

## Altı Sigma Metodolojisi ve Otomotiv Sektöründe Bir Örnek Olay İncelemesi

Arş. Gör. Didem TEZSÜRÜCÜ

Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

Prof. Dr. İlker TUNAİL

Celal Bayar Üniversitesi, İ.İ.B.F.

### ÖZET

*Kalite kavramı, rekabet gücünü arttırmak isteyen işletmeler için oldukça önemli bir unsur haline gelmiştir. Firmalar rekabet avantajı sağlayabilmek için kaliteli ürün üretirken aynı zamanda bu ürünlerin müşteri istek ve gereksinimlerinin de karşılmasına dikkat etmek durumundadırlar. Altı Sigma, müşteri istek ve gereksinimleri ile uyumlu ürün veya hizmet üretebilmek için geliştirilmiş, üretim süreçlerindeki değişkenliğin azaltılması yoluyla süreç kalitesinin iyileştirilmesini hedefleyen önemli metodolojilerden birisidir. Bu çalışmanın temel amacı, Altı Sigma metodolojisinin önemini vurgulamak ve Altı Sigma'yı uygulamayı düşünen firmalara yol göstermek için metodolojinin yararlarını göstermektir. Bu amaçla birinci bölümde, Altı Sigma'nın tanımı, kavramları ve genel özellikleri üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde ise Altı Sigma metodolojisinin uygulanmasında kullanılan süreçten ve yararlanılan istatistiksel yöntemlerden bahsedilmiştir. Uygulama kısmında da otomotiv sektöründe yan sanayi olarak faaliyet gösteren bir firmada Altı Sigma metodolojisinin uygulaması incelenmiştir. Çok sayıda hatanın meydana geldiği ve firma için önemli olan bir süreçte Altı Sigma uygulanması sonucu, süreçte meydana gelen hataların büyük ölçüde azaldığı ve bu iyileştirmenin firmaya somut kazançlar sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.*

***Anahtar Kelimeler:** Altı Sigma, Toplam Kalite Yönetimi, Süreç İyileştirme, TÖAİK*

## Six Sigma Methodology and A Case Study in the Turkish Automotive Industry

### ABSTRACT

*The concept of quality has become an important element for the enterprises wishing to increase their competitiveness. In order to gain competitive advantages, companies should not only manufacture quality products but also pay attention that these products satisfy the needs, wants and requirements of the customer. Six Sigma, by reducing the variability in the manufacturing processes, is one of the major methodologies developed to help manufacture products which are compliant with customers' needs, wants and requirements. The main goal of this study is to emphasize the importance of the Six Sigma methodology and to state the benefits of the methodology so as to guide the companies considering applying Six Sigma. In this regard, we focus in the first chapter on the definition, concepts and general features of Six Sigma. In the second chapter, we mention about the process used in applying the Six Sigma methodology and the statistical methods benefited. In the third chapter which is also the application section of the study, we examine how the methodology is applied in a company which operates in an automotive side industry. This examination revealed that the application of Six Sigma have reduced errors in*

*a process which is important for the company and in which many errors used to occur. Reducing the errors in the process brought significant gains to the company and that improvement along with the theoretical reasoning in the thesis confirms the overall importance of Six Sigma methodology.*

**Key words:** *Six Sigma, Total Quality Management, Process Improvement, DMAIC*

## **1. GİRİŞ**

Firmaların hatasız üretim isteğinin sonucu olarak Altı Sigma kavramı ortaya çıkmış ve yayılmıştır. Altı sigma metodolojisi, ilk olarak 1980’li yıllarda Motorola firmasında uygulanmaya başlamıştır. Amerika’da uygulandığı firmalara sağladığı önemli kazançlardan dolayı oldukça popüler hale gelmiştir. Yabancı ortaklıkların ve yatırımların sayısının artmasıyla birlikte, Altı Sigma metodolojisi ülkemizde de büyük firmalarda uygulanmaya başlamıştır.

Altı sigma metodolojisi milyonda 3,4 hata oranını hedefleyen bir süreç iyileştirme metodudur. Süreçte gözlenen değişkenliğin azaltılması veya giderilmesi yoluyla iyileştirmeler gerçekleştirilir. Bu iyileştirmenin sağlanabilmesi için gerçek süreç verileri ve istatistiksel analizden yararlanır. İyileştirme ile sağlanan Altı Sigma metodolojisinin başlıca yararları; maliyet azaltma, verimliliği artırma, müşteri sadakatini sağlama, hata oranlarını azaltmadır.

Altı Sigma proje odaklı bir yaklaşımdır. Süreçte iyileştirme gereken basamaklar ayrı ayrı projeler olarak ele alınıp iyileştirme yapılır. İyileştirme projelerinde TÖAİK (Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol) döngüsü kullanılmaktadır. TÖAİK döngüsü ile tanımlama aşamasında projenin kapsamı belirlenir, ölçme aşamasında süreçle ilgili ölçümler yapılır, analiz aşamasında toplanan veriler analiz edilir, iyileştirme aşamasında süreçte gerekli iyileştirmeleri yapmak için stratejiler uygulanır ve kontrol aşamasında ulaşılan sonuçlar organizasyonel olarak paylaşılır ve yorumlanır. Kontrol aşamasından sonra, projenin uygulanmasıyla sağlanan somut iyileştirmeler gözlemlendikten sonra projenin başarıyla gerçekleştirildiği sonucuna ulaşılmış olur.

Bu çalışmayla, Altı Sigma metodolojisi, bu metodolojinin ilkeleri ve yararları ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Ayrıca kalite iyileştirme amacını taşıyan Altı Sigma’nın Toplam Kalite Yönetimi felsefesi ile ilişkisi incelenmektedir. Bununla birlikte kalitesizlik maliyetleri ve Altı Sigma metodolojisinin kalitesizlik maliyetleri ile ilişkisi incelenmektedir. Altı Sigma metodolojisinin uygulama sürecine değinilmektedir. Altı Sigma metodolojisinin otomotiv sektöründe uygulanabilirliği araştırılmaktadır. Bu amaçla, otomotiv sektöründe yan sanayi olarak faaliyet gösteren bir firmada, hatalı üretimin azaltılmasına yönelik bir Altı Sigma projesi ele alınmakta, proje aşamaları ve bu aşamalarda kullanılan teknikler incelenmekte ve proje sonunda elde edilen net kazançlar açıklanmaktadır.

## 2. ALTI SİGMA METODOLOJİSİNİN TANIMI, İLKELERİ VE YARARLARI

Altı Sigma metodolojisi, işle ilgili faaliyetlerde başarıyı yakalamak, sürdürmek ve en üst düzeye ulaştırmak için uygulanan kapsamlı ve esnek bir sistemdir. Altı Sigma'yı işleten benzersiz mekanizma, müşteri ihtiyaçlarını derinlemesine anlama; gerçekleri, verileri ve istatistiksel analizleri bir disiplin çerçevesinde kullanma; iş süreçlerini yönetme, iyileştirme ve yeniden keşfetmekten ibarettir (Pande vd., 2004, s.13). Yapılan bir başka tanımda; Altı Sigma, firmaların karşılaştıkları problemleri tanımlamada ve çözüme verileri ve istatistiksel analizleri kullanan bir süreç iyileştirme metodu olarak tanımlanmaktadır (Pande ve Holpp, 2001, s.2). Organizasyonel bir iyileştirme felsefesi olarak görülen Altı Sigma yaklaşımında değişkenliğin temel nedenlerini, başka bir ifadeyle değişkenlik kaynaklarını algılayarak ve azaltarak değişkenliğin giderilmesine odaklanılmaktadır.

Altı Sigma'nın temeli, hatalara dayalı olarak süreci ölçmeye dayanmaktadır. Altı Sigma'nın istatistiksel konsepti, milyon olasılıkta 3,4 hata vererek sürecin mükemmelle yakın olarak çalışması anlamını taşımaktadır (Brue ve Launsby,2003, s.2). Altı Sigma, organizasyondaki süreç veya ürünler için sıfır hatanın gerçekleşeceği konumlama için ürün veya hizmet kalitesinin ölçümünü sağlayan kuramsal istatistiksel ölçümdür. Altı Sigma sadece varyansı ölçmede kullanılan istatistiksel bir yaklaşım değildir, aynı zamanda operasyonel mükemmelliği başarmayı sağlayan bir kültür ve süreçtir (Basu ve Wright, 2003, s.36-37). Altı Sigma sayısal tekniklerle yönetim yaklaşımlarının kesişim kümesinde yer alan bir yaklaşımdır. İstatistiksel bir ölçüm tekniği olan Altı Sigma ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin ne kadar iyi olduğu hakkında sayısal bir göstergedir. Mevcut sürecin sıfır hatalı konumdan ne kadar saptığını gösterir (Erdiller ve Orbak, 2005 s.557).

Metodolojinin başarılı bir şekilde uygulanması için altı kritik ilkeyi içeren Altı Sigma liderlik sisteminin ilkeleri belirlenmiştir. Birinci ilke gerçek müşteri odağıdır. İyileştirmeler müşteri tatmini ve değeri konusunda etkinin derecesine dayanmaktadır. İkinci ilke verilere dayalı yönetimdir. Altı Sigma'nın disiplinli yaklaşımı işletme performansı izlemede anahtar olarak hangi önlemlere gerçekten ihtiyaç duyulduğunu netleştirmekle başlar. Üçüncü ilke süreç odağı, sürecin yönetimi ve süreç iyileştirmeleridir. Hem hizmet hem de üretim sürecinin kontrol edilmesi müşteri memnuniyetinin artmasını sağlamaktadır. Dördüncü ilke proaktif yönetimdir. Farklı durumlar karşısında hızlı bir şekilde yenilikçi kararların alınmasına yardımcı olmaktadır. Beşinci ilke sınırsız işbirliğidir. Ekip çalışması ortak hedeflere ulaşılmasını kolaylaştırır, başka bir ifadeyle müşteriye değer sağlar. Son ilke ise kusursuzluk için çaba gösterme ve başarısızlığın hoşgörülmesidir. Altı Sigma kalite düzeyini takip eden tüm işletmelerin, müşteri ihtiyaçlarındaki değişiklikleri karşılayabilmek amacıyla performanslarını mükemmel düzeye çıkarmaları gerekirken, aynı zamanda meydana gelebilecek

engellerle başa çıkmak için hazırlıklı olmalarını gerektirmektedir (Haikonen vd., 2004, s.372).

Altı Sigma firmalara maliyet azalması, kalite düzeyinin iyileşmesi, gelir artışı, süreç hızında iyileşmeler ve müşteri ilişkilerinin iyileştirilmesi gibi çeşitli yararlar sağlamaktadır. Bunun yanı sıra (Pande vd., 2004, s.40-43); firmaları kalıcı başarıya götürür, müşteriye sunulan değeri arttırır, iyileştirme oranını arttırır, öğrenmeyi ve bilginin yayılımını destekler, stratejik değişimi gerçekleştirir.

### **3. ALTI SİGMA METODOLOJİSİ VE TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ İLİŞKİSİ**

Altı Sigma yaklaşımı, üretim süreçlerinde kullanılmak üzere geliştirilen ve hataların kolayca bulunup hesaplanabildiği bir yaklaşım olarak Toplam Kalite Yönetimi (TKY)'ne dayanmaktadır (Henderson ve Evans, 2000,s.260-261). TKY; tüm organizasyonun verimliliğini, etkinliğini ve rekabet edebilme gücünü iyileştiren bir yaklaşımdır. Her faaliyeti planlama, organize etme ve anlamanın bir yoludur (Senapati, 2004, s.684). TKY mükemmelliği, "sıfır hata" düzeyinde bir ideali hedefleyen bir yönetim felsefesidir. Bu hedefin ulaşılamazlığı, TKY'nin sürekli gelişmeyi sağlayan sonsuz bir yolculuk olmasının nedenidir.

Altı Sigma; TKY ve Sürekli İyileştirme gibi kalite girişimlerinden daha kapsamlı bir yaklaşımdır. Altı sigma metodolojisi ölçülmüş ve raporlanmış finansal sonuçları içerir, daha gelişmiş ek veri analiz araçları kullanır, müşteri sorunlarına odaklanır ve proje yönetim araçları ve metodolojisini kullanır. Altı Sigma metodolojisi aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Altı Sigma = TKY + Güçlü Müşteri Odağı + Ek Veri Analiz Araçları + Finansal Sonuçlar + Proje Yönetimi (Kwak ve Anbari, 2004, s.2).

Altı Sigma'yı TKY'den ayıran anahtar başarı faktörleri; istatistik bilimi ve ölçümlemenin öneminin vurgulanması, farklı düzeylerde eğitim planlarının yapılandırılması (Şampiyon, kara kuşak, yeşil kuşak gibi), TÖAİK gibi problem çözme teknikleri ile proje odaklı yaklaşım, üst yönetim liderliği, sürekli eğitim ve yıllık tasarruf planları ile Juran'ın öğretisinin desteklenmesi, somut tasarruflarla bu etkilerin rakamlaştırılmasıdır (Basu ve Wright, 2003, s.38).

### **4. ALTI SİGMA METODOLOJİSİNİN UYGULAMA SÜRECİ**

Altı Sigma'nın asıl amacı, ürün kalitesi yerine süreç kalitesinin arttırılmasıdır. Sürecin tüm adımlarındaki hata oranlarını da dikkate alarak toplam süreç verimliliği hesaplamak gerekmektedir (Pande vd., 2004, s.100-107). Altı Sigma uygulayan şirketler, süreçlerinin verimliliğini sigma seviyesi adı verilen bir endekle izlemektedirler. Sigma seviyesiyle; ürün başına hata,



kalitesizlik maliyeti, çevrim zamanı ve verimlilik gibi karakteristikler arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır (Polat vd. , 2005, s.30-31).

Altı Sigma'nın uygulanabilmesi için, öncelikle temel süreçlerin ve kilit müşterilerin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra müşteri gereksinimleri tanımlanmaktadır. Mevcut süreç performansı ölçülerek iyileştirmeler öncelik sırasına konulup uygulanması aşamasına geçilmektedir. Son olarak Altı Sigma sisteminin sürece yayılması ve entegre edilmesi gerçekleştirilir (Pande vd., 2004, s.100-107).

Sürecin genel bir haritası çıkarıldıktan sonra, sorun görülen alanlarda Altı Sigma'nın uygulanması proje bazında gerçekleştirilir. Altı sigma projeleri, genel olarak kalite, maliyet ve zaman gibi potansiyel iyileştirmenin üç farklı alanına hitap etmektedir (Pyzdek, 2000, s.1) . Altı Sigma projelerinin üretim ve sürecin çevrim zamanını azaltma, değer katmayan aktivitelerin elimine edilmesi, üretim maliyetlerinin azalması, var olan ürün ve hizmetlerin karlılığının artması, nakit akışının artması, yeni müşteri fırsatları yaratma, firma itibarını arttırma gibi sayısız yararı söz konusudur.

Proje tanımlandıktan sonra projede yer alacak çalışanlar belirlenir. Altı Sigma organizasyonlarında tüm personele aldıkları eğitiminin türüne göre farklı unvan, yetki ve sorumluluklar verilmektedir. Bu unvanlar Altı Sigma'nın uygulandığı organizasyonun yapısı, uygulamanın kapsamı ve projelerin türüne bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Çalışanların üstlendikleri sorumluluklar ve görevleri doğrultusunda aldıkları ünvanlar üst kalite konseyi,yönetici temsilcisi, kalite şampiyonu,uzman kara kuşak, kara kuşak,yeşil kuşak şeklinde olmaktadır.

Altı Sigma projelerinin uygulanmasında TÖAİK olarak kısaltılmış bir standart metodoloji geliştirilmiştir. Bu [Define (Tanımlama), Measure (Ölçme), Analyze (Analiz), Improve (İyileştirme), Control (Kontrol)] kelimelerinin kısaltmasıdır. Bu disiplin Altı Sigma projelerinin açık bir şekilde tanımlanmasını ve uygulanmasını sağlar ve konularının yeniden meydana gelmesini önler (Keller, 2004, s.8). Tanımlama aşamasında projenin kapsamı belirlenir ve ölçümler oluşturulur; ölçme aşamasında başlangıçtaki ölçümler toplanır; analiz aşamasında veri analiz edilir ve daha ileri ölçümler alınır; iyileştirme aşamasında iyileştirmeler yapmak için stratejiler uygulanır ve kontrol aşamasında bulgular organizasyonel olarak paylaşılır. Verileri toplamak, problemleri teşhis etmek ve kazançları sürekli kılmak için bir ölçüm-geri besleme döngüsü kurulur (O'Neill ve Duvall, 2004, s.245). Bu sürecin her aşamasında farklı istatistiksel tekniklerden yararlanır.

## **5. ALTI SIGMA METODOLOJİSİNİN BİR FİRMADA ÖRNEK UYGULAMASI**

Altı Sigma metodolojisinin uygulaması zirai ve ticari araç ve aynı zamanda ağır vasıta jantları üreten bir firmada gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de ilk "tubeless (iç lastiksiz)" ağır vasıta jantlarının üretimini sürdüren firma,

1995'de Alman bir firma ile ortaklık kurmasıyla teknolojik yenilikleri dünya ile aynı anda uygulamaya başlamıştır. 1996'da Manisa Organize Sanayi Bölgesi'ndeki yeni fabrikasında üretime başlayan firma; otobüs, kamyon, treyler ve çekici gibi ağır vasıtalar, minibüs, pick-up ve hafif kamyon gibi ticari vasıtalar, zirai araç, yol ve iş makinaları gibi çeşitli endüstriyel vasıtalar için "tubeless" ve "tube type (iç lastikli)" jantlar üretmektedir.

Süreçte hata teşkil eden basamakların belirlenebilmesi amacıyla öncelikle üretim sürecinin bir haritası çıkarılmıştır. İşletmenin genel üretim süreci Ek 1' de gösterilmiştir. Üretim tesisi kasnak, disk, montaj ve boya hattı olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır. Süreç, üretimde kullanılmaya hazır hammaddenin üretim sürecine alınmasıyla başlar. Sac malzeme kullanılarak üretilen jant, kasnak ve disk şeklinde iki parçadan oluşmaktadır.

Disk ve kasnak hattından geçip, montajlanarak son şeklini alan jantlar boyahaneye gelmektedir. Jantlar ilk basamakta kancalara asılarak boyahane üretim hattına alınırlar. Jantlar hazırlandıktan sonra, ön düzey hazırlama işlemlerine tabi tutulurlar. Ön yüzey temizlemeden sonra, jant yüzeyinin kataforez kaplama işlemi elektroliz yoluyla yapılmakta olup paslanmaya ve atmosfer etkilerine karşı en uygun şekilde koruma altına alınır. (Kataforez kaplamada, elektroliz yoluyla jant siyaha boyanmaktadır.) Kataforez kaplamadan sonra jantlar kataforez fırınlama işlemine tabi tutulmaktadır. Fırınlama işleminden sonra son kat boya ve son kat fırınlama işlemi yapılarak jantın boyahane sürecinde geçireceği faaliyetler tamamlanmaktadır.

### **5.1. Altı Sigma Projesinin Seçimi**

Uygulanacak projenin seçimi için tüm süreç incelenmiş ve süreçte var olan problemler belirlenmiştir. Boyahane sürecindeki problemin daha öncelikli olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümler sonucu, süreçteki boya esaslı kusurların oranının ortalama % 7,34 olduğu bulunmuştur. Bu oran oldukça yüksek bir orandır. Bu sebeple, boyahane kaynaklı hataların düşürülmesi ile ilgili Altı Sigma projesinin uygulanmasına karar verilmiştir.

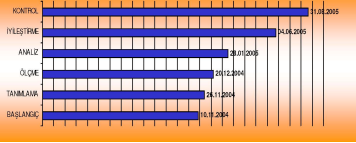
### **5.2. Altı Sigma TÖAİK Süreci**

Proje seçildikten sonra, problemin ortadan kaldırılması amacıyla, Altı Sigma metodolojisinin uygulanmasında kullanılan bir araç olan TÖAİK uygulanmaya başlamıştır.

#### **5.2.1. Tanımlama Aşaması**

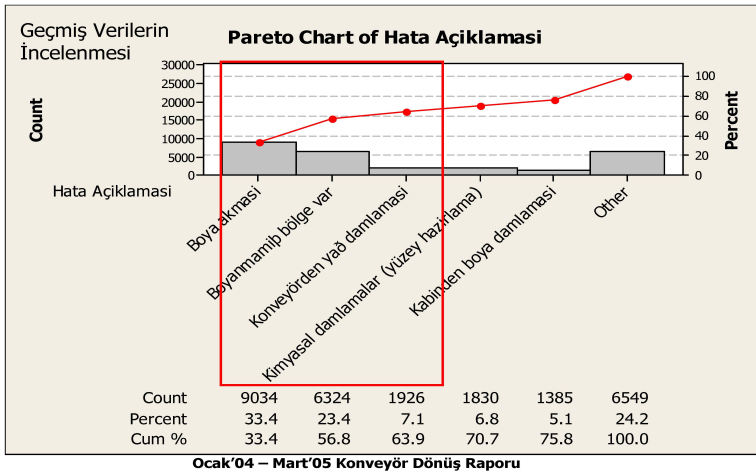
Problemin temel nedeninin belirlendiği bu aşamada proje beyannamesi oluşturulup projenin tanımlanması yapılmaktadır. Proje beyanına göre; yürütülecek olan Altı Sigma projesinin tanımı, boya esaslı kusurların % 7,34'den % 2'ye indirilmesi olarak yapılmıştır. Projenin tamamlanmasıyla yıllık 85000 € kazanç sağlanması hedeflenmektedir. Proje beyanında ayrıca projede yer alacak altı sigma organizasyonu üyeleri, projenin TÖAİK aşamalarının zamanları, projenin sınırları ve projenin tanımlanmasıyla elde edilecek kazanımlar belirlenmiştir.

Tablo 1: Proje Beyanı

<b>Proje Tanımı (Ne?)</b> Boya esaslı kusurların oranının ortalama % 7,34'den ortalama % 2'ye indirilmesi. ( Bu kapsamda boya akmaları, boyasız bölge ve kimyasal damlama hataları öncelikli incelenecektir.)	<b>Kazanımlar (Nasıl?)</b> Tashihlerde azalma Kapasite artışı Boya tüketiminde azalma İade oranlarından azalma Müşteri memnuniyeti Maliyetlerde azalma Verimlilik artışı
<b>Hedefler (Ne kadar?)</b> Boya esaslı kusurların oranının % 7,34'den % 2'ye indirilmesi 85.000 € / Yıl kazanç	<b>Proje Sınırları (Nerede?)</b> Kapsam : Jant asmadan ambalajlama operasyonuna kadar olan süreç. Kapsam Dışı : Aşırı kumlama, paslanma, bokö işlemi ve montaj hatlarından kaynaklanan boya kusurları.
<b>Zaman Planı (Ne zaman?)</b> 	<b>Ekip Üyeleri (Kim?)</b> Lider : ..... Sampiyon : ..... Süreç Sahibi : ..... Üyeler : ..... ..... .....

### 5.2.1.1. Pareto Şeması

Proje beyanı tamamlandıktan sonra, meydana gelen hataların % 70'ini kapsayan Pareto Şeması hazırlanmıştır.



### Şekil 1:Hata Açıklamasının Pareto Şeması

% 70'lik bölümde üç hata tipi söz konusudur. Bu üç hata tipi arasından boya akması % 33,4 ile en büyük yüzdeye sahiptir. Boya akmasından kaynaklanan hataların öncelikle düzeltilmesi gerektiği belirlenmiştir.

### 5.2.1.2. Müşterinin Sesi

Müşterinin sesinin toplanması çalışmaları, Altı Sigma projelerinin tanımlama aşamasında önemli bir yer tutmaktadır. Müşterinin sesinin

toplanmasıyla, müşterinin ürünle ilgili memnuniyetsizlikleri ve şikayetleri belirlenir.

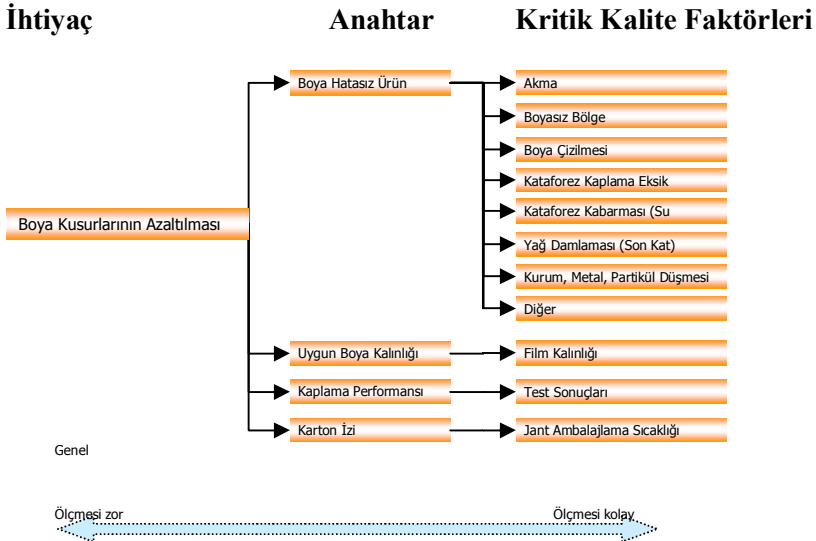
Tablo2: Müşterinin Sesi

Kim?	Ne & Niçin?
Yönetim Kalite Sistemi Sevkiyat OEM Aftermarket	Boya Hatasız Ürün Uygun Boya Kalınlığı Kaplama Performansı Boya üzerinde karton izi olmamalı
Kaynaklar	
PASİF KAYNAKLAR: Günlük konveyör final kontrol raporu Aylık kalite kontrol hata analiz raporu Müşteri iadeleri raporu	AKTİF KAYNAKLAR: Günlük kataforez konveyörü final kontrol raporu
Çalışma Planı - ÖZET	
Geçmiş verilerin incelenmesi (Hata Analizi) Müşterinin sesinin tespiti CTQ belirleme ve ağırlık puanlaması SIPOC ve Detaylı süreç şeması S&S Matrisi Kontrol Planı	

Bu çalışma ile müşterinin janttan beklediği özellik ve jant ile ilgili memnuniyetsizlikleri belirlenmiştir. Müşterilerin satın aldığı janttan beklentisi, boya hatalarının olmamasıdır.

### 5.2.1.3. Ağaç Diyagramı

Bu projede, belirlenen problemin alt problemlerini ve kalite karakteristiklerini belirlemek amacıyla Ağaç Diyagramı tekniğinden yararlanılmıştır. Boya hatalarına neden olan önemli karakteristiklerin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 2: Ağaç Diyagramı

Boya kusurlarının azaltılması; boya hatasız ürün üretme, uygun boya kalınlığı, kaplama performansı uygunluğu ve karton izinin olmaması ile sağlanacaktır. Yapılan incelemeler sonucu, süreçte sorun teşkil eden boya kusurlarının azaltılmasındaki anahtar faktörlerin dörde ayrıldığı bulunmuştur. Bu faktörlerden en önemlisi boya hatasız ürün üretmedir. Boya hatalarının nedenleri akma, boyasız bölge, boya çizilmesi, kataforez kaplamanın eksik olması, kataforez kabarması (su birikmesi), yağ damlaması, kurum partikül ve metal düşmesi ve diğer sebepler olarak belirlenmiştir.

#### **5.2.1.4. Sebep Sonuç Matrisi**

Boyahane sürecindeki süreç adımlarını, süreç girdilerini ve çıktılarını ve bunlar arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla sebep sonuç matrisi düzenlenmiştir. Sebep sonuç matrisinde, çıktılar ve bu çıktılardan oluşmasını sağlayan girdilerin ilişkileri gösterilir. Süreç adımları ve süreç girdilerinin yer aldığı bir matris olan sebep sonuç matrisinde, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkilere 1-10 arasındaki değerler verilerek girdilerin hatalı çıktıya sebep olma dereceleri belirlenmiştir. Düzenlenen sebep sonuç matrisine göre; son kat boyama, son kat konveyörü, görsel kontrol, kataforez konveyörü ve jant asma gibi süreç adımları hataların daha fazla görüldüğü adımlardır. Bu süreç adımları öncelikle ele alınıp gerçekleşen hatalar ortadan kaldırılmaya çalışılmalıdır.

Sebep sonuç matrisinin düzenlenmesinden sonra, süreç adımlarında meydana gelen hata oranları belirlenmiş ve Pareto şeması yardımıyla hataların en fazla görüldüğü süreç adımları tespit edilmiştir. Son kat boyama ve süreçteki diğer operasyonlarda meydana gelen hata yüzdeleri yüksektir.

Sebep sonuç matrisinin düzenlenmesinden sonra, süreç adımlarında meydana gelen hata oranları belirlenmiş ve Pareto şeması yardımıyla hataların en fazla görüldüğü süreç adımları tespit edilmiştir. Pareto şemasından son kat boyamada % 21, kataforez banyosunda ve son kat konveyörde % 7, durulamada %6, fosfatlama ve kataforez konveyöründe % 5, kirli UF durulamada % 4, aktivasyon, durulama 3, yağ alma 1, yağ alma 2, jant aktarma, durulama 1, durulama 2, pasivasyonda % 3, diğer nedenlerden % 5 oranında hata gerçekleştiği görülmektedir. Son kat boyama ve süreçteki diğer operasyonlarda meydana gelen hata yüzdeleri yüksek olduğu için öncelikli iyileştirmelere bu süreçlerden başlanacaktır.

#### **5.2.2. Ölçme Aşaması**

Mevcut durumun belirlenmesi amacıyla taşıyan ölçme aşamasında, projenin mevcut durumunun görülebilmesi için ilgili verilerin toplanması gerçekleştirilmektedir. Bu sayede; süreç performansı hakkındaki verileri elde ederek problem alanları belirlenecektir. Ölçüm planı doğrultusunda, gerekli olan ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Boya hatasında ölçüm sistemi analizi kullanılarak ölçümler yapılmıştır.

### 5.2.2.1. Ölçüm Analizi (Gage R&R)

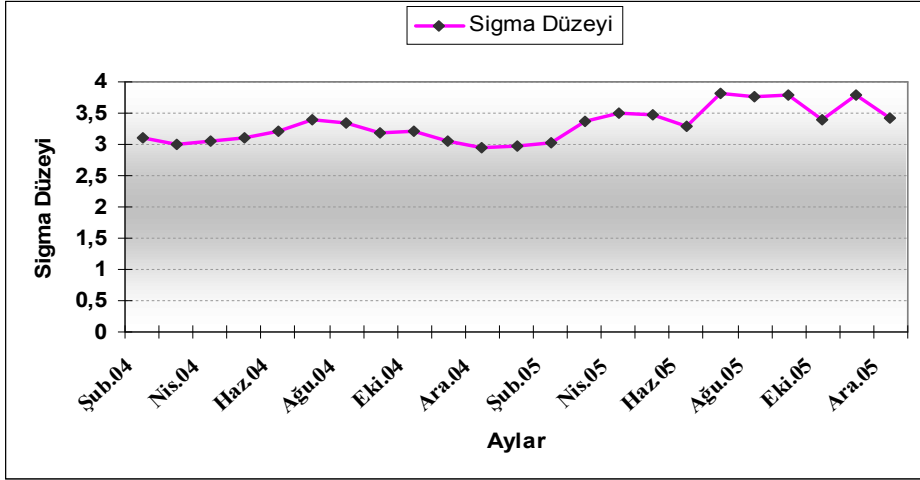
Boya kusurları için ölçüm sistemi yeterliliğinin saptanmasında yapılan Gage R&R (yeniden üretilebilirlik ve yinelenebilirlik) analizi farklı üç operatör için yapılmıştır. Boya kusurları için yapılan nitel Gage R&R analizinde; 25 örnek ölçüm ele alınmıştır. Üç farklı operatör aynı özelliği iki kere gözlemlemektedir. Yapılan 25 gözlemden 19 olumlu 6 olumsuz sonuca ulaşılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda %76 oranında uygunluk bulunmuştur.

Tablo 3: Ölçüm Sistemi Analizi (Gage R&R)

Örnek	Uzman	Operator 1		Operator 2		Operator 3		EH
		1. Gözlem	2. Gözlem	1. Gözlem	2. Gözlem	1. Gözlem	2. Gözlem	
1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NOK	H
2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
3	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	E
4	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	E
5	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
6	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	E
7	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	H
8	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
11	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
12	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	OK	H
13	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	E
14	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
15	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
16	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	OK	H
17	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	E
18	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
19	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
20	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK	H
21	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
23	OK	OK	OK	OK	NOK	OK	OK	H
24	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
25	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	E
		22/25	88%	24/25	96%	23/25	92%	76%

### 5.2.2.2. Süreç Sigma Düzeyi

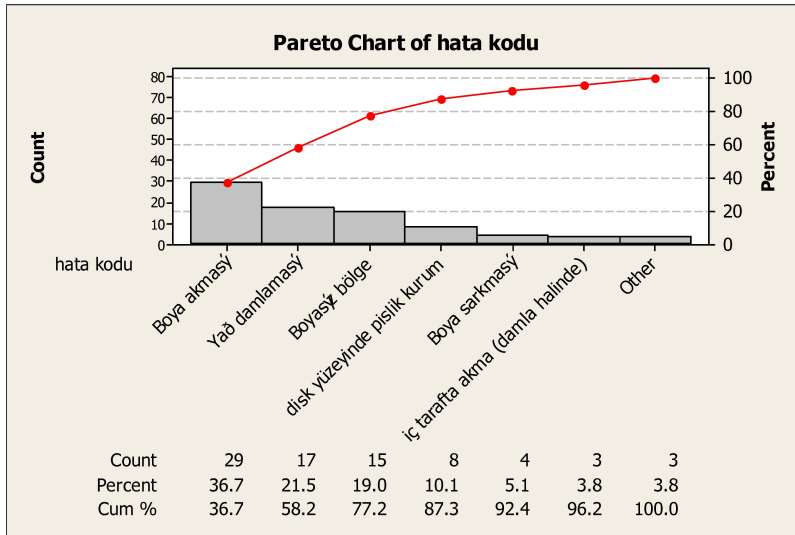
Ölçme aşamasında, hata oranlarından yola çıkılarak sürecin sigma düzeyi hesaplanmaktadır. Milyonda hata sayıları ve hesaplanan sigma düzeyleri tablosu Ek 2’de verilmiştir. Projenin başlangıç dönemi olan Kasım 2004’te gerçekleşen milyonda hata sayısı 51.593 ve milyonda hata sayısına denk gelen sigma değeri 3,06 olarak hesaplanmıştır. Milyon üretimde 51.593 hatalı jant oldukça yüksek bir rakamdır. Süreçte iyileştirmeler sağlanarak bu rakam azaltılmaya çalışılacaktır.



Şekil 3: Aylara Göre Hesaplanan Sigma Düzeyleri

### 5.2.3. Analiz Aşaması

Altı Sigma'nın analiz aşaması, projenin tanımlanması ve mevcut durumun belirlenmesinden sonra elde edilen verilerin yorumlanması ve analiz edilmesi aşamasıdır. Boyama hataları ile ilgili bulunan % 76'lık değer yükseltilmelidir. Bunun için de boya hatasına sebep olabilecek hata kodlarının belirlenmesi için Pareto Şeması kullanılmıştır.



Şekil 4 : Hata Kodunun Pareto Şeması

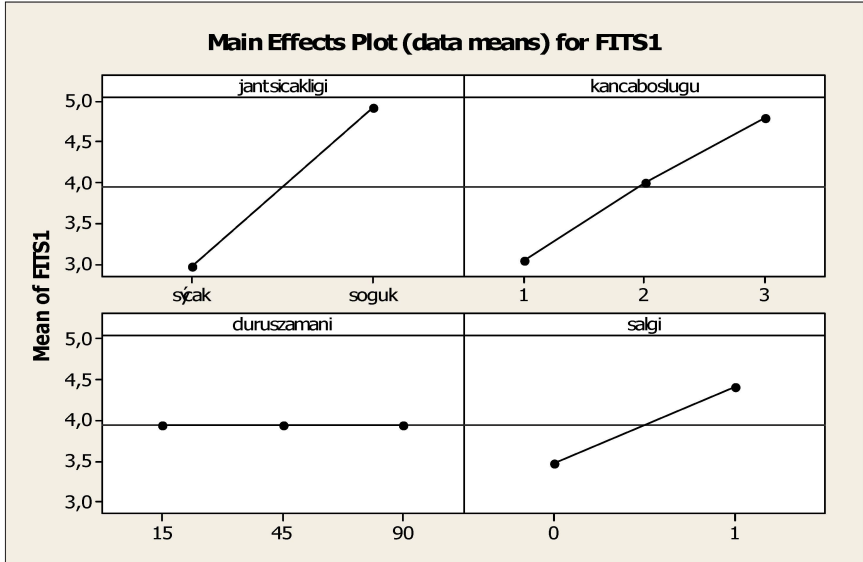
Pareto şemasında yedi farklı hata kodu baz alınmıştır. Boya hatası olan 79 adet jantın 29'u boya akması, 17'si yağ damlaması, 15'i boyasız bölge olması, 4'ü boya sarkması, 3'ü iç tarafta akma, 3'ü diğer durumlardan kaynaklanmaktadır. Boya akması % 36,7'lik oran ile hataya en fazla neden olan bir kusur olarak belirlenmiştir.

#### 5.2.4. İyileştirme Aşaması

Altı Sigma'nın iyileştirme aşaması; süreçte hataya neden olan faktörlerin belirlenmesinden sonra bu problemlerin nasıl ortadan kaldırılabilceği ve ne gibi iyileştirmelerin yapılabileceğinin belirlendiği aşamadır. Jant boyasında hataya neden olan akmayı ortaya çıkaran değişkenler için çeşitli deneyler tasarlanmıştır. Akmanın jant sıcaklığı, kanca boşluğu, duruş zamanı ve salgıdan kaynaklanabileceği düşünülerek bu yönde deneyler tasarlanmıştır.

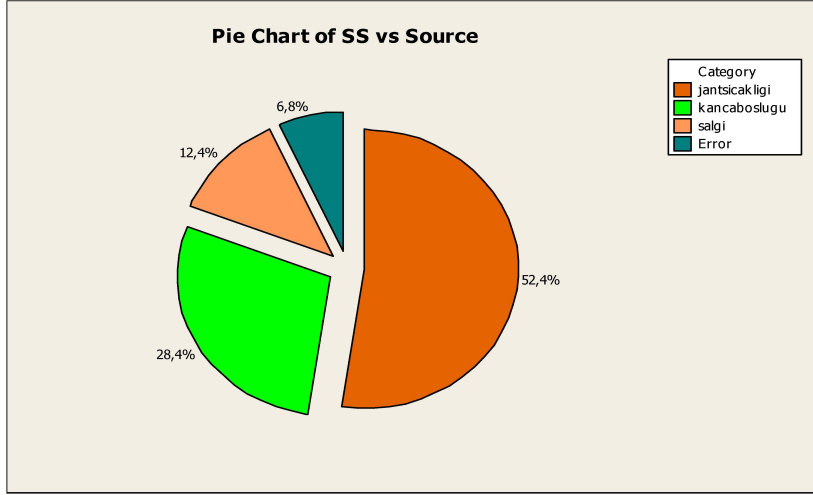
Jant sıcaklığı sıcak ve soğuk olarak belirlenmiştir. Jant sıcakken daha az akma, jant soğukken daha fazla akma meydana gelmektedir. Kanca boşluğu 1, 2, 3 gibi üç farklı durum için deney tasarlanmıştır. Kanca birinci durumda iken daha az akma üçüncü durumda iken daha fazla akma görülmüştür. Duruş zamanında 15, 45 ve 90 dakika için tasarlanan deneyler sonucunda, sürelere göre akmada herhangi bir değişiklik söz konusu olmamaktadır. Duruş zamanı akmadan kaynaklanan hataları etkilememektedir. Salgı için 0 ve 1 gibi iki farklı durum için yapılan deney sonucunda salgı 0'da iken daha az, salgı 1'de iken daha fazla akma meydana gelmiştir.

Tablo 4: Akma İçin Deney Tasarımı



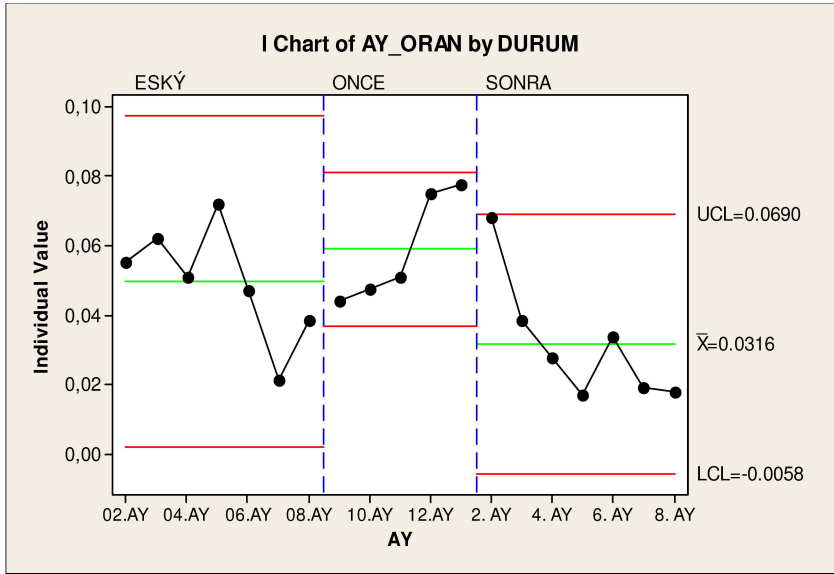


Bu etkiler değerlendirildiğinde; boyama hatalarına en yüksek etkiyi %52,4 ile jant sıcaklığı, sonra %28 ile kanca boşluğu ve daha sonra %12,4 ile salgı yapmaktadır.



Şekil 5: Boya Akmasına Neden Olan Faktörlerin Dağılım Grafiği

Boyadaki akma kusurlarına neden olan jant sıcaklığı, kanca boşluğu ve salgı faktörlerinde yapılacak iyileştirmeler belirlenmiştir. İlk olarak; jant sıcaklığındaki iyileştirmeler üzerinde durulmaktadır. Jantlar soğukken daha fazla akma hatası olduğu için 30 dakikanın üzerinde her türlü durumda jantların fırından bir kez geçirilip ısıtılmasına karar verilmiştir. Boş kancalara olan ihtiyacı giderebilmek için üretim bantına 50 adet yedek kanca eklenmiştir. Bantta sorun yaratan, dönmeyen ve jant asılamayan kancalar tamir edilmiştir. Kancaların dönmesiyle ilgili olarak; son kat konveyörü trolley, lama ve zincirleri değiştirilmiştir. Kancaların dönüş hızı optimize edilmiştir. Döndürme ünitesi pozisyonu optimize edilmiştir.



Şekil 6: Aylara Göre Hata Oranlarının Karşılaştırılması

Eski durum, proje öncesi ve sonrası durum birlikte ortaya koyulmuştur. Proje uygulanmadan önceki durumda alt spesifikasyon limiti %1 üst spesifikasyon limiti %9 ve ortalama değer %5 olarak belirlenmiş ve aylara göre hata oranları %5, %6,2, %5, %7, %4,9, %2, %4 olarak gerçekleşmiştir. Proje öncesinde alt spesifikasyon limiti %4 üst spesifikasyon limiti %8 ve ortalama değer %6 olarak belirlenmiş ve hata oranları %4,5, %5, %5,5, %7 ve %8 olarak gerçekleşmiştir. Proje uygulaması sırasındaki durumda alt spesifikasyon limiti %0,05 üst spesifikasyon limiti %7 ve ortalama değer %3 olarak belirlenmiş ve hata oranları %7, %4, %3, %2, %3,5, %2 şeklinde meydana gelmiştir. Projenin uygulanması ile sağlanan iyileştirmeler sonucu firmanın hatalı üretim oranı 0,02' ye inmiştir.

### 5.2.5. Kontrol Aşaması

Altı Sigma'nın kontrol aşaması, Altı Sigma projesi ile sağlanan iyileştirmenin sürekliliğinin sağlanması için gerekli kontrollerin yapıldığı aşamadır. Kontrol aşamasında, projenin uygulanmasıyla elde edilen iyileştirmenin sürekliliğinin sağlanması için kalite planları, operasyon planları ve son kat boyama talimatı oluşturulmuştur.

Bunlara ilave olarak bir simülasyon analizi yapılmıştır. Proje ile ilgili olarak 23 adet gözlem verisine ulaşıldığı için; milyonda hata değerlerinin nasıl gerçekleşeceğini görebilmek amacıyla rastgele sayılar türeterek DS For Windows programında basit bir simülasyon uygulaması yapılmıştır. 23 adet veri 6000 sınıf aralıklı 10 sınıfa gruplanmış ve frekansları bulunmuştur. 100 deneme ile yapılan simülasyon sonuçları tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5 : Milyonda Hata Değerleri İçin Simülasyon Uygulaması

Category name	Value	Frequency	Probability	Cumulative Probability	Value * Frequency	Occurrences	Percentage	Occurrence * Value
Category 1	20.571,	7,	0,3043	0,3043	6.260,739	35,	0,35	719.985,
Category 2	26.572,	2,	0,087	0,3913	2.310,609	13,	0,13	345.436,
Category 3	32.573,	1,	0,0435	0,4348	1.416,217	5,	0,05	162.865,
Category 4	38.574,	2,	0,087	0,5217	3.354,261	10,	0,1	385.740,
Category 5	44.575,	3,	0,1304	0,6522	5.814,13	12,	0,12	534.900,
Category 6	50.576,	2,	0,087	0,7391	4.397,913	8,	0,08	404.608,
Category 7	56.577,	2,	0,087	0,8261	4.919,739	3,	0,03	169.731,
Category 8	62.578,	1,	0,0435	0,8696	2.720,783	4,	0,04	250.312,
Category 9	68.579,	1,	0,0435	0,913	2.981,696	3,	0,03	205.737,
Category 10	74.580,	2,	0,087	1,	6.485,217	7,	0,07	522.060,
<b>Total</b>		<b>23,</b>	<b>1,</b>	<b>Expected</b>	<b>40.661,31</b>	<b>100,</b>	<b>1,</b>	<b>701.374,</b>
							<b>Average</b>	<b>37.013,74</b>

Yüzde sütunu incelendiğinde; rastgele sayıların % 35'i 1 sınıfta yer alacak ve milyonda 20571 hatalı üretim gerçekleşecektir. Sayıların % 13'ü 26572 sınıf aralığında yer alacaktır. Milyonda hatanın yüksek olduğu sınıflarda daha düşük yüzdelere, milyonda hatanın düşük olduğu sınıflarda daha yüksek yüzdelere gözlenmektedir. Projeden sonra gerçekleşen üretimde, hatalı üretimin azalacağı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu doğrultuda projenin uygulamasının firmanın hatalı üretiminin azalmasına olumlu katkıda bulunduğu görülmektedir.

## 6.SONUÇ

İşletmelerin faaliyet gösterdikleri sektörde başarılı olabilmeleri için verimli ve karlı olarak çalışmalarını gerekmektedir. Altı Sigma, işletmelerin verimlilik ve karlılıklarını önemli ölçüde iyileştirmelerini sağlayan bir yönetim sistemidir. Altı Sigma metodolojisinde, fire ve kaynak kullanımı minimize edilirken müşteri memnuniyeti ve sadakatının artırılması için iş süreçlerinin gözden geçirilip, iyileştirilmesi esastır. Müşteri memnuniyetine önem vererek, süreçteki iyileştirmeleri gerçekleştirme amacını taşıyan Altı Sigma, içinde buldukları zorlu pazar koşullarında rakiplerinden başarılı olmak isteyen işletmelerin uygulaması gereken son derece yararlı bir metodolojidir. Altı Sigma metodolojisinin üstün yönlerinden birisi süreçten elde edilen gerçek verilerin ve bilgilerin kullanılıyor olmasıdır. Süreçte sorun teşkil eden süreç adımı belirlendikten sonra sürecin mevcut durumu ölçülerek tamamen gerçek

veriler elde edilir. Yapılması gereken iyileştirmeler bu gerçek veriler üzerinden belirlenir. Bu şekilde daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiş olur.

Altı Sigma geniş istatistiksel teknikleri bünyesinde bulundurmaktadır. Gerçek süreç verilerinin analizinde istatistiksel tekniklerden yararlanmaktadır. Verilerin istatistiksel olarak analiz edilmesiyle, süreçteki problem daha net ve açık bir şekilde görülebilmektedir. Yapılacak yorumlar ve önerilecek çözümler daha mantıklı ve gerçeklere dayalı olacaktır. Altı Sigma'nın uygulandığı bir süreçte, sağlanan iyileştirme ve bu iyileştirme sonucu elde edilen parasal kazançlar somut bir şekilde görülmektedir. Hedeflenen değere ulaşıp ulaşılmadığı net olarak görülmüş olur.

Bu çalışmada, Otomotiv sektöründe yan sanayi olarak faaliyet gösteren ve jant üretimi gerçekleştiren bir firmada üretim sürecinde meydana gelen hataların ortadan kaldırılması amacıyla Altı Sigma metodolojisi uygulanmıştır. Sürecin incelenmesi sonucu, farklı süreç aşamalarındaki problemlerden öncelikli olarak boyahane sürecindeki hataların giderilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Jantın boyanmasından kaynaklanan hatalar % 7 gibi oldukça yüksek bir orana sahiptir. Bu sebeple boya kaynaklı kusurların azaltılmasına yönelik olarak bir proje seçilmiş ve Altı Sigma araçları uygulamaya koyulmuştur. Proje seçildikten sonra; TÖAİK süreci çerçevesinde ele alınarak projede hedeflenen iyileştirme gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. TÖAİK döngüsünün tamamlanmasıyla birlikte projenin başlangıcında hedeflenen iyileştirme gerçekleştirilmiş ve hata oranları oldukça azaltılmıştır. Projenin başlangıcında %7 olan hata oranı proje sonunda %2'ye indirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, projenin uygulanmasından sonraki durumda, hata oranlarında azalmalar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Projenin uygulanmasıyla birlikte sigma düzeylerinde artış meydana gelmiştir. Projenin başlangıcında 3,09 olan sigma düzeyi projenin tamamlanmasıyla 3,41'e yükselmiştir. Projenin uygulanmasıyla birlikte, tashihlerdeki azalma nedeniyle 27532 €'luk kazanç sağlanmıştır.

#### **KAYNAKÇA**

- BASU, R., WRIGHT, J. N.; Quality Beyond Six Sigma, Boston Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003.*
- BRUE, G., LAUNSBY, R. G.; Design for Six Sigma, London McGraw-Hill Professional, New York, 2003.*
- ERDİLLER, A., ORBAK, A.Y.; "Otomotiv Yan Sanayinde Altı Sigma Araçlarının Kullanımı ve uygulama Örneği", V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25-27 Kasım 2005, s.557-559.*
- HAIKONEN,A., SAVOLAINEN,T., JARVINEN,P.; "Exploring Six Sigma And CI Capability Development: Preliminary Case Study Findings On Management Role", Journal of Manufacturing Technology Management, Vol.15, No. 4, 2004 , s. 369-378.*
- HENDERSON, K. M., EVANS,J.R.; "Successful Implementation of Six Sigma: Benchmarking General Electric Company", Benchmarking: An International Journal, Vol.7, No. 4, 2000, s. 260 – 282.*

- KELLER, P. A.; *Six Sigma Demystified : A Self-Teaching Guide*, Blacklick, OH.: McGraw-Hill Companies, 2004.
- KWAK, Y. H., ANBARI, F. T.; “Benefits, Obstacles, And Future Of Six Sigma Approach”, *Technovation*, 2004, s.2.
- O’NEILL, M., DUVALL, C. ;“A Six Sigma Quality Approach To Workplace Evaluation”, *Journal of Facilities Management*, Vol. 3, No.3, 2004, s. 240–253.
- PANDE, P.S., HOLPP, L.; *What is Six Sigma*, Mc Graw- Hill Professional, 2001.
- PANDE, P. S., NEUMAN, R. P., CAVANAGH, R. R.; *Six Sigma Yolu GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri*, (Çevirenler: Nafiz Güder, Güneş Tokcan), Klan Yayınları, İstanbul, 2004.
- POLAT, A., CÖMERT, B., ARITÜRK, T.; *Altı Sigma Nedir?*, Pelin Ofset Matbaacılık, 2. Baskı, Ankara, 2005.
- PYZDEK, T.; “Selecting Six Sigma Projects”, *Quality Digest*, No.9, 2000, s.1.
- SENAPATI, N. R.; “Six Sigma: Myths And Realities”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 21, No. 6, 2004, s. 683 – 690.
- TEZSÜRÜCÜ, D. “ Altı Sigma Metodolojisi ve Otomotiv Sektöründe Bir Örnek Olay İncelemesi”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Manisa, 2006’dan derlenmiştir.

