

## Altı Sigma Yönteminin Bir Enerji Santralinde Uygulanması

Zümrüt Ecevit Satı<sup>a</sup>

Koray Gülay<sup>b</sup>

**Özet:** Son yıllarda dünyadaki birçok lider kuruluşun uygulamakta olduğu süreç iyileştirme tekniği olarak bilinen Altı Sigma, üretimden personel yönetimine, finanstan pazarlamaya, şirketlerin her türlü sürecini daha verimli hale getirerek karlılıklarını arttırmalarına ve büyümelerine yardımcı olan bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır. İşletmeler her geçen gün farklılaşan, yeni teknoloji ve rekabetle karşılaşılan küresel pazarlarda kendilerini sürekli geliştirmek ve çalışmalarını sürekli iyileştirmek zorundadırlar. Bu çalışmada, işletmelerin sürekli gelişmesine rehberlik etmeyi amaçlayan Altı Sigma yönetim felsefesi tanıtılmakta ve Türkiye'nin önemli enerji firmaları arasında yer alan Enerjisa enerji santralindeki uygulama örneği incelenmektedir. Enerji santralinde buhar üretimi kayıplarına yol açan nedenlerin bulunması, üretimi etkileyen bu faktörlerin iyileştirilmesi ve verilerin istatistiksel yöntemlerle analizi ile Altı Sigma proje hedefine nasıl ulaşıldığı ortaya konulmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Altı Sigma, Kalite, DMAIC

**JEL Sınıflandırması:** L21, M10

## The Application of Six Sigma Method in a Power Plant

**Abstract:** In the last decade a process improvement technique, known as Six Sigma, is implemented by many pioneers of the industry as an approach used to more productive and increase profits in all business process from production to human resources management, from finance to marketing. The companies would like to keep and improve their position in a daily changing world market while new techniques and concepts are introduced to the global markets every day and this is only possible through continuous improvements and breakthroughs. In this study, it has been presented the six sigma practice of a power plant owned by Enerjisa, a major energy company in Turkey. In order to achieve Six Sigma project targets, quality techniques and statistical techniques (hypothesis testing, design of experiment etc.) are used.

**Keywords:** Six Sigma, Quality, DMAIC

**JEL Classification:** L21, M10

<sup>a</sup> Assist. Prof. Dr., Istanbul University, Faculty of Political Sciences, Istanbul, Türkiye, zsati@istanbul.edu.tr

<sup>b</sup> Purchasing Specialist, ENERJISA, Türkiye, kgulay@enerjisa.com.tr

## 1. Altı Sigma Kavramı

Firmaların rekabet gücünü arttırmak, daha yüksek verimlilik ve performans düzeylerine ulaşmalarını sağlamak amacıyla uygulanan Altı Sigma yaklaşımı, son yıllarda giderek daha fazla önem kazanmaya başlamıştır. Altı Sigma yaklaşımı; her alanda kayıpları azaltmak, maliyetleri düşürmek, verimliliği arttırmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak amacıyla, kayıpların veya uygunsuzlukların olduğu ve buna bağlı olarak fırsatların bulunduğu her alanda yaygın olarak uygulanabilmektedir.

Bilindiği gibi, iş dünyasında rekabetin ilk şartı müşterilerin ihtiyaçlarını doğru saptamaktan ve bu ihtiyaçları rakiplerden çok daha hızlı, kaliteli ve aynı zamanda daha ekonomik şekilde karşılamaktan geçmektedir. Altı Sigma yaklaşımı bu amacı engelleyen her şeyi problem olarak görerek kuruluşların hem kârlılığına hem de pazar payına olumsuz etki eden problemleri hızla ve başarıyla çözebilme becerisini en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır.

Honeywell CEO'su Dave Cote tarafından Altı Sigma "içerisinde kuvvetli araçların bulunduğu bir teknik program gibi görünse de, aslında bütününde yönetsel ve kültürel bir değişim programı" şeklinde ifade edilmiştir (Polat vd., 2005).

Altı Sigma, Toplam Kalite Yönetimi'nin önemli odak noktalarından biri olan süreçlerin kalitesinin ölçümü ve iyileştirilmesinde, kullanılabilen bir yöntem, bir metodolojidir (Pande vd., 2000).

Mikel Harry'nin "Altı Sigma" olarak nitelendirdiği yaklaşım ise mükemmelle ulaşma, müşteri tatmini sağlama, süreç iyileştirme, sıfır hataya ulaşma gibi hedeflere değişkenliğin ortadan kaldırılmasıyla ulaşılabileceğini savunmaktadır (Argüden, 2002: 26). Böylelikle değişkenlik daha ilk aşamada yok edilebilirse, doğru iş zamanında yapılmış olacak ve daha sonra hatayı düzeltmek veya tanımlamak için ikinci bir zahmetli ve maliyetli sürece girilmeyecektir.

Altı Sigma, yüksek standartları hedef almış bir kalite yönetim felsefesi olup sigma sayısı arttıkça, belirlenmiş hedefe göre değişimlerin, başka bir ifadeyle fire miktarının azalacağını öngören bir anlayışı içermektedir. Bu yöntemde, bir firmanın ürün ve hizmetlerdeki performansı sigma düzeyi ile ölçülür. İş süreçlerinde sapma yaratan nedenler tespit edilip zararsız hale getirildikçe, sigma düzeyi sürekli artmaktadır. Bu da iş ve üretim süreçlerinde hataların azalacağı anlamına gelmektedir.

Altı sigma yaklaşımı, müşteri isteklerini ve beklentilerini karşılamak ve müşteri tatminini en yüksek düzeyde sağlamak için sürekli iyileştirme esasıyla proje odaklı bir yönetim anlayışına da dayanmaktadır. Bu açıdan, "altı sigma, süreçleri ve ürünleri sistematik ve bilimsel yaklaşımlarla müşteri gereksinimlerine göre iyileştirmek ve verimliliği arttırarak sürekli kılmak için, verileri ve istatistiksel araçları kullanan ve kritik başarı faktörlerine göre kaliteye ve verimliliğe projelerle odaklanan bir yöntem" olarak değerlendirilmektedir. Altı Sigma sadece kaliteye ve verimliliğe odaklanmakla kalmamakta, organizasyonun tüm süreçlerinin ölçümünü, süreç davranışlarının kararlılığını, analizini, iyileştirmesini ve kontrolünü de sağlayan bir yapı sunmaktadır (Işığışık, 2005: 90).

Altı Sigma'nın diğer iyileştirme tekniklerinden en büyük farkı; tek bir yöntem ya da strateji üzerine kurulu, gelip geçici bir heyecan olmamasının yanı sıra yöneticilik becerisini ve performansını iyileştirmeyi hedefleyen esnek bir sistem olmasıdır. Kısa süre içinde yöntemi uygulayan çok sayıdaki işletmenin elde ettiği büyük kazançlar başarılı uygulamaların sonucunu göstermektedir. Diğer bir nokta da, Altı Sigma'nın kalıcı başarıyı garantileyecek yeni yapı ve uygulamaları geliştirmede oynadığı roldür (Harry, 1997: 4).

Altı Sigma günümüze değin kalite yönetimi/toplam kalite yönetimi/mükemmellik arayışı/başarılı kurum oluşturma yolunda verilen emeğin, kazanılan birikimlerin, deneyimlerin istatistiksel yöntemlerin bilinçli ve istekli kullanımı eşliğinde başarı yolunda kullanılması çabasının bir yansımasıdır. Buna dayalı olarak Altı Sigma kavramına ilişkin olarak farklı kesimler tarafından önemli görülen boyutlar ön plana çıkarılmıştır.

İlk olarak Altı Sigma istatistiksel bir ölçüm tekniği şeklinde değerlendirilmektedir. Ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin ne kadar iyi olduğu hakkında bilgi veren bir ölçüm tekniği olarak ürünlere, hizmetlere ve süreçlere benzeyen veya benzemeyen diğer ürünler ile hizmetler ve süreçlerin karşılaştırılmasını sağlar. Bu durumda işletmelere rakiplerinden ne kadar ileride veya geride olduğunu gösterir ve en önemlisi nereye gidilmesi gerektiği ve bunu başarmak için ne yapılması gerektiğini belirtir. Örneğin, bir sürecin Altı Sigma kalite düzeyinde olması onun sınıfının en iyisi olduğu anlamını taşımaktadır. Bu düzeydeki bir süreç bir milyon üründe veya hizmette sadece 3 adet hatalı ürün veya hizmet üretme yeteneğinde demektir. Diğer taraftan bir diğer sürecin 4 sigma kalite düzeyinde olması, onun ortalama kalite düzeyinde olduğunu gösterir. Bu da bir milyon ürün veya hizmette 6200 hatalı ürün veya hizmetin üretilmesi anlamını taşımaktadır.

Altı Sigma'da ölçüm ve istatistiksel analizler süreçlere ilişkin problemlerin sebeplerini tespit etmek ve sistemdeki değişikliklerin etkilerini ölçmek amacıyla kullanılır. Bilimsel yaklaşım, süreçlerde değişiklik yapmadan önce süreç performansının değerlendirilmesi ve anlaşılmasını gerektirir. Bunun için yönetim öncelikle hangi verilere ihtiyaç duyduğunu belirler ve daha sonra bu verileri en fazla yarar sağlayacak şekilde nasıl kullanabileceğine karar verir (Baş, 2003).

İkinci olarak, Altı Sigma bir işletme ve yönetim stratejisi bakışıyla ele alınmaktadır. Buna göre içerdiği stratejiler ve çağdaş yönetim anlayışı ile işletmelerin rekabet üstünlüğü kazanmalarında gereken rehberliği sağlamaktadır. Bunun nedeni süreçlerin sigma düzeyleri yükseldikçe ürün kalitesi yükselmekte, maliyetler azalmakta ve müşteri daha çok tatmin olmaya başlamaktadır (Antony, 2004). Bununla beraber Altı Sigma yaklaşımı bir iş aktivitesinin kabiliyetinin ölçümünde kıyaslama (benchmarking) metodu olarak da kullanılabilir. Altı Sigma yöntemi ile sigma skalası boyutunda tüm ürünlerin veya hizmetlerin kalite düzeyleri ölçülebilmektedir. Altı Sigma iş başarısını sağlamak, sürdürmek ve maksimize etmek için kullanılacak kapsamlı ve esnek bir sistemdir. Altı Sigma, sadece müşteri ihtiyaçlarının yakından anlaşılması, olayların, verilerin ve istatistik analizlerin sistematik kullanımı ve iş proseslerinin yönetimi, iyileştirilmesi ve tekrar yapılandırılmasına özel önem verilmesi ile sağlanabilir. Gerçekleştirilebilecek iş başarıları, Altı Sigma'nın çok farklı alanlarda kanıtlanan yararlarından dolayı oldukça geniş bir alana yayılabilmektedir. Bunlardan bazıları;

- Maliyetlerde azalma
- Üretkenlikte artış

- Pazar payında artış
- Müşteri tatmininde artış
- Döngü-süresinde azalma
- Hata oranında azalma
- Olumlu kültürel değişim
- Ürün/hizmet geliştirme şeklinde özetlenebilir.

Üçüncü olarak Altı Sigma bir felsefedir. Bu daha çok değil daha akıllı çalışma felsefesidir ve yapılan her işte gittikçe daha az hata yapma şeklinde açıklanabilir. Süreçlerde sapma yaratan kaynakları tespit edip zararsız hale getirdikçe, sigma düzeyi sürekli artacaktır (Antony, 2004).

Altı Sigma, sayısal tekniklerle yönetim yaklaşımlarının kesişim kümesinde yer alarak uygulandığı şirketlere kazandırdıkları ile çeşitli yazarlarca bir *yönetim stratejisi*, bir *hedef* (milyonda 3,4 den daha az hata oranı ile müşteri ihtiyaçlarının karşılanması), *istatistik bir yöntem* ve *kültürel bir değişim süreci* olarak kullanılmaktadır. Bu betimlemeler esas alınarak inceleme yapıldığında geleneksel yaklaşım ile Altı Sigma yaklaşımı temel değerler için Tablo 1'deki gibi karşılaştırılmaktadır.

**Tablo 1:** Temel Değerlerin Karşılaştırılması

	Geleneksel Yaklaşım	Altı Sigma Yaklaşımı
İmal edilebilirlik	Deneme ve yanılma	Dirençli tasarım
Analiz	Deneyim	Veri
Odak	Ürün	Süreç
Zaman	Reaktif	Proaktif
Planlama	Kısa Dönem	Uzun dönem
Kontrol	Dışsal	Kendi kendini kontrol
Psikolojik anlaşma	Uyum	Bağlılık
Yapılar ve sistemler	Bürokratik	Organik
İşgören ilişkileri	Düşük Güven	Yüksek güven
	Personel	İnsan kaynakları yönetimi

**Kaynak:** Gürsakar vd., 2003; Erdiler ve Orbak, 2005, s.558.

Görüldüğü üzere Altı Sigma felsefesi, maliyetlerde ve hata oranında azalma, verim, pazar payı, müşteri ve çalışanların memnuniyetinde artış, kurum kültüründe olumlu değişim gibi konularda firmalara fayda sağlamaktadır. Altı Sigma, kusur ve hataları en aza indirebilmek ve sıfır hataya yakın kalite düzeyini gerçekleştirebilmek için işletmelerin dikkatle uygulaması gereken bir metodolojiye dayanmaktadır.

Altı Sigma; “müşteri ihtiyaçlarının en etkin şekilde değerlendirilmesi ve süreçlerin iyileştirilmesi için şimdi ve gelecekte tüm çalışanların bilgilerinin ve kantitatif metotların etkin olarak kullanılması” şeklinde de ifade edilmektedir (Pande ve diğerleri, 2003). Bu kavram Toplam Kalite Yönetimi tecrübesine sahip işletmeler için yabancı olmamakla birlikte, bu işletmelerin çok azı müşteri ihtiyaçlarını anlamak için yoğun çaba göstermişlerdir. Bazıları ise, bunu gerçekten istemelerine rağmen bütüncül bir yaklaşım geliştirememeleri nedeniyle başarılı olamamışlardır. Altı Sigma ise müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli araçlara hatta bunların fazlasına sahiptir. Bu nedenle Altı Sigma’ da müşteriye verilen öncelik sadece kağıt üzerinde kalmaz. Tüm çabalar müşterinin nelere değer verdiğinin tespit edilmesi ve bunların etkin bir şekilde karşılanmasına yöneltilir (Eckes, 2005).

## 2. Altı Sigmanın Gelişimi

Altı Sigma yönetim sisteminin asıl tarihi Deming, Juran ve Ishikawa gibi Toplam Kalite Yönetimi (TKY) liderlerinin çalışmaları sonucunda başlamıştır. Ancak günümüzde bilinen anlamıyla bu metodolojisinin, 1980'lerin ortalarında Motorola tarafından geliştirildiği belirtilmektedir (Tok, 2006: Dalğar vd., s.241). Altı Sigma Japon kalite fikirleri ve kontrol sistemlerinin süreç iyileştirmelerinde kullanılması amacı ile Motorola şirketi tarafından geliştirilmiştir. Motorola Altı Sigma sürecinin uygulanmasına ilk olarak 1980'lerde başlamıştır. İşletmelerdeki mevcut problemleri çözerek Altı Sigma kalitesinde yeni ürün ve süreçler tasarlamak için oluşturulmuş ve kendini kanıtlamış bir projedir. Motorola'nın başarı hikâyesini duyan Amerikan şirketleri de Altı Sigma metodunu kullanmaya ve başarılı iş sonuçları elde etmeye başlamışlardır. Özellikle General Electric'in metodolojiyi stratejik bir araç olarak kullanmaya başlaması, yöneme global bir boyut kazandırmıştır (Karaköse, 2004: Dalğar vd., 2010, s.241). İlk olarak üretim sektörlerinde uygulanmaya başlanan Altı Sigma, 1995'li yıllarda hizmet süreçlerinin iyileştirilmesinde de kullanılmaya başlanmasıyla değişime uğramıştır. İlk uygulama adımı olarak müşteri sesinin ve kalite öncelikli hedeflerin belirlenmesinde kullanılan tanımlama aşaması da sürece ilave edilmiştir. American Express, Citibank, J.P: Morgan, GE Capital gibi şirketlerde, bankacılık, pazarlama ve lojistik gibi sektörleri de içine alacak şekilde uygulama alanını genişletmiştir (Yavuz, 2005: Dalğar vd., 2010, s.241). Son yıllarda istatistiksel tekniklere ve süreç geliştirmeye dayanan Altı Sigma yaklaşımı, çok sayıda geleneksel üretim şirketi tarafından da önemli bir sistem olarak ele alınmakta ve uygulanmaktadır (Sehwal, 2003: Dalğar vd.; 2010, s. 241).

## 3. Altı Sigma'nın Temel İlkeleri

Kalite kavramı bugüne kadar değişik boyutlarda tanımlanmış olup Altı Sigma anlayışı içinde firmaların tüm çıkar gruplarını, müşterileri, çalışanları, tedarikçileri vb, memnun edecek ve ihtiyaçlarını karşılayacak karakter ve faaliyetleri içermektedir (Lagrosen ve Lagrosen, 2000: Turan vd, 2008). Araştırmacılar tüm kalite boyutlarının üretim veya hizmet işletmesi farkı gözetmeksizin her işletme için aynı öneme sahip olduğunu ve geçerli olduğunu belirtmişlerdir (Zeithaml vd., 1990: Turan vd., 2008). TKY temel ilkeleri Bergman ve Klefsjö (1994; Turan vd. 2008) tarafından; verilere dayalı karar verme, herkesin katılımı, süreçlere odaklanma, sürekli gelişme ve müşterilere odaklanma olarak beş boyut etrafında incelenmiştir. Pande ve diğerleri (2003) bu boyutları temel alarak ve geliştirerek, Altı Sigma'nın temel ilkelerini belirlemeye çalışmışlardır. Bunlar:

- **Müşteri odaklılık:** Altı Sigma için müşteri odaklı olmak önemlidir. Tüm performans ölçümleri müşteri ile başlar. Ölçüm ve değerlendirmelerde müşterilerin bugünkü ve gelecekteki muhtemel ihtiyaçları dikkate alınmalıdır. Altı Sigma'nın uygulanmasının temeli firmanın ana müşterilerini tespit etmesiyle başlar. Bu yöntemin uygulama sürecinde müşterilerin asıl olarak firmadan ne istediklerini öğrenmek, istek ve ihtiyaçlarının zaman içerisinde nasıl değiştiğini tespit etmek büyük önem taşımaktadır.
- **Yönetimin katkısı:** Altı Sigma'nın başarısı için, yöneticilerin çalışanları bir aile gibi görmesi, yeni, sürekli ve iddialı hedefler oluşturması ve bu hedeflerin arkasında durması, dinamik, duyarlı ve proaktif bir yönetim tarzı benimseyip, uygulamasını gerektirmektedir.

- **Herkesin aktif katılımı:** Altı Sigma'nın başarısı için işletmenin tedarikçilerinden, çalışanlarına kadar herkesin, bu geliştirme ve yönetim sürecine katılması ve katkıda bulunması gereklidir.
- **Süreç odaklı yönetim ve sürekli gelişme:** Süreçler Altı Sigma'nın temel eylem yerleridir ve başarının anahtarlarıdır. Hataların önceden, oluşmadan, süreçlerde tespit edilmesi ve büyümeden önlenmesi asıldır. Altı Sigma'nın uygulama başarısının temelinde işletmenin sahip olduğu müşterilere değer yaratan ürün, hizmet, destek ve bilgi yönetimi, paylaşım ve değerlendirme süreçlerinin tespiti yatar.
- **Verilere dayalı yönetim:** İşletme yöneticileri genelde kararlarını verilere dayalı değil de, tecrübe, içgüdü ve varsayımlara dayanarak vermektedirler. Altı Sigma'nın temeli hataların bulunması ve ortadan kaldırılması için sadece tecrübe veya içgüdülerle değil, kapsamlı ve karmaşık verilere de dayanarak, istatistiksel analizler sonucunda karar verilmesine dayanır.
- **Başarısızlığa karşı hoşgörü:** Altı Sigma'yı uygulayan her işletme, başarısızlığa karşı hoşgörülü olmalı, uzun süren mükemmelle ulaşma sürecinde çalışanların risk almasını teşvik etmelidir.

Bu temel ilkeler için müşteri odaklı olmak, takım çalışması ve sürekli gelişme vazgeçilmez unsurlardır ve örgüt kültüründe değişimi gerektirmektedir. Kalite temeline dayanan yönetim ilkeleri, tüm işletme çıkar sahiplerinin katılımı ve müşteri memnuniyetine dayanan uzun dönemli başarı ve tüm bunların sonucunda firmanın tüm çalışanları ve genel olarak toplum açısından faydalı sonuçlar elde etmek esasına dayanmaktadır (Hellsen ve Klefsjö, 2000). Altı Sigma ve bu bağlamda TKY, sadece bir teknik olarak görülmemeli, örgüt kültüründe köklü değişiklikler yapma süreci olarak ele alınmalıdır (Lagrosen ve Lagrosen, 2000: Turan vd. 2008).

#### 4. Altı Sigma'da Maliyet Yönetimi

İş süreçlerindeki direkt işçilik ve boşa harcanan işçilik maliyetleri, fire maliyeti, müşteri kaybetme maliyeti, enerji maliyetleri, taşıma maliyetleri ve çeşitli nedenlerle ortaya çıkan maliyetler üretim maliyetlerini yükseltmekte, yükselen maliyetler de fiyatları yukarı çekerek işletmelerin rekabet gücünü azaltmaktadır. Altı Sigma yönteminde ise amaç, süreçlerde oluşabilecek hatayı sıfır düzeyine yani mükemmellik noktasına ulaştırmaktır. Mükemmellik noktasında kaynakların etkin kullanılması, verimlilik, katma değer yaratmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılması ve azaltılması ile maliyetler azalarak kar artışı sağlanabilecektir. Maliyetlerin azaltılması amacıyla Altı Sigma yönetim sistemini uygulayan dünya çapındaki birçok şirket bu anlamda önemli başarılarla imza atmışlardır. Şirketlerin uygulamaları neticesinde ortaya çıkan en belirgin sonuç ise elde ettikleri parasal kazanımlarıdır. Uluslararası ölçekte faaliyet gösteren bazı şirketlerin bu uygulamalar sonucunda elde ettiği kazanımlar Tablo 2'de gösterilmektedir (Komay, 2002).

Altı Sigma sistemini uygulayan uluslararası firmaların elde ettikleri kazanımları ve olumlu tecrübelerini gören ülkemizdeki bazı firmalar da bu yaklaşıma kayıtsız kalmamışlar ve bünyelerine bu yönetim sistemini entegre ederek önemli miktarlarda tasarruf sağlamışlardır. Ülkemizdeki bazı firmaların Altı Sigma sistemini uygulamaları neticesinde sağladığı tasarruflar Tablo 3'de verilmiştir (Ergün, 2003, s.163).

**Tablo 2:** Bazı Uluslararası Şirketlerin Elde Ettiği Tasarruflar

Firma	Yıllık Tasarruf (Dolar)
ABB	900 milyon
TI	350 milyon
Nokia	150 milyon
Siebe	150 milyon
Polaroid	100 milyon
Sony	100 milyon

Kaynak: Komay, 2002.

**Tablo 3:** Türkiye'deki Bazı Şirketlerin Elde Ettiği Tasarruflar

Firma	Yıllık Tasarruf (Dolar)
Arçelik A.Ş.	15 milyon
Vitra A.Ş.	3,44 milyon
Kordsa A.Ş.	670 bin
Dow Türkiye	1,10 milyon

Kaynak: Ergün, 2003, s.163.

Altı Sigma sistemini işletme bünyesinde başarılı bir şekilde uygulayabilmek için doğru kararların verilmesi gerekmektedir. Bu noktada, işletmenin süreçlerinin çok iyi bilinmesi ve gözlemlenmesi büyük önem taşımaktadır. Böylece süreçlerde sık sık ortaya çıkan hatalar belirlenecek ve işletmeye ek maliyet yükü getiren bu hatalar Altı Sigma projeleri ile tanımlanarak iyileştirilecektir. Bu bağlamda Altı Sigma sistemini işletme içi özel projeler bazında uygulayan bazı işletmelerin hatalı gördükleri birtakım süreçlerine ilişkin gerçekleştirdikleri projelerin sonuçları ve elde etmiş oldukları kazançlar Tablo 4'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

**Tablo 4:** Bazı İşletmelerin Altı Sigma Proje Örnekleri

No	Firma Adı	Proje Adı	Proje Sonucu	Elde Edilen Kazanç
1	Ford Otosan	Yüksek değerdeki hat çıkış basıncındaki dalgalanmanın azaltılması	Basınç dalgalanması +/- 0,3 seviyesinden +/- 0,1 seviyesine düşürüldü	Yıllık 670.000 kwh enerji tasarrufu sağlanmıştır
2	Ege Endüstri	Tav fırınlarında kullanılan doğalgaz sarfiyatının açınım başına %15 azaltılması	Açınım başına ortalama 4,51m <sup>3</sup> olan doğalgaz sarfiyatı 3,70m <sup>3</sup> 'e düşürüldü	Yıllık 87.818 TL tasarruf sağlanmıştır
3	Ege Endüstri	Serbest bölge hassas ön tormalama talaşının düşürülmesi	0,4 mm olan talaş düzeyi 0,2 mm'ye düşürüldü	Yıllık 53.400 TL tasarruf sağlanmıştır
4	Kütahya Porselen	Tabak gruplarında sır açığının azaltılması	Sır açıkları kapatılarak hatalı ürünler önlenmiştir	Yıllık 72.845 TL tasarruf sağlanmıştır
5	Kütahya Porselen	Fincan grubu üretim zayıtlının azaltılması	Üretim zayıtlı % 6,48'den % 5,15'e düşürüldü	Yıllık 62.930 TL tasarruf sağlanmıştır
6	Kütahya Porselen	Üretilen brüt ton porselen başına enerji maliyetlerinin azaltılması	Enerji maliyetleri toplam % 4,22 oranında düşürüldü	Yıllık Doğalgazda 145.755 TL, Elektrikte 59.362 TL tasarruf sağlanmıştır
7	Vodafone	Ortalama görüşme süresinin (AHT) optimizasyonu	Bireysel çağrı merkezinde AHT toplam 132.067dk azaltıldı	21 personel ve yıllık 775,634 TL tasarruf sağlanmıştır

**Kaynak:** Tabloda verilen örnekler Türkiye Makine Mühendisleri Odası tarafından 9-11 Mayıs 2008 tarihlerinde İzmir'de düzenlenen Altı Sigma Yalın Konferansları, Bütünsel Deneyim Paylaşımı Sunumları bölümünden alınmıştır (Dalğar, 2010:251).

## 5. Süreç Sigma Düzeyi

Altı Sigma yöntemi; istatistiksel hesaplamalara dayanan, süreç değişkenlerine odaklı, süreç performansı hakkında bilgi sağlayan bir kalite yönetim aracı olarak değişkenliklerin yanlışların temel kaynağı olduğunu kabul etmektedir. Temel gösterge süreç sigma düzeyidir. Altı Sigma metodolojisinde süreç performansı, süreç sigma düzeylerinden belirlenen kalitesizlik maliyetlerine göre değerlendirilir ve iyileştirmede bu kalitesizlik maliyetlerinin azaltılması hedeflenir.

Kalitesizlik maliyetleri de milyonda yanlış sayısı (MYS) (*defects per million*) veya milyon fırsatta yanlış olasılığı (MFYO) (*Defects per million opportunities*) olarak gösterilir. Tablo 2’de MFYO ile süreç sigma düzeyleri arasındaki ilişki gözlenmektedir (Pande vd., 2003; Aslan, Demir, 2005:273). Toplam süreç verimi (TSV) de (*total process efficiency*) başarı göstergesi olarak değerlendirilebilmektedir. Ancak Altı Sigma metodolojisinde kalitesizlik maliyetlerine odaklanıldığı unutulmamalıdır. Süreç sigma düzeyi (process sigma, sigma-metric, process sigma value) süreç yeterlilik indeksleri (*process capability indices*, Cp, Cpk), milyonda yanlış sayısı (MYS) veya milyon fırsatta yanlış olasılığı (MFYO), toplam süreç verimliliği (TSV) ve başarı oranı gibi süreç performans göstergelerinin tek rakamla ifade edilmesine olanak tanımaktadır. Süreç performansının tek değer ile gösterilebilmesi; süreç öncesi öngörülen sigma düzeyi ile gerçek hayatta uygulamadan elde edilen süreç düzeylerinin karşılaştırılması, organizasyonlar arasında kıyaslama, daha karar verdirici olma özelliği vb. gibi birçok avantaj sağlamaktadır.

Altı Sigma metodolojisinde ideal süreç sigma düzeyi 6’dır. Tablo 5’de gözlemlendiği gibi süreç sigma düzeyi 6 olduğu zaman MFYO 3.4’tür. Altı Sigma metodolojisine göre ortalamadan 1.5s’lik sapmalı dağılım gösteren sürecin sigma düzeyi 6 olunca MFYO 3.4 olup kalitesizlik maliyeti de %5’in altında olmaktadır (Pande vd, 2003: Aslan, Demir, 2005:273).

**Tablo 5:** Basitleştirilmiş Sigma Dönüştürme Tablosu

Başarı Oranı (%)	MFYO*	Sigma ( $\sigma$ )
30.9	690 000	1.0
69.2	308 000	2.0
99.3	66 800	3.0
99.4	6 210	4.0
99.98	320	5.0
99.99966	3.4	6.0

\* Milyon Fırsatta Yanlış Olasılığı

Tablo 5’de de görüldüğü gibi MFYO’lar ile sigma düzeyleri arasında parabolik bir ilişki vardır (Westgard, 2003: Aslan, Demir, 2005:273). 2 sigmadan 3 sigmaya çıkmak için 5 kat; 3 sigmadan 4 sigmaya çıkmak için 26 kat; 5 sigmadan 6 sigmaya çıkmak için 68 kat iyileştirme yapılmalıdır. 2.5 sigma %40 kusuru/yanlış gösterirken, 6 sigma ile yanlış %5’lerin altına düşmektedir (S.P.A.C, 2003: Aslan ve Demir, 2005, s.273). Bu bağlamda, süreç sigma düzeyleri kalitesizlik maliyetlerinin tek rakamla ifade edilmesi açısından çok yararlı göstergelerdir.

İstatistiksel bir ölçüm tekniği olan bu yöntemle ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin ne kadar iyi olduğu hakkında sayısal bir gösterge elde edilir ve eldeki sürecin “sıfır hatalı” konumdan ne kadar saptığı görülür (Pyzdek, 2003). Bu sapmanın miktarı da sigma ölçütü ile belirlenmektedir. Örnek olarak bir sigma seviyesinde iş yapan bir işletme 1.000.000 işlemde yaklaşık 700.000 hata yapar. Eğer işletme iki sigma seviyesinde çalışıyorsa bu onun ortalama



300.000 hata yaptığı anlamındadır. Şirketlerin birçoğunun 3 ile 4 sigma düzeyinde faaliyet gösterdiği düşünülürse bu da milyonda 66.800 ile 6210 arasında hataya karşılık gelmektedir. Bir sürecin altı sigma kalite düzeyinde olması demek, elde edilen ürün veya hizmette bir milyonda 3,4 adet hataya rastlanması demektir (Pande vd., 2000; Eckes, 2003).

Altı Sigma'nın başarısı için müşteri ve firma ile ilgili kritik bilgilerin toplanması ve değerlendirilmesi öncesinde gerçekleştirilebilir ve ulaşılabilir hedefler belirlemek gerekmektedir (Pande vd., 2000). Altı Sigma anlayışıyla performans ölçümünün ilk adımı müşteri istek ve ihtiyaçları doğrultusunda çeşitli performans ölçüm kriterleri geliştirmek ve temel hata değerlerini belirleyip, mümkün iyileşme veya gelişme fırsatlarını tespit etmektir (Pande vd., 2000). W. Edwards Deming'in "performansı iyileştirmek için değişkenliklere odaklanılması gerekliliği" yaklaşımını, 1980'li yıllarda Motorola'da çalışan Mikel Harry firma çalışanlarına benimsetmiştir. Mikel Harry'nin "Altı Sigma" olarak nitelendirdiği bu yaklaşım; mükemmeye ulaşma, müşteri tatmini sağlama, süreç iyileştirme, sıfır hataya ulaşma gibi hedeflere değişkenliğin ortadan kaldırılmasıyla ulaşılabilirliğini savunmaktadır (Mikel, 1997).

Altı Sigma yönetim sistemi, diğer müşteri odaklı yaklaşımların en iyi yönlerini bünyesinde toplayarak sözel değil gerçek uygulamaya olanak tanıyan bir yapı sunmaktadır. Uygulanan işletmelerde net ve görünür iyileştirmelerin yaşanması bu felsefenin yaygınlaşmasına yol açmaktadır (Eker ve Akdoğan, 2003; Dalğar vd., 2010, s.240). Ancak Altı Sigma, bu noktada sadece bir iyileştirme programı olmayıp, müşteri tatminini ve işletme karını artırmak için stratejik problem çözme tekniklerini de kullanmaktadır. Aynı zamanda temel istatistik kavramlarına dayalı etkin bir karar verme mekanizması ve disiplini sağlayarak çalışanlara iş yapma şekillerini nasıl iyileştirebileceklerini ve yeni performans düzeylerini nasıl koruyabileceklerini de öğretmektedir (Baş, 2009). Bu nedenle işletmelerin çalışma hayatında ve rekabet üstünlüğünde zorunlu bir strateji olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 6. Altı Sigma'da DMAIC Yaklaşımı

DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) modelini kullanan Altı Sigma, süreçlerin iyileştirilmesine, tasarım ve yönetimine odaklanmaktadır. Altı Sigma'yı diğer kalite yaklaşımlardan ayıran en önemli özellik, DMAIC gibi bir süreç iyileştirme stratejisine sahip olmasıdır (Gürsakal, 2005: 10). Altı Sigma DMAIC yaklaşımında her ne kadar projelere liderlik yapan kuşaklar için takip edecekleri yol haritası belirlenmiş olsa da, her aşamada tamamlanması gereken çıktıların tanımlanmış, bir aşamadan diğerine geçilmesi için yapılması gerekenlerin belirlenmiş olması projelerin yönetimini ve ilişkilendirilmesini kolaylaştırmaktadır. Proje ekiplerinin oluşturduğu yenilikçi bilgi ve öncelikli sorunlar için bulunduğu çözümler, işletmelerin rekabet gücünü artırmaktadır. Yaratılan bilginin, saklanması ve paylaşılması için yaratılan ortak anlayış, diğer kuşakların çözüme daha kolay odaklanmalarına ve daha hızlı ulaşmalarına imkan vermektedir.

Projeler yoluyla sağlanan iyileştirmelerin gerçekleştirilebilmesi için organizasyonun proje yönetim sisteminin tanımlanması gerekmektedir. Kuruluşun bütününde kabul görmüş bir proje yönetim terminolojisinin oluşturulması ile proje yönetim yaklaşımlarının ortaklaştırılması, organizasyonda aynı dilin konuşulması ve çıktıların kolaylıkla paylaşılması sağlanmaktadır.

DMAIC proje sürecinde takip edilen yol şu şekildedir:

- D (Define) : Problem Tanımlama
- M (Measure) : Ölçme, Veri Toplama
- A (Analyse) : İstatistiksel Veri Analizi
- I (Improve) : Düzeltme, İyileştirme, Çözüm Üretimi
- C (Control) : Verilerin, Projenin ve Sürecin Kontrolü ve Denetimi

DMAIC proje sürecinde öncelikli olarak, iyileştirilecek problem tanımlanır ya da incelenecek problem belirlenir. Bu amaçla projenin kritik kalite özellikleri (CTQ) belirlenir, proje bildirgesi geliştirilir ve süreç haritası çizilir. Ölçme ve veri toplama ile istatistiksel veri elde edilir. İstatistiksel veriler analiz edilerek değerlendirmeye hazır hale getirilir. Bu adımda kritik kalite özellikleri seçilir, performans standartları tanımlanır ve veri toplama planı oluşturulur. Daha sonra ölçme sisteminin geçerliliği ve güvenilirliği test edilerek veriler toplanır. Analiz aşamasında süreç yeterliliği oluşturularak performans amaçları tanımlanır ve değişkenlik kaynakları belirlenir. İyileştirme aşamasında potansiyel nedenler gözden geçirilir, değişkenler arasındaki ilişkiler belirlenir ve pilot çözüm oluşturulur. Kontrol aşaması ile ölçme sisteminin geçerliliği incelenir, süreç yeterliliği belirlenir ve süreç kontrol sistemi uygulanarak proje tamamlanır. Proje ekibi tarafından yapılan beyin fırtınaları ile çözüm üretimi ve iyileştirme önerileri ile düzeltmenin uygulama şekli tespit edilerek, problemin çözümü gerçekleştirilir. Son aşama olarak da verilerin, sürecin ve projenin kontrolü gerçekleştirilerek ilgili proje sorumlusuna sunulur.

## 7. Altı Sigma Yönteminin Enerjisa Mersin Enerji Santralinde Uygulanması

Son yıllarda ülkemizde elektrik ve linyit üretiminde sağlanan artışlarla ihtiyaca cevap verecek seviyelere ulaşılmıştır. Petrol, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları da dahil olmak üzere bütün enerji türlerinde arama, bulma ve üretim faaliyetleri artarak sürdürülmektedir. Enerji talebinin mümkün olduğu ölçüde yerli kaynaklarla karşılanması için, gerek kamu ve gerekse özel sektörde bilinen kaynakların en ekonomik ve maksimum faydayı sağlayacak şekilde değerlendirilmesi ve yeni kaynakların geliştirilerek biran önce üretime geçirilmesine son yıllarda büyük önem verilmektedir. Şu an enerji sektöründe izlenen politika: Ülke enerji ihtiyacının amaçlanan ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hızını destekleyecek ve yönlendirecek şekilde zamanında, yeterli güvenilir, ekonomik koşullarda ve çevresel etki de dikkate alınarak karşılanmasıdır. Elektrik sektöründe, karlılık ve verimliliğin artırılması amacıyla mevcut tesislerin daha verimli çalıştırılması bu amaçlara ulaşılmasında oldukça önem taşımaktadır.

Çalışmamızda Altı Sigma yönteminin enerji sektöründe faaliyet gösteren Enerjisa Enerji Üretim A.Ş. firmasına ait Enerjisa Mersin Santrali'nde DMAIC yaklaşımına uygun aşamalar izlenerek elde edilen sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Enerjisa Enerji Üretim A.Ş., enerji sektöründe doğabilecek yeni iş olanaklarının değerlendirilmesi, kaliteli ve güvenilir enerji tedarikçisi ihtiyacını karşılamak amacıyla 4 Nisan 1996 tarihinde kurulmuştur. Enerjisa, Kocaeli, Adana, Çanakkale ve Mersin'de faaliyet gösteren toplam 370 MW kapasiteli dört doğal gaz kombine çevrim santrallerinin yanı sıra 2007 yılında gerçekleştirilen satın almalar sonrası Antalya, Mersin ve Kahramanmaraş'ta işletmede olan 85 MW gücündeki hidroelektrik üretim kapasitesini bünyesine katmıştır.

Enerjisa Grubu, %50-50 Sabancı Holding-Türkiye ve Verbund-Avusturya ortak girişimidir. Grup, entegre hizmetleri ile Türkiye elektrik pazarının lideri olmayı ve 2015 yılında minimum 5.000 MW kurulu gücü ile elektrik piyasasında %10 pazar payına ve 6 milyonu aşkın müşteriye ulaşmayı hedeflemektedir. 2007 yılı itibariyle Avusturyalı ortağı ile yabancı sermayeli işletme haline gelen Enerjisa firmasında, 126 mavi yakalı 207 beyaz yakalı olmak üzere toplam 333 kişi çalışmaktadır.

Üretim portföyünün stratejik avantaj yaratacak şekilde çeşitlendirilmesi amacıyla yaklaşık 1.000 MW Kurulu gücünde 9 hidroelektrik santralının ve 920 MW Kurulu gücündeki Bandırma Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali'nin uygulama ve yapım çalışmalarını sürdürmektedir. Enerjisa, ülkenin elektrik arz-talep dengesindeki daralmaya çözüm olarak en kısa sürede devreye almak üzere 2008 yılında Bandırma'da 920 MW kapasiteli Bandırma Doğal Gaz Kombine Çevrim Santralinin, Adana'da 180 MW kurulu gücündeki Kavşak Bendi Hidroelektrik Santralının ve Kahramanmaraş'ta 142 MW kurulu gücündeki Hacınınoğlu Regülatörü ve Hidroelektrik Santralının temelini atmıştır. Enerjisa santrallerinde üretilen elektrik, hem Sabancı Topluluğu şirketlerine hem de Türkiye'nin önde gelen diğer sanayi ve ticaret şirketlerine nakledilmektedir.

Enerjisa Altı Sigma çalışmalarına 2005 yılında BWC/İngiltere tarafından verilen bilinçlendirme ve proje sponsoru eğitimi ile başlamıştır. Uzun vadeli bir Altı Sigma uygulama planı hazırlanarak, bu plan çerçevesinde kritik kitlenin oluşturulabilmesi amacıyla Şubat 2005'de ilk siyah kuşak adaylarının seçimi yapılmış ve eğitimler BWC eğitimcileri tarafından gerçekleştirilmiştir. Tamamlanan ilk Altı Sigma projeleri ile elde edilen sonuçlar finansal açıdan çok büyük olmamış ancak Altı Sigma araçlarının öğrenilmesi ve uygulanması sırasında karşılaşılabilecek sorunlara ışık tutması açısından son derece başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Uygulama planının ikinci adımı olarak, uzun vadede seçilmiş uzman personeli kapsayacak olan Siyah Kuşak eğitimleri başlatılmıştır. İşletme Altı Sigma yaklaşımını, "proje yapan siyah kuşaklar" yaklaşımıyla zenginleştirmiştir ve bu sayede çok kısa bir sürede sağlıklı bir Altı Sigma altyapısı oluşturulabilmiştir. Altı Sigma uygulaması için vazgeçilmez olan siyah ve yeşil kuşak eğitimleri, proje şampiyonu eğitimleri, bilinçlendirme eğitimleri gibi tüm eğitimler işletmenin kendi kaynakları ile yapılmaktadır. Bu avantaj sayesinde, siyah kuşakların iki yıllık görevleri sonucunda üretim süreçlerine uyum ve yeni adayların çalışmalara katılmaları sorunsuz olarak gerçekleştirilebilmekte; işe yeni başlayan beyaz yakalı çalışanların Altı Sigma dilini çok kısa sürede konuşabilmelerine olanak sağlanabilmiştir.

### **7.1. Enerjisa'da Altı Sigma Projesinin Yönetim Aşamaları**

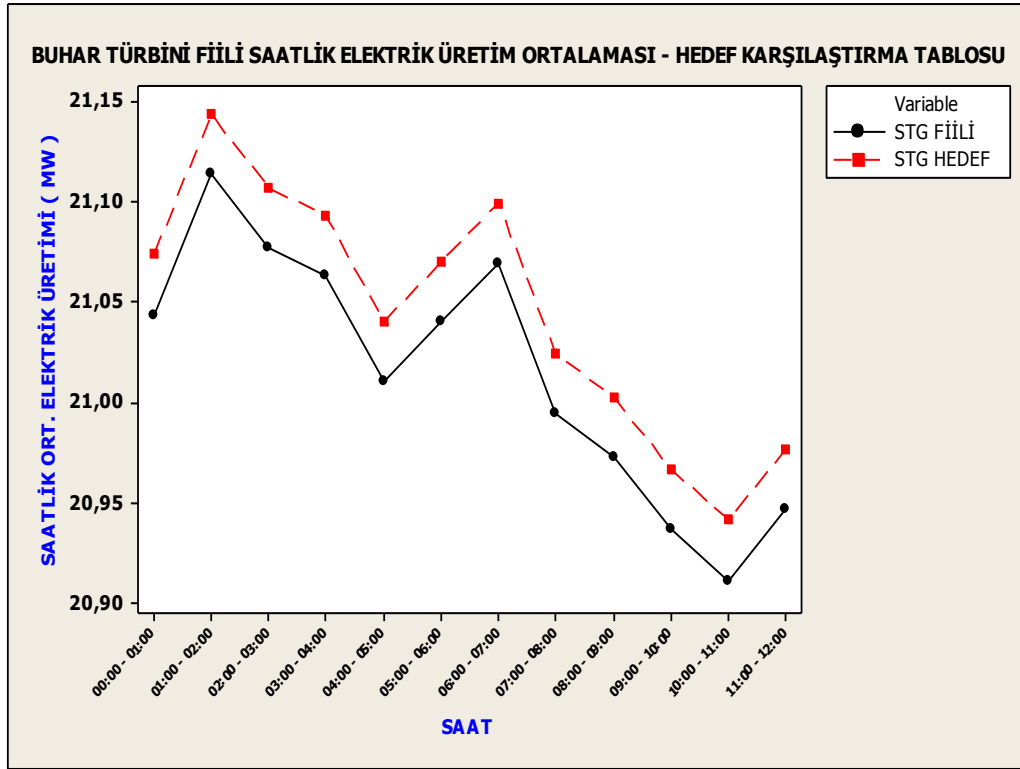
Bu çalışma Altı Sigma kavramı ve kullanılan tekniklerin bir uygulama çalışması üzerinde incelenmesi hedeflenmiştir. Uygulama çalışması 9 kişiden oluşan bir proje yönetimi ekibi ile başlatılmıştır.

Elektrik üretim faaliyetinde karlılığa etkisi en çok olan Buhar türbininin net elektrik üretim gücündeki kayıplarının geri kazanılması için yapılan değerlendirmede Buhar türbini saatlik elektrik üretim ortalamasını 30 kWh arttırarak yılda 25.000 USD kazanç sağlamak proje hedefi olarak belirlenmiştir. Buhar Türbini fiili saatlik elektrik ortalaması mevcut durum ve planlanan durumun karşılaştırılması Grafik 1'de yapılmaktadır. Planlanan duruma ulaşmak için yapılması gereken iyileştirmeler elektrik üretim kayıplarının potansiyel nedenlerinin tespiti sonucu belirlenecektir

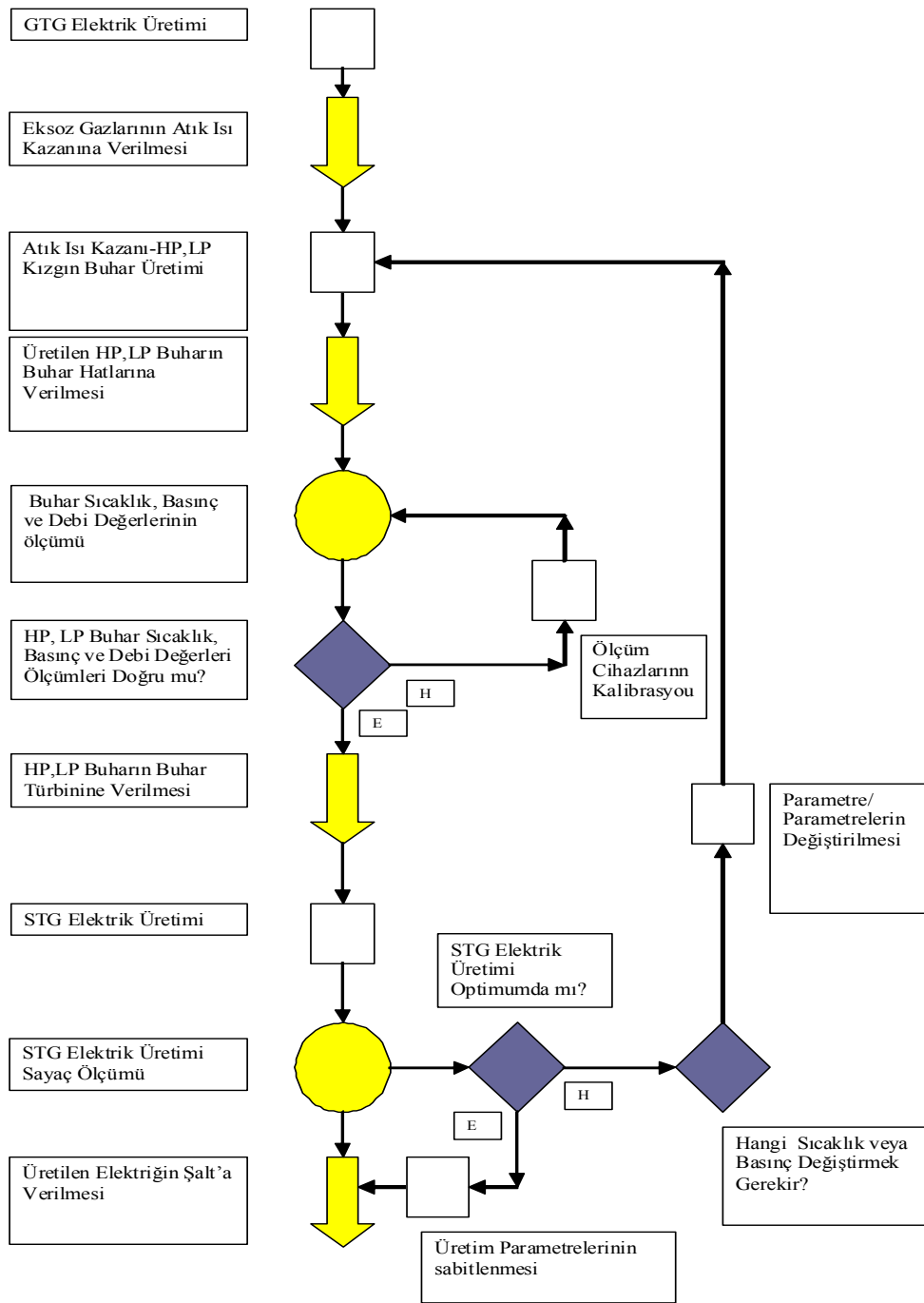
**Problemin Tanımlanması :** Projenin en önemli aşamasıdır. Bu aşamada problemin ne olduğu kesin olarak belirlenmezse, proje yanlış yönlendirilebilir veya amacına ulaşamayabilir. Yapılan ön çalışmalarla atık ısı kazanı ve buhar türbininin elektrik üretiminde birbirlerini etkileyen süreçler olduğu belirlenmiştir. Optimum çalışma parametrelerine ulaşmada bu süreçlerin birbirleri üzerinde etkileri ile buhar türbininde elektrik üretim kaybına neden olan etmenlerin araştırılmasına karar verilmiştir.

Bunun üzerine teknik ekip tarafından yapılan değerlendirme sonrası problem “Atık ısı kazanı dizayn çalışma parametrelerinin güvenli aralıklarda değiştirilerek buhar türbini üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek ve buhar türbini için optimum çalışma rejimini belirlemek” olarak saptanmıştır. Problemin tanımlanmasından sonra proje ekibi oluşturularak çalışmalara başlanmıştır.

**Grafik 1:** Mevcut – Planlanan Durum

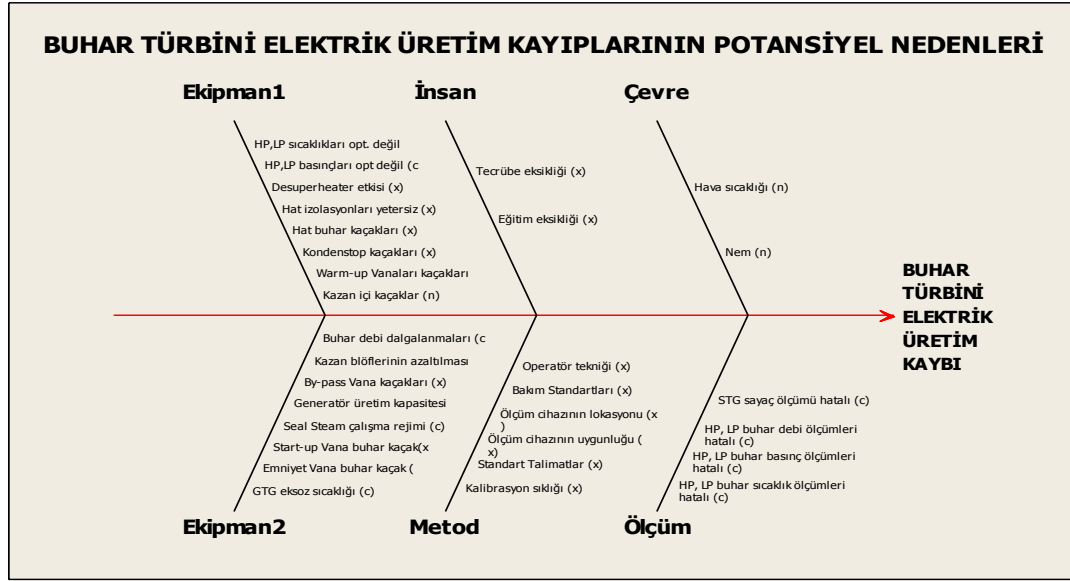


**Proje Uygulama Adımları ve İzleme:** Altı Sigma projesi, proje üyelerini bir araya getiren açılış toplantısı ile başlatılmıştır. Bu toplantıda Altı Sigma proje adımlarına uygun şekilde hareket edilmesi ve proje devamlılığının sağlanması için aylık olarak düzenli toplantılar yapılmasına karar verilmiştir. Aktivitelerin gelişimini güncellemek için düzenli takım toplantıları yapılmış ve bu toplantılar proje sponsoru tarafından izlenmiştir. Bu toplantılarda her görev için atanmış kişilere kendi görevleri için bir “% tamamlanma” değeri iletilmiştir. Proje programını tamamlamak için ilgili konudaki tüm boşluklar tanımlanarak aksiyon planlar ortaya konulmuştur.

**Şekil 1:** Buhar Türbini Elektrik Üretim Süreci

Proje ekibinin yüksek sayıdaki detaylardan kurtulmasını sağlamak için FMEA (Failure Mode Effect Analyse) tablosu içeriğinde belirtilen önceliklendirilmiş potansiyel nedenler sıralanmıştır. Bu amaçla kullanılan Balık Kılıçığı Diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 2: Balık Kılıçığı Diyagramı



FMEA'nın amacı bilinen veya potansiyel hataları oluşmadan engellemek olduğu için, bazı tahminlerin yapılması gerekmektedir. Bunlardan biri olan önceliğin belirlenmesi de metodun en önemli noktalarından biri olup, bunu sağlayan üç kriter vardır; Olasılık/sıklık, şiddet/etkisi ve saptanabilirlik/keşfedilebilirlik.

Tablo 6: Fmea Diyagramı: Buhar Türbini Elektrik Üretim Kayıpları

POTANSİYEL HATA	POT. HATA ETKİSİ	ETKİSİ	POTANSİYEL NEDEN	SIKLIK	ALINACAK AKSIYONLAR	KONT. ED.	RPN
Sızdırmazlık Buharı Drain Vanası Açma-Kapama Rejimi	Buhar Debisinde Azalma	5	Sızdırmazlık Buharı Hattı Gereğinden Uzun	8	Sızdırmazlık Buharı Hattının Kısaltılıp Kısaltılmayacağı Araştırılacak.	6	240
		5	Vana Açık-Kapalı Kalma Sıklığının Uzun Olması	5	Vananın Açık Kalma Süresinin Kısaltılması Araştırılacak	5	125
Çalışma Sıcaklıklarının Optimum Olmaması	Buhar Enerjisinde Azalma	5	Set Değerleri Uygun Değil	5	Alternatif Sıcaklık Değerlerinde Çalışılacak	4	100
Çalışma Basınçlarının Optimum Olmaması	Buhar Enerjisinde Azalma	5	Set Değerleri Uygun Değil	5	Alternatif Basınç Değerlerinde Çalışılacak	4	100
Buhar Hatları Kaçaqları	Buhar Debilerinde Azalma	4	Montaj Hataları, Conta Kaçaqları, Gevşeklikler v.b.	3	Saha Kontrolü Yapılacak	4	48
Hat İzolasyonları Yetersiz	Buhar Enerjisinde Azalma	2	Hasarlı, Eksik, Yetersiz İzolasyonlar	2	Saha Kontrolü Yapılacak	4	16
Kondenstop Kaçaqları	Buhar Debisinde Azalma	5	Isıl Gerilemeler; Conta Kaçaqları, Bağlantı Gevşeklikleri v.b.	4	"Kondenstop Ölçüm Cihazı" ile Kondenstoplar Kontrol Edilecek	4	80
Warm-up Vanaları Buhar Kaçaqları	Buhar Debisinde Azalma	8	Vana İç Malzemelerinin Kalitesi; Gevşeklik, Aşınmalar, Montaj Hatası, Conta Kaçağı, Aşınmalar v.b.	2	Özel Bir "Ölçüm Cihazı" ile İç Kaçak Kontrolü Yapılacak	4	64
Emniyet Vanaları Buhar Kaçaqları	Buhar Debisinde Azalma	8	Vana İç Malzemelerinin Kalitesi; Gevşeklik, Montaj Hatası, Conta Kaçağı, Aşınmalar v.b.	2	Saha Kontrolü Yapılacak	4	64
Start-up Vanaları Buhar Kaçaqları	Buhar Debisinde Azalma	8	Vana İç Malzemelerinin Kalitesi; Gevşeklik, Montaj Hatası, Conta Kaçağı, Aşınmalar v.b.	2	Özel Bir "Ölçüm Cihazı" ile İç Kaçak Kontrolü Yapılacak	4	64
By-pass Vanaları Buhar Kaçaqları	Buhar Debisinde Azalma	8	Vana İç Malzemelerinin Kalitesi; Gevşeklik, Montaj Hatası, Conta Kaçağı, Aşınmalar v.b.	2	Saha Kontrolü Yapılacak	4	64
Saha Değerlerinin DCS'te Doğru Okunmaması	Çalışma Parametrelerinin Sağlıklı İzlenememesi	3	Operatör Tekniği (Eğitim ve/veya Tecrübe Eksikliği)	2	Operatörlere Sahada Kalibrasyon Eğitimi Verilecek	4	24
		2	İşletme ve Bakım Talimatlarının Bulunmaması	2	Eksik Talimatlar Tamamlanacak	4	16
		2	Ölçüm Cihazının Uygun Olmaması	2	Cihaz Verileri Kontrol Edilecek	2	8

Olasılık hatanın frekansdır. Şiddet, hatanın ciddiyeti ve etkileridir. Saptanabilirlik de müşteriye ulaşmadan önce hatanın tespit edilmesidir. Bu kriterlerin değerleri, 1' den 10' a kadar olmak üzere sayısal olarak verilir. Öncelik ise bu üç kriterin değerlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan Risk Öncelik Sayısı (Risk Priority Number-RPN)' na göre belirlenir. Projenin FMEA diyagramı çıkarılmış ve FMEA sonuçları Tablo 6'da gösterilmiştir. FMEA'ya göre RPN katsayısı 100'den büyük olan tüm hata türleri için mutlaka önlem alınması gerekmektedir.

FMEA tablosunda belirlenen ve RPN değeri 100'den büyük dört ana unsur için derinlemesine analiz yapılmasına karar verilmiştir. Bu potansiyel hata nedenleri arasında uzun vadeli çalıştırma gerektirmeden sadece Quick Win ile sonuçları hemen alınabilecek iki hata için Quick Win ile ilerlenmesi önerilmiştir. Atık Isı kazanı parametrelerinin Buhar Türbini üzerindeki etkilerini analiz edebilmek için ise Altı Sigma metodları ile ilerlenmesi kararlaştırılmıştır.

**Ölçme:** Altı Sigma metodolojisi ile çözülmesine karar verilen parametreler için ölçme aşamasında veri toplamaya başlanır. Veri toplama sürecinin başlamasından önce değerlendirilmesi gereken en önemli etmen ölçüm cihazlarının güvenilirliğidir. Bu konuda ekibinin yaptığı değerlendirme aşağıdaki gibidir;

- Süreç ölçümleri saha cihazları (transmitter) tarafından yapılmaktadır
- Süreçte herhangi bir laboratuvar analizi bulunmamaktadır
- Veriler “saniyelik” bazda kontrol sistemi (DCS) tarafından veri havuzuna (PIM) aktarılmakta ve düzenli olarak depolanmaktadır
- Saha ölçüm cihazlarının kalibrasyonları periyodik olarak kontrol edilmektedir.

Saha ölçüm cihazları periyodik olarak kalibre edildikleri için herhangi bir “ölçme” çalışması yapılmamıştır. Bununla beraber; proje çalışmalarının başlatılmasından önce veri alınacak noktalardaki transmitterler tekrar kontrol edilmiş ve okunan değerlerde herhangi bir sapma ve/veya kayma olmadığı tespit edilmiştir.

**Analiz:** İstatistiksel analizlerde özellikle üzerinde durulan, iyileştirme aşamasına geçmeden önce Buhar Türbini üretiminde değişkenliğe sebep olabilecek etkenleri tespit etmek ve veriler arasındaki değişkenlik düzeyini ölçmektir.

MINITAB programına girilen veriler DOE Response Surface (Deney Tasarımli cevap Yüzeyi) yaklaşımına göre değerlendirilmiştir. Deney Tasarımı yaklaşımında, problemin parametre uzayında bir nokta takımı seçilir. Her noktanın sağladığı verim deneyle bulunduktan sonra bu nokta takımına analitik bir model uygulanır ve elde edilen verilerden bir cevap yüzeyi (response surface) elde edilir. Bu çok boyutlu cevap yüzeyinin maksimumu analitik olarak hesaplanır. Bu modelleme yöntemi çıktı verileri (Y) ile girdiler arasında lineer olmayan bir bağıntı olduğu hallerde kullanılır. Bu sonuç genelde faktör seviyeleri ikiden fazla olduğunda ortaya çıkar. Bu modülde çıktı verileri için optimum girdi verileri belirlenebilir ve bunlar grafiksel olarak incelenebilir. Bu yöntem sadece sürekli veriler için kullanılmaktadır. Ayrıca faktör sayısı en az iki en fazla yedi olmalıdır. Proje için yapılan uygulamalar sonucunda 7 parametre için optimizasyon grafikleri oluşturulmuştur. DOE RESPONSE SURFACE ile yapılan analizlerde Buhar Türbini elektrik üretimi üzerinde 7 Ana Parametrenin etkili olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 7:** MINITAB Sonuçları**Response Surface Regression: STG versus HP SIC; HP BAS; HP DEBİ; LP SIC; ...**

The analysis was done using uncoded units.

## Estimated Regression Coefficients for STG

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-47,9204	2,25137	-21,285	0,000
HP SIC	0,0148	0,00221	6,693	0,000
HP BAS	-0,0820	0,00808	-10,142	0,000
HP DEBİ	0,1720	0,02108	8,161	0,000
LP SIC	0,1837	0,01991	9,227	0,000
LP BAS	-0,3358	0,04677	-7,179	0,000
LP DEBİ	0,1523	0,03248	4,688	0,000
VAKUM	-16,9962	1,79624	-9,462	0,000

S = 0,0334960 PRESS = 0,152321  
R-Sq = 98,88% R-Sq(pred) = 98,72% R-Sq(adj) = 98,82%

## Analysis of Variance for STG

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	7	11,8029	11,8029	1,68612	1502,81	0,000
Linear	7	11,8029	11,8029	1,68612	1502,81	0,000
Residual Error	119	0,1335	0,1335	0,00112		
Total	126	11,9364				

## Unusual Observations for STG

Obs	StdOrder	STG	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
30	30	20,827	20,899	0,010	-0,082	-2,19 R
69	69	20,700	20,634	0,008	0,106	2,03 R
82	82	20,472	20,575	0,008	-0,104	-3,20 R
112	112	20,819	20,897	0,008	-0,088	-2,39 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Yukarıdaki tablodan; Buhar türbini üretimini maksimize etmek için değiştirilebilir parametreler olan HP sıcaklığının artırılması, HP ve LP basınçlarının düşürülmesi gerektiği görülmektedir.

**İyileştirme :** Bu aşamada, tanımlama aşamasında oluşturulan detaylı süreç haritasındaki problemler için Tablo 8’de belirtilen iyileştirmeler yapılmıştır. Bir önceki ölçüm aşamasında, DOE Response Surface Analizinin sonuçlarına göre HP Sıcaklık, HP Basınç ve LP Basınç Değerleri belirli saat periyotlarında değiştirilerek eski ve yeni çalışma rejimleri için veri toplanmıştır. Bu veriler içerisinde, sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için, “Aynı Atmosfer” ve “Aynı Vakum” şartlarındaki 50 çift üretim rejimleri ayrıştırılarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bir hipotez testi olan normalite testine göre elde edilen p değeri 0,05’ten büyük olduğu için; “Ho: dağılım normaldir” hipotezi kabul edilip karşılaştırılan veri gruplarının normal bir dağılım gösterdiği saptanmıştır.

**Verilerin Normal Dağılım Testi :** Eski ve yeni rejim değerleri için “Varyans Eşitlik Testi” yapılmıştır. Varyans eşitlik testi yapılırken, veri normal dağılıyorsa Bartlett Testi, normal dağılmıyorsa Levene Testi’nin P-değerine bakılmıştır. Normal dağılım testi ile verilerin kendi içerisinde ne kadar tutarlı bir dağılım gösterdiği üzerine bilgi edinilir. Normal veri akışının dışında oluşacak bir durum neticesinde ortaya çıkmış olan bir veri varsa, bu veri test sonucu oluşan grafikte "outlier" olarak görünür. Bu veriye geri dönüp incelendiğinde müdahale edilemeyecek ekstra bir durum sonucu ortaya çıktığı kararına varılırsa bu veri çıkarılarak tekrar normal dağılım testi yapılır. Eski ve Yeni Rejimler için hipotez kurularak, Şekil 3’deki varyansların eşitliği testi yapılmıştır. Buna göre: Ho: rejimlerin varyansları arasında farklılık yoktur. Ha: rejimlerin varyansları arasında farklılık vardır. Rejimlerin alt grupta faktörlerine göre varyansları arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur. Buna bağlı olarak, Ho hipotezi kabul edilmiştir.



## Sonuç : İki farklı çalışma rejimlerinin varyansları eşittir

Tablo 8: İyileştirme Aşamaları Aksiyonları

POTANSİYEL NEDEN	İYİLEŞTİRME SAFHASINDA ALINAN AKSİYONLAR
Buhar Türbini Sızdırmazlık Buharı Drain Vanası Açma-Kapama Rejimi	Sızdırmazlık Buharı Hattının kısaltılmasına yönelik yeni bir alternatif hat güzergahı belirlendi ve hattın kısaltılması ile elde edilebilecek kazanımlar bir "Fizibilite Raporu" içeriğinde Yönetim'e sunuldu. Vana'nın açık-kapalı kalma süreleri üzerinde çalışılarak Vana'nın açık kalma süresini kısaltacak yeni bir set değeri belirlendi. Veri toplama işinin tamamlanmasını müteakip yeni set değeri hayata geçirildi.
Yüksek Basınç, Alçak Basınç Buhar Çalışma Sıcaklıklarının Optimum Olmaması	6 Sigma kapsamında belirlediğimiz senaryolar uygulandı ve veri toplandı. Analizler neticesinde tespit edilen optimum set değerleri hayata geçirilerek iyileştirme oranını tespit etmek için tekrar veri toplanmaya başlandı.
Yüksek Basınç, Alçak Basınç Buhar Çalışma Basınçlarının Optimum Olmaması	6 Sigma kapsamında belirlediğimiz senaryolar uygulandı ve veri toplandı. Analizler neticesinde tespit edilen optimum set değerleri hayata geçirilerek iyileştirme oranını tespit etmek için tekrar veri toplanmaya başlandı.
Yüksek Basınç, Alçak Basınç Buhar Hatları Buhar Kaçakları	Saha genelinde bütün hatlarda kaçak kontrolü yapıldı. ( Gözle kontrol, anormal yüksek ses v.b.) Herhangi bir kaçak tespit edilmedi. Her vardiya tarafından vardiya süresince bir kere saha turu yapılması "Vardiya Programı" na girildi.
Buhar Hatlarının İzolasyonları Yetersiz	Saha genelinde izolasyonlar kontrol edildi. Tespit edilen eksik, hasarlı ve/veya zayıf izolasyonlar değiştirildi.
Yüksek Basınç, Alçak Basınç Buhar Hatları Kondensatör Kaçakları	Özel bir "Kondensatör Ölçüm Cihazı" ile saha genelinde bütün Kondensatörler kontrol edildi. Kaçak yapan Kondensatör tespit edilmedi. Kondensatör kontrolleri üç aylık periyodik kontroller olarak iş tanımlarımıza eklendi.
Warm-up Vanaları Buhar Kaçakları	Özel bir Ölçüm Cihazı ile Warm-up Vanalarında kaçak kontrolü yapıldı. Vanalarda herhangi bir iç kaçak tespit edilmedi ve üç aylık periyodik kontroller olarak iş tanımlarımıza eklendi.
Kazan Emniyet Vanaları Buhar Kaçakları	Kazan üzerinde bulunan bütün Emniyet Vanalarının kaçak kontrolleri yapıldı. Herhangi bir kaçak tespit edilmedi. Yıllık periyodik kontroller olarak iş tanımlarımıza eklendi. Vanaların set değerleri on-line ölçüm ve ayar yapmaya yardımcı olan bir Cihaz vasıtası ile kontrol edildi. Herhangi bir uyumsuzluk görülmedi.
Kazan Start-up Vanaları Buhar Kaçakları	Özel bir Ölçüm Cihazı ile Start-up Vanalarında kaçak kontrolü yapıldı. Vanalarda herhangi bir iç kaçak tespit edilmedi. Üç aylık periyodik kontroller olarak iş tanımlarımıza eklendi.
By-pass Vanaları Buhar Kaçakları	Saha kontrolleri yapıldı ( Gözle kontrol, anormal yüksek ses, vakumda bozulma v.b.) Herhangi bir kaçak tespit edilmedi
Çalışma Parametrelerinin DCS'te Doğru Okunmaması	Operatörlere sahada Kalibrasyon Eğitimi verildi. Kalibrasyon Programı oluşturuldu.
	İlgili Talimatlardan eksik olanların tamamlanmasına yönelik çalışmalar başlatıldı
	Cihaz verileri kontrol edildi. Herhangi bir uygunsuzluğa rastlanılmadı.

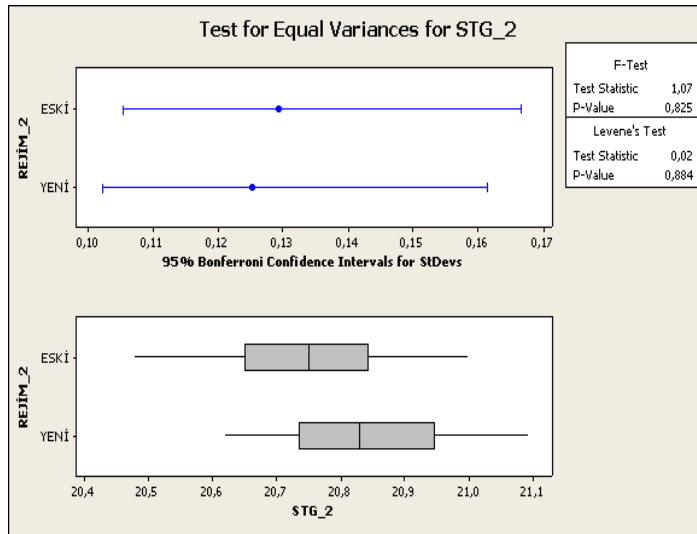
### Test for Equal Variances: STG\_2 versus REJİM\_2 95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

REJİM\_2 N Lower StDev Upper  
ESKİ 50 0,105344 0,129294 0,166542  
YENİ 50 0,102043 0,125242 0,161323

F-Test (Normal Distribution)  
Test statistic = 1,08; p-value = 0,825

Levene's Test (Any Continuous Distribution)  
Test statistic = 0,02; p-value = 0,884

Şekil 3: Varyans Eşitlik Testi



**Eşleştirilmiş İki Grup “T” testi (Paired – T test) :** Amaç farklı iki koşulda elde edilen sonuçların farklı olup olmadığını araştırmaktır. İki popülasyon arasındaki farkın “0” veya başka bir değerle karşılaştırılması amacı ile yapılır. Pratik sorusu “iki popülasyon birbirinden farklı mı” şeklindedir. İstatistiksel sorusu ise aşağıdaki gibidir;

$$H_0 : \Delta = 0$$

$$H_a : \Delta \neq 0 \quad \Delta : \text{iki popülasyon verisinin ortalamasının farkı}$$

Yeni ve eski çalışma rejimlerinin ortalamaları paired t-test analiz yöntemi ile karşılaştırılmış ve ortalamaların eşit olmadıkları ispatlanmıştır. Yapılan analize göre yeni set değerleri ile çalışılması durumunda Buhar Türbini'nin saatlik ortalama elektrik üretiminde 91 kWh artış sağlanmıştır. Paired t-test sonuçları Şekil 4'de belirtildiği gibidir.

**Paired T-Test and CI: YENİ REJ\_2; ESKİ REJ\_2**

**Paired T for YENİ REJ\_2 - ESKİ REJ\_2**

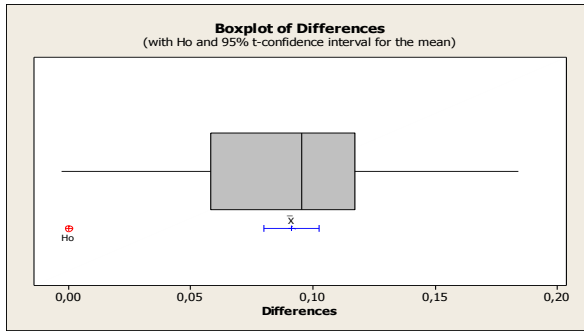
	N	Mean	StDev	SE Mean
YENİ REJ_2	50	20,8448	0,1252	0,0177
ESKİ REJ_2	50	20,7535	0,1293	0,0183
Difference	50	<b>0,09124</b>	0,04027	0,00570

**95% CI for mean difference: (0,08979; 0,10269)**

**T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0):**

**T-Value = 16,02 P-Value = 0,000**

Şekil 4: Paired T-Test



**İyileştirme Sonrası Safhalar :** İyileştirme aşamasından sonra elde edilebilecek gelişmeler için uygulanacak aksiyonlar Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9: İyileştirme Safhasından Sonra Alınacak Aksiyonlar (Quick Win Action)

SÜREÇ	POTANSİYEL NEDEN	İYİLEŞTİRME SAFHASINDAN SONRA ALINACAK AKSİYONLAR
<b>BUHAR TÜRBİNİ ELEKTRİK ÜRETİM KAYIPLARI</b>	Buhar Türbini Sızdırmazlık Buharı Drain Vanası Açma-Kapama Rejimi	<b>QW 1 :</b> Sızdırmazlık Buharı Hattının kısaltılmasına yönelik olarak hazırlanan "Fizibilite Raporu" içeriğinde belirtilen hat revizyonu teknik açıdan uygun bulunmuştur. Ancak, söz konusu revizyonun Santral'in uzun bir duruşunu gerektirmesi ve geri ödeme süresinin uzun olacağına düşünülmesi nedeni ile uygulanmamasına karar verilmiştir.
		<b>QW 2 :</b> Sızdırmazlık Buharı Drain Vanası'nın açma-kapama sıcaklık set değerleri değiştirilerek açma-kapama süreleri değiştirilmiştir. Saatlik açma-kapama sayısının 6'dan 5'e ve bazı durumlarda 4'e kadar düştüğü görülmüştür. Bu durum; sözkonusu vananın açıp kapaması neticesinde Buhar Türbini üzerinde oluşan "yük düşümü" etkisinin süresini 21 dakikadan 15,75 dakikaya indirmiştir. Yapılan incelemelerde bu çalışmanın Buhar Türbini'nin saatlik elektrik üretim ortalamasını 23 kWh artırdığı görülmüştür.

### Proje Kazanımları :

- *HP basınç, HP sıcaklık ve LP basınç set değerlerinin değiştirilmesi ile elde edilen ortalama kazanım: 91 kWh*
- *Quick Win 2'nin hayata geçirilmesi ile elde edilen ortalama kazanım: 23 kWh*
- *Saatlik ortalamada toplam kazanım: 114 kWh*
- *Beklenen yıllık getiri (Elektrik Piyasası Fiyatlarının Değişkenliği Göz Önünde Bulundurularak): 100.000 – 110.000 \$ /Yıl*

### 8. Sonuç

Günümüzün kendini sürekli yenileyen ve geliştiren ortamında, işletmelerin buldukları pozisyonlarını korumaya ya da rekabet açısından daha üst seviyede yer almaya çalışmaları Altı Sigma'nın doğmasına yol açmıştır. Güçlü bir işletme stratejisi olarak Altı Sigma işlem ve hizmet mükemmeliyetini başarma ve sürdürmede bir zorunluluk olarak kabul edilmektedir. Altı Sigma'nın orijinal odak noktası imalat üzerinde yoğunlaşmışken, bugün hizmet ve işlem süreçlerinde de yaygın bir şekilde kabul görmektedir.

Altı Sigma metodolojisi yeni bir teknik değildir. Ancak uzun yıllar kaliteye odaklı uygulamalara karşın halen maliyetin azaltılamamış olması, organizasyonları maliyetleri artıran unsurları araştırmaya yönlendirmiştir. Beklentilerin sağlanabilmesi için kalite standartlarının sağlanması sırasında hesap dışı bırakılan uygunsuzlukların (defolu ürünler, zamanında yerine ulaştırılmama, açığa alınan ürünler, vb) yarattığı olumsuzluklara da odaklanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Altı Sigma felsefesi, meydana gelen hataların ve maliyetlerin azaltılması, iş süreçlerinin iyileştirilmesi, müşteri memnuniyet seviyesinin, firma prestijinin ve personel yetkinliğinin artması gibi birçok amacı içermektedir. Altı Sigma uygulama süreci sonucunda, olası sorun ve hatalar ortaya çıkarılmakta, bunlar düzeltilerek sürecin en kusursuz biçimini alması amaçlanmaktadır.

Sabancı Holding, Aselsan, Arçelik ve Eczacıbaşı gibi, Türkiye'nin önemli işletmeleri Altı Sigma yaklaşımını hızla uygulamaya koymuş ve başarılı sonuçlara ulaşmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği Enerjisa'da projenin hedefi buhar türbini kapasitesini 30 kWh arttırmak ve proje sonunda 25.000 \$ gelir etmek olarak belirlenmiştir. Altı Sigma Proje çalışmaları ile genel kapasite artırımını 114 kWh düzeylerine çıkmış ve proje ile hedef değerden daha fazla getiri sağlanmıştır. Altı Sigma diğer kalite yönetimi ve iyileştirme sistemleri ile karşılaştırıldığında spesifik kalite problemlerinin nedenlerini ortaya koyma ve söz konusu problemleri çözme metodolojisi olarak göze çarpmaktadır. Altı Sigma stratejisi bir örgüt için ölçülebilir ve sayısal olarak ifade edilebilir finansal kazançlara ulaşma konusunda da önemli kazanımlar sağlamaktadır. Özetle bu felsefe; işletme süreçlerinde oluşabilecek değişkenlik katsayısının minimizasyonunu sağlayarak, hata sayısını azaltıp, maliyeti düşürmeyi ve verimliliği arttırmayı amaç edinmiş istatistiksel bir yönetim felsefedir. Bu güçlü yönetim felsefesi General Electric, Motorola, Honeywell, Bombardier, ABB, Sony ve buna benzer dünyanın önde gelen işletmeleri tarafından da kullanılmaktadır.

## Kaynaklar

- Antony, J. (2004). "Six Sigma in the UK service organizations: Results from a pilot survey", *Managerial Auditing Journal*, Vol:19, No: 8, 2004, p. 1006-1013.
- Antony, J. (2006). "Six Sigma for Service Processes", *Business Process Management Journal*, Vol. 12, No.2, 2006, p. 234.
- Argüden, Y. (2002). "Altı sigma ve Toplam Kalite Yönetimi", *İş, Güç Bakış: İş Yaşamı Dergisi*, Sayı: 6 (Aralık, 2002), s.26.
- Aslan, D., Demir S. (2005). "Laboratuvar Tıbbında Altı-Sigma Kalite Yönetimi", *Türk Biyokimya Dergisi*, 30 (4), 272-278.
- Baş, T. (2003). Altı Sigma, Kalite Ofis Yayınları, <http://www.kaliteofisi.com/download/e-kitap.asp>. (Erişim Tarihi: 11.11.2010).
- Bergman, B. & Klefsjö, B. (1994). *Quality From Customer Needs to Customer Satisfaction*, McCraw Hill:London.
- Dalğar, H., Tsş, S., Cevher, E., Akın, O. (2010). "Maliyet Yönetim Aracı Olarak Altı Sigma: Kuramsal Bir Yaklaşım", *Süleyman Demirel Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi*, C.15, S.1, s.235-255.
- Eckes, G. (2005). *Herkes için Altı Sigma*, MediaCat: İstanbul.
- Eker B., Akdoğan A. (2003). "Makina İmalat İşletmelerinde 6 Sigma Yaklaşımı", *Makine Tek Aylık İmalat ve Teknoloji Kültürü Dergisi*, Sayı:73, Kasım, İstanbul; s.47
- Erdiller A., Orbak A.Y., (2005). "Otomotiv Yan Sanayinde Altı Sigma Araçlarının Kullanımı ve Uygulama Örneği", *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25-27 Kasım, s.557-559, İstanbul.
- ERGÜN A.K. (2003). "Altı Sigma Metodolojisi ve Türkiye'deki Uygulamaları", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul
- Gürsakal, N., Oğuzlar, A. (2003). *Altı Sigma*, Vipasa A.S., Bursa.
- Harry, M.J. (1997). *The Nature of Six Sigma Quality*, Motorola University Press, USA
- Hellsten, U. & Klefsjö, B., (2000). TQM as a Management System Consisting of Values, Techniques and Tools, *The TQM Magazine*, (12:4), pp. 238 – 244.
- İşığışok, E. (2005). *Altı Sigma Kara Kuşaklar İçin Hipotez Testleri Yol Haritası*, Sigma Center Yönetim Sistemleri, Bursa, Aralık.
- Karaköse, M.A. (2004). "Altı Sigma ve Türkiye Uygulaması", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul
- Komay, S. (2002). "Altı Sigma ve İstatistiksel Teknikler", Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Ankara.
- Lagrosen, Y. & Lagrosen S. (2000). "The Effects of Quality Management a Survey of Swedish Quality Professionals", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 25, No.10, pp. 940-952.
- Pande, P.S, Neuman R.,P, Cavanagh, R.R. (Çev.: Güder N, Tokcan G.) (2003). *Six sigma yolu GE, Motorola ve zirvedeki diğer firmaların performanslarını yükseltme yolları*, Klan Yayınları, İstanbul.

- Pande, P.S, Neuman, R.P., Cavanagh, R.R. (2000). *The Six Sigma Way: How GE Motorola and other top companies are improving their performance*, 1th ed., Newyork : McGraw-Hill
- Polat, A., Cömert, B., Artürk, T. (2005), *6 Sigma Nedir?*, 2.b., Ankara: S.P.A.C. Altı sigma Danışmanlık
- Pyzdek, T., (2003), *The Six Sigma Project Planner*, Mc-Graw Hill, USA.
- S.P.A.C., (2003). *Altı Sigma (Mükemmellik Modeli) nedir?* Ankara.
- Sehwaill, L., Camile, D.Y. (2003). “Six Sigma in Health Care”, *International Journal Of Health Care Quality Assurance Incorporating Leadership in Health Services*, 16/3.
- Six Sigma Tutorial, (2005). <http://sixsigmatutorial.com/Six-Sigma/Six-Sigma-Capability-Improvement.aspx> (Nisan 2005).
- Tok, Ç. (2006). “Kalite Yönetim Sistemi Olarak Altı Sigma Metodu ve Sogutma Sektöründe Bir Altı Sigma Proje Uygulaması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamı Yüksek Lisans Tezi)*, Ankara, s.11.
- Turan, A.H., Şenkayasa, H., Başaloğlu, C. (2008). “Altı Sigma’nın KOBİ’lerde Farkındalılığı, Ayırt Edici Faktörler ve Uygulama Karakteristikleri: Aydın İlinde Ampirik Bir Değerlendirme”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, C.X, S.II., 57-78.*
- Westgard, Q.C. (2005). *Six sigma basics: outcome measurement of process performance* <http://westgard.com/lesson66.htm> (Erişim: Haziran 2005).
- Yavuz, E. (2005). “Altı Sigma Yöntemi ve Uzaktan Eğitimde Bir Uygulama”, *Sakarya Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamı Yüksek Lisans Tezi)*, Sakarya, s. 28-29.
- Zeithaml, V.A., Parasuraman, A. & Berry, L.L., (1990). *Delivering Quality Service, Balancing Customer Perceptions and Expectations*, The Free Press, New York: NY.