemaları)
- Hipotez testleri
- Veri toplama,
- Akış şemaları,

**Kontrol:** Yürütölen planın geliştirilmesini, dokümantasyonunu ve uygulanmasını isteyerek, sürecin eskiye dönmesine izin vermeden geliştirilmesini kontrol etme işi bu aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamada kullanılan araçlar;

- Kontrol kartları,
- Veri toplamı,
- Proses kontrol,
- Son kontrol,
- Akış diyagramı,
- Kalite kontrol,
- Ara kontrol,
- Standardizasyon,

### 1.3. Altı Sigma Uygulamalarının Temel Amaçları ve Çalışanlara Katkıları

Altı Sigma uygulamalarında temel olarak kuruluşlar aşağıdaki amaçlar için çalışırlar.

- Kuruluşun mevcut olan potansiyelini gerçekleştirebilmek,
- İyileştirme fırsatlarını fark edebilmek,
- Verimsizlikten ve kalitesizlikten kaynaklı geri döndürülebilir kayıpları azaltmak,
- Müşteri beklentilerinin ötesine geçmek,
- Verileri bilimsel metotlarla analiz ederek bilgiye dönüştürmek ve bu bilgiyi kullanarak doğru kararlar vermek,
- Rekabet gücünü artırmak,
- Çalışanları yetkinleştirerek motive etmek,
- Çalışanları problem çözme teknikleri ve yaklaşımları ile donatarak problem savaşçıları haline getirmek.

Altı Sigma uygulamaları hem kuruluşlara hem de çalışanlara değer katar. Altı Sigma uygulayan kuruluşların çalışanları:

- Problemleri sahiplenmeyi bilir ve onları çözme sorumluluğunu kabul ederek iyileştirme fırsatlarına aktif bir şekilde katılır.
- Ekip olmayı ve problemlere ekip olarak yaklaşmayı öğrenir.
- Bilgi ve deneyimlerini iş arkadaşlarıyla özgürce paylaşmanın önemini bilir.
- Kuruluş hedeflerini ileri götürmede yenilikçi ve yaratıcı olur. Bilgi ve deneyimlerini arttırarak yetkinleşir.
- İşlerinden tatmin duyar ve kuruluşa ait olmaktan dolayı hevesli ve gururlu olur.

## 1.4 Altı Sigma ve Diğer Yönetim Sistemleri

Rekabetçi maliyet ve müşteri beklentilerinin karşılanması her kuruluşun stratejisidir. Bugün dünyada yaygın olarak kullanılan bütün yönetim sistemlerinin temel çıkış noktası da budur. Altı Sigma bu temel yaklaşım bakımından bütün yönetim sistemleri ile uyum içerisindedir.

İyi işleyen bir Kalite Yönetim Sistemi (ISO 9001:2000) Altı Sigmanın aradığı bir altyapıdır. ISO 9001:2008'in temelini oluşturan 8 Kalite Yönetim Prensiplerinin tamamı altı sigma için de aynen geçerlidir.

Altı Sigma Toplam Kalite Yönetimine (TKY) ve/veya EFQM Mükemmellik Modeline alternatif bir uygulama değildir. TKY'ye, EFQM'e veya ulusal/uluslararası kalite ödülüne giden yolda etkili ve bütünleyen bir araçtır.

## 1.5 Altı Sigma Uygulamalarında Başarı Koşulları

Altı Sigmanın etkin uygulanabilmesi için kuruluşların "sistemik altyapı ve çalışan profili" gibi 2 temel noktadaki gereksinimleri karşılamış olmaları gerekir.

**Sistemik alt yapı:** Düzenli veri üreten sistemik bir alt yapı, altı sigma uygulamalarının en fazla ihtiyaç duyduğu noktadır. Tepe yönetimin ve kuruluşun hedef ve hayalleri; iş dünyasında lider olmak, öncü olmak, iddialı olmak gibi hedefleri/hayalleri olan ve bilimsel yaklaşımlara inanan yöneticiler ile daha iyi sonuçlara ulaşır.

**Çalışan profili:** Bir kültürel değişim süreci olan altı sigma uygulamaları, yetkin ve öğrenmeye hevesli çalışanlara ihtiyaç duyar. Kavramsal, bütünsel ve analitik düşünme yapısına sahip çalışanlarla altı sigma çalışmaları etkili sonuçlar verir (<http://erp.karmabilgi.net/6sigma-nedir>, 2008).

## 2. Hata Türü ve Etkileri Analizi Kavramı

Kısaca Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode Effect Analysis -FMEA-), bir üründe oluşabilecek tasarım ve/veya proses kökenli tüm hata türlerini sistemik olarak inceler. Her tür hata/arıza'nın, müşteri üzerinde oluşturacağı olası etkilere göre analizler yapılır. Bu analizlerin hepsi ürün daha pazara çıkmadan önce, hatta tasarım ve/veya deneme üretimleri sırasında gerçekleştirilir. Böylece hataların daha oluşmadan önlenmesi sağlanmaya çalışılır.

Hata Türü ve Etkileri Analizi tekniği aşağıda sıralanan şekilde bir çeşitliliğe sahiptir ve uygulama alanları her türlü üretim ve hizmet şeklini kapsamaktadır (<http://www.quality-one.com/main.cfm?cmd=fmea>, 2009).

FMEA kullanım yerleri bakımından; Sistem FMEA, Tasarım FMEA, Proses FMEA ve Servis FMEA olmak üzere başlıca dört başlık altında ele alınabilir. Ancak FMEA temel olarak "Ürün-Proje (Tasarım) veya Ürün-Proses" olmak üzere iki temel bazda incelenebilir. Aşağıda yaygın kullanımı da dikkate alınarak Proses FMEA üzerinde durulacaktır.

**Proses FMEA:** Ürünün proseslerindeki potansiyel hataları belirleyen analitik bir tekniktir. Üretim veya montaj sırasında herhangi bir hata oluşuyorsa, süreçlerin neden bu hatayı meydana getirdiğini incelemek için yapılır. Üretim veya montaj süreçlerinin analizine yardımcı olur ve düzeltici faaliyetlerin önceliklerini belirler, kritik veya önemli olan süreçler ve özelliklerini saptar, kontrol planı oluşturmada yardımcı olur ve bununla ilgili planlar sunar. Hataların olası müşteri tepkisini yorumlar, olası üretim veya montaj proseslerindeki hata sebeplerini belirler ve bunların önceden saptanıp önlenerek kontrol altında tutulmasını sağlar.

Proses FMEA'ları aynı zamanda yeni bir makine veya ekipman proseslerinin geliştirilmesinde de yardımcı olur. Metot aynıdır; sadece tasarlanmakta veya satın alınmakta olan makine, ürün olarak düşünülmektedir.

Proses FMEA’da cihaz ya da insan kaynaklı hata olmak üzere iki hata kaynağı üzerinde yoğunlaşılır. Cihazlardan kaynaklanan hatalarda, Jig (yüksekliği ayarlanabilir istasyonlar) ve/veya takım-teçhizat destekli yarı otomatik veya otomatik işlemler, insan kaynaklı hatalarda ise personelce yapılan manuel işlemler esas alınır.

Bu alanlarda hata türü analizi yapılırken; personelin eğitiminin uygunluğuna, iş döngüsü ve prosedürlerin uygunluğuna, akış uygunluğuna, jigler ve tesislerin uygunluğuna, kontrol döngülerinin uygunluğuna, kontrol cihazlarının uygunluğuna, bakım sıklığının uygunluğuna, bakılır.

Proses FMEA;

- Tasarım FMEA sonrası,
- Yeni yerleştirilmiş proseslerde,
- İş planı taslağından sonra,
- Seri üretim öncesi yapılır.

## 2.1. FMEA’nın Kullanım Alanları, Amaçları ve Organizasyonu

FMEA’nın üzerinde odaklandığı konular; “hatanın bulunması, hatanın risk önceliğinin saptanması, düzeltici ve önleyici faaliyetlerin gerçekleştirilmesi, hatanın müşteriye ulaşmadan engellenmesi” olarak sıralanabilir (Yılmaz, 2000). Bu yönüyle bu teknik, yeni malzeme ve yeni malzeme geliştirme, yeni proses, proses parçaları, mamul değişiklikleri, proses değişiklikleri alanlarında kullanılır.

FMEA tekniğinin öncelikli amaçları şunlardır (Yılmaz, 2000):

- Potansiyel hataları önceden belirleyerek bu hataların oluşmasını engellemek.
- Nihai ürünün müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşıladığından emin olmak için, bir ürünün tasarım karakteristiklerini analiz etmek.
- Potansiyel hata türleri belirlendiğinde, onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemleri almak veya sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyellerini azaltmak.
- Sistemin dayandığı neden ve ilkeleri yazılı hale getirmek.
- Proses geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerini özetlemek.

FMEA organizasyonu aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir.

- Bir FMEA çalışma grubu oluşturulmalıdır (Kasa ve Boran, 1993; Mil-Std 1629 A, 1984):
- Grup lideri (Animatör) seçilmelidir.
- Grubu oluşturan üye sayısı 5–8 kişi arasında olmalıdır.
- Grup, sorumlu ve konu hakkında deneyimli kişilerden oluşmalıdır.
- Mühendislik, kalite güvence, imalat bölümündeki üyeler doğal üyelerdir.
- Bir FMEA çalışması 2 aylık bir süreyi aşmamalıdır.
- Toplantılar 3 saatten fazla olmamalıdır.
- Çalışmanın sınırları belirlenmelidir.
- Toplantılar FMEA çalışmaları sonuçlanıncaya kadar periyodik olarak sürdürülmelidir.
- Üst yönetimden kişilerin de grupta yer alması sağlanmalıdır.

## 2.2. FMEA’da Değerlendirme

FMEA yönteminde değerlendirmenin amacı; muhtemel risklerin sayısal olarak ifadesi ve sınırlandırılmasıdır. Bu aşamada her bir olası hatanın risk esasına göre kritiklikleri belirlenir. Kritikliği belirleyen ölçüt, kritiklik sayısı veya onun eşdeğeri olan “Risk Öncelik Göstergesi (RÖG)”dir. RÖG risk faktörlerinin olasılık değerleri kullanılarak hesaplanır.

Frekans indisi muhtemel nedenin ve bunun yol açtığı hata şeklinin gerçekleşmesi olasılığıdır. Bu durumda olasılık değeri, hata nedeni ortaya çıkma olasılığı P1 ile hata nedeni oluştuktan sonra bunun hata türüne yol açması koşullu olasılığı, P2/1'in çarpımı ile bulunur (Mil-Std 1629 A, 1984).

Hata nedeninin oluşma olasılığı istatistiksel yöntemler ve benzer ürünlerden yararlanılarak belirlenir. Veri tabanları oluşturulmamış ise veya hesaplama yöntemleri kullanılmıyorsa grup üyelerinin deneyimlerinden faydalanılır.

FMEA yönteminde hatanın önemi hatanın müşteriye yansıyan sonuçlarını ifade eder. Hatanın etki düzeyi arttıkça önem de artar. Hata şekillerinin olası sonuçlarını niteliksel bir ölçü ile değerlendirebilmek amacıyla sınıflandırma yapılır. Bu sınıflandırma analiz edilen her birimin, ürünün veya sistemin hata türünün sonuçlarının kayıp ile ifadesidir.

Etki derecelerine göre bir önem sınıflandırması aşağıda verilmiştir (Mil-Std 1629 A, 1984):

1. **Derece Hata:** Güvenlik problemlerine yol açan hata
2. **Derece Hata:** Büyük hoşnutsuzluk ve tamir masraflarına yol açan hata
3. **Derece Hata:** Hoşnutsuzluğa sebebiyet veren hata
4. **Derece Hata:** Müşteriyi zor durumda bırakan hata
5. **Derece Hata:** Performansı düşürmeyen hata
6. **Derece Hata:** Farkına varılmayan hata

RÖG, kritiklik sayısı göstergesidir. FMEA'da her hata nedeni şu üç indis ile kıyaslanır: Önem (ağırlık), Frekans (sıklık), Tespit (Saptama).

RÖG değeri ile her bir hata türü için riskler tanımlandığından en büyük RÖG'e sahip olandan başlayarak uzun dönemde ortadan kaldırılması kısa dönemde en aza indirilmesi için alınacak düzeltici önlemler belirlenir.

Önem, tespit, frekans indislerine sayısal değer atamada kullanılan sayı aralığının büyüklüğüne ilişkin bir standart yoktur. Sıkça kullanılan iki aralık 1–5 ve 1–10 aralıklarıdır. Yaygın olarak kullanılan aralık 1–10 aralığıdır (Kasa ve Boran, 1993; Mil-Std 1629 A, 1984; Prasad, 1990; Lieberman, 1990).

RÖG, Önem, Frekans ve Tespit değerlerine atanan değerlere çarpma işleminin uygulanması ile hesaplanır.

$$RÖG = Ö(Önem) \times F(Frekans) \times T(Tespit)$$

Bir FMEA uygulamasında hesaplanan RÖG değeri için aşağıdaki şartlar geçerlidir;

Ö = Değiştirilemez

T = Kontrol mekanizmalarının etkinliğinin araştırılması

P1 =P1'i aşağıya çekmek için ürün hatasına hakim olmak gerekir.

P2/1=P2/1'e hakim olmak tasarımda değişikliği gerektirir veya tanımda değişikliği gerektirir (Toleransların değişimi, malzeme değişimi, form değişimi vb.).

Ele alınacak RÖG değerleri aşağıdaki kurallar çerçevesinde belirlenebilir (Akın, 1998);

- İlk iki RÖG değeri el alınır ya da ilk üç RÖG değeri incelenir.
- Hata sebeplerinden en yüksek RÖG değerine sahip %25 incelenir.
- RÖG değeri belli bir sınırın üzerinde olanlar incelenir. Bu sınır değer maksimum RÖG değerine bağlı olarak 100 ve 150 gibi bir değer alınabilir.
- Etki Önem Derecesine bağlı olarak aşağıdaki Çizelge 2 yardımıyla seçilir.

**Çizelge 2.** RÖG değerinin etki önem derecesine bağlı olarak seçilmesi

Etki Önem Derecesi	RÖG > =
10 (Emniyet)	40
8-9	90
5-6-7	120
1-2-3-4	150

### 2.3. Düzeltici Faaliyetler, İzleme ve Uygulama, Doğrulama

Düzeltici faaliyetler, RÖG değerleri daha önceden belirlenmiş bir seviyeyi aşan hata nedenleri için uygulanır. Düzeltici önlemler ile RÖG değerleri aşağıya çekilmeye çalışılır. Bu değerlerin küçültülmesi önem, frekans ve tespit gibi risk faktörlerine atanan değerlerin küçültülmesi ile mümkün olacaktır (Lieberman, 1990; Baykoç, 1998).

İzleme ve uygulama aşamasında amaç, eşik değeri üzerinde bulunan RÖG katsayılarının, eşik değerin altına çekilmesini izlemek ve bunun devamını sağlamaktır. Bu amaçla organizasyonda, akış diyagramında ve imalatta kullanılan araçlarda değişiklikler yapılır (Baykoç, 1998; Mc Kinney, 1991).

Doğrulama adımı amaç, düzeltici önlemlerin uygulanmasının ve sistemin zaman içinde değişime uğramamasının doğrulanmasıdır. Doğrulama aşamasında, uygulama sırasında kullanılan tüm FMEA sentez formları, bütün kabul ve koşullar ve sonuçlar dokümanite edilerek, raporlanmalıdır (Baysal ve ark., 2002).

FMEA çalışmaları sonucunda;

- Hata giderilinceye kadar prosesin durması sağlanır,
- Hataları önleyecek programlar hazırlanır,
- Makine, tezgah ve proses akışını gerçekleştiren donanımda hangi elemanların yenilenmesi gerektiği,
- Dizayn ve spesifikasyonlarda ne gibi değişikliklerin yapılacağı,
- İhtiyaç duyulan bakım süresi ve gerek duyulan bakım araç-gerecin ne olduğu,
- Gerekli görülen testler,
- Bakım, operasyon, kontrol talimatlarında yapılacak değişiklikler belirlenir.

## 3. TÜRKİYE' DE VE DÜNYA'DA ALTI SİGMA VE FMEA ÇALIŞMALARI

Türkiye'de Altı Sigmayı uygulayan bazı firmalar; Arçelik, Borusan, Bosh, Çimtaş, Dow Chemisan, Ego, Fırat Plastik, Ford Otosan, Kalekim, Kordsa, Sasa, Teba, Tei, Vestel, Vitro ve İstikbal Mobilya olarak sıralanırken, Dünya'da Citibank, Ericsson, Fiat, Ford, Hyundai, Jaguar, Kodak, Motorola, Nokia, Pirelli, Samsung, Shell, Sony, Quntum, Toshiba, Volvo başarılı örnek firmalar olarak sayılabilir.

### 3.1. Altı Sigma Çalışmaları

Altı Sigma konusu 1980'li yılların başında Motorola tarafından uygulamaya konulmuş, gün geçtikçe üretimden satışa, tasarımdan servise tüm iş alanlarında yaygınlaşan ve olumlu sonuçlar alınan yöntem olmuştur. Bu bölümde Altı Sigma konusunda yapılan çalışmalar incelenmektedir.

Hahn ve ark. (1999), bütün sektörlerde yürütülen Altı Sigma çalışmalarının, uygulandığı işletmeleri bulunduğu noktadan daha ileriye götürmekle kalmayıp aynı zamanda bu

çalışmalarda görev alan personeli de (özellikle istatistikçileri) mesleki açıdan üst noktalara taşıdığını belirtmişlerdir.

Deshpande ve ark. (1999), kimya sektörü ile ilgili olarak yaptıkları bir araştırmada Altı Sigma'ya dayalı kalite programlarının, hataları gözle görülür bir şekilde azaltmasının yanında, müşteri memnuniyetini ve pazar payını yükselttiğini ve çalışanların performansını arttırdığını göstermişlerdir.

Blakeslee 1999 yılında yaptığı çalışmada, kalite düzeyinde ve rekabet gücünde büyük sıçramalar yapabilmek için neden Altı Sigma metodolojisinin uygulanması gerektiğini, 3 Sigma düzeyinde çalışan bir bagaj taşıma süreci ile kıyaslama yaparak açıklamaya çalışmıştır. Çalışmasında ayrıca başarıya ulaşmak için uyulması gereken ana prensiplerden ve bunu yapmak için gerekli olan adımlardan bahsetmiştir (Stamatis, 2003).

2000 yılında Pande ve arkadaşları Altı Sigmanın sistemin önde gelen şirketlerin verimliliği arttıran, maliyetleri düşüren ve müşteri memnuniyetini yükselten yeni bir şekle dönüştürdüğünü açıkladıkları çalışmalarında adım adım rehberlik ve uygulama kurallarıyla Altı Sigmayı uygulamak için bir yol haritası sunmuşlardır (Polat ve ark., 2005).

De Mast ve ark. (2000), kalite iyileştirme çalışmalarında istatistiksel metotların uygulanmasının oldukça faydalı olduğunu ifade ederek, literatürde değişik isimler altında uygulanan bu metotların birbirleri ile olan ilişkileri, benzerlikler ve fonksiyonlar açısından farklılıklarını ele almışlardır.

Wyper ve Harrison (2000), Altı Sigma'yı oldukça farklı bir alanda uygulayarak insan kaynakları departmanlarının temel amacı olan doğru zamanda, doğru ücret ile doğru insanı doğru yerde istihdam etme hedefi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada, öncelikle sürecin müşterileri tanımlanmış ve sürecin haritası çıkartılmıştır. İstatistiksel kontrol kartları, neden sonuç diyagramı ve pareto analizi teknikleri de kullanılarak 18 ayda (hizmet kalite değişmeden veya daha iyi olarak) personel maliyeti %34 azaltılmış, genel giderlerde ise 25000 pound'luk azalma sağlanmıştır. Ayrıca, müşteri memnuniyetinde artış meydana gelmiştir.

Calcutt (2001), Motorola, General Electric, Black&Decker, Allied Signal (Honeywell), ABB ve Bombardier gibi büyük şirketlerin performanslarını olumlu yönde nasıl geliştirdiklerini konu edindiği çalışmasında Altı Sigmayı uygulamak isteyen diğer kuruluşlara yardımcı olabilmek amacıyla Altı Sigma stratejisinin ne olduğunu ve onlar için neler yapılabileceğini açıklamıştır. En önemli nokta olarak da anılan büyük şirketlerin Altı Sigma uygulamalarını kurum kültürünün bir parçası haline getirdikleri vurgulanmıştır.

Hoerl (2001), Altı Sigma uygulamalarında sıkça adları geçen "Siyah Kuşak", "Usta Siyah Kuşak" ve "Yeşil Kuşak" gibi kavramların ne olduğunu açıkladıktan sonra bu unvanlara sahip olabilmek için ne tür bir alt yapıya sahip olunması gerektiği ve bunun üzerine ne tür eğitimlerin alınması gerektiğini vurgulamıştır. Çalışmada, Altı Sigma uygulamalarının bel kemiğini oluşturan "Siyah Kuşaklar" üzerinde durulmuştur (Hoerl, 2001).

Neuscheler-Fritsch ve Norris (2001), Altı Sigma uygulamalarından finansal anlamda getiri elde edebilmek için yerine getirilmesini zorunlu gördükleri 5 ayrı hususu açıklamışlardır. Bu hususlar sırasıyla; işin finansal yönü ile ilgilenecek bir muhasebecinin istihdam edilmesi, finansal göstergelerin proje amacı doğrultusunda dokümanite edilmesi, Altı Sigma kavramının uygulanabilmesi için projelerin gözden geçirilmesi, elde edilen getirilerin ortaya çıkarılması ve süreç iyileştirmesinin içine risk yönetimi ilave edilmesidir.

Gross (2001), işletmelerin Altı Sigma kalite düzeyine giden yolda başarıyı sağlamlarının kültürel anlamda bir devrim yaratmalarına bağlı olduğunu ifade ederek, işletmenin her seviyesindeki bütün çalışanların katılımının kaçınılmaz olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada ayrıca küçük ölçekli işletmelerde Altı Sigma stratejisinin uygulanması için nelerin yapılması gerektiği de açıklanmıştır.



Chowdury (2001), Altı Sigmanın sağlamış olduğu getirilerin daha iyi anlaşılması amacıyla Altı Sigmanın 5 aşaması olan Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol aşamalarının daha iyi kavranmasını hedeflediği çalışmasında Altı Sigma ile ilgili karmaşık teorileri basite indirgemeye ve herkes tarafından anlaşılır hale getirilmesine çalışmıştır.

Chonghun ve Young-Hak (2002), çalışmalarında Altı Sigmanın temel araçlarını (TÖAİK) kullanarak fabrika mühendislerinden operatörlerine rehberlik edecek bir tesis bilgi sistemi oluşturmayı amaçlamışlardır. Sistemi kurarken TÖAİK'in yanı sıra çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol tekniklerini kullanmışlardır.

Gijo ve Rao (2005), birçok çalışmanın aksine başarı öyküleri değil tecrübelerinden yola çıkarak Altı Sigma çalışmaları sırasında karşılaşılan zorlukları ele almışlardır. Bu zorluklardan bazıları; amacın kapsamının yetersiz olması, çalışmanın birçok alana yayılmış olması, getirilen yenilikler, kaynak eksikliği, fonksiyonlar arasında koordinasyon eksikliği, sonuç elde etmedeki acelecilik, kuşakların seçimi ve uygun olmayan proje seçim kriterleri'dir. Ayrıca çalışmada Altı Sigma uygulamaları sırasında karşılaşılan bu zorlukları aşabilmek için öneriler de bulunmaktadır.

Altı Sigma prensip ve araçları kullanılarak kamu sektöründe yapılan bazı çalışmalara da rastlanmaktadır. Örnek bir çalışma, müşteri servisinin iyileştirilmesini ve sunulan hizmetin etkinliğini arttırmayı hedefleyerek Hindistan'daki Fort Wayne Belediyesi tarafından yapılmıştır ([www.cityoffortwoyne.org/6sigma.htm](http://www.cityoffortwoyne.org/6sigma.htm), 2005).

Antony ve ark. (2008), yalın altı sigma'nın küçük ve orta ölçekli işletmelerde (KOBİ) nasıl uygulanabilirliği yönünde çalışma yapmışlardır. Pilot uygulama alanı seçilen bölgedeki sonuçlar değerlendirilerek, başarı için neler yapılması gerektiği konusunda bilgiler verilmiştir.

### 3.2. FMEA Çalışmaları

FMEA ile ilgili yapılan çalışmalar genelde otomotiv sektörü ve maliyetlerin azaltılmasına odaklanmıştır. Bu çalışmalar kısaca özetlenirse;

Baysal ve ark. (2002), FMEA çalışmasının nasıl yapılacağı gösterilmeye çalışılmıştır. Burada FMEA süreci, otomotiv endüstrisinde bir uygulaması ve takım çalışması üzerinde durulmuştur. Bir otomotiv yan sanayi işletmesinde gerçekleştirilen FMEA uygulaması neticesinde deneysel değerler kullanılarak (bu nedenle gruba üye seçimi çalışmanın başarısı açısından hayati önem taşımaktadır) proseste olabilecek muhtemel hatalara karşı önlemler geliştirilmiş ve bunların takibine karar verilmiştir.

Atmaca ve Keskin (2005) tarafından yapılan çalışmada, Bursa ilindeki otomotiv yan sanayi işletmelerinin katıldığı TS 16949 Kalite Yönetim Sistemine (KYS) yönelik bir saha araştırması gerçekleştirilmiştir. Uzman yöneticilerin görüşleri doğrultusunda hazırlanan anketler, SPSS paket programında değerlendirilerek, işletmelerin beklentileri ve belgelendirme sonrası elde edecekleri rekabetçi avantajlar ortaya konmuştur. Ayrıca, TS 16949 Kalite Yönetim Sistemine ait bir metot olan, FMEA yönteminin uygulanmasının işletmelere getireceği avantajlar üzerinde de durulmuştur.

Eleren (2007), tarafından yapılan çalışmanın konusu işletme lisans programlarında bulunan üretim yönetimi dersinin eğitim sürecinde başarısızlığa neden olan hata türlerinin FMEA ile değerlendirilmesi üzerinedir. Aynı zamanda eğitim sürecinin geliştirilmesi (iyileştirilmesi) çalışmasının da ilk aşamasını oluşturmaktadır. Üretim yönetimi dersinde elde edilen deneyimler, gözlemler ve öğrencilere yapılan anket uygulamaları çerçevesinde elde edilen bilgiler ışığında derste başarısızlığa neden olan hata türleri belirlenmiş ve FMEA yöntemi ile verilerin değerlendirilmesi sonucu risk öncelik göstergesi puanları hesaplanmıştır. Bu puanların büyükten küçüğe doğru sıralanması sonucunda risklerin önem düzeyi sıralamaları da elde edilmiş ve sürecin geliştirilmesine hazır hale getirilmiştir. Bu çalışmanın devamı olarak süreç iyileştirme faaliyetlerine bir çevrimlik iyileşme sağlanmıştır. Tekrar FMEA yapılarak önceki sonuçlarla karşılaştırıldığında risklerde %21,14 azalma sağlanmıştır.

Erginel (2008), bu çalışmada mekanik termostatın parçaları, müşteri gereksinim ve beklentileri kriter alınarak Analitik Hiyerarşi Süreci ile önceliklendirilmiş ve önceliklendirilen parçalara tasarım FMEA uygulanmıştır. Tüm parçalar göz önüne alınarak yapılan tasarım FMEA'daki hata türleri sayısı ile, önerilen modeldekiler karşılaştırılmış ve %35 azalma tespit edilmiştir. Bu da aynı oranda zaman ve maliyet tasarrufuna karşılık gelmektedir.

Taş (2010), tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans çalışmasında, FMEA analizi orta ölçekli, önemli ölçüde ileri teknoloji kullanan bir mobilya işletmesinde uygulanmıştır. Proses FMEA uygulaması ile mobilya işletmesi için tanımlanan 15 ana süreçte toplam 42 hata tipi tanımlanmış ve önemli iyileştirme fırsatlarının varlığı gösterilmiştir. Bu hata gruplarında, grup ve hata türüne göre değişmekle birlikte RÖG değerlerinde yaklaşık 3 katlık bir azalma gerçekleşmiştir. Örneğin ebatlama işlemindeki gönyesiz kesim RÖG değeri 252'den 84'e, metal işlemede gönyesiz kaynak RÖG değeri 180'den 54'e, postforming işlemindeki laminat kırılması RÖG değeri 144'den 81'e düşmüştür.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

İşletmeleri ekonomik yönden güç duruma düşüren hatalı ürünlerin hiç üretilmemesi elbette istenen ideal bir durumdur. Ancak hatasızlığa teorik olarak yönelmek mümkün olsa bile uygulamada en azından rastgele nedenlerden dolayı hatalara mutlaka rastlanmaktadır. Bugünün işletmecilik dünyasında önemli olan üretim aşamasında, ürünler tüketiciye ulaşmadan önce sistematik ve belirli nedenlerden kaynaklanan hataların tespit edilmesi ve tekrar oluşmaması için gerekli önlemlerin zamanında alınabilmesidir. Bu açıdan metodolojik bir yaklaşım olarak 6 sigma, doğrudan somut bir uygulama tekniği olarak ise Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) önem kazanmaktadır. Özellikle Toplam Kalite anlayışının özünü oluşturan müşteri gereksinimlerinin karşılanması çabası FMEA uygulanmasıyla önemli ölçüde güvenceye alınabilmektedir.

Hatasızlığa yönelim teknik anlamda işletmelerde süreçlerin sigma düzeylerinin artırılması demektir. Altı Sigma hedefi, her bir aşaması güçlü istatistiksel yöntemlerle desteklenen beş aşama halinde uygulamaya konmaktadır. Bu adımlar; “tanımlama-süreçten müşterinin beklentileri, ölçme-hataların frekansı (sıklığı), analiz-neden, ne zaman ve nerelerde hata oluşmakta, iyileştirme-sürec nasıl iyileştirilebilir, kontrol-süreci iyileştirdikten sonra bu şekilde kalması nasıl sağlanabilir” şeklindedir. Bu adımlardan Ölçme ve İyileştirme adımlarında belirleyici ve yönlendirici olan temel teknik FMEA tekniğidir. Nitekim bu tekniğin kalite güvencesini hedefleyen bir mobilya işletmesinde uygulanması ile, hata türlerinde sayı, şiddet ve gerçekleşme olasılığı değerleri 1 ile 6 kat arasında azalmıştır (Taş, 2010).

Bir işletmede tüm süreçlerin takip edilmesini ve güvence altına alınmasını sağlayacak ISO 9001:2008 gibi bir Kalite Yönetim Sistemi mevcut değilse o işletmede güvenilirlikten çok fazla söz edilemez. Elbette bir kalite güvence sistemine sahip olmak da hatasızlık için tek başına yeterli değildir. İşletmelerde kalite güvence sistemlerinin tam olarak sağlanabilmesi ancak Altı Sigma, FMEA gibi yaklaşım ve tekniklerin birlikte uygulanma başarısına bağlıdır. Öncelikle işletmede oluşan veya oluşabilecek hataların adları konulmalı, kayıtları sistematik bir şekilde tutulmalıdır. Ancak bu şekilde gerçek veriler üzerinde detaylı analizler yapılabilir, örneğin hataların ne sıklıkla, ne türde, nereden kaynaklandıkları tespit edebilir ve bu olumsuz sonuçların çözümlenmesi ile ilgili işlemler başlatılabilir.

Gerek Altı Sigma ve gerekse FMEA gibi tüm tekniklerde en önemli kavramlardan birisi de işletme içi eğitim ve personelde oluşturulması gereken kalite kültürüdür. Çalışanların istekli, girişken ve araştırmacı olması önemlidir. Erteleme alışkanlığından kurtulmuş, kısa ve basit adımlarla etkili sonuçlara ulaşmayı alışkanlık haline getirmiş bir personel yapısı sağlanmalıdır.

İşletmelerde hataların oluşmasında ve ortaya çıkmasında birçok etken vardır. Üretilen ürünler yanında bu ürünleri üretmek için kullanılan malzemeler, makine parkuru, üretim prosesi, bakım faaliyetleri ve personelin nitelikleri bilinen parametrelerdir. Bu etkenlere göre ürünün siparişinden, teslimine kadar harcanacak zaman değişebilir. Bu değişimde, üretim yöntemi, personelin bilgi birikimi, motivasyon düzeyi, yönetim anlayışı ve kalite kriterleri yine çok etkilidir.

İşletmelerde hatasızlığa yönelimde tüm faktörlerin kontrol altında tutulmasında, süreç şemalarının varlığı, bu şemalara göre prosedürlerin oluşturulması, prosedürleri destekleyen talimatların ve formların geliştirilmesi, görev tanımlarının yapılması olmazsa olmaz işletmecilik gerekleridir. Süreci veya ürün gamını etkileyecek bir değişiklik yapıldığında gerekli kayıtlar tutulmalı ve ilgili yerlerdeki dokümanlar güncellenmelidir.

Firma içi tetkiklerin ve kalite geliştirme çalışmalarının sistematik bir şekilde takibi önemlidir. Alınan siparişe ilgili tanımlamalar; sipariş alımının doğru yapılması, tasarım çalışmalarında üretim sürecinin göz önüne alınması, malzeme girdi, proses ve çıktı kontrolleri, kontrollerde kullanılan ölçü aletlerinin güvenilirliği ve kalibrasyonu hatasızlığa yönelimde göz ardı edilememesi gereken çalışmalardır.

## Kaynaklar

- Akın, B 1998. ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 35/87
- Antony J, Kumar M, Labib A, 2008. Gearing Six Sigma into UK Manufacturing SME's: Results From A Pilot Study, *Journal of The Operational Research Society*, **4**: 482-493.
- Atmaca E, Keskin H, 2005. Bursa İli Otomotiv Sektöründe TS 16949 Kalite Yönetim Sistemi'nin Rekabetçi Avantajları, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 209.
- Baykoç, Ö F 1998. Karar Ağaçlarında Risk Analizi Yaklaşımı, *G.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **11(2)**: 367-374.
- Baysal M E, Canyılmaz E, Eren T. 2002. Otomotiv Yan Sanayiinde Hata Türü ve Etkileri Analizi, *Teknoloj*, **1-2**: 87.
- Calcutt R, 2001. Why is Six Sigma Successful, *Journal of Applied Statistics*, 301-306.
- Chonghun H, Young-Hak L, 2002. Intelligent Integrated Plant Operation System for Six Sigma, *Annual Reviews in Control*, 27- 43.
- Chowdury S, 2001. The Power of Six Sigma, Subir Chowdhury, Chicago, 25-43.
- De Mast J, Schippers W A J, Does R J M M, Van Den Heuvel E R, 2000. Steps and Strategies in Process Improvement, *Quality and Reliability Engineering International*, 301-311.
- Deshpande P B, Makker S L, Goldstein M, 1999. Boost Competitiveness via Six Sigma, *Chemical Engineering Progress*, **11**: 65-70.
- Eleren A, 2007. Eğitim Başarısının Arttırılmasında Süreç Geliştirme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi*, C.IX, S II, 1-2.
- Erginel N M, 2008. Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği İçin Bir Model ve Uygulaması, *Makina Mühendisleri Odası, Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **15(3)**: 17-26
- Gross J M, 2001. A Road Map to Six Sigma Quality, *Quality Progress*, 24-29.
- Gijo E V, Rao T S, 2005. Six Sigma Implementation-Hurdles and more Hurdles, *Total Quality Management*, **16**: 721-725.
- Hahn GJ, Hill R W, Zinkgraf S A, 1999. The Impact of Six Sigma Improvement—A Glimpse Into the Future of Statistics, *American Statistician*, **9**: 208-215.
- Hoerl RW, 2001. Six Sigma Black Belts:What do they need to know?, *Journal of Quality Technology*, 391-406.

- Kasa H, Boran S 1993. HTEA ve Toplam Kalite Yönetimi İçin Önemi, *YA/EM Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*.
- Lieberman, P 1990. Design FMEA and The Industry, *Journal of Automotive Engineering*.
- Mc Kinney B T, 1991. FMECA The Right Way, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Orlando, USA, Public by IEEE.
- Mil-Std 1629 A, 1984. (Revised) Procedures for performing a Failure Mode Effects and Criticality Analysis, Department of Defence, USA.
- Neuscheler-Fritsch D, Norris R, 2001. Capturing Financial Benefits From Six Sigma, *Quality Progress*, 39-44 .
- Polat A, Cömert B, Arıtürk T 2004. Altı Sigma nedir? İstanbul: Spac Danışmanlık Yazı Dizisi.
- Polat A, Cömert B, Arıtürk T, 2005. Altı Sigma Nedir?, 2.Baskı, SPAC Altı Sigma Danışmanlık, Ankara, 15-125.
- Prasad, S 1990. Improving Manufacturing Reliability in IC Package Assembly Using HTEA Technique, *9th IEEE/CHMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium*, Washington, USA, Publ by IEEE.
- Stamatis D H, 2003. Six Sigma and Beyond Volume VII-The Implementation Process 1th ed., St.Lucie Press, Florida, 95-116. Literatür Araştırması: Altı Sigma Metodolojisi 125 C.14, S.3
- Taş Y, 2010. Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) Tekniğinin Mobilya Endüstrisine Yönelik Uygulaması, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 172.
- Yılmaz BS, 2000., Hata Türü Ve Etki Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, **2(4)**: 134-148.
- Wyper B, Harrison A, 2000. Deployment of Six Sigma Methodology in Human Resource Function: a case study, *Total Quality Management*, **11**: 720-727.
- <http://erp.karmabilgi.net/6sigma-nedir/> (2008)
- <http://www.quality-one.com/main.cfm?cmd=fmea> (2009)
- [www.cityoffortwoyone.org/6sigma.htm](http://www.cityoffortwoyone.org/6sigma.htm) (2005)