

# ALTI SİGMA YAKLAŞIMI VE SAVUNMA SANAYİ SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Müge AKYÜZ ÇAĞLAR\*, Mustafa KURT

Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara  
mugeakyuz@gmail.com  
mkurt@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi: 16.09.2015; Kabul Ediliş Tarihi: 24.08.2016

## ÖZ

Altı sigma yaklaşımı, imalat ve hizmet sektörlerindeki rekabet ile her geçen gün artan kalite beklentisinin karşılanabilmesi amacıyla kullanılan en önemli yaklaşımlardan biridir. Bu çalışma kapsamında, altı sigma ve kullanım alanları hakkında literatür araştırması yapılmış ve elde edilen bulgular sonucunda kalite beklentisinin oldukça yüksek olduğu savunma sanayinde bir altı sigma uygulaması yürütülmüştür. Altı sigmanın TÖAİK adımları izlenerek yürütülen çalışmada, SIPOC diyagramları, ölçüm sistemleri analizi, hipotez testleri, kök neden analizi gibi tespit araçları kullanılarak kalitesizlik kaynaklarının tespiti ve temel sorun üzerinde iyileştirmeler yapılarak beklenen Cp, Cpk değerlerine ulaşılması sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yalın üretim, altı sigma, TÖAİK

## LEAN SIX SIGMA APPROACH AND AN APPLICATION FOR DEFENCE INDUSTRY

### ABSTRACT

Six sigma approach is one of the most important approaches to compete with ever increasing quality expectations in the manufacturing and services sectors. In the context of this study, a lean six sigma literature research is conducted and as a result of the findings was carried out a six sigma implementation to a problem in defense industry. Six sigma study was conducted using DMAIC steps, SIPOC diagrams, measurement systems analysis, hypothesis testing, root cause analysis tool to achieve the expected Cp, Cpk values.

**Keywords:** Lean manufacturing, six sigma, DMAIC

---

\* İletişim yazarı

## 1. GİRİŞ

Şirketlerin var olma amacı kar elde etmektir. Verimlilik, tüketilen kaynakların etkili olma miktarıyla ilgilidir. Verimlilik, zaman, maliyet, işgücü ya da değer cinsinden ölçülebilir. İşletmeler kar elde etme amaçlı olarak varlıklarını sürdürdüklerinden, verimliliğe odaklanmadan müşteriye odaklanmak iyi bir işletme kararı olmayacaktır. Altı sigma, temel düzeyde aynı anda hem verimliliği hem de etkililiği iyileştirmeye yönelik bir girişimdir (Eckes, 2007). Başka bir ifadeyle altı sigma, temel olarak, hizmet ve imalat sektörlerinde; karar verme süreçlerinde deneyim yanında, doğru verinin doğru analizi ile oluşabilecek riskleri, yönetsel ve istatistiksel araçlar ile yöneten bir stratejidir.

Bu çalışmada, altı sigma tekniğini savunma sanayisinde faaliyet gösteren bir firmanın üretim süreçlerinden biri üzerinde uygulayarak müşteri isteklerine ulaşmak hedeflenmiştir. Literatür araştırması bölümünde, altı sigma strateji ve metodolojisi hakkında bilgi verilmiş, altı sigma tekniğinin temelini oluşturan istatistiksel teknikler üzerine yoğunlaşmıştır.

Çalışmanın uygulama aşamasında, altı sigma DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) adımları takip edilerek yalın üretim tekniklerinin, altı sigma teknikleri ile eş zamanlı olarak kullanılmasını içeren uygulama aşamaları anlatılmıştır. Uygulamada, kullanılan teknik detaylara yer verilerek deneysel tasarım sonuçları analiz edilmiştir. İyileştirme aşamasında ise sorunla ilgili çözümsel yaklaşımlar anlatılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1 Altı Sigmanın Tarihsel Gelişimi

Yeni bir teknik olmayan altı sigma metodolojisi, 1980'lerde ilk olarak bir Amerikan şirketi olan Motorola'da kullanılmaya başlanmıştır. Motorola'da çalışan Mikel Harry, üretim sırasında çok fazla hata oranının getirdiği verimsizlikten dolayı, ürünün kalitesinden çok süreçteki değişkenlikler ve sapmalar üzerinde çalışmalar yapmaya başlamıştı. Çalışmalara başladıktan kısa bir süre sonra, süreçlerdeki sapmaların çok fazla olmasının müşteri memnuniyetsizliğine ve müşterilerin ihtiyaçlarının karşılamada yetersizliğe neden olduğu görülmüştür (Eckes, 2007). Bill Smith, hataların azaltılmasını sağlayacak pratik yollar arayışına girerek dört

aşamalı problem çözme yaklaşımı olan MAIC'i (Ölçme, Analiz Etme, Geliştirme, Kontrol Etme) geliştirdi. Bu yöntem, ileride altı sigmanın temel uygulama metodlarından biri olmuştur (Brady, 2005).

Altı sigma, kalite programı uygulanmaya başladıktan sonra, 1988 yılında Motorola Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü'nü kazanarak pek çok şirketin ilgisini çekmeye başladı (Çabuk, 2010). AlliedSignal ise altı sigmayı benimseyen ikinci şirket olmuştur.

1995'in sonunda General Electric, altı sigmayı kurum genelinde yaygın bir inisiyatif haline getirmeye karar vermiştir. Başlangıçta yalnızca 3,8 sigma seviyesinde çalışan General Electric, altı sigma iyileştirme yöntemlerini uyguladıktan sonra 5,7 sigma seviyesine ulaşmıştır. İki yıldan daha kısa bir süre sonra, General Electric 320 milyon dolardan fazla tasarruf sağlamıştır. General Electric, altı sigmayı tarihteki en başarılı yönetim felsefesi yapan organizasyondur (Eckes, 2007).

### 2.2 Altı Sigma Felsefesi

Altı sigma metodolojisi, değişkenlerin kontrol edilebileceğini öngören bir felsefe olup, sıfır hatayı hedefleyen kalite yönetim aracı olarak kullanılmaktadır. Altı sigma, şirketlerin karlılıklarını önemli ölçüde iyileştirmelerini sağlayan bir yönetim sistemidir. Bu sistemde, fire ve kaynak kullanımını minimize edilirken müşteri memnuniyeti ve sadakatinin artırılması için iş süreçlerinin gözden geçirilip iyileştirilmesi esastır. Bu metodoloji, bir operasyonel problemi istatistiksel probleme çevirip, ispatlanmış matematiksel araçları kullanarak sonucu yeniden pratik eylemlere dönüştürebilmektir (Baş, 2008).

Altı sigma metodolojisi telekomünikasyon, üretim, finans, sağlık ve eğlence sektörüne kadar hemen hemen tüm sektörlerde uygulanabilmektedir (Çeliknalça, 2006). Altı sigma yöntemini uygulayan şirketler, süreçlerinin verimliliğini sigma seviyesi adı verilen bir endekse izlemektedir. Sigma, istatistikte bir değişkenlik ölçüsü olan standart sapmayı ifade ederken, iş yaşamında kuruluşların süreç ya da süreçlerinin ne kadar değişken olduğunu, ne kadar hata yaptığını veya kayıplarının ne kadar olduğunu ifade etmektedir (Dağlıoğlu, İnal ve Aksoy, 2009).

Sigma düzeyinin yüksek olması, bir üretim veya

**Tablo 1.** Altı Sigma Organizasyon Roller

| Şampiyon   | Uzman Kara Kuşak  | Kara Kuşak   | Yeşil Kuşak   |
|--|---|--|---|
| Şirketin altı sigma vizyonunu oluşturmak             | Kara kuşakların eğitimine ve sertifikalandırılmasına yardımcı olmak                 | Proje engellerini belirlemek                                     | Günlük işlerin yanında, yeşil kuşak fonksiyonlarını yerine getirmek                       |
| Altı sigma uygulama yolunu tanımlamak                | Şampiyonlarla işbirliği kurmak  | Projenin gerçekleştirilmesinde ekipleri yönlendirmek ve yönetmek | Kara kuşakların projelerine katılarak sorumluluklarını yerine getirmek                    |
| Stratejileri uygulamak için eğitim planı geliştirmek | Örgütün birçok seviyesindeki personeline eğitim vermek                              | Liderlere gelişmeleri rapor etmek                                | Projelerin uygulamasında altı sigma metodlarını öğrenmek                                  |
| Etkisi yüksek olacak projeleri belirlemek            | Proje tanımlanmasına yardımcı olmak   | Gerektiğinde şampiyonlardan yardım talep etmek                   | Projelerin tamamlanmasından sonra da altı sigma metod ve araçlarının öğrenimini sürdürmek |
| İstatistiksel düşünce sistemini geliştirmek          | Proje çalışmalarında kara kuşakları desteklemek                                     | Uygulamada kullanılacak en etkin araçları belirlemek             |   |
| Kara kuşakları denetlemek                            | Gerekli olduğunda teknik danışmanlık verebilmek üzere proje incelemelerine katılmak |  |   |

**Kaynak:** Harry ve Schroeder, 2010.

hizmet sürecinde daha az sayıda hata olması anlamına gelmektedir. Sigma düzeyi ile hata sayısı arasında tersi bir ilişki bulunmaktadır. Sigma düzeyinin düşük olması, bir süreçte değişkenliğin veya hataların daha fazla olduğunu; sigma düzeyinin yüksek olması ise daha az sayıda hata bulunduğunu göstermektedir (Dağlıoğlu, İnal ve Aksoy, 2009).

Bir milyon fırsattaki hata sayısı (DPMO), bir altı sigma metriğidir. Bu metrikle, bir milyon çıktıdaki hatalı ürün adedi hesaplanır ve altı sigmanın amacı olan DPMO'nun (milyon fırsatta hata sayısı-defects per million opportunities) 3,4'ten düşük olması için çalışmalar yapılır (<http://www.webcitation.org>, 2010).

### 2.3 Altı Sigmada Roller ve Sorumluluklar

Altı Sigma yaklaşımı, bir organizasyonda uygulanabilmesi için bir ekibe ve takım ruhuna ihtiyaç duyar. Projenin başarısı takımın birbirine vermiş olduğu sinerji ve sorumluluk duygusundan geçer. Takım içerisindeki rollerin ve görev tanımlarının iyi tanımlanması yaklaşımın bir parçasıdır.

Altı sigma yaklaşımında, çalışan görevlilerin sorumlulukları aldıkları kuşak rengine göre sıralanmış ve tanımlanmıştır. İlk bakışta Uzakdoğu sporlarının yapıldığı bir kulübün organizasyon yapısını andıran bu unvanlar, altı sigmanın uygulandığı organizasyonun yapısı, uygulamanın kapsamı ve projelerin türüne bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bazı şirketler genel kabul gören unvanlara sarı, mavi vb. kuşaklar eklerken, bazıları ise

birkaç kuşakla yetinmektedir. Altı sigma organizasyonu içerisinde yer alan ekiplerin rolleri Tablo 1'de özetlenmiştir (Özveri ve Çakır, 2012).

## 3. ALTI SİGMA METODOLOJİSİ

Bilimsel iyileştirme çalışmalarında birçok metod kullanılmaktadır. Ancak tüm metodların W. Edward Deming'in geliştirdiği PUKÖ döngüsüne dayandığı bilinmektedir. PUKÖ döngüsü sırasıyla, planla, uygula, kontrol et ve önlem al adımlarını içermektedir (Özgen, 2006).

Altı sigmada ise süreçleri optimize etmek için süreçlerin baş harflerinden oluşan TÖAİK (Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol) döngüsü kullanılmaktadır. Temel anlamda PUKÖ ile benzerlik gösteren TÖAİK döngüsünün farklılığı, ölçme ve iyileştirme fazlarını ayrıca değerlendirmeye almasıdır.

### 3.1 Tanımlama Fazı

Tanımlama aşamasında, müşteri istek ve ihtiyaçları ile birlikte projenin kapsamı belirlenir. Öncelikle problemin detaylı bir tanımı yapılır ve proje planı ve bu plan doğrultusunda problemin çözümünde en yüksek başarıyı sağlayacak ekibin oluşturulması hedeflenir. Problemin tanımlanmasının ardından projenin metrikleri olan CTQ'lar (Critical to Quality) belirlenir. CTQ ayrıca, ağaç diyagramı olarak da bilinmektedir. Bu aşamada belirlenen CTQ'lar, proje süresince ve devamında istenen hedef ile uyumlu ilerlenip ilerlenmediğini belirleyecektir.

Bu aşamada, mevcut durumun analizinin analitik yapılabilmesi için SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer), sebep-sonuç diyagramları kullanılır.

### 3.2 Ölçme Fazı

Mevcut sürecin tüm yönlerini kapsayacak şekilde ölçümü yapılması ve daha sonra da buradan elde edilen verilerin analiz edilmesi ile sürecin yeniden tasarlanması hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen ölçüm çalışmasından önce, ölçüm işleminin herhangi bir manipülasyon içermediğinden emin olunmalıdır. Süreçten alınan bilgiler ürünün ya da hizmetin ortaya çıkarılmasında sürecin yetenekleri ve kapasitesini belirleyecek olması sebebiyle çalışmanın bu aşaması oldukça önem arz eder. Ölçme aşamasında verilerden rastgele örneklem alınabildiği gibi, tüm parçaların ölçülmesi gibi farklı, yüzde yüz ölçüm yöntemi de izlenebilir (DMAIC, 2010).

Altı sigma metodolojisinin adımları içerisinde, verilen önem ve değer, harcanan para ve zaman açısından en fazla göz ardı edilen aşamanın ölçme aşaması olduğu söylenebilir. Ölçüm sırasında somut bir sonuç elde edilmediğinden, bu aşama diğer aşamalar ile kıyaslandığında parlayan bir basamak değildir. Bu nedenle, bu basamağı bir an önce geçme eğilimi yaygındır (Çırkan, 2009). Fakat bu doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü nicel ve nitel veriler altı sigmanın temelini oluşturur.

#### Ölçüm aşamasındaki hedefler şunlardır:

- Veri toplama noktalarının belirlenmesi
- Ölçüm sistemleri analizi ile ölçüm metotlarının doğrulanması
- Uygun ölçüm sistemleri ile veri toplama formlarının oluşturulması
- Verilerin toplanması

### 3.3 Analiz Fazı

Analiz aşaması, doğrulanmış ölçüm sistemi ile elde edilen verilerin çeşitli istatistik araçları ile analize tabi tutulduğu aşamadır. Bu aşamada verilerin, normal dağılıma sahip olup olmadıkları gerçekleştirilen normal dağılım testleri ile belirlenir ve sonuç da kullanılacak araçların belirlenmesine olanak sağlar. Tanımlama ve ölçme aşamalarında belirlenen girdilerin sonuç üzerindeki etkisi uygun istatistik araçları ile analiz edilir. Girdi faktörlerinin azaltılması ve sonuç üzerinde etkisi en yüksek girdilerin belirlenmesi analiz aşamasında gerçekleştirilmektedir.

### 3.4 İyileştirme Aşaması

Analiz aşamasında elde edilen istatistikî sonuçlar ile belirlenen sebeplere yönelik iyileştirme aktivitelerinin yapıldığı aşamadır. Çıktıların optimize edilmesi için hangi girdiler üzerine odaklanması gerektiği bilgisi bir önceki aşama olan analiz aşamasından alınarak gerekli iyileştirmeler yürütülür.

Bu aşama, problemin ortadan kaldırılacağı ya da etkilerinin azaltılacağı aşamadır. Ancak akıllardaki çözümler hemen uygulanmadan, bundan önceki üç basamaktan elde edilen sonuçlar gözden geçirilmelidir. Bu gözden geçirme sonucunda problem, herkes tarafından anlaşılabilir derecede net ve ayrıntılı olarak tanımlanmış, mevcut imkân ve kaynaklarla çözülebilecek niteliğe sahip, giderilmesi halinde şirkete büyük yarar sağlayacak, çözümüne yardımcı olacak doğru verilere sahip ve problemin temel nedenleri ve bunların nasıl giderileceği doğru olarak belirlenmiş ise eldeki çözümler denenmelidir (Çırkan, 2009).

### 3.5 Kontrol Aşaması

Altı sigmanın son adımı olan kontrol aşaması, iyileştirme aşaması sonucu yapılan değişikliklerin etkisinin sürekliliğinin gözlemlendiği aşamadır. Tüm sürecin dokümantasyonu ve CTQ değerleri ile uygunluğu takip edilir.

Bu aşamanın en temel amacı, proses çıktılarının oluşumunu sağlayan anahtar girdilerin sürekliliğini sağlamak ve kontrol etmektir. Bu amaçla, öncelikle girdi ve çıktı değişkenlerinin proses yeterliliklerini belirlemek için kontrol planlarından, girdi ve çıktı değişkenlerine ilişkin kontrol grafiklerinden ve proses yeterlilik analizlerinden yararlanır. Böylece, prosese ilişkin kontrol planı, kontrol grafikleri, z değerleri elde edilmiş olur. Ayrıca, hata veya uyumsuzluk seviyesinin azalması durumunda, temel değişkenlik nedenleri belirlenmiş, yapılan iyileştirmenin nasıl korunacağı anlaşılmış olur. Kuşkusuz, projeye ilişkin kazanımlar ile finansal doğrulama yapıldıktan ve müşterilere yönelik takım toplantısı düzenlendikten sonra proje kapatılır (Çırkan, 2009).

## 4. YALIN ALTI SİGMA UYGULAMASI

### 4.1 Firma İç Değerlendirme Süreci

Firma, 2012 yılında altı sigma felsefesini benimseyerek üretim süreçlerinde altı sigma araçlarından

**Tablo 2.** Firma Proje Seçimi Önceliklendirme Matrisi

| İşletme Amaçları                         | Ağırlık | Potansiyel Proje Başlıkları                |   |  |                           |                                      |
|--|---------|--|---|--|---------------------------|--------------------------------------|
|  |         | İlk Kesim Malzeme Kayıplarının Azaltılması | Kalitesizlik Maliyetlerinin Azaltılması | Kalitesizlik Süreç Döngüsünün Kısaltılması | Ara Stokların Azaltılması | Tezgah Verimliliklerinin Artırılması |
| Üretim Maliyetlerinin Azaltılması        | 0,25    | 5  | 3                                       | 1  | 3                         | 5                                    |
| Kalite Sorunlarının Ortadan Kaldırılması | 0,30    | 0  | 5                                       | 1  | 3                         | 3                                    |
| Çalışan Memnuniyetinin Artırılması       | 0,20    | 0  | 1                                       | 3  | 1                         | 1                                    |
| Pazar Payının Artırılması                | 0,25    | 1  | 3                                       | 1  | 1                         | 1                                    |
| Toplam Puan                              | 1       | 1,5  | <b>3,2</b>                              | 1,4  | 2,1                       | 2,6                                  |

faydalanmayı hedef edinmiştir. Bu kapsamda altı sigma projeleri başlatılmıştır. Firma üst yönetimi ile yapılan çalışmalar ile amaçları belirlenmiştir. Yürütülecek altı sigma çalışmalarının belirtilen amaçlar ile paralellik göstermesi firmanın amaç bütünlüğü açısından önem taşımaktadır (Pyzdek, 2003). Bu sebeple, potansiyel altı sigma çalışmalarının belirlenmesi amacıyla, üst ve orta seviye yöneticilerinin bulunduğu bir ekip ile bir çalışma gerçekleştirilmiş ve potansiyel proje başlıkları belirlenmiştir.

Altı sigma metodolojisinin başarısı, herkesin oynayacağı rolü çok iyi bilmesine bağlıdır. Bu nedenle, tüm personele aldıkları eğitimin türüne göre kuşak unvanları ile farklı yetki ve sorumluluklar verilir (Dağlıoğlu, İnal, Aksoy, 2009). Bu projede şampiyon, uzman kara kuşak, kara kuşak, yeşil kuşakla tanımlı ekip üyeleri arasından seçilir.

Çalışmada ilkin, önceliklendirme matrisi ile işletme amaçları ve potansiyel altı sigma projeleri arasında ilişki kurulmuş ve bu matrise göre hangi projenin altı sigma projesi olarak seçileceğine karar verilmiştir.

Matris, yöneticiler arasında gerçekleştirilen beyin fırtınası sonucu belirlenen ağırlık skalası ve amaç ile proje arasındaki ilişkiyi yansıtan, aşağıda belirtilen puanlama skalasına göre oluşturulmuştur.

İşletme hedefleri ağırlıklandırma oranları ile projelere verilen puanlar çarpılarak, her bir proje için toplam ağırlık puanı belirlenmiştir. Tablo 2’de en yüksek puanı alan proje başlığı, kalitesizlik maliyetlerinin azaltılması olarak tespit edilmiştir.

### 4.2 Tanımlama

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, kalitesizlik ma-

liyetleri konusunda altı sigma çalışması başlatılmasına karar verilmiştir.

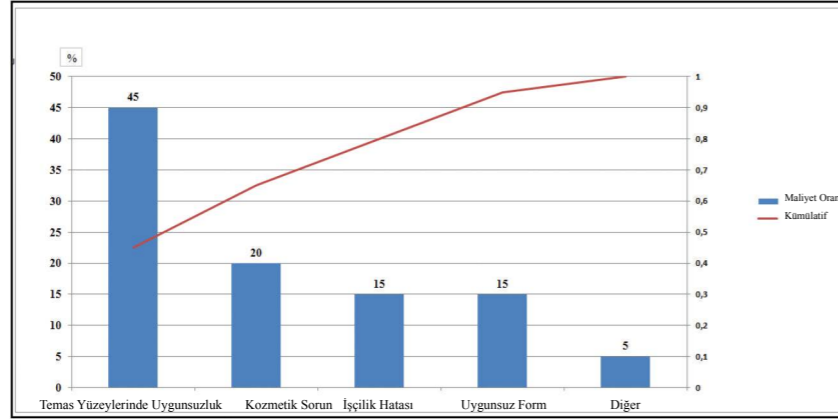
Firmada en fazla kalitesizlik maliyetine katılan proje incelendiğinde, parça temas yüzeyleri arasındaki tolerans dışı boşluklarının %45 ile maliyetleri en çok olumsuz etkileyen kalitesizlik olduğu belirlenmiştir.

Veriler ışığında, temas yüzeyleri incelenmiş ve malzeme türlerine göre en çok maliyet oluşturan malzeme grubun kompozit ve metal parça temas yüzey grubu olduğu belirlenmiştir.

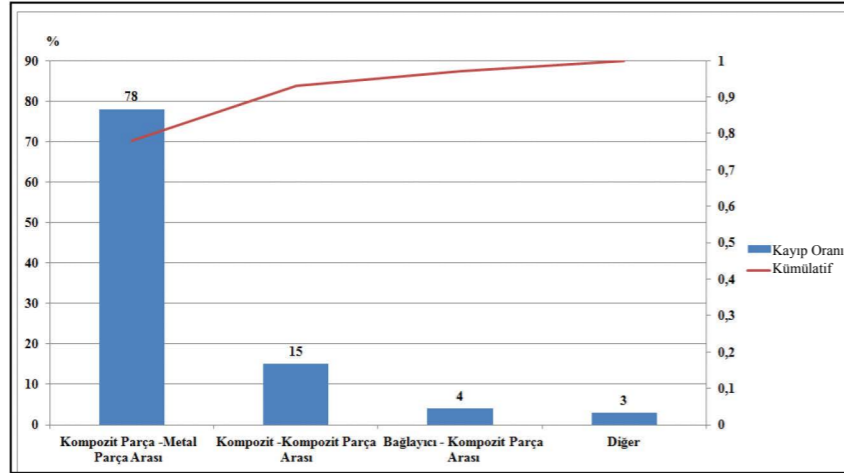
Yapılan incelemede, kompozit–metal parça yüzey temas bölgelerinde parçaların güvenliğini etkileyecek fonksiyonların bulunması sebebiyle, uygun kalite yeterliliğinin diğer bölgelere oranla daha dar toleransa sahip olduğu tespit edilmiş ve bu bölgelerdeki kalite sorunlarının ortadan kaldırılması için altı sigma çalışması başlatılmıştır. Proje sırasıyla, “Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol” fazlarını takip edecektir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, projenin yaklaşık 6 aylık bir süre içerisinde tamamlanmasına karar verilmiştir.

Kompozit ve metal parçalar arasında boşluk oluşması, tasarımsal olarak beklenen bir durumdur ve oluşan boşluk, tanımlanan bir malzeme ile kapatılmaktadır. Ancak kullanılacak malzeme 0,023 inch kalınlık ile sınırlandırılmıştır. Mevcut durumun analizinin yapılması ile kullanılması gereken malzeme miktarının 0,040 inch’e kadar (Şekil 3) çıkabildiği ve bu durumda, oldukça uzun süreli ve başarısız olma riski içeren sökme ve tekrar montajın yapılması işlemlerinin yürütüldüğü belirlenmiştir.

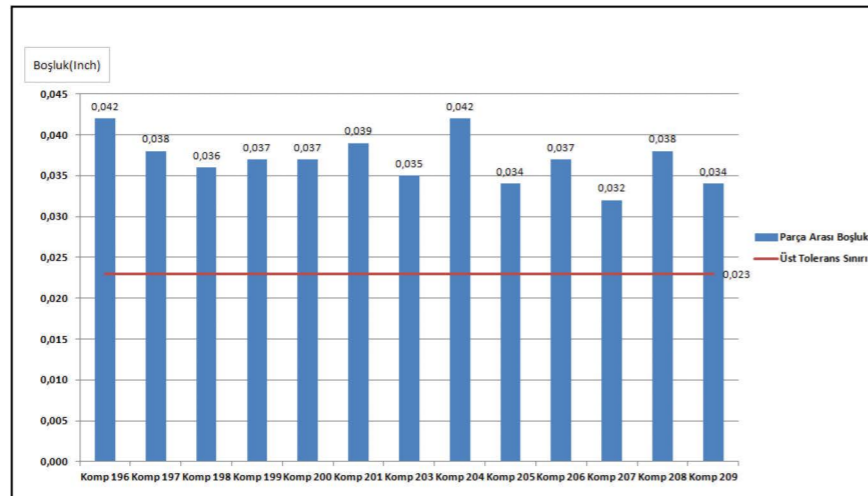
Projenin hedefi, tolerans dışı boşluk kapatıcı malzeme kalınlığının çalışma sonrası ilk montaj için 0,023



Şekil 1. Kalitesizlik Maliyet Dağılım Paretosu



Şekil 2. Uygunsuz Tolerans Kayıp Dağılım Pareto Grafiği



Şekil 3. Parçalar Arası Boşluğun Giderilmesi İçin Kullanılabilecek Malzeme Kalınlığı Kullanım Verileri

inch tolerans limitlerine çekilerek gerçekleştirilen tekrar işlemlerini en aza indirmek ve bu sayede kalitesizlik maliyetlerinde iyileştirme sağlamaktır.

#### 4.2.1 Problem Metriklerinin Belirlenmesi

CTQ (Critical to Quality) verileri proje ekibinin takip etmesi gereken metrikleri belirlemektedir. Ağaç diyagramı ile gösterilen CTQ'lara göre projenin gidişatı değerlendirilir.

Boşluk kapatıcı malzeme kalınlığı projenin CTQ'su olarak belirlenmiştir. Ayrıca proje çalışması sürecinde ve sonrasında, kötüleşmemesi gereken kontrol metrikleri olarak teslimat performansı ve birim parça maliyetinin takip edilmesine karar verilmiştir.

#### 4.2.2 Kritik Girdilerin Belirlenmesi

Problemin tanımlanması aşamasında, üretim sürecinin ve buna girdi sağlayan birimlerin tanımlandığı SIPOC Diyagramları çizilerek tüm sürecin değerlendirilmesi sağlanmıştır. SIPOC diyagramlarının ismi, tedarikçi (supplier), girdi (input), işlem (process), çıktı (output), müşteri (customer) kelimelerinin baş harflerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. SIPOC diyagramı, kompozit ve metal parçalar ve montaj işlemleri için ayrı ayrı çizilmiş olup, montaj operasyonları için çizilen SIPOC örneği aşağıda paylaşılmıştır.

SIPOC diyagramlarında belirtilen aşamaların detaylarının incelenebilmesi amacıyla detay süreç şemaları oluşturulmuştur. Detaylı süreç şemasında, her bir aşamada beklenen çıktı ve bu sonuca etki edebilecek parametre, prosedür ve gürültü değişkenleri yalnız altı sigma proje ekibi ile birlikte belirlenmiştir.

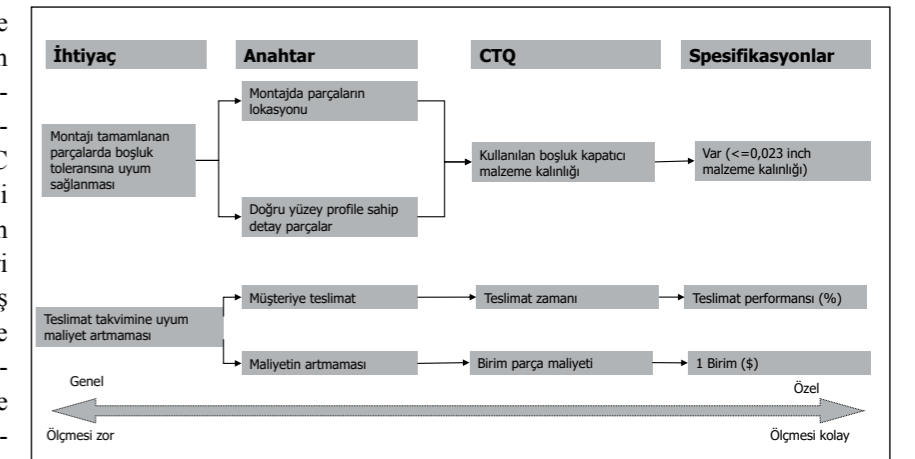
Parametre, detaylı süreç şemalarında ● sembolü ile gös-

terilmiştir. Çıktı üzerinde etkisi olduğu düşünülen parametrelerdir. Bu değişkenlere anahtar değişkenler de denir. Örneğin sıkıştırma işlemi için süre ve basınç girdileri bu başlık altındadır.

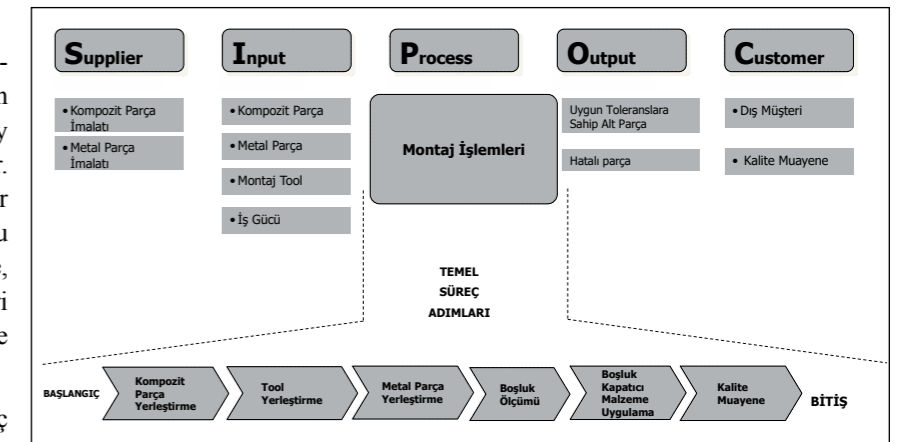
Prosedürler ve standart işler, mikro süreç şemalarında ★ sembolü ile gösterilmektedir. Sürecin işleyişindeki standartları ifade eder. Örneğin kompozit malzeme serme işleminde malzeme ömrü standartlar ile belirlenmiştir.

Gürültü, mikro süreç şemalarında ↑ sembolü ile gösterilmektedir ve kontrol edilemeyen değişkenleri sembolize eder. Örneğin kalıp hazırlama prosesi için ekipman sıcaklığı kontrol edilememektedir. Tamamlanan montaj operasyonların detay operasyon şeması aşağıda paylaşılmıştır.

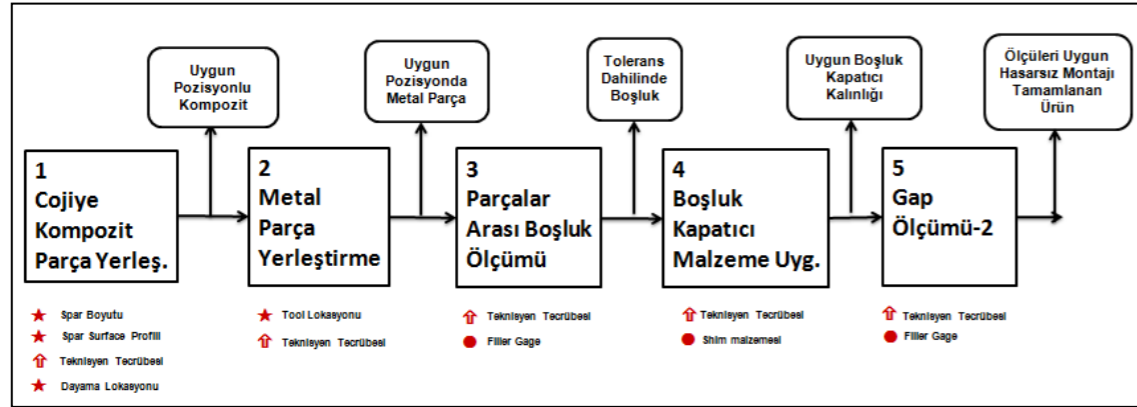
Müşteri için önemli başlıkların belirlenmesi sonra-



Şekil 4. CTQ Ağaç Diyagramı



Şekil 5. Kompozit Parça İmalat Şeması



Şekil 6. Kompozit Malzeme Detaylı Süreç Şeması

Tablo 3. CTQ Matrisi

| Süreç Adımı                            | Girdiler                     | Müşteri Önem Derecesi |   |   | Toplam |
|--|------------------------------|-----------------------|---|---|--------|
|  |                              | 9                     | 7 | 7 |        |
| Kompozit Parça Yerleştirme             | Kompozit Parça Yüzey Profili | 9                     | 8 | 8 | 193    |
| NC Makine                              | NC Program                   | 9                     | 7 | 8 | 186    |
| Kompozit Parça Yerleştirme             | Tekniyen Tecrübesi           | 8                     | 8 | 8 | 184    |
| Metal Parça Yerleştirme                | Tool Lokasyonu               | 9                     | 8 | 6 | 179    |
| Boşluk Ölçüm İşlemi (1-2)              | Filler Gage                  | 8                     | 8 | 7 | 177    |
| Kompozit Parça Yerleştirme             | Dayama Lokasyonu             | 9                     | 7 | 6 | 172    |
| Metal Parça Yerleştirme                | Tekniyen Tecrübesi           | 8                     | 6 | 6 | 156    |
| Boşluk Ölçümü (1-2)                    | Tekniyen Tecrübesi           | 7                     | 7 | 6 | 154    |
| Boşluk Kapatıcı Malzemenin Uygulanması | Tekniyen Tecrübesi           | 6                     | 6 | 4 | 124    |

sında, grup içi oylama yapılmış, CTQ'ların önem düzeyi verilen puanların aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir. Puanlamanın ardından, SIPOC diyagramında belirtilen süreç adımlarının girdileri tespit edilmiş ve sebep-sonuç matrisi oluşturulmuştur. Matrisin satırları süreç adımlarını ve bu adımların girdi faktörlerini, sütunları ise belirlenen CTQ'ları göstermektedir.

Proje ekibi, her bir süreç adımının ilgili CTQ üzerindeki etkisini puanlandırmıştır. Her bir süreç adımının değerlendirme sonucu hesaplanan puanları, CTQ'nun sahip olduğu ağırlık ile çarpılmış, çıkan sonuçlar toplanarak "Toplam" isimli sütunda kaydedilmiştir. Sebep-sonuç diyagramında en yüksek puana sahip girdiler Tablo 3'te belirtilmiştir.

### 4.3 Ölçme Fazı

Altı sigma proje ekibi, belirlenen beş adet kritik girdi hakkında firma içerisindeki ilgili üretim aşamalarından en fazla sorun yaşanan metal kompozit yüzey bölgesi için veri toplanmasına karar vermiştir.

Veri toplama işleminden önce, kullanılacak ölçüm sisteminin doğrulanması işlemine başlanmıştır ve verilerdeki muhtemel ölçüm ve operatör hatalarının ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Bu sebeple, boşluk ölçüm aparatı ve nc parça verilerinin ölçümünde kullanılan koordinat ölçüm sisteminin güvenilirliğini değerlendirmiş ve Gage R&R çalışması yürütülmüştür. Her iki ölçüm sisteminin istenen Gage R&R değerleri içerisinde olduğu tespit edilmiş ve veri toplama çalışmalarında kullanı-

Tablo 4. Komponent Metal Parça Sapma Değerleri

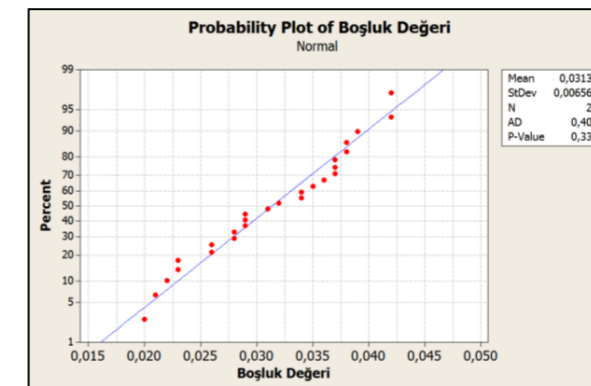
| Komponent Kalıp No | Komponent No | Metal Parça No | Sapma Metal Parça | Ekip     | Birleştirme Aparatı | Malzeme Kalınlığı |
|--------------------|--------------|----------------|-------------------|----------|---------------------|-------------------|
| AL84 (sol)         | 196LH        | 4210-1023      | 0,0005            | Yeşil    | Sol                 | 0,042             |
| AL04 (sol)         | 197LH        | 4310-1009      | 0,0004            | Mavi     | Sol                 | 0,023             |
| AL84 (sol)         | 198LH        | 4340-1021      | 0,00065           | Siyah    | Sol                 | 0,036             |
| AL04 (sol)         | 199LH        | 4220-1023      | 0,00035           | Mavi     | Sol                 | 0,021             |
| AL84 (sol)         | 200LH        | 4220-1023      | 0,0004            | Yeşil    | Sol                 | 0,037             |
| AL04 (sol)         | 201LH        | 4390-1021      | 0,0004            | Siyah    | Sol                 | 0,022             |
| AL04 (sol)         | 203LH        | 4360-1021      | 0,0005            | Yeşil    | Sol                 | 0,02              |
| AL84 (sol)         | 204LH        | 4340-1021      | 0,0005            | Mavi     | Sol                 | 0,042             |
| AL04 (sol)         | 205LH        | 4340-1021      | 0,0003            | Yeşil    | Sol                 | 0,028             |
| AL84 (sol)         | 206LH        | 4370-1021      | 0,0006            | Mavi     | Sol                 | 0,037             |
| AL04 (sol)         | 207LH        | 4310-1009      | 0,00045           | Siyah    | Sol                 | 0,029             |
| AL84 (sol)         | 208LH        | 4220-1023      | 0,0005            | Mavi     | Sol                 | 0,038             |
| AL04 (sol)         | 209LH        | 4330-1025      | 0,0005            | Siyah    | Sol                 | 0,023             |
| AL41 (sağ)         | 196RH        | 4210-1023      | 0,0003            | Turuncu  | Sağ                 | 0,031             |
| AL85 (sağ)         | 197RH        | 4310-1009      | 0,0005            | Sarı     | Sağ                 | 0,038             |
| AL41 (sağ)         | 198RH        | 4340-1021      | 0,0005            | Yeşil    | Sağ                 | 0,029             |
| AL85 (sağ)         | 199RH        | 4220-1023      | 0,0004            | Turuncu  | Sağ                 | 0,037             |
| AL41 (sağ)         | 200RH        | 4220-1023      | 0,0004            | Lacivert | Sağ                 | 0,039             |
| AL85 (sağ)         | 201RH        | 4390-1021      | 0,0005            | Sarı     | Sağ                 | 0,035             |
| AL85 (sağ)         | 203RH        | 4360-1021      | 0,0007            | Turuncu  | Sağ                 | 0,026             |
| AL41 (sağ)         | 204RH        | 4340-1021      | 0,0006            | Lacivert | Sağ                 | 0,034             |
| AL85 (sağ)         | 205RH        | 4340-1021      | 0,0003            | Sarı     | Sağ                 | 0,034             |
| AL41 (sağ)         | 206RH        | 4370-1021      | 0,0004            | Turuncu  | Sağ                 | 0,028             |
| AL85 (sağ)         | 207RH        | 4310-1009      | 0,0006            | Sarı     | Sağ                 | 0,032             |
| AL41 (sağ)         | 208RH        | 4220-1023      | 0,0003            | Turuncu  | Sağ                 | 0,026             |
| AL85 (sağ)         | 209RH        | 4330-1025      | 0,0006            | Yeşil    | Sağ                 | 0,034             |

mıştır. Ölçme çalışmalarında elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

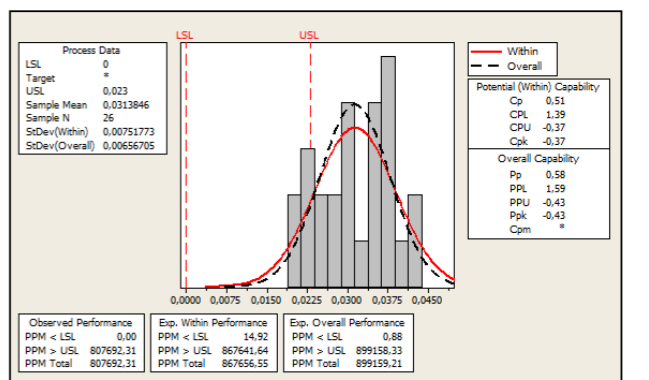
### 4.4 Analiz Fazı

Elde edilen verilerin normalite testleri yapılmış ve verilerin normal dağılıma sahip oldukları belirlenmiştir.

Yapılan süreç yeterlilik analizi sonucunda, sürecin Cp (Yeterliliğin Potansiyel Ölçüsü) ve Cpk (Yeterliliğin Gerçekleşen Ölçüsü) değerlerinin 1,33'ten küçük olduğu ve sürecin yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Mevcut



Şekil 7. Boşluk Değerleri İçin Normalite Testi Grafiği



Şekil 8. Süreç Yeterlilik Analiz Grafiği

durumdaki boşluk değerlerinin istenen aralıkta olmadığı belirlenmiştir.

### 4.4.1 Kompozit Parça Yüzey Profiline Boşluk Değerine Etkisi Analizi

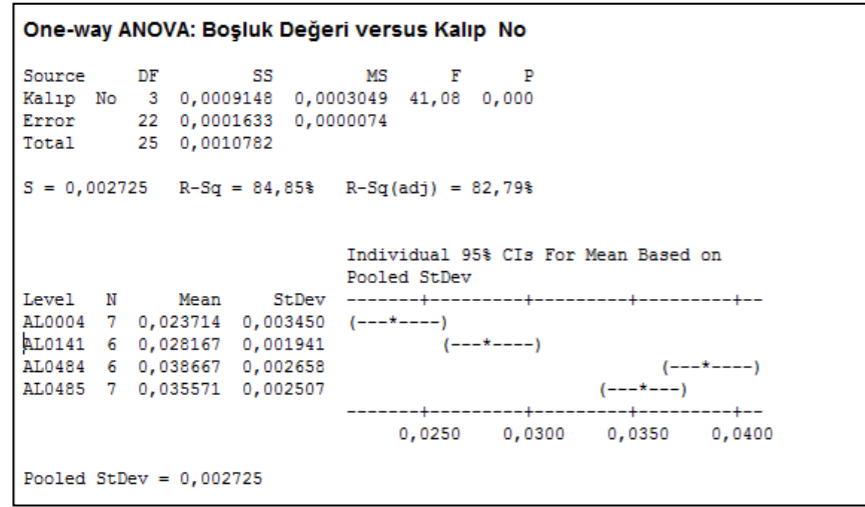
Kompozit parça yüzey profil verileri kullanılarak kompozit kalıbına göre (nitel) değerlendirilmesi, çıktının ise malzeme kalınlığına göre değerlendirilecek olması, ayrıca ortalama verilerinin analiz edileceği girdi sayısının 2'den fazla olması sebebiyle, ANOVA testi analiz için en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

Anova testi kapsamında bir hipotez oluşturulmuştur. Ho hipotezine göre, tüm kalıplar için ortalama veri değerleri eşittir. Ha alternatif hipotezine göre ise en az bir kalıpta farklılık mevcuttur.

Hipotez:

- Ho :  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$
- Ha: en az 1  $\mu$  farklı

Gerçekleştirilen Anova testi sonucuna göre, p değerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmüştür. Yani Ho hipotezinin reddedileceği belirlenmiştir. F değerinin 1'den uzaklaşmış olması, kalıplar arasındaki farklılığın bir diğer göstergesidir. Bu durumda, en az bir kalıbın sonuç üzerinde etkisinin olduğu tespit edilmiştir.



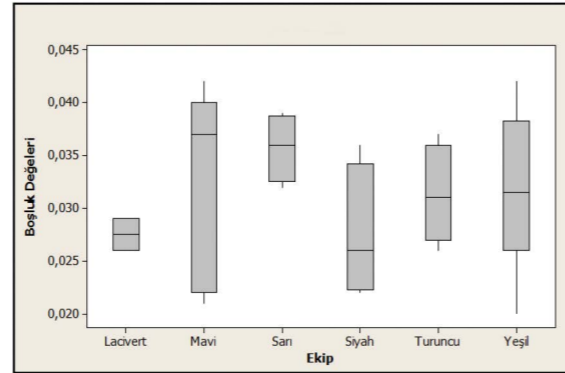
Şekil 9. ANOVA Testi Sonucu

#### 4.4.2 Metal Parça Yüzey Sapması Değerinin Boşluk Değerine Etkisi Analizi

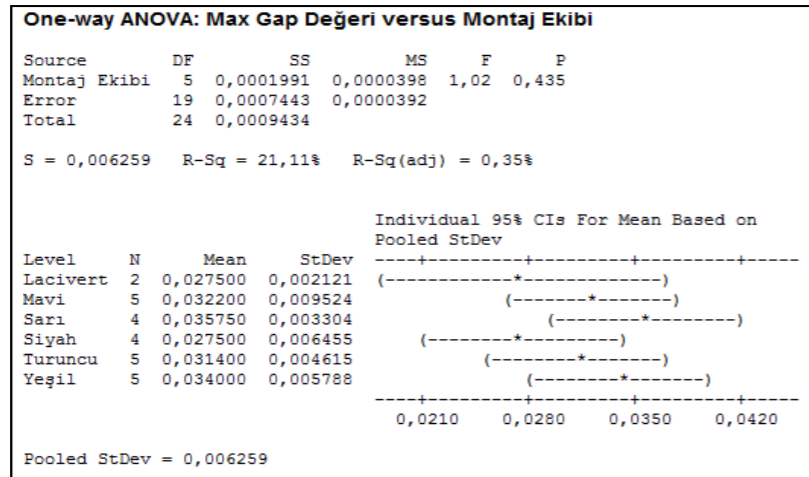
Alüminyum alaşımlı malzemenin 5 eksenli CNC makinede işlenmesi sonrasında parçanın kompozit ile temas edeceği yüzey, koordinat ölçüm cihazı ile ölçülmektedir. İşlem için +0.001'lik sapma toleransı mevcuttur.

Analiz yapılmadan önce, sürecin normal dağılıma uyup uymadığı %95 güvenlilikle hesaplanmış ve p değeri > 0,05 olduğundan, sürecin normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir. Normal dağılıma uyduğu belirlenen süreç için yapılan yeterlilik analizi sonucunda, Cp değeri 1,474 ve Cpk değeri 1,38 olarak belirlenmiştir. Yeterlilik analiz sonucunda, sürecin yeterli olduğu ve

sonuç üzerindeki etkisinin kabul edilebilir seviyede olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. Teknisyene Göre Boşluk Değeri Kutu Grafiği



Şekil 11. Teknisyene Göre Boşluk Değeri ANOVA Test Sonuçları

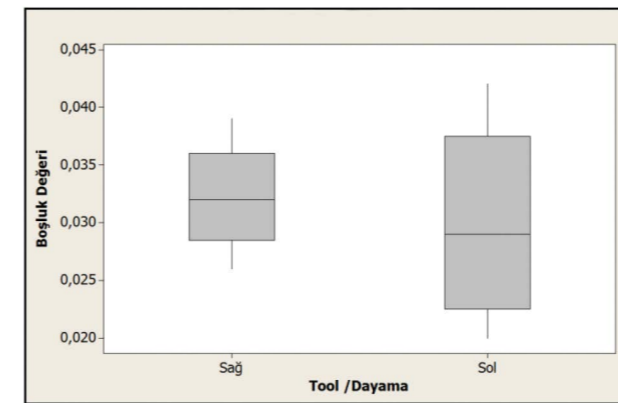
#### 4.4.3 Teknisyen Tecrübesinin Boşluk Değerine Etkisi Analizi

Teknisyen tecrübesinin kullanılan malzeme kalınlığı üzerindeki etkisinin ölçülmesi amacıyla, nitel girdi-nitel çıktı analizinde kullanılan yöntemlerden kutu grafiği, ana etki ve etkileşim grafiği oluşturulmuş ve Anova testi ile hipotez oluşturulmuştur. Montaj işlemlerini gerçekleştiren teknisyenler ekipler halinde çalışmaktadır. Her bir ekip için elde edilen sonuçlar da ekipler arasındaki tecrübe farkının sonuç-boşluk üzerinde bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

#### 4.4.4 Tool ve Dayama Lokasyonunun Boşluk Değerine Etkisi Analizi

Komponentin montaj aşamasında bulunan kompozit parçanın sabitlendiği dayama ve metal parçanın yerinin belirlendiği toolların kapatıcı malzeme kalınlığı üzerindeki etkisi incelenecektir. Komponent sağ ve sol olmak üzere iki farklı şekilde monte edilmektedir. Bu noktada, sağ ve sol komponentler için yapılan işlemler aynı; ancak kullanılan tool ve dayamalar farklıdır. Elde edilen verileri ile dayama ve tool noktalarının malzeme kalınlığı üzerindeki etkisinin olup olmadığı değerlendirilmiştir. Öncelikle, kutu grafiği yardımı ile sağ ve sol ekipmanlara göre belirgin bir farklılığın olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında, kutu grafiği ve bağımsız değişkenli T testi kullanılarak hipotez oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, ekipmanlar arasında herhangi bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 12. Sağ ve Sol Ekipman İçin Boşluk Değer Grafiği

Gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucunda, kompozit malzeme üretiminde kullanılan kalıplarda farklılık tespit edilmiştir. NC parçalardaki sapmanın tolerans dahilinde olduğu ve sürecin yeterli ve kararlı olduğu belirlenmiştir. Teknisyenlerin yeterli tecrübeye oldukları ve çıktıya etki etmedikleri belirlenmiştir. Sol/sağ dayama ve toolların konumlarının benzer olduğu ve çıktıya etki etmediği değerlendirilmiştir. Ayrıca filler gage ve koordinat ölçüm cihazı ölçüm sistemlerinin yeterli olduğu belirlenmiştir.

#### 4.5 İyileştirme Fazı

İyileştirme aşamasında, kalıplar üzerinde belirlenen farklılık incelenerek sorunu ortaya çıkaran kök nedenlerin tespit çalışması yürütülmüştür. Serim işlemlerinde kullanılan dört adet kalıp üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, kalıp yüzeylerinde 0,03 inch'e varan sapmalar olduğu belirlenmiştir. Bu sapmalar gerek metal parça ile kompozit parçanın, gerekse kompozit parçanın sabitlendiği ekipmanlar arasındaki doğrusalığı etkilemekte ve tolerans dışı boşluk oluşumuna neden olmaktadır. Kalıpların üzerindeki hatalı bölümler kalıp üretici firması tarafından yapılan inceleme sonrasında onarılmıştır. Kalıplarda görülen bozulmanın kök nedeninin belirlenmesi amacıyla da "ishikawa" diyagramı kullanılmıştır.

Muhtemel sebepler metot, ölçüm, malzeme ana başlıkları altında 3 adet olarak belirlenmiştir.

#### Metot:

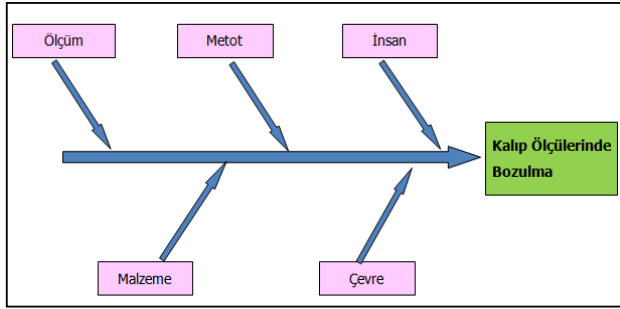
**Potansiyel Kök Neden 1:** Kalıpların ilk kabulünde yeterli kontrol yapılmaması.

**İnceleme Sonucu:** Kalıpların müşteri tarafından verildiği ve takvim baskısı sebebiyle, ilk kontrollerinin tamamlanmadan üretime başlandığı belirlenmiştir. Bu sebeple, kalıpların müşteriden hatalı olarak gelme olasılığının olduğu değerlendirilmiştir.

Kalıp kabul işlemlerinde erken ekipman yönetim çalışmalarına başlanması gerekmektedir.

**Potansiyel Kök Neden 2:** Kalıpların uygunsuz olarak saklanması.

**İnceleme Sonucu:** Kalıpların saklama koşulları incelendiğinde spesifikasyonlara uygun şekilde kapalı alanda, oda sıcaklığında ve üzerinde herhangi bir ekipmanın düşmesi riskinin bulunmadığı bir ortamda saklanmaktadır.



Şekil 13. Ishikawa (Balık Kılçığı) Diyagramı

### Ölçüm:

**Potansiyel Kök Neden 3:** Kalıplarda kontrol ölçümleri yapılmaması.

**İnceleme Sonucu:** Kalıpların periyodik ölçüm sistemine dahil olmadığı belirlenmiş ve sürece dahil edilerek oluşabilecek değişimlerin üretim yapılmadan önce tespiti sağlanmıştır.

### Malzeme:

**Potansiyel Kök Neden 4:** Kalıpların uygun malzemeden imal edilmemesi olması.

**İnceleme Sonucu:** Kalıpların spesifikasyonlara uygun invar malzemeden üretildiği belirlenmiştir.

### 4.6 Kontrol Aşaması

Yapılan çalışmanın sonucunda, elde edilmek istenen CTQ verilerinin tamamının sağlandığı teslimat performansında ve maliyetlerde herhangi bir olumsuzluk oluşmamışken, boşluk verilerinin istenen değerler arasında yer aldığı belirlenmiştir. Çalışma öncesinde, üretim ve montaj süreci sonunda oluşan malzeme kalınlık miktarının Cpk analizi yapılmış ve elde edilen değere karşılık sürecin 1,5 sigmadan daha az olduğu bilgisine ulaşılmıştı. Çalışma sonrası 26 parçalık veri seti oluşturulmuş ve yapılan süreç yeterlik analizi sonucunda, Cpk değerinin 1,69 değerine yükseldiği ve sigma olarak 6 sigma değerinde olduğu belirlenmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Altı sigma metodolojisi, üretim ve hizmet kalitesini ortaklaştırarak aynı değerleri evrenselleştirmektedir. Altı sigma yaklaşımı, belirlenen şirket hedefleri doğrultusunda tüm firmadaki çalışmaların aynı doğrultuda ilerlemesini sağlayarak hedefleri belirlenen projelerde atılması gereken adımlara rehberlik etme özelliği taşır.

Kendi içerisinde bir takip mekanizmasına sahip olan altı sigma, her adımın doğru atılması konusunda organizasyonda bir kültür yaratır.

Bu çalışmada, öncelikli olarak altı sigma metodolojisi gerek organizasyonel yapılanması, gerekse uygulama araçları ile yerli ve yabancı kaynaklardan referanslar verilerek anlatılmıştır. Uygulama aşamasında ise kalitesizlik sorunlarının ortadan kaldırılması amacıyla yürütülen bir çalışmanın adımlarına yer verilmiştir. Çalışma öncesinde 1 sigma seviyesinde ve oldukça fazla kalitesizlik maliyetine katılan sürecin 6 sigma seviyesine getirilmesi hedeflenmiştir. Altı sigma metodolojisi adımları uygulanmış ve çalışma sonucunda da 6 sigma hedefine ulaşılmıştır.

Altı sigma çalışmaları firmalarda danışmanlık şirketleri veya organizasyonda bulunan uzman kara kuşaklar ile yürütülmektedir. Hangi şekilde olursa olsun, uluslararası ölçekte rekabetin bu denli yüksek olduğu dünyamızda altı sigma, müşteri isterlerinin en iyi şekilde yerine getirilmesi yolunda en yüksek kaliteyi en uygun fiyata ulaşımda kullanılabilecek en iyi yöntemler arasındadır.

## KAYNAKÇA

1. **Baş, T.** 2008. Altı Sigma, e- kitap, ww.kaliteofisi.com, son erişim tarihi: 15.12.2008.
2. **Brady, J. E.** 2005. "Six Sigma and The University: Teaching, Research and Meso-Analysis," Doctoral Thesis, The Ohio State University, Industrial and Systems Engineering, USA, p.16.
3. **Çabuk, Y., Karayılmazlar, S.** 2010. "Altı Sigma Yaklaşımı," Bartın Orman Fakültesi Dergisi, sayı 12 (17), s. 95.
4. **Çeliknalça, F. F.** 2006. "Evaluating Quality in Mass-Housing Projects Via Six Sigma: The Case of ODTÜKENT," Master's Thesis, ODTÜ, Ankara.
5. **Çırkan, F.** 2009. "Altı Sigma Süreç İyileştirme Tekniği ve Sanayide Bir Uygulama," Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
6. **Dağhoğlu, G., İnal, T., Aksoy, K.** 2009. "Altı Sigma Nedir?" Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, sayı 18 (2), s.132.
7. **DMAIC.** 2010. "Brief Description of DMAIC Applications," internet adresi, son erişim tarihi: 23.12.2010, p.15.
8. **Eckes, G.** 2007. Herkes İçin Altı Sigma. Çev. Adıyaman, B., MediaCat Yayınları, İstanbul, s. 10 – 11.
9. **Özgen, G.** 2006. "Altı Sigma Metodolojisi ve Elektrik Sektöründe Bir Uygulama," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
10. **Özveri, O., Çakır, E.** 2012. "Yalın Altı Sigma ve Bir Uygulama," Afyon Kocatepe Üniversitesi İİBF Dergisi, cilt XIV, sayı II.
11. **Pyzdek, T.** 2003. The Six Sigma Project Planner, MC-Graw Hill, Newyork, USA.
12. Six Sigma Glossary: Defects Per Million Opportunities, Vikipedi. 6 Sigma URL: [http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki%2FAlt%25C4%25B1\\_sigma&date=2015-10-20](http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki%2FAlt%25C4%25B1_sigma&date=2015-10-20), son erişim tarihi: 20.10.2015.