

## İstatistiksel Mühendislik Algoritmasının Altı Sigma Projelerinde Kullanılması Üzerine Bir Araştırma

**Yrd. Doç. Dr. Murat TANIK**  
Dokuz Eylül Üniversitesi,  
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,  
Ekonometri Bölümü  
E-posta: murat.tanik@deu.edu.tr

**Doç. Dr. Cenk ÖZLER**  
Dokuz Eylül Üniversitesi,  
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,  
Ekonometri Bölümü  
E-posta: cenk.ozler@deu.edu.tr

### Özet

Süreç çıktılarındaki değişkenliği azaltmak, süreç iyileştirmede anahtar bir parça durumundadır. Çok sayıda parça üretilen veya monte edilen süreçler için değişkenliği azaltmak, eş zamanlı olarak maliyetlerin azalmasını, ürünün fonksiyonlarının iyileşmesini ve ürünle bağlantılı olarak müşteri memnuniyetinin artmasını sağlayacaktır. Diğer taraftan aşırı değişkenlik, hurda ve yeniden işlemler, ilave muayeneler, müşteri iadeleri, ürün fonksiyonlarında zayıflama, güvenilirlik ve dayanıklılıkta da azalmalar gibi istenmeyen sonuçlara yol açacaktır.

İstatistiksel Mühendislik (Statistical Engineering), süreç değişkenliğini azaltma amaçlı bir algoritmadır. Bu algoritma, özellikle üretim ve montaj süreçlerindeki kronik problemleri çözmek için tasarlanmıştır. İstatistiksel mühendislik algoritmasının temel, süreçte maliyet azaltmada etkili olacak değişiklikleri fark etmenin, süreç davranışları hakkındaki bilgi düzeyinin artması ile mümkün olabileceği inancına dayanmaktadır. Süreç bilgisini ampirik olarak arttırmanın yolu olarak Sor, Planla, Veri Topla, Analiz Et, Karar Ver (Question, Plan, Data, Analysis, Conclusion = QPDAC) döngüsü önerilmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle İstatistiksel Mühendislik algoritması tanıtılmıştır. Algoritma içerisinde yer alan, kronik problemler hakkında elde edilen bilgilere bağlı olarak kullanılacak yedi değişkenlik azaltma yaklaşımı kısaca gözden geçirilmiştir. İstatistiksel analiz tekniklerinin (basit grafiksel tekniklerden daha karmaşık istatistiksel tekniklere kadar) algoritma içerisindeki kullanımlarına ilişkin örnek uygulamalar verilmiştir. Algoritmanın süreç iyileştirmeler üzerindeki etkisi otomotiv sektöründeki bir kuruluşta uygulanan 6 Sigma projeleri dikkate alınarak analiz edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İstatistiksel mühendislik, Kalite iyileştirme, Altı Sigma, Süreç iyileştirme.

## A Research on Using Statistical Engineering Algorithm in Six Sigma Projects

### Abstract

Reducing the variation of process outputs is a vital part of process improvement. In the processes which variety of parts are produced or assembled, reducing the variation

means reducing the costs, improving the functions of the product and increase customer satisfaction due to improved quality. On the other hand, large variation will have consequences like scrap, rework, customer returns, and weakness in functions of the product and reduced reliability and durability.

Statistical Engineering is an algorithm that aims to reduce process variation. This algorithm is designed to solve chronic problems in production and assembly. The basis of statistical engineering relies on the belief that realizing the necessary changes in the process for obtaining reduced costs can be succeeded by increasing the level of knowledge about the behaviors of the process. In order to increase process knowledge empirically, Question, Plan, Data, Analysis, Conclusion (QPDAC) cycle is suggested.

In this study first the statistical engineering algorithm is introduced. Seven tools that take place in this algorithm are reviewed. Applications of several statistical analysis methods in the course of employing statistical engineering algorithm are demonstrated. The affects of this algorithm on process improvement is analyzed via six sigma projects that are executed in a large factory that is producing parts for automotive industry.

**Keywords:** Statistical engineering, quality improvement, Six Sigma, process improvement

---

## 1. Giriş

Bütün iş faaliyetlerinde değişkenlik mevcuttur ve bu, kaçınılmaz olarak belirsizliği beraberinde getirir. Yöneticiler bu belirsizlik ortamında karar vermek için iş süreçlerinde mevcut olan değişkenliğin yapısını anlamak durumundadırlar. Verilen hatalı kararlar maliyetlerin yükselmesine ve çabaların boşa gitmesine neden olacaktır (Makrymichalos ve Antony 2005). İstatistiksel düşünce, yöneticilere değişkenlikle nasıl mücadele edileceğini ve sistem ve süreçler üzerinde etkili kararlar alabilmek için nasıl veri toplanacağı ve bu verilerin nasıl kullanılacağını gösterir.

Whitaker ve Johnson (2001)'a göre kaliteyi ve iş performansını arttırmak isteyen tüm yöneticiler “istatistiksel” düşünebilmeli ve temel istatistik teknikleri uygulayabilmelidir. Juran (1989) işletmelerde kalitenin güvence altına alınması için uygulanması gereken üç süreci şu şekilde sıralamıştır:

1. Kalite planlaması
2. Kalite kontrol
3. Kalite iyileştirme

Bunlardan üçüncüsü olan kalite iyileştirme süreci, proje tabanlı ve proaktif bir yapı sergilediğinden dolayı günümüzde ilk iki sürece göre daha fazla ön plana çıkmaktadır. Kalitenin iyileştirilmesi için değişik stratejiler kullanılabilir. De Mast (2004), kalite iyileştirme stratejisi kavramını “Bir süreç veya ürünün kalitesini eşi görülmemiş bir seviyeye çekmek için bir kalite profesyoneline kılavuzluk eden ahenkli kavramlar, adımlar, metodolojik kural ve teknikler serisi” olarak tanımlamaktadır. İstatistiksel teknikler kalite kontrolde

## İstatistiksel Mühendislik Algoritmasının Altı Sigma Projelerinde Kullanılması Üzerine Bir Araştırma

olduğu kadar kalite iyileştirmelerinde de önemli rol oynamış ve çeşitli metodolojilerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. İstatistiksel metodolojiye dayanan iyileştirme stratejileri şu deneysel sorgulama kalıbını içerir:

1. Kalite karakteristikleri ile bunlara etki eden faktörler arasındaki ilişkileri keşfederek iyileştirme fırsatlarını yakalamak,
2. Bu ilişkiler doğru kabul edilmeden önce deneysel verilerle test etmek.

Bu iki noktayla uyumlu olan iyileştirme stratejileri, De Mast (2004) tarafından istatistiksel iyileştirme stratejileri olarak isimlendirilmiştir. Endüstriyel istatistik literatüründe Taguchi metodolojisi, Shainin sistemi ve Altı Sigma programları oldukça fazla ilgi çeken yaklaşımlar olmuşlardır.

Taguchi kalite iyileştirmede değişkenliğin indirgenmesinin önemi üzerinde durmuştur. Taguchi metodolojisinde, öncelikle deneysel sonuçlar dikkate alınarak sürece ait kontrol edilebilir faktörlerin (kontrol faktörleri yada değişkenleri) belirli seviyelere ayarlanması suretiyle sürecin, kontrol edilemeyen faktörlerdeki (gürültü faktörleri yada değişkenleri) değişkenliğin etkilerine karşı duyarsızlaştırılması amaçlanır. Daha sonra ortalamaı etkileyen ancak değişkenliği etkilemeyen kontrol faktörlerinin seviyelerinde oynamalar yapılarak süreç ortalamaı hedef değere çekilir. Son olarak değişkenliğin daha fazla azaltılabilmesi için tolerans tasarımı üzerinde durulur. Taguchi metodolojisi ile ilgili detaylar Ross (1996)'da bulunabilir.

Shainin (1993) alternatif problem çözme tekniklerini geliştirmiştir. Shainin sistemi anlaşılması ve uygulanması nispeten kolay istatistik teknikler kullanır. Stratejisi, süreç çıktısı üzerindeki bir probleme odaklanarak değişkenliğe neden olan bir, iki veya üç baskın sebebin tespit edilmesine üzerine kuruludur (Shainin, 1992). Bu baskın sebeplere etki derecesine göre büyükten küçüğe doğru sırasıyla Kırmızı X, Pembe X, Soluk Pembe X denir. Bunu başarırken istatistik analizler yapılmaktadır. Kırmızı X mevcutsa bu bulunduktan sonra ya geri dönüşsüz iyileştirici faaliyetler uygulanır ya da kırmızı X üzerindeki toleranslar sıkılaştırılıp süreç kontrol altına alınır. Kırmızı X in iyileştirilmesi ile ilgilenilen kalite özelliğinin değişkenliği %50 oranında azaltılabilir. Bu oran Pembe X in iyileştirilmesi için %20-30 ve Soluk pembe X in iyileştirilmesi için %10 civarındadır. Çoğu vakada üç baskın sebep tespit edilip, bunların üzerindeki iyileştirmelerin başarılması ile, ilgilenilen kalite karakteristiğinin değişkenliğinin %75-95 oranında azaltılması mümkündür (Bhote 1991, Bhote 2003).

Altı Sigma metodolojisi tüm süreçlere uygulanabilen, süreç ve müşteri odaklı süreçlerin hatasızlığını amaçlayan, tüm firmayı kapsayan topyekün bir kalite iyileştirme programıdır. Proje ve faaliyetler üst yönetimden seçilen şampiyonlar tarafından koordine edilir ve orta kademe yöneticiler arasından

seçilen kara kuşaklar ve yeşil kuşaklar tarafından yürütülürler. Altı sigma, Tanımla, Ölç, Analiz Et, İyileştir ve Kontrol Et (Define, Measure, Analyze, Improve and Control = DMAIC) adı verilen evrensel problem çözme yaklaşımını kullanan ve endüstriyel istatistikte kullanılan bütün teknikleri içeren, verilere dayalı karar vermeyi ön planda tutan son derece yapısal ve disiplinli bir yöntemdir. Altı Sigma yaklaşımı ürünlerin ve hizmetlerin kusursuzluğuna odaklanır; hatta ürünler üzerindeki tüm kusur fırsatlarının tanımlanması ve kusur oluşma olasılığının ortadan kaldırılması amacıyla DPMO (Defects per Million Opportunities) yani “milyon fırsatta kusur sayısı” şeklinde yeni bir performans metriği tanımlar (Gitlow ve Levine , 2005, Raisinghani, 2005 Pyzdek 2003)), Kusursuzluğu başarmak ise değişkenliğin ortadan kaldırılması ile mümkündür. Eğer sürecin normal dağılımlı çıktılarının yayılımı, tanımlanan alt ve üst tolerans limitlerinin yarısını kaplayacak büyüklükte ise süreç 6 sigma seviyesinde performans gösteriyor demektir ve bu durumda süreç milyonda en fazla 3.4 kusurlu ürün üretme potansiyeline sahiptir denir (Allen 2005). Aşağıda, tablo1. de sigma düzeylerine karşılık gelen DPMO sayıları verilmiştir

Bu çalışmada, öncelikle Steiner ve Mackay (2005) tarafından önerilen İstatistiksel Mühendislik algoritması tanıtılmıştır. Algoritma içerisinde yer alan, kronik problemler hakkında elde edilen bilgilere bağlı olarak kullanılabilen yedi değişkenlik azaltma yaklaşımı kısaca gözden geçirilmiştir. İstatistiksel analiz tekniklerinin (basit grafiksel tekniklerden daha karmaşık istatistiksel tekniklere kadar) algoritma içerisindeki kullanımlarına ilişkin örnek uygulamalar verilmiştir. Algoritmanın süreç iyileştirmeler üzerindeki etkisi otomotiv sektöründeki bir kuruluşta uygulanan 6 Sigma projeleri dikkate alınarak analiz edilmiştir.

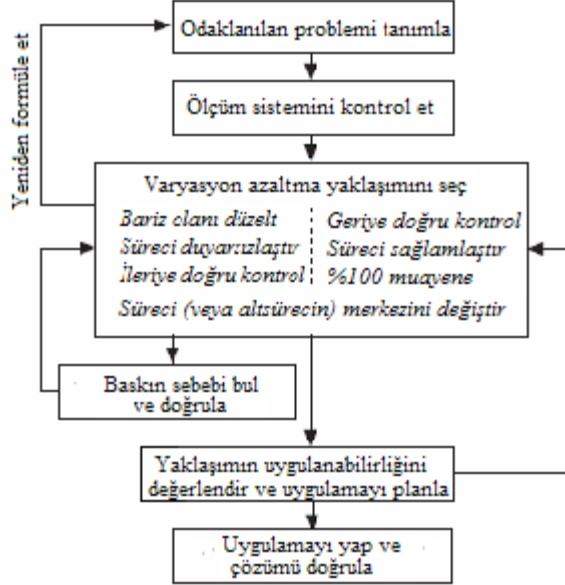
**Tablo 1.** Sigma düzeylerine karşılık gelen DPMO lar

<b>Sigma düzeyi</b>	<b>Bir milyonda hata sayısı</b>	<b>Hata oranı (DPMO)</b>
1	691,462	%69
2	308,538	%31
3	66,807	%6.7
4	6,210	%0.62
5	233	%0.023
<b>6</b>	<b>3.4</b>	<b>%0.00034</b>
7	0.019	%0.0000019

# İstatistiksel Mühendislik Algoritmasının Altı Sigma Projelerinde Kullanılması Üzerine Bir Araştırma

## 2. İstatistiksel Mühendislik

Steiner ve Mackay (2005) tarafından önerilen İstatistiksel Mühendislik (Statistical Engineering), süreç değişkenliğini azaltarak süreç performansının artırılmasını başarmak için oluşturulmuş ve Taguchi, Shainin Sistemi ve Altı Sigma Metodolojilerinden farklı bir algoritmadır. Özellikle üretim ve montaj süreçlerindeki kronik problemlerin çözümü için tasarlanmış olan İstatistiksel Mühendislik algoritması, sürecin değişkenliğini azaltmak için, süreç davranışları hakkında veri toplanması ve bu verilerin analiz edilmesi temeline dayanır. Bu yaklaşımda süreç bilgisini ampirik olarak arttırmanın yolu olarak Sor, Planla, Veri Topla, Analiz Et, Karar Ver (Question, Plan, Data, Analysis, Conclusion = QPDAC) döngüsü önerilmektedir. Yedi değişkenlik azaltma yaklaşımını merkez alan istatistiksel mühendislik algoritması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İstatistiksel Mühendislik Algoritması (Steiner, S.H. ve Mackay, R.J. 2005)

İstatistiksel mühendislik algoritmasında değişkenliği azaltmak için bir veya birkaç sabit girdi faktörünün değiştirilmesi gerektiği düşünülür. Burada örnek verilecek olursa döküm sıcaklığı süreç tasarımı bakımından bir sabit girdi faktörü (yani bir kontrol faktörü) olarak ele alınabilir. Ancak gerçekleşen döküm sıcaklığı değişken bir girdi faktörüdür. Aslında sabit olması gereken girdi faktörü değişkenlik gösterdiğinde, çıktı değişkeninin de değişkenliğinin

artmasına yol açmaktadır. Çıktı değişkenleri ile girdiler arasındaki ilişki şu matematiksel fonksiyonla açıklanabilir.

$$\text{çıkıtı} = f(\text{girdi1, girdi2, girdi3,}) \quad (1)$$

Her süreç çıktısı üzerinde etkisi olabilecek çok sayıda faktör mevcut olabilir. Ancak bu yaklaşımda faktör etkilerinin Pareto yasasına uyacağı, yani az sayıda sebebin çok yüksek etkiye sahip olacağı varsayılır. Bu az sayıdaki yüksek etkili sebepler “baskın (dominant) sebep” olarak adlandırılır. Steiner ve Mackay (2005) stratejilerini, gerçekte süreç performansını etkileyen sadece bir veya iki tane baskın sebep olacağı varsayımı üzerine kurmuşlardır.

Değişkenliği azaltmak amacıyla sabit girdinin değiştirilmesi için pek çok yol tanımlanabilir; Steiner ve Mackay (2005) değişiklik indirgeme için kullanılan yöntemleri aşağıda sıralanan yedi kategoride ele almaktadır. Bunlar sırasıyla,

1- Değişkenliği oluşturan bariz bir şekilde bilinen baskın sebebin düzeltilmesi,

2- Baskın bir sebep bilinirken sürecin duyarsızlaştırılması (Desensitization),

3- Baskın bir sebep varken ileri bildirim kontrolü yapılması,

4- Geri bildirim,

5- Süreci sağlam (robust) hale getirme,

6- %100 Muayene,

7- Süreç ortalamasının hareket ettirilmesi

şeklinde. İlk üç kategoride baskın bir sebep olması şartı aranırken diğerlerinde bu şart aranmaz. Bu yaklaşımlardan herhangi birini gerçekleştirmek için bir veya daha fazla sabit girdi değiştirilmelidir. Bu değişiklik bir ayar noktası değişikliği, bir süreç adımının değiştirilmesi, kontrol planının değiştirilmesi veya ürün tasarımının değiştirilmesi şeklinde olabilir.

Algoritmayı adım adım özetleyecek olursak öncelikle işe pek çok problem çözme yaklaşımında olduğu gibi sürecin yapısı ve davranışının anlaşılması ve sürece ait problemlerin açıkça tanımlanması ile başlamak, problemlerin ortadan kaldırılmasında oldukça büyük avantaj sağlayacaktır. Sürecin haritalanması, girdi ve çıktıların belirlenmesi çözüme ulaşmada oldukça büyük katkı sağlar. Daha sonra “*problem mevcut durumu*” tanımlanır ki bu, mevcut süreç performansının nümerik ve grafiksel gösterimidir. Probleme ait amaç “Mevcut Durum” un ne seviyeye getirileceği cinsinden ifade edilir. Daha sonra bu Mevcut Durum ile ilgili incelemeler planlanır ve yürütülür. Bu sırada sürecin “Mevcut Durum”u tahmin edilir, çıktıdaki tüm değişkenliğin yapısı

## **İstatistiksel Mühendislik Algoritmasının Altı Sigma Projelerinde Kullanılması Üzerine Bir Araştırma**

ortaya konur ve mümkün baskın sebeplere ait ipuçları toplanır. Bu aşamada QPDAC çerçevesinin kullanılması uygun olacaktır. Algoritmanın ikinci adımında ölçüm sisteminin geçerliliği sağlanır. Üçüncü adımda ise yedi kategoriden birine düşen işe yarar iyileştirme yaklaşımlarından birisi seçilir. Bu noktada eldeki eksik bilgi ile karar verilmeye çalışıldığı düşünülebilir. Aslında yapılmak istenen hem mevcut mühendislik bilgisi hem de toplanan süreç bilgisini göz önüne alarak işe yarar yaklaşımı seçmek ve bunun fizibilitesini araştırmaktır. Diğer bir deyişle eksik bilgiyle en iyi çözüm üretilmeye çalışılır. Süreçle ilgili daha fazla bilgi elde edildikçe tekrar bu aşamaya dönülmesi söz konusu olacaktır. Ortaya dökülen bariz kusurlar birer birer ortadan kaldırılacaktır. Bu noktada şu iki farklı stratejiden biri izlenebilir:

1-Baskın sebepler tespit edilir ve ilk üç yaklaşımdan biri hayata geçirilir veya

2-Baskın sebep olmadığı göz önüne alınıp diğer dört yaklaşımdan biri uygulanır.

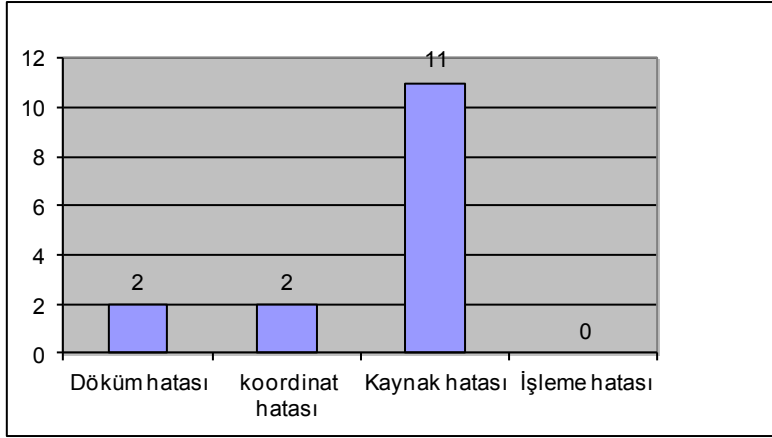
Eliminasyon yöntemi ve grafiksel teknikler baskın sebebin bulunmasında oldukça önemli rol oynar. Daha sonra her yaklaşımın maliyet ve zorlukları da göz önüne alınır, yaklaşımın fizibilitesi incelenip iyileştirmeler planlanır ve uygulamaya konur. Algoritmanın son adımında sonuçlar değerlendirilir ve iyileştirmeler kalıcı kılınır.

### **3. İstatistiksel Mühendisliğin Altı Sigma Projelerinde Kullanılması İle İlgili Uygulamalar**

Bu kısımda, otomotiv yan sanayinde önemli bir konuma sahip olan büyük ölçekli bir kuruluşta başlatılmış ve bu çalışmanın hazırlandığı tarih itibarı ile 3. fazının sonuna gelinen ve devam etmekte olan Altı Sigma projelerinden seçilmiş üç adet projenin, İstatistiksel Mühendislik algoritması göz önüne alınarak bir değerlendirilmesi yapılmış ve bu algoritmanın Altı Sigma projelerine veya diğer kalite iyileştirme stratejilerine yapabileceği katkılar değerlendirilmiştir.

Projenin ilk fazında üst yönetim, kritik öneme sahip olduğuna karar verdiği beş adet ürünü belirlemiş ve bu ürünlere ait kalite karakteristiklerinin değişkenliğini azaltarak hatasızlığı başarmayı hedeflemiştir. Hızla takımlar oluşturulmuş gerekli eğitimler verilmiş ve projelere başlanmıştır. Projelerin ilk fazının tanımlanması sonucunda, ağırlıklı ürünlerin DPMO seviyesi başlangıç öncesi ortalama 60.000 civarında iken ilk fazın sonunda kuruluş yaklaşık milyon fırsatta 13000 kusur seviyesine ulaşmayı başarmıştır. Bu da kuruluşun yaklaşık 3 sigma seviyesinden 3,7 sigma seviyesine ulaştığını göstermektedir. Bunu takiben başlayan ikinci fazda ise yeniden 5 adet yönetici belirlenmiş, proje takımları

oluşturulmuş ve yeni 5 adet ağırlıklı ürün belirlenerek ikinci faz çalışmalarına başlanmıştır. İkinci fazın sonunda, kuruluş yaklaşık 6000 DPMO ve buna karşılık olarak 4 sigma seviyesine ulaşmıştır. Projelerin 3. fazında ise kuruluş Altı Sigma proje seçimlerinde taktik değiştirmiş, buna bağlı olarak stratejik kararlarıyla uyum sağlayacak şekilde yeni 7 adet proje belirlemiş ve yeni 7 adet iyileştirme takımı oluşturmuştur. Başlanan bu 7 projenin 4 tanesi daha önce yapıldığı gibi anahtar sürecin tamamına odaklanmak yerine DPMO seviyelerinde, maliyetlerde ve özellikle müşteri şikâyetlerinde artışa neden olan kronikleşmiş problemler üzerine odaklanmıştır. Beşinci proje belirli bir kalite özelliğini iyileştirmek ve buna bağlı oluşan hasarlı muayene maliyetlerini düşürmek amacıyla seçilmiştir. Altıncı proje belirli bir sürece ait çevrim sürelerini düşürme amacıyla ve yedinci de enerji sarfiyatlarını düşürmek amacıyla başlatılmıştır. Bu çalışmada istatistiksel mühendislik algoritmasının kullanımının mümkün olduğu imalat süreçlerine bağlı oluşan kronik sorunlara odaklı üç adet Altı Sigma projesi ele alınmıştır.



**Şekil 2. 1. Sürecin hata dağılımları**

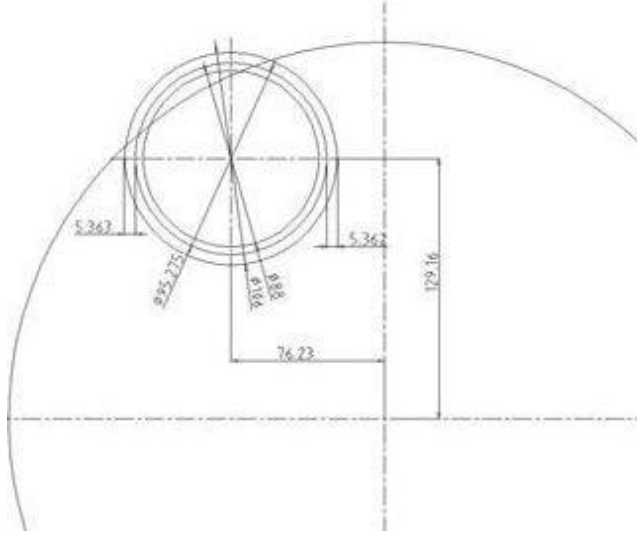
***Proje 1:*** Tandem Kovan Şnorkel Et Payı İyileştirme 6 Sigma Projesi

Tandemli kovanlarda işleme operasyonu sonrası et payı 4.0 mm'nin altında olan parçalar uygunsuzluk şikâyetleri oluşturmaktadır. Uygunsuzluğun yeniden işleme ile düzeltilmesi mümkün olmayıp tandem kesilerek yenisinin kaynatılmasını ve işlenmesini gerektirir. Bu durum kuruluşun sevkıyat ve kalite performansını olumsuz etkilemekte, yüksek düzeltme maliyetlerine sebep olmaktadır, gerek iç gerekse nihai müşterinin memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Proje takımı belirli bir tarihe kadar tandem şnorkel et payı değerlerinin kontrol altına alınması, hata oranının %14 seviyesinden sıfır hata seviyesine çekilmesini proje hedefi olarak belirlemiştir.



## İstatistiksel Mühendislik Algoritmasının Altı Sigma Projelerinde Kullanılması Üzerine Bir Araştırma

Proje maliyeti yaklaşık 15000\$ olarak tahmin edilmiş, projenin yaklaşık getirisi ise finans departmanı tarafından 151000\$ olarak hesaplanmıştır. Tanımlama aşaması bitiminde ekip ölçüm sistemlerinin güvenilirliğini sağladıktan sonra veri toplama planları oluşturmuş ve mevcut süreç performansını hesaplamıştır. Henüz tanımlama ve ölçme aşamasında ekip, Harrington (1991)'in önerdiği süreç yürüyüşlerini yaparak yani sürecin her noktasına giderek önceden hazırlanan sorular yardımıyla gerekli sorgulamaları yaparak, bu soruna neden olabilecek çeşitli kök nedenleri tespit etmiştir.



Şekil 3. Şnorkel-Kovan Bağlantısına ait Teknik Resim

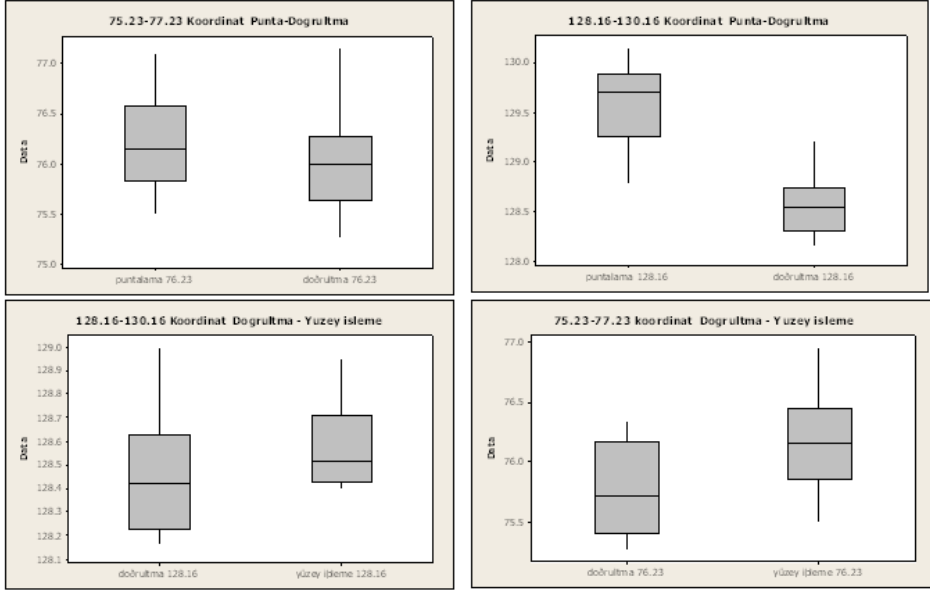
Toplanan veriler basit grafik yöntemlerle analiz edildi ve şu iyileştirmeler planlanıp hayata geçirildi:

1-Puntalama fixtürü (sabitleyici) revize edildi.

2-Birbirini izleyen puntalama doğrultma ve yüzey işleme operasyonlarının koordinatlar üzerinde nasıl bir kaymaya yol açtığı kutu grafikleri ile analiz edildi (bkz. Şekil 4). Şekil 3 ile verilen Şnorkele ait spesifikasyonların hatalı olduğu tespit edildi. Boyut ve toleranslar yeniden belirlenerek müşteri onayı ile revizyon yapıldı.

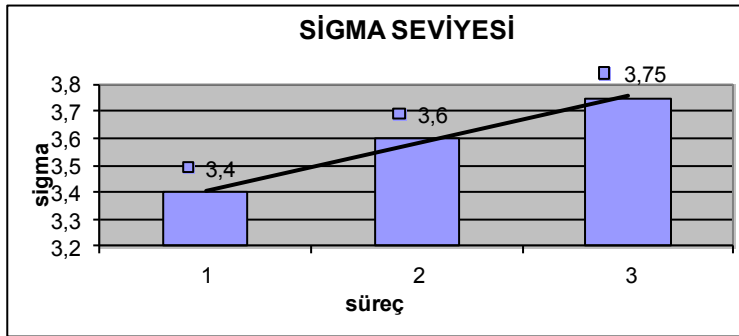
3-Şnorkel tedarikçileri karşılaştırıldı ve daha iyi fiyat ve kalite performansına sahip yeni tedarikçiyle çalışılmaya başlandı.

4- Kaynak operasyonunun başlangıç ve bitim noktaları yeniden atanarak kaynak hataları ortadan kaldırıldı.



Şekil 4. Ardışık operasyonlarda koordinatlardaki kaymaların ikişerli kutu grafikleri ile karşılaştırılması

Proje tamamlandığında kusurlu oranında %12 lik iyileşme başarılı ve projenin toplam finansal getirisi 133500\$ olarak gerçekleşti.



Şekil 5. 1. Proje üretim partilerinin sigma seviyelerinin iyileştirmelerle birlikte seyri. (Yatay eksen, iyileştirmeler başladıktan sonraki üretim parti numaralarını göstermektedir.)

**Proje 2:** Kovan Makas Tablaları Delik Konum Ve Makas Tablalarının Birbirine Göre Paralellik Hatasının Azaltılması

## İstatistiksel Mühendislik Algoritmasının Altı Sigma Projelerinde Kullanılması Üzerine Bir Araştırma

Kovanların makas tablası delik pozisyon ve tabla yüzeylerinin birbirine göre paralellik hatasından dolayı söz konusu özellikler pleytte (bir ölçüm ortamı) %100 ölçülmektedir. Ölçüm sonrası hatalı kovanlar ayıklanarak, fabrikasyon ve işleme hattında yeniden işlemeye tabi tutulmaktadır. Bu işlemlerden dolayı aşırı maliyetler ve iş gücü kaybı oluşmakta, sevkiyat performansı olumsuz etkilenmekte, iç ve dış müşteri memnuniyetsizliği meydana gelmekteydi. Proje ekibi için, belli bir tarihe kadar her iki özellikteki (makas tablası delik konum/simetriklik ve paralellik) toplam %13 olan hata oranının %0'a düşürülmesi ve %100 ölçümün kaldırılması ile maliyetlerin azaltılmasını proje hedefi olarak belirlendi. Proje sonucunda 28000\$ lık direkt kazanç beklenirken bu miktarın %30 u proje maliyeti olarak tahmin edildi. Daha sonra toplanan veriler yine ileri olmayan basit istatistik tekniklerle ve grafik yöntemlerle analiz edildi. Aşağıdaki kök nedenler tespit edildi ve ortadan kaldırılmaları için iyileştirmeler planlandı:

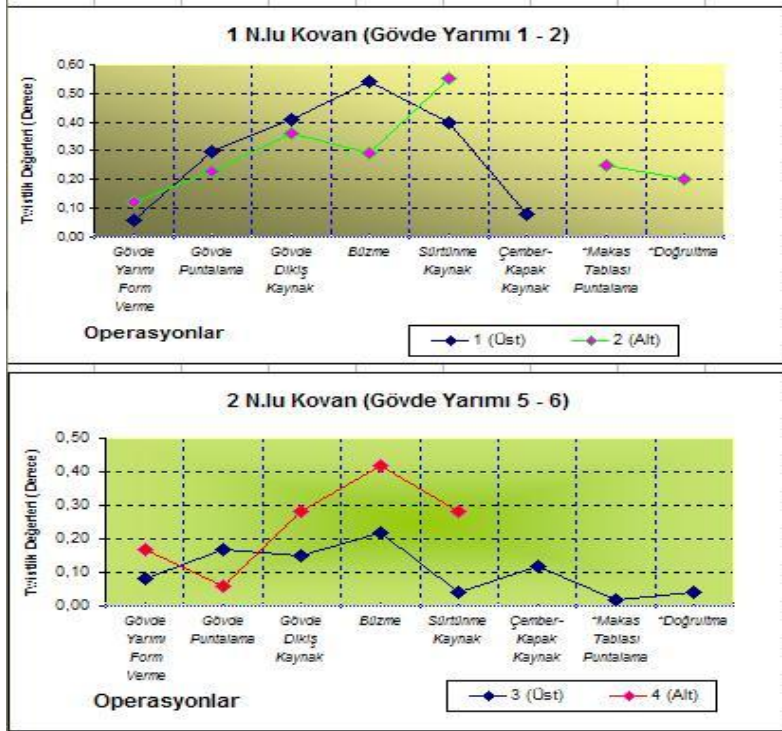
1. Gövde yarımı üretiminde makas tablası açığı ve delik hatalarının maksimuma çıktığı üretimlerde eski pres hattının kullanıldığı, yeni pres hattında üretilen ve soğutma kulesinden geçen gövde yarımaları ile yapılan kovanların hata oranının azaldığı tespit edildi.
2. Makas tablası açığı hatasının direk sebebi olabilecek etkenlerden bir tanesi de makas tablasının kendi açısal hatasıdır. Makas tablası dövme olduğundan dolayı üst/alt yüzey paralellik hassasiyeti düşüktür. Bu açısal hatası gövdenin kendi hatası ile birleşerek kaynak sonrası makas tablalarının birbirine göre açığı değerinin hatalı çıkmasına neden olabilmektedir. Yapılacak olan makas tablası açığı hatasındaki iyileştirmenin (0,02 °) yeterli olmamasından dolayı maliyet artışı yüzünden bu iyileştirmenin yapılması uygun değildir.
3. Makas tablası konum ve paralellik hatasının oluşmasına en çok etki eden süreçlerin başında gövde yarımı puntalama operasyonu gelmektedir. Şekil. 5 de bu durum twistliğin (burulmanın) grafiksel seyri olarak gösterilmiştir. Buna göre, gövde yarımı puntalama sürecinde, kovan yarımaları deforme olmakta ve gövdenin burulmasına sebep olmaktadır. Makas tablası açığı hatasının en büyük sebebi kovan kollarının birbirine göre açısal hataya sahip olmasıdır. Bu da gövde puntalama sürecinde kolların burulması ile oluşabilmektedir. Bu çalışmada gövde yarımı puntalama presinde kullanılan altlıklarda iyileştirme yapılmıştır.
4. Braket ve Makas Tablası puntalama işleminde yapılan incelemelerde, çeşitli eksiklikler tespit edilmiş olup bu eksikliklerin potansiyel makas tablası konum hatası yaratması sebebi ile revizyon yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

a) Makas tablası ve üzerinde çalıştığı sürtünmeli eski tip aşınmış kızaklar tamamen atılarak yerine sert, standart olan -H- kızaklı yataklar kullanılarak, ömür ve maliyet açısından da aparatta iyileştirme sağlanmıştır.

b) Yeni yapılan H yataklarda pim çapları da arttırılmış olup , eski durumda Ø13,80 mm olan pim çapı Ø14,00 / Ø13,97 mm , üst delik pim çapı da Ø12,35 mm den Ø12,80 mm/ Ø12,77mm olarak değiştirilmiştir.. Böylece makas tablası delikleri ve pimler arasındaki boşluk en aza indirilmiştir.

5. Kovan doğrultma işlemi sonrası delik konum hatası için aparat üzerinde kontrol süreci revize edildi Ø13,00 olan pim çapları Ø13,40 olarak değiştirildi. Böylece hatalı kovanın aparat üzerinde uygun bulunması için hata payı azaltıldı.

Yapılan iyileştirmeler sonucunda %13 olan yeniden işleme oranı %5 seviyesine düşmüştür. Proje maliyeti 3452\$ getiri ise 12200\$ olmuştur. Bunun dışında bir tezgah boşa çıkarılarak dolaylı kazanç elde edilmiştir.



Şekil 5. Ardışık operasyonlarda gövde twistliğindeki (burulmadaki) bozulmanın seyri

## İstatistiksel Mühendislik Algoritmasının Altı Sigma Projelerinde Kullanılması Üzerine Bir Araştırma

### Proje 3 : İlave Dingil Makas Kaydırma Problemi Altı Sigma Çalışması

İlave dingil üzerinde bulunan makas tutucularının makas üzerinde kayması sonucu müşteri şikâyetleri oluşmaktadır. Proje takımı belirlenmiş bir tarihe kadar kaydırma problemini çözerek müşteri memnuniyetsizliğini ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Ekip yaptıkları beyin fırtınası ve sebep sonuç analizleri ile en önemli kök nedenin malzeme özelliklerinden kaynaklandığına karar vermiş ve çok sayıda laboratuvar analizi yaptırıp bunların sonuçlarını karşılaştırmıştır. Malzemenin kalıcı deformasyon bakımından yetersiz olduğu tespit edilmiş, kül oranının da uygun olmadığı belirlenmiştir. Üç farklı tedarikçiden alınan numuneler test edilmiş ve sonuçlar kalite ve fiyat bakımından karşılaştırılarak en iyi tedarikçi seçilmiştir.

### 4. Değerlendirme ve Sonuçlar

İstatistiksel mühendislik algoritması, değişkenlik problemlerinin çözümünde, basit istatistiksel tekniklerin kullanılmasıyla özellikle baskın sebeplerin belirlenmesi üzerine odaklanmaktadır. Üç Altı Sigma projesi baskın sebepler bakımından incelendiğinde ilkinde iki adet baskın sebep tespit edilmiştir. Resim hatası ve kaynak konumuna bağlı hata toplam kusurların yaklaşık %80 ini oluşturmaktadır bu da baskın sebep varsayımını desteklemektedir. İkinci projede her iki karakteristik bakımından kalite uygunsuzluğuna yol açan pek çok faktör vardır. Proje ekibi mümkün olan bütün küçük iyileştirmeleri yapmış proje hedefine oldukça yaklaşmıştır. Ancak bir veya iki baskın sebepten bahsetmek mümkün değildir. 3. projede yine malzeme bileşimi baskın sebep olarak ortaya çıkmaktadır.

Hiçbir projede ekipler ileri istatistik teknikler kullanmaya ihtiyaç duymamışlar yerinde gözlemler ve süreç yürüyüşleri yardımıyla bariz görülen iyileştirmeleri yakalamışlardır. Baskın sebep mevcut olsa da olmasa da süreç yürüyüşleri çoğu zaman bariz iyileştirme fırsatlarının yakalanmasına yardımcı olmaktadır. Sebeplerin baskın olmadığı durumlarda bile yapılan 10 iyileştirme faaliyetinin 7 sinin ilk 3 kategoriye düştüğü görülmektedir. 2. Projede %100 muayene ortadan kaldırılamamış ve kalite bu şekilde güvence altına alınmıştır. 1. Projede yapılan resim revizyonu sırasında süreç ortalaması değiştirildi ve bu şekilde iyileştirilme sağlandı. 2. Projede aşınmaya bağlı oluşabilecek kalite kusurları geri bildirim yardımıyla araştırılmak üzere kontrol aşaması çıktıları olarak kontrol planına yerleştirildiler.

Burada en dikkat çekici noktalardan biri projelerin 3. fazında bile hala 5. kategori olan sürecin sağlam (robust) hale getirilmesi ile ilgili hiçbir faaliyet yürütülmemesidir. Oysa bu kategorideki iyileştirmeler Altı Sigma literatüründeki örnek projelerdeki iyileştirme faaliyetlerinin çoğunluğunu oluşturmaktadır.

İstatistiksel mühendislik algoritması tek başına Altı Sigma projesi kadar sağlam bir yapısalılık sunmamakla birlikte süreç bilgisi ile mühendislik bilgisini bir araya getirmek ve pratik ve basit sonuçları hızla uygulayabilmek bakımından Altı Sigma uygulayıcılarına oldukça iyi bir perspektif sunmaktadır. Bu pratik yaklaşım, iyileştirmelerin kalıcı kılınması şartı sağlandığı sürece özellikle imalat süreçlerinde yürütülen kalite iyileştirme projelerinde oldukça faydalı olacaktır.

### **5. Kaynakça**

- Allen T.T. (2006), *Introduction to Engineering Statistics and Six Sigma, Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems*, Springer
- Bhote, K.R. (1991) *World Class Quality*, American Management Association, NY.
- Bhote, K.R. (2003), *The Power of Ultimate Six Sigma*, AMACOM Gitlow, H.S ve Levine D.M (2005) *Six Sigma for Gren Belts and Champions* Prentice Hall NJ
- Harrington, H.J. (1991), *Business process improvement: The breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*. McGraw-Hill, Inc. NY
- Juran, J. (1989), *Juran on Leadership for Quality: An Executive Handbook*, Free Press, New York, NY.
- Makrymichalos, M. ve Antony, J. (2005) Statistical thinking and its role for industrial engineers and managers in the 21st century *Managerial Auditing Journal* Vol. 20 No. 4, pp. 354-363
- Mast, J. (2004) “A methodological comparison of three strategies for quality improvement” *International Journal of Quality & Reliability Management* Vol. 21 No. 2, pp. 198-213
- Montgomery D.C. (1996), *Introduction to Statistical Quality Control* 4<sup>th</sup> edition, John Wiley and Sons, New York.
- Pyzdek T. (2003), *Six Sigma Handbook*. Mc Graw Hill.
- Raisinghani M. S.(2005), Six Sigma: concepts, tools, and applications *Industrial Management & Data Systems* Vol. 105 No. 4, pp. 491-505
- Ross, P. J. (1996), *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. McGraw-Hill, New York, NY.
- Shainin R.D. (1993), Strategies for Technical Problem Solving, *Quality Engineering* , 5, pp. 433-438
- Shainin R.D. (1992), Technical Problem Solving Strategies, A Case Study, *46th Annual Quality Congress Proceedings*, ASQC, pp. 876-882

## **İstatistiksel Mühendislik Algoritmasının Altı Sigma Projelerinde Kullanılması Üzerine Bir Araştırma**

- Steiner, S. H. ve Mackay, R. J. (2005), *Statistical Engineering: An Algorithm for Reducing Variation in Manufacturing Processes*, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.
- Whitaker, J. ve Johnson, D. (2001), *Statistical Thinking for Managers*, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL.