

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL TEKNİKLERİNİN MOTOR
YENİLEŞTİRME SÜRECİNDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Haydar BOSTAN

Balıkesir, Ocak-2010

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL TEKNİKLERİNİN
MOTOR YENİLEŞTİRME SÜRECİNDE KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Haydar BOSTAN

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hüray CAN

Sınav Tarihi: 21.01.2010

Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Hayrettin YÜKSEL (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Hüray CAN (Danışman) (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Altuğ YAVAŞ (BAÜ)

Balıkesir, Ocak-2010

ÖZET

İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL TEKNİKLERİNİN MOTOR YENİLEŞTİRME SÜRECİNDE KULLANIMI

Haydar BOSTAN
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hüray CAN)

Balıkesir, 2010

İstatistiksel proses kontrol teknikleri, ağırlıklı olarak sanayide imalat sürecinde, sürecin kontrol altında tutularak kalitenin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, istatistiksel proses kontrol teknikleri kullanılarak, yenileştirme, montaj ve test işlemlerinden oluşan motor yenileştirme sürecinde hataların minimize edilerek işçilik ve malzeme kayıplarının düşürülmesi, proses yeterliliğinin artırılarak yenileştirilmiş motorlara yapılan testlerin örnekleme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmesine ve ayrıca istatistiksel proses kontrol tekniklerinin yenileştirme süreçlerinde de kullanılabilmesi gösterilmeye çalışılmıştır.

Çalışma bir askeri kuruluşta, en çok yenileştirmesi yapılan bir araç motoru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; yenileştirme sürecinin son işlemi olan test operasyonunda elde edilen hata bilgileri bir yıl süre ile kayıt altına alınmıştır. Pareto analizi ile hatalar sınıflandırılmış, seksene yirmi kuralına göre hataların yüzde seksenini oluşturan sebeplerin yüzde yirmisi beyin fırtınaları ile tespit edilmiştir. Hata sebeplerini ortadan kaldıracak iyileştirme çalışmaları yapılarak uygulamaya konulmuştur. İyileştirilen yeni süreç kontrol grafikleri ile takip edilmiş ve proses yeterlilik analizleri yapılmıştır. Sonuçta, ele alınan hata kaynaklarından kaynaklı hatalarda yüzde 73, kayıp zamanlarda yüzde 72'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Ondokuz kalem ana malzemeden oluşan çalışma konusu araç motorunda örnekleme yöntemi ile test yapılabilmesi için, proses yeterlilik seviyelerinin (Cp) 1'in üzerine çıkarılması gerekmektedir. Bu çalışmada ele alınmayan diğer ondört kalem ana malzeme ile birlikte sözkonusu motor üzerinde yapılan iyileştirme çalışmaları devam etmektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: istatistiksel proses kontrol / ipk / motor yenileştirme / süreç iyileştirme

ABSTRACT

USING STATISTICAL PROCESS CONTROL TECHNIQS IN ENGINE MODERNIZING PROCESS

Haydar BOSTAN

**Balıkesir University, Institute Of Naturel Applied Science, Department
Of Mechanical Engineering**

(Ms. Thesis / Supervisor : Asst. Prof. Hüray CAN)

Balıkesir-Turkey, 2010

Statistical process control (spc) technics have been using industry especially manufacturing process in aim of reduce the costs and increase the quality. This study aims, minimize the process faults so reduce the material and labour costs, increase the process capability, therefore perform the tests in sampling method by using spc technics in engine modernize process which become renewing, assembling and testing steps. In addition to shows that spc technics can be used in engine modernizing process.

This study was worked in a military organization and an engine that was mostly modernized. The fault datas, obtained from engine test operation last step of the modernizing process, were saved as one year. Using pareto analyze faults were categorized and the help of the brain storm technics determined twenty percent of reasons that caused the eighty percent of faults. The modernizing studies that dissolve the faults were put into practice. Then, the new process was observed by control charts and analyzed process capability. Consequently, satisfied 73 percent improvement that were taken up the fault reasons and 72 percent labour costs. The engine, subject of this study, become nineteen major equipments. Making test by sampling method, its necessary to increase major equipments process capability (CP) over 1. There are fourteen major equipments that were not taken up in this study. This study has been continuining with the equipments that were not token up.

KEY WORDS : statistical process control / spc / engine modernizing / process modernizing

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEYWORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. TOPLAM KALİTE	4
2.1 Kalite Kavramı ve Önemi	4
2.1.1 Kalitenin Unsurları	6
2.2 Kalite Bileşenleri	8
2.2.1 Tasarım Kalitesi	8
2.2.2 Uygunluk Kalitesi	9
2.2.3 Performans Kalitesi	9
2.3 Kalite Kontrolünde İstatistik Yöntemlerin Yeri Ve Önemi	10
2.4 Kalite Kontrolde Standartlar, Spesifikasyonlar Ve Toleranslar	12
2.5 Sürecin Ortalamasının Merkezileştirilmesi Ve Önemi	13
2.6 Süreç Yetenek ve Performans Endeksleri	16
2.6.1 Süreç Potansiyel Endeksi (Cp)	17
2.6.2 Fiili Yeterlilik Endeksi (Cpk)	20
2.6.3 Cpm Endeksi	22
2.6.4 Pp ve Ppk Endeksleri	22
2.7 İyileştirme Modeli ve Aşamaları	23
2.7.1 Tanımlama	24
2.7.2 Ölçme	24
2.7.3 Analiz	24

2.7.4 İyileştirme	25
2.7.5 Kontrol	26
3. İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN İSTATİSTİK TEKNİKLER	28
3.1 Beyin Fırtınası	28
3.2 Sebep-Sonuç Diyagramı	29
3.3 Histogram	29
3.4 Kontrol Tablosu	32
3.5 Pareto Şeması (Analizi)	33
3.6 Gruplandırma	34
3.7 Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)	35
3.8 Kontrol Grafikleri	37
4. MOTOR YENİLEŞTİRME SÜRECİNDE İSTATİSTİKEL PROSES KONTROL TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI	42
4.1 Bakım Merkezi	42
4.2 Uygulamanın Hedefi ve Kapsamı	43
4.3 Uygulamada Kullanılan Motor	44
4.4 Uygulama	44
4.4.1 Verilerin Toplanması	44
4.4.2 Hataların Gruplandırılması	45
4.4.3 Yapılan İyileştirmeler	46
4.4.3.1 Montaj Kaynaklı	46
4.4.3.2 Yenileştirme Kaynaklı	47
4.4.3.3 Malzeme Kaynaklı	66
4.4.4 İyileştirmeler Sonrası Motor Test Verileri	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	71

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil Nu. Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: D. Garvin'e göre kalitenin sekiz unsuru	6
Şekil 2.2: İki farklı sürecin karşılaştırılması	14
Şekil 2.3: Spesifikasyon limitleri dahilinde Cp değerleri	18
Şekil 3.1: Bir histogram örneği	31
Şekil 3.2: Shewhart kontrol kartı formatı	37
Şekil 3.3: Sürecin kontrolde, kontrol dışı ve indirgenen değişkenliği durumları	38
Şekil 4.1: Uygulamada kullanılan motor	44
Şekil 4.2: Hata kaynakları dağılımı	45
Şekil 4.3: TDI 300 motoru mazot pompası	47
Şekil 4.4: Pompa test değeri ölçüm noktası proses yeterlilik analizi	49
Şekil 4.5: Yüksek hız devir kontrolü ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	50
Şekil 4.6: Yüksek hız yakıt kontrolü ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	50
Şekil 4.7: Transfer basıncı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	51
Şekil 4.8: Avans kontrolü ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	51
Şekil 4.9: Marş devir kontrolü ölçüm noktası proses yeterlilik analizi	52
Şekil 4.10: Test basıncı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	52
Şekil 4.11: TDI 300 motoru yağ pompası	54
Şekil 4.12: Dış rotor-gövde arası boşluk ölçüm noktası proses yeterlilik analizi	56

Şekil 4.13: İç rotor-dış rotor arası boşluk ölçüm noktası proses yeterlilik analizi	57
Şekil 4.14: Aksiyel boşluk ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	57
Şekil 4.15: Rölanti yağ basıncı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	58
Şekil 4.16: Yüksek devir yağ basıncı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi.	58
Şekil 4.17: TDI 300 motoru marş motoru	60
Şekil 4.18: Bakır çapı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	62
Şekil 4.19: Kömür boyu ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	63
Şekil 4.20: Arka kapak burç iç çapı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi	63
Şekil 4.21: Boşta test kriterinin proses yeterlilik analizi	64
Şekil 4.22: Yükte test kriterinin proses yeterlilik analizi	64
Şekil 4.23: TDI 300 motoru krank arka keçesi	66
Şekil 4.24: İyileştirme öncesi ve sonrası durumun karşılaştırması	67

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo Nu. Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Değişkenlik türleri ile kısa ve uzun dönem yeterliliği	17
Tablo 2.2: Cp ile milyonda hata sayısı arasındaki ilişki	19
Tablo 3.1: Veri sayısına bağlı olarak kullanılacak sınıf sayısı	30
Tablo 3.2: Hata olasılığının değerlendirilmesi	36
Tablo 4.1: Mazot pompa ölçüm verileri	48
Tablo 4.2: Mazot pompa ölçüm noktalarına ait proses yeterlilikleri ve kontrol sınırları dışında kalan ölçüm sayıları	53
Tablo 4.3: Yağ pompa ölçüm verileri	55
Tablo 4.4: Mazot pompa ölçüm noktalarına ait proses yeterlilikleri ve proses sınırları ile kalite sınırlarının karşılaştırması	59
Tablo 4.5: Marş motoru ölçüm verileri	61
Tablo 4.6: Marş motoru proses ve kalite sınırları ile proses yeterliliği	65
Tablo 4.7: İyileştirme öncesi ve sonrası durumun karşılaştırması	68

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimimde edinmiş olduğum teorik bilgiyi pratikte uygulama fırsatı bulduğum bu çalışmada; bilgi ve deneyimleri ile yardım ve katkılarını esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hüray CAN ve hocam Yrd. Doç. Dr. Hayrettin YÜKSEL'e, her türlü imkanı kullanımına sunarak maddi ve manevi desteği ile çalışmanın gelişmesine büyük katkısı bulunan 6'ncı Ana Bakım Merkezi Komutanı Bkm. Kd. Alb. Ziya KARAGÖZ'e, kendilerine ait çok değerli zamanımı sabırla feda eden eşim Pınar ve oğlum Utkan'a içtenlikle teşekkür gönül borcumdur.

Balıkesir, 2010

Haydar BOSTAN

1. GİRİŞ

Yapılan araştırmalara göre, mamul üretilirken yapılan hataları düzeltmek ve mamulü yeniden yapmak için gereğinden fazla zaman ve para harcanmaktadır. Oysa günümüz piyasa ve rekabet şartlarında firmaların para ve zaman kaybetmeye tahammülleri yoktur. Düşük kalite ile üretilen ürünlerin üretim maliyetleri de artmaktadır. Bu durumlar göz önüne alındığında firmalar etkin kalite sistemlerini benimseyip uygulamak zorundadırlar. [1]

Son yıllarda bir slogan haline gelen kalitenin aslında tarihi bir geçmişi vardır. Dünyadaki ilk kalite çalışmaları insanoğlunun bir nesneyi çoğaltma isteği ile başlamıştır. İlk uygulamalar bir ekicin, bıçağın veya mızrağın ucundaki sivri taşın kötü bir kopyasını yapabilmek amacı ile gerçekleştirilirken, daha çok kullanım kolaylığı ve boyutsal yakınlık hedefleniyordu. Belirli bir boyuta yakın olarak kopyalanan, çoğaltılan bıçaklar, mızraklar kendilerinden beklenen fonksiyonları daha iyi yerine getirebiliyordu. Bu bağlamda, değişkenliklere ve kalitesizliğe karşı savaşının neredeyse kendi tarihi kadar eski olduğunu söyleyebiliriz. [1]

Kalite ile ilgili ilk kayıtlar M.. 2150 yılına kadar uzanır. Hamurabi Kanunlarının 229. maddesinde şu ifadeler yer alır: Eğer bir inşaat ustası bir adama ev yapar ve yapılan ev yeterince sağlam olmayıp ev sahibinin üstüne çökerek ölümüne sebep olursa o inşaat ustasının başi uçurulur. Bu ifadeden de anlaşıldığı gibi kalite ile ilgili çalışmalar –en ilkel biçimiyle de olsa- Milattan nceki yıllarda başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir.

Günümüzde büyük ölçüde gelişen ve uluslararası hale gelen rekabete dayalı ekonomik sistemde; üreticiler, sürekli olarak mal ve hizmetlerin kalitesini en iyi seviyede tutmak zorundadır. Üretilen rnlerin i pazarlar yanında dış pazarlara da açılması mecburiyetinin sonucunda oluşan rekabet

piyajasında, iŖletmelerin ayakta kalması ancak üretilecek olan kaliteli ürünler sayesinde olacaktır. Düşük kaliteli mal ve hizmet ile rekabet etmeye çalışan iŖletmelerin ürettiği ürünlerin fiyatları ne kadar düşük olsa da kalite bilincine varmış olan tüketiciler, fiyat yanında yüksek kaliteye de önem vermeye başlamışlardır. Bunun sonucunda birçok firma zarara uğramış veya rekabete dayanamayarak iŖletmelerini kapatmak zorunda kalmıştır.

Endüstriyel gelişmeler karşısında tüketicilerin talepleri hızla artmıştır. Üreticiler de bu talepler karşısında çeşitli ve değişik fonksiyonlu ürünler üretmek zorunda kalmışlardır. Günlük hayatımızda evlerimizde kullandığımız ürünlerde, eskiye nazaran kaliteye daha fazla önem verilmektedir. Buzdolabı, çamaşır makinesi, elektrikli süpürge gibi ürünlerin değeri; artık kalitesi, dayanaklılığı ve aynı tip ürünlere göre daha ucuz olan fiyatı ile ölçülmektedir. Gelişen teknoloji sayesinde çeşitli amaçlarla kullanılan makine, araç ve gereçlerin önemi daha da artmıştır. Uzay çalışmalarında kullanılan uzay araçları, çok yüksek maliyetlere ulaşan uydu sistemleri, gelişmiş silah sistemleri, tıbbi cihazlar, günlük hayatın her safhasında kullanılan elektrikli ve elektronik aletler, ulaşım araçları ile benzeri araç ve gereçlerin yüksek kalitede üretilmesi gereklidir. Ölçüm tekniklerinin gelişmiş olmasına ve hassas ölçüm aletlerinin kullanımının yaygınlaşmış olmasına rağmen, hatalı üretime dayalı küçük bir teknik arızalar birçok insanın sakat kalmasına veya ölmesine sebep olmaktadır. Ayrıca oluşabilen maddi zararlar da büyük rakamlara ulaşmaktadır. [1]

Teknoloji ve bunun sonucunda gelişen otomasyon, ürünlerin karmaşıklığı, üretim hızının artması gibi etkenler daha dar toleranslarda çalışmayı zorunlu kılmıştır. Bunun yanında iŖletmelerin düşük kalitede mal üretmeleri sonucunda, hatalı pek çok ürün çıkmakta ve bu ürünlerin ayıklanması ile de şirketler maddi zararlara uğramaktadır. Belirli bir tolerans ile piyasaya sürülen kusurlu mallar ise müşteri kaybına ve iŖletmelerin tüketici gözünde prestij kaybetmesine yol açmaktadır. Sonuçta, iŖletmelerin toplam olarak katlanmak zorunda kaldıkları maliyet, çok büyük rakamlara ulaşmaktadır. [1]

W. Edwards Deming'e göre, kaliteyi artırmak için %100 kontrol yapmak, kusurlu mal üretmeyi planlamakla, sürecin spesifikasyonlara uygun olmadığını Kabul etmekle aynı şeydir. Kaliteyi artırmak için kontrol hem çok geçtir, hem de etkisiz ve masraflıdır. Bir ürün satıcının kapısından çıktıktan sonra artık onun kalitesi hakkında bir şey yapılamaz. Kalite kontrolle değil, üretim sürecinin geliştirilmesiyle sağlanır. Kontrol, hurdaya ayırma ve yeniden işleme gibi şeyler süreci düzeltici eylemler değildir.

Günlük yaşantımızda kullandığımız araçlardan farklı olarak, askeri araçların, her türlü mevsim ve arazi şartlarında kullanım amaçlarını yerine getirmeleri gerekmektedir. Kullanım amaçları göz önünde bulundurulduğunda askeri kara araçları başlıca; yük/personel taşıyıcılar ve muharebe araçları olarak iki ana grupta sınıflandırılabilir. Her iki grup da önemli olmakla birlikte muharebe araçları, taşıyıcı araçlara göre daha korumalı olmaktadır. Taşıyıcı araçların başlıca özelliği de diğer grup araçlara göre daha seri, hareket kabiliyetlerinin daha yüksek olmasıdır.

Araçların her an başarı ile görev yapacak şekilde hazır bulunmaları gereklidir. Bu gereği karşılayabilmek için; uzun kullanım ömrü, düşük kullanım ve bakım maliyeti, yüksek mürettebat ve teçhizat koruması, mobilite, kullanım amacına bakılmaksızın her askeri araçtan beklenen ortak özelliklerdir.

2. TOPLAM KALİTE

2.1 Kalite Kavramı ve Önemi

Kalite kelimesi Latince nasıl oluştuğu anlamına gelen “Qualis” kelimesinden türemiş ve “Qualitas” kelimesiyle ifade edilmiştir.

Esasta kalite sözcüğü hangi ürün ve hizmet için kullanılıyorsa, onun gerçekte ne olduğunu belli etmek amacını taşımaktadır. Kalite, genel olarak günlük konuşmalarda üstünlüğü ve iyiliği, diğer bir deyişle kaliteye konu olan ürün ve hizmetin iyi niteliklerinin olduğunu belirtir. Bu bakımdan da kalite, subjektif (kişisel) değerleri içermektedir. Ancak subjektif değerlendirmelerden oluşan kalite anlayışı ülkeden ülkeye, yaşam düzeyi, zevk, gelenekler, toplumsal yapı, eğitim gibi çok sayıda faktörlerin etkisi altında değişik yapı göstermektedir. Bu nedenlerle tüketicinin ürün ve hizmetler için kullandıkları kalite kelimesinin ifade edeceği anlamlar da farklı olabilmektedir. Bu bakımdan herhangi bir ürünün üretiminde tüketicinin arayacağı niteliklerin göz önüne alınması gerekir. [2]

Kalite ne demektir? Literatür araştırıldığında görülmektedir ki kalite kavramının değişik tanımları bulunmaktadır. Bazı kalite önderlerinin kalite ile ilgili değişik tanımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kalite, ürünün müşteriler tarafından değinilen veya ima edilen istekleri karşılayabilme yeteneğine sahip niteliklerin toplamıdır (Kotler). [3]

- Kalite; tüketicinin istediği estetik, dayanıklılık, güvenilirlik vb. gibi özelliklere sahip ve hatalardan arındırılmış ürünlerin kullanım amacına uygunluğudur (J. Juran). [4]

- Kalite; müşterilerin şikâyetlerini önleme değil, müşterileri memnun edebilmenin bir aracı olarak görülebilir (Garvin). [5]

- Dar anlamda kalite, ürün kalitesi demektir. Geniş anlamda kalite, iş kalitesi, hizmet kalitesi, iletişim kalitesi, proses kalitesi, işçiler, mühendisler, idareciler ve yöneticiler dahil insan kalitesi, sistem kalitesi, firma kalitesi, hedeflerin kalitesi v.b. [6]

- Taguchi'ye göre kalite, ürünün sevkiyatından sonra toplumda neden olduğu minimum zarardır. [7]

- Deming'e göre kalite, müşterinin şimdiki ve gelecekteki isteklerinin karşılanmasıdır. [8]

Diğer taraftan kalite gurularından Deming, kaliteyi değişkenliğin azaltılması olarak görür ve hataların sıfırlanmasıyla kalitenin sağlanabileceğini düşünür. Crosby ise kaliteyi “spesifikasyonlara uygunluk” olarak tanımlar. Başka bir deyişle, kalite hatasız üretimdir veya spesifikasyonlara yüzde yüz uyumdur.

Zaman içinde, birbirinden farklı birçok şekilde tanımlanan kalitenin en fazla kullanılan birkaç tanımı, şu şekilde sıralanabilir:

- Kalite, bir ürün ya da hizmetin değeridir.
- Kalite, önceden belirlenmiş bulunan özelliklere uygunluktur.
- Kalite, ihtiyaçlara uygunluktur.
- Kalite, kullanıma uygunluktur.
- Kalite, eksiklerden kaçınmaktır.
- Kalite, müşteri beklentilerini karşılamak veya onların ilerisine geçmektir.

Günümüzde işletmecilikte; yoğun rekabet şartları altında mal ve hizmetlerin kalitesinin sürekli olarak geliştirilmesi zorunluluğu bulunmaktadır. İşletme yöneticileri kaliteyle ilgili önlem almaz ve kusurlu malları piyasaya sürerse, işletme başta prestij kaybı ve satışların azalmasından kaynaklanan zararlar olmak üzere birçok kayıpla karşılaşabileceklerdir. İşletmeler açısından kalitenin amacı ve önemi iki ana başlık altında toplanabilir: [9]

- Üretim işlemleri sonucunda ortaya çıkan hurda, fire ve atık oranı azalacak, mallar üzerinde yeniden düzeltme işlemleri yapılması ortadan

kalkacaktır. Bunun sonucunda üretimde daha az duraklama olacak, daha yüksek bir üretim hızına erişilecek ve çalışanların işlerini daha çok sevmeleri sağlanabilecektir.

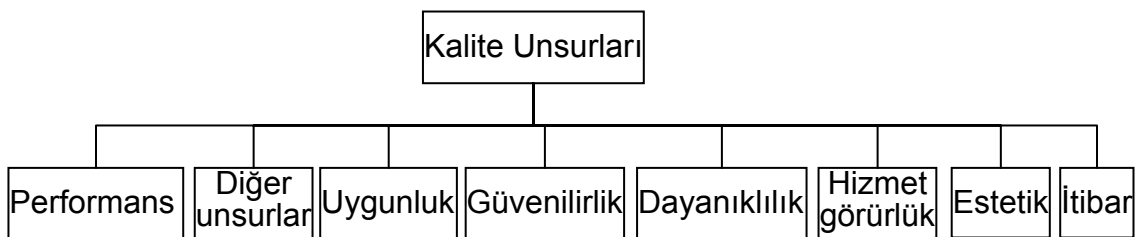
- Kaliteli üretimle müşteri beklenti ve taleplerinin tam olarak karşılanması ile müşteri kaybının olmaması sonucu müşteri sayısı, satışların ve kârın artması sağlanabilecektir.

Kalite sınırları devamlı genişleyen bir kavramdır. Teknoloji, değişen koşullar, ihtiyaçlar kaliteye değişik boyutlar getirmektedir. Kalite niteliği bakımından dinamik bir özellik taşımakta, tüketici ihtiyaçlarına paralel olarak gelişmekte ve değişmektedir. Veri toplamak suretiyle üretici, yeni teknikler ve yeni örgütlenme yolları geliştirerek aynı maliyetle daha yüksek kalitede üretmek ve tüketicinin kaliteye yönelik taleplerini yerine getirmek durumundadır. Üreticilerin birçoğu için düşük kalitenin kârlılık üzerine olumsuz etki yapması gerçeği ortadadır. Düşük kalite, imalatçı için hataları bulma ve düzeltmedeki maliyet demektir. Bazen bu maliyetler büyük boyutlara ulaşabilmektedir. Ayrıca düşük kalitenin alıcılardaki güven kaybından dolayı ürünün piyasa payının azalmasına neden olacağı da açıktır.

2.1.1 Kalitenin Unsurları (boyutları)

İçinde bulunduğumuz yüzyılda ortaya çıkmış olan değişik kalite tanımları, aslında kalitenin çok boyutlu olmasından kaynaklanmaktadır.

1984 yılında D. Garvin kalitenin boyutlarını sekiz ana grup altında aşağıdaki gibi tanımlamıştır: [10]



Şekil 2.1: D. Garvin'e göre kalitenin sekiz unsuru

Performans: Ürün veya hizmette bulunması gereken birinci dereceden önemlilik arz eden karakteristikler. Bu karakteristikler her ürün ve hizmette farklı özelliğe sahiptir. Bazılarında şekil, boyut ve kimyasal bir özellik olabildiği gibi bazılarında ise mekanik veya fiziki bir özellik olabilmektedir.

Diğer unsurlar: Ürün ve hizmette çekiciliği sağlayan ikinci dereceden önemlilik gösteren karakteristikler. Bunların mutlaka bulunması gereken asıl unsurlar olmayıp daha etkili sonuçların meydana gelmesini sağlayan unsurlardır.

Uygunluk: Ürün veya servisin belirlenen standartları karşılama seviyesidir. Klasik yönetim yaklaşımı "uygunluğu", önceden tespit edilen tolerans limitleri içinde şartları karşılamaktadır. %95 ve yukarısı yüksek kalitenin göstergesi olabilir. Toplam Kalite anlayışında ise standarttan her sapma kayıp olarak nitelendirilir.

Güvenilirlik: Ürünün kullanım ömrü içerisindeki performans özelliklerinin sürekliliğidir. Bir başka deyişle ürünün kullanım ömrü boyunca kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirebilmesidir.

Dayanıklılık: Ürünün kullanılabilirlik özelliğidir. Veya üründe kullanım ömrünün uzunluğu olarak da düşünülebilir. Aynı fiyatlar sahip ürünlerdeki tercih, daha uzun süre hizmet edebilecek ürünler yönünde olacaktır.

Hizmet görürlük: Ürüne ilişkin problem ve şikâyetlerin kolay çözülebilirliğidir. Satış sonrası hizmetler olarak bilinen ürünün servis ve bakımları müşteri memnuniyeti açısından son derece önem arz etmektedir.

Estetik: Ürünün albenisi ve duyulara seslenebilme yeterliliğidir. Ürünün ambalajı, rengi ve şekli gibi özellikler ürünün performansını doğrudan etkilememekle birlikte tüketicinin hislerine ve iç dünyasına hitap edebilen özelliklerdir.

İtibar: Ürünün ya da diğer üretim kalemlerinin geçmiş performansıdır. Bir başka deyişle tüketiciler her zaman ürünle ilgili bilgileri elde edemeyebilirler. Bu durumlarda ürünün, diğer tüketicilerin nazarında nasıl bir iz bıraktığını nazara alır. Açıkça anlaşıldığı üzere kalitenin birçok boyutu bulunuyor ve ürün kalitesini de bu boyutlar belirliyor.

2.2 Kalite Bileşenleri (Tipleri)

Kalitenin boyutlarından da anlaşılacağı gibi, kalite mutlak anlamda “en iyi” demek değildir. Çok boyutluluğu, kaliteyi bir bileşim olarak ortaya çıkarmaktadır.

Genişletilmiş süreçte kaliteyi iyileştirmek arzusunda olan yöneticilerin kalitenin aşağıdaki üç tipini göz önüne almaları gereklidir:

- Tasarım/Yeniden tasarım kalitesi
- Uygunluk kalitesi
- Performans kalitesi

Kalitenin bileşenleri olan tasarım kalitesi, uygunluk kalitesi ve performans kalitesi açıklanacaktır.

2.2.1 Tasarım Kalitesi

Ürünün tüketici ihtiyacını karşılayabilme derecesine tasarım kalitesi denir. Tasarım kalitesi, müşteri araştırmaları ve hizmet/satış ziyaretleri ile başlar ve müşteriye tatmin edecek bir ürün/hizmet kavramının belirlenmesi ile sürdürülür. [11]

Daha sonra ürün/hizmet kavramı için spesifikasyonlar hazırlanır. Bir kuruluşta müşteri ve tedarikçileri iki ayrı grupta değerlendirmek gerekir: Dış ve iç. Örneğin; satın alma, üretimin tedarikçisi; üretim, sevkiyatın tedarikçisi; sevkiyat ise üretimin tedarikçisi olarak değerlendirilmelidir.

Tasarım kalitesi, ürünün fiziksel yapısı ve özellikleri ile beraber tasarlanır. Boyut, ağırlık, hacim v.b. fiziksel nitelikler gibi tasarım kalitesi de ölçülerle belirlenir. Tasarım kalitesinin saptanmasında, biri kalite değeri, diğeri de kalite maliyetini oluşturan iki parasal faktör arasında en uygun noktanın bulunmasına çalışılır. Tüketici başlangıçta malın artan kalitesine değer verir, yani kalite karşılığında daha fazla para ödemeye hazırdır. Fakat kalite düzeyi, ihtiyacının üzerine çıkmaya başladığında aynı isteği göstermez. Dolayısıyla onun nazarında kalitenin değeri giderek düşer. Örneğin; ayakkabının bir veya iki yıl dayanıklı olması karşılığında fiyat farkına katlanılır. Fakat dayanıklılık süresi uzadıkça, artan fiyatı ödeyecek tüketici sayısı hızla azalır. Kalitenin maliyeti, tersine bir gelişme gösterir. Kalite derecesi arttıkça maliyetler hızla artar.

2.2.2 Uygunluk Kalitesi

Uygunluk kalitesi, bir işletme ve tedarikçilerinin, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan tasarım spesifikasyonlarının, ürünün kabulü için gerekli şartları belirten dokümanları karşılayabilmelerinin ölçüsüdür. İşletme, tasarım kalitesi çalışmalarını ile ürün/hizmet spesifikasyonlarını belirledikten sonra, kalite çalışmalarını spesifikasyonları karşılama doğrultusunda yoğunlaştırarak, ürünün tüm kullanım süresi boyunca aynı performansa sahip olmasını sağlar. [12]

Günümüzde kalite kontrol anlayışında temel prensip “kusurlu parçalar geçmez” kuralı yerine “ilk defada doğru imal et” kuralı işlemektedir. Bu nedenle uygunluk kalitesinin en düşük maliyette gerçekleşmesi, işletmeler açısından büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca uygunluk kalitesi gerçek ürünlerin, tasarım kalitesine ne kadar uyduğunun bir göstergesidir. Eğer tasarım kalitesiyle uygunluk kalitesi arasında bir farklılık varsa, bu durumda hatalı ve yeniden işlenecek mamuller vardır. Uygunluk kalitesi yükseldiği zaman maliyet düşer.

2.2.3 Performans Kalitesi

Performans kalitesi, bir ürünün piyasada ne kadar iyi bir performans gösterdiği, yani müşteriler tarafından ne derece iyi algılandığı ve kabul edildiği konuları ile ilgilidir.

Performans kalitesi, işletmenin ürün/hizmetlerinin pazardaki performans düzeylerinin müşteri araştırmaları, satış/hizmet analizleri ile belirlenmesidir. Bu çalışmalar; satış sonrası hizmet, bakım-güvenirlilik ve lojistik destek analizi ile müşterilerin neden işletmenin ürün/hizmetlerini satın almadıklarının araştırılmasını içerir.

2.3 Kalite Kontrolünde İstatistik Yöntemlerin Yeri Ve Önemi

Üzerinde çalışılan konu ile ilgili sayısal verilerin, doğru olarak toplanması, özetlenmesi, konuyu tanıtacak şekilde işlenmesi, bilinen faktörlere göre analizi, başka verilerle ilişkilerinin tespiti ile sonuçların yorumlanması ve genelleştirilmesi için yapılan bütün işlemler "İstatistiksel Metotlar" olarak bilinir.

1924 yılında bir matematikçi olan Walter Shewhart, ilk kez Bell Laboratuvarlarında, seri üretim ortamında kalitenin ekonomik olarak kontrolü için bir yöntem olan istatistiksel kalite kontrol (İKK) kavramını gündeme getirdi. Daha sonra giderek yaygınlaşan kütle üretiminin kalite kontrol ihtiyaçlarını karşılamak üzere ABD, İngiltere gibi birçok endüstri ülkesinin fabrikalarında kullanılmaya ve yayılmaya başladı. Çünkü kütle üretiminde, miktarların çok yüksek olması %100 muayeneyi olanaksız kılmıştı. Örnekleme yaparak, tüm üretim partisinin kalitesi hakkında istatistiksel çıkarım yapmaya yönelik olan İKK, gerçekten büyük faydalar sağladı. Bu dönemde muayenecilerin rolü değişti ve sayıları azaldı. Örnekleme, kontrol şemaları gibi bazı istatistiksel araçları kullanarak kalite kontroldeki görevlerini devam ettirdiler.

Üretim yöntemlerinin ve ürün yapısının karmaşıklığı kaliteli ve tek düze ürün elde etme çabalarını büyük ölçüde engellemektedir. İstatistik bu sorunların çözümünde kullanılan temel bir araçtır. Büyük miktarlarda üretimler söz konusu olduğunda üretilen mamullerin kalitesini kontrol etmek ve muayene edilecek birimlerin miktarlarını belirlemek istatistik metotların kullanımı ile mümkün olmaktadır. İstatistik tekniklerin kullanımından önce verilerin doğru olarak toplanması gerekmektedir. Doğru veri toplanması ancak, istatistik konusunda eğitilmiş personelce, belirli bir sistemle, ölçüm hatası olmayan cihazlarla yapılabilir.

Kalite kontrol faaliyetlerinin yerine getirilmesinde, istatistiksel metotlardan yararlanılmaktadır ve kalitenin kontrol edilmesi ile ilgili olarak iki temel yaklaşım söz konusudur. Bunlardan birincisi, firmaya giren ve firmadan çıkan fiziksel maddelerin kontrol edilmesi, ikincisi ise çevrim veya dönüşüm faaliyetlerinin fiili olarak yürütüldüğü üretim veya imalat sürecinin kontrol edilmesidir. Bu yaklaşımların her ikisi de istatistiksel örnekleme tekniklerini kapsamaktadır.

Modern kalite kontrolün temelleri, 1920'lerden itibaren istatistiksel metotların sanayide kullanımı ile ortaya çıkmıştır. Bu yıllarda ilk olarak Shewhart, Dodge, Roming, Pearson gibi bilim adamları istatistiksel metotları, sanayide karşılaşılan kalite problemlerinin çözümünde kullanarak istatistiksel proses kontrolünün temelini atmışlardır. İstatistik birçok bilim dalında olduğu gibi kalite kontrolünde de temel bir yardımcı vazifesi görmektedir.

Üretim yöntemlerinin ve ürün yapısının karmaşıklığı, kaliteli ve tekdüze ürün elde etme çabalarını büyük ölçüde engellemektedir. İstatistik, bu sorunların çözümünde kullanılan temel bir araçtır. Büyük miktarlarda üretim söz konusu olduğunda, üretilen mamullerin kalitesini kontrol etmek ve muayene edilecek birimlerin miktarını belirlemek, istatistiksel metotların kullanımı ile mümkün olmaktadır.

Japonların, dünya piyasalarında kalite konusunda yüksek rekabet gücüne sahip olabilmelerinin önemli nedenlerinden birisi, Japonların Batının takip ettiği geleneksel düzeltici kalite kontrol ve örnekleme yoluyla incelemeye daha az önem vermeleri, kaliteyi mamul ve imalat sürecine yerleştirmeleri ve bu amaçla istatistiksel yöntemleri etkin bir biçimde kullanmaları olmuştur. Bu şekilde gerektiği yerde uygun önlemleri almak daha kolay olmakta ve ekonomik açıdan da yarar sağlamaktadır.

2.4 Kalite Kontrolde Standartlar, Spesifikasyonlar Ve Toleranslar

Bir işletmede kalite kontrolü, geniş kapsamlı faaliyetlerden oluşan bir fonksiyondur. Kalite kontrolde temel amaç, tüketicinin ihtiyaç ve isteklerini en ekonomik seviyede karşılayabilmek için işletmede kalitenin yaşatılması, geliştirilmesi ve korunmasına ilişkin çabaları koordine etmektir. Bütün bunları gerçekleştirebilmek için, üretim sürecinde kaliteyi etkileyebilecek bazı araçlardan faydalanmak gerekir. Bu araçlardan en önemlileri; standartlar, spesifikasyonlar ve toleranslardır.

Standart; üretim, ölçme v.b. konularda önceden saptanmış olan kurallardır. Endüstri işletmelerinde çeşitli konularda oluşturulan standartlar tiplerine göre altı grupta toplanabilir: [13]

Terminoloji standartları: Belirli bir konuda kavramlar arasında uyum sağlamak ve iletişimi kolaylaştırmak için oluşturulan tanım, terim ve simgelerdir.

Temel standartlar: Somut nesnelerin sürekli olarak standartlaştırılmasında kullanılan temel veri, kavram ve yöntemleri belirleyen kurallardan oluşur.

Boyut standartları: Bir yapının tasarımı ile ilgili ölçü ve boyutları belirleyen standartlardır.

Çeşit standartları: Bir yapının değişik ölçülerden veya tasarım farklarından doğan, çeşitlerin sayısını belirleyip kısıtlayan standartlardır.

Performans standartları: Bir yapının tasarım aşamasında saptanan, işlevsel özelliklerini tanımlayan standartlardır.

Denetim ve deney standartları: Dayanıklılık, güvenilirlik, dirençlilik, performans v.b. özelliklerin doğruluk ve geçerliliğini saptamak amacı ile uygulanan denetim işlemleri veya deney yöntemlerini belirleyen kurallardır.

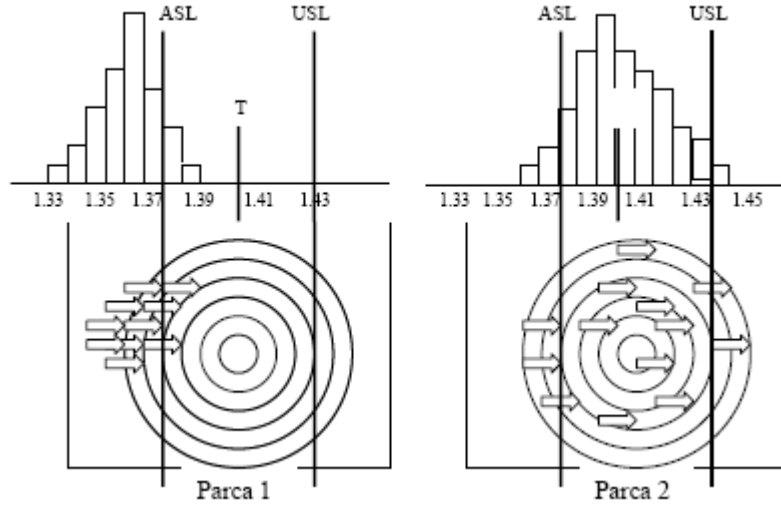
Spesifikasyon ise; bir işin nasıl yapılacağını belirten ayrıntılı talimat şeklinde tanımlanabilir. Spesifikasyon standartlaştırmada kullanılan bir araçtır. Daha açık bir şekilde ifade edilirse; spesifikasyonlar, standartlara göre daha dar kapsamlı ve standartların uygulamasında yardımcı olan araçlardır. Örneğin; ülkemizde vida boyutları standardize edilmiştir. Belirli bir tip vidanın ölçüleri onun spesifikasyonudur.

Tolerans, belirli bir ürünün kalite özellikleriyle ilgili olarak ürün tasarımında öngörülen ve önceden belirlenen sınırlar içinde kabul edilebilen sapmalardır. Üretimin kalite yönüyle kontrol altında olup olmadığı, kalite kontrol grafikleri aracılığıyla önceden belirlenen toleranslara göre tespit edilmektedir.

2.5 Sürecin Ortalamasının Merkezileştirilmesi Ve Önemi

İstatistiksel proses kontrolünde, bir süreçteki hataları azaltmak ve toplam süreç verimliliğini artırmak için, hem sürecin ortalamasını hedef değere çekmek hem de değişkenliğini azaltmak gerekmektedir. Şekil 2.1'de, atışların yapıldığı iki farklı süreç vardır. Şekilde gösterilen siyah çizgiler, atışların olması gereken ve istenilen aralığıdır. Solda gösterilen süreçte, değişkenlik az olmasına karşın, atışların ortalaması istenen hedeften farklı bir yerde olduğundan birçok atış istenen sınırların dışına çıkmaktadır. Sağda gösterilen süreçte ise, ortalama hedef değerinde olmasına karşın,

değişkenliğin fazla olması nedeniyle, bazı atışlar sınırların dışına çıkmaktadır.



Şekil 2.2: İki farklı sürecin karşılaştırılması

Hangi sürecin daha iyi olduğu sorulduğunda, kimileri birinci süreci, kimileri de ikinci süreci söyleyecektir. Aslında her iki cevap da doğrudur. Birinci sürecin iyi olduğu cevabını verenler, sistemin sınırlar dışında ürettiğini, ancak tutarlı olduğunu söyleyecek ve böylelikle iyileştirmenin daha kolay olduğunu belirteceklerdir. İkinci sürecin iyi olduğu cevabını verenler ise, sürecin birinci sürece göre çok daha az hatalı parça ürettiğini savunacaklardır.

Her iki açıklamanın da doğru yanları bulunmaktadır. Eğer süreç iyileştirmek istenirse, birinci süreç daha iyi bir süreç olacaktır. Çünkü deneyimler bu tür süreçlerin bir parametre değişikliği ile düzeltilebildiğini göstermektedir. Ancak sürece hiç dokunulmayacaksa, ikinci süreç daha iyi bir süreç olacaktır. Çünkü sonuçta daha az hatalı parça verecektir.

Bir ürünün kalitesi, o ürünün tasarımının gerektirdiği spesifikasyonlara ne derece uyduğu ile ölçülür. Üretim sürecinin ortalamasının belirli bir hedefe ayarlanmasının önemi bir örnek yardımıyla daha iyi anlaşılabilir:

Örnek: Varsayalım ki üretilen bir parçanın yarıçapı 6.37 mm. ortalama ve 0.02 mm. standart sapma ile normal dağılıma sahiptir. Bu parçanın spesifikasyonları 6.350 ± 0.0381 mm. olsun. Böyle bir durumda üretilen parçaların yüzde kaçı bu spesifikasyonlara uyar? Bu sorunun cevabını vermek için, 6.350 değerine 0.0381 değerinin eklenip çıkarılmasıyla bulunan iki sınır değer için aşağıdaki olasılığı hesaplamamız gerekir:

$$P(ASL \leq x \leq USL) = P(6.3119 \leq x \leq 6.3881) = ?$$

İlgilenilen değişken normal dağılıma sahip olduğu için, bu olasılığı hesaplamada z değerlerinden yararlanılır.

$$z_1 = \frac{ASL - \bar{x}}{\sigma} = \frac{6.3119 - 6.37}{0.02} = -2.905$$
$$z_2 = \frac{USL - \bar{x}}{\sigma} = \frac{6.3881 - 6.37}{0.02} = 0.905$$

$$P(6.3119 \leq x \leq 6.3881) = P(z_1) + P(z_2) = 0.4981 + 0.3159 = 0.8140$$

Demek ki bu şartlarda üretilen parçaların %81.40'ı verilen bu spesifikasyonlara uymaktadır. Küçüklük nedeniyle spesifikasyonlara uygun olmayan parçalar olduğu gibi, yarıçapları büyük olduğu için bu spesifikasyonlara uymayan parçalarda vardır. Bu spesifikasyonlara uymayan parçaların oranı %18'den fazladır. Şimdi ise sürecin ortalamasını 6.37 mm'den 6.35 mm değerine çektiğimizi düşünelim ve yine $P(6.3119 \leq x \leq 6.3881)$ olasılığını hesaplayalım.

$$z_1 = \frac{ASL - \bar{x}}{\sigma} = \frac{6.3119 - 6.35}{0.02} = -1.905$$
$$z_2 = \frac{USL - \bar{x}}{\sigma} = \frac{6.3881 - 6.35}{0.02} = 1.905$$

$$P(6.3119 \leq x \leq 6.3881) = P(z_1) + P(z_2) = 0.4713 + 0.4713 = 0.9426$$

Demek ki bu şartlarda üretilen parçaların %94.26'sı verilen bu spesifikasyonlara uymaktadır. Sonuçta üretim sürecinin ortalamasını belirli bir hedefe ayarlamakla, yani merkezileştirmekle spesifikasyona uyan ürün yüzdesinde yaklaşık %13'lük bir artış sağlanmış olmaktadır.

2.6 Süreç Yetenek ve Performans Endeksleri

İstatistiksel teknikler, geliştirme faaliyetleri ve imalat dahil ürün çevriminin bütün aşamalarında süreç değişkenliğinin sayısallaştırılmasında, değişkenliğin ürün gereklilikleri yada spesifikasyonlarına göre analiz edilmesinde ve değişkenliğin ortadan kaldırılmasında yada en az düzeyde tutulmasında imalat ve geliştirme bölümlerinde çalışanlara önemli yararlar sağlar. Bu genel faaliyete süreç yeterliliği denir. [14]

Süreç yeterliliği analizleri ile sürecin kararlı durumda olup olmadığı belirlenir, sürecin kararlı olmasını engelleyen kaynaklar araştırılır, nedenler belirlenir ve bu nedenleri ortadan kaldıracak önlemler alınır.

Bir süreç iyileştirilmeden önce belirli bir süreç yeterliliğine sahip olmalıdır. Süreç iyileştirme çalışmalarında başarılı olunabilmesi için süreç yeterliliği çalışması başarılı bir şekilde tamamlanmış olmalıdır.

İşletmelerin rekabette başarılı olabilmesi için, tüketici spesifikasyonları içerisinde üretim yapmaları gerekmektedir. Yakın gelecekte işletmeler rekabet üstünlüğü sağlayabilmek için, hedef değerde üretim yapma durumunda kalacaktır. [15]

İşletmelerin istenilen kalite düzeyini sağlayabilmesi için ürünler, tüketici beklentilerini ifade eden spesifikasyonların içerisinde oluşturmalıdır. Buna göre, üretim sürecinin spesifikasyonları karşılayan ürün oluşturabilme yeteneği sürekli olarak incelenmelidir. Bu inceleme, süreç yeterlilik endeksleri ile yapılabilir. Yeterlilik endekslerinin periyodik olarak hesaplanması ile süreç sürekli olarak kontrol altında tutulabilir.

Süreçler için belirli bir andaki anlık değişkenlik ve zaman içindeki değişkenlik gibi iki tür değişkenlik söz konusudur. Bir sürecin değişkenliği anlık ve zaman içindeki değişkenlik gibi iki şekilde değerlendirildiği için, süreç yeterliliğini de kısa ve uzun dönem olmak üzere iki bakış açısına göre değerlendirmek gerekir. Tablo 2.1’de özel ve genel nedenlerden hangilerinin uzun ve kısa dönem yeterlilikleri etkilediği gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Değişkenlik türleri ile kısa ve uzun dönem yeterliliği

	Özel Nedenlerle Ortaya Çıkan Değişkenlik	Genel Nedenlerle Ortaya Çıkan Değişkenlik
Uzun Dönem Yeterliliği	X	X
Kısa Dönem Yeterliliği		X

Tablo 2.1’de belirtildiği gibi, genel nedenlerle ortaya çıkan değişkenlik bir sürecin uzun ve kısa dönem yeterliliğini etkilerken; özel nedenlerle ortaya çıkan değişkenlik ise, bir sürecin sadece uzun dönem yeterliliğini etkiler.

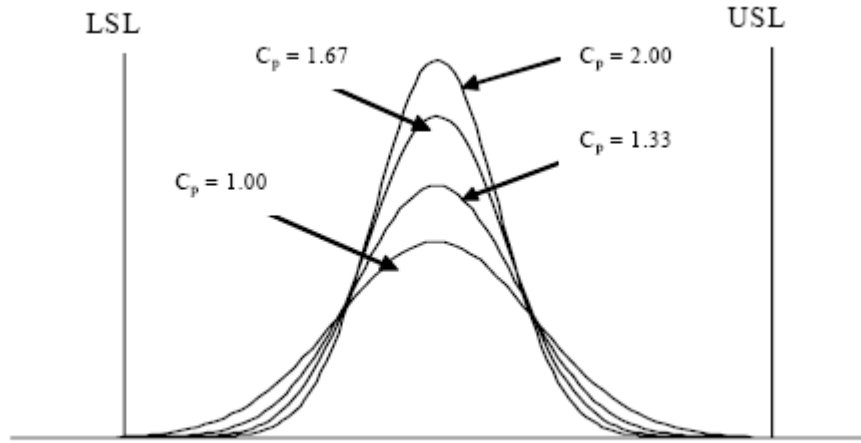
2.6.1 Süreç Potansiyel Endeksi (CP)

Süreç potansiyel endeksi, süreç standart sapmasının, spesifikasyon sınırları ile ilişkilendirilmesiyle oluşturulur ve verilerin yayılımını inceler. Ölçülen bir (x) karakteristiği için, alt ve üst spesifikasyon sınırları ASL, USL olarak ve standart sapması da σ olarak ifade edilirse, süreç potansiyel endeksi,

$$C_P = \frac{USL - ASL}{6\sigma} \quad (2.1)$$

biçiminde formüle edilir.

Formülden de görüldüğü gibi, C_p indeksi yalnızca süreç yayılımını analiz eder. Şekil 2.2'den de görüldüğü gibi, C_p değerinin 1'den büyük olması istenen bir durumdur. Buna karşın, uygulamalarda $C_p > 1.33$ durumu önerilir. Ayrıca güvenilir sonuçlar elde edebilmek için de, örnek sayısının en az 50 olması uygun olur. [16]



Şekil 2.3: Spesifikasyon limitleri dahilinde C_p değerleri

Şekil 2.2'de, spesifikasyon limitleri sabit kalmak şartı ile farklı C_p değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

$C_p = 1.00$ olması demek, üretilen parçaların %0.27'sinin spesifikasyon limitleri dışında kalması demektir. Bu da milyonda yaklaşık 2700 hata anlamına gelir.

$C_p = 1.33$ olması demek, üretilen parçaların %0.0064'ünün spesifikasyon limitleri dışında kalması demektir. Bu da milyonda yaklaşık 64 hata anlamına gelir. Bu durum 4σ ($1.33 \cdot 3\sigma = \pm 4\sigma$) hedefine karşılık gelmektedir.

$C_p = 1.67$ olması demek, üretilen parçaların %0.000057'sinin spesifikasyon limitleri dışında kalması demektir. Bu durum 5σ ($1.67 \cdot 3\sigma = \pm 5\sigma$) hedefine karşılık gelmektedir.

Tablo 2.2: C_p ile milyonda hata sayısı arasındaki ilişki

C_p	Milyonda Hata Sayıları (ppm)	
	Tek Yönlü Spesifikasyon	Çift Yönlü Spesifikasyon
0.25	226.628	453.255
0.50	66.807	133.614
0.60	35.931	71.861
0.70	17.865	35.729
0.80	8.198	16.395
0.90	3.467	6.934
1.00	1.350	2.700
1.10	484	967
1.20	159	318
1.30	48	96
1.40	14	27
1.50	4	7
1.60	1	2
1.70	0.17	0.34
1.80	0.03	0.06
2.00	0.0009	0.0018

Bazı durumlarda ürün spesifikasyonları tek taraflı olarak belirlenir. Örneğin bir kimyasal süreç sonucunda elde edilen ürünün saflığının en az %98 (LSL = %98) olması istenebilir. Başka bir durumda ise, %3'ten fazla ezilmiş buğday içeren ürünün (USL = %3) satın alınmaması istenebilir. Bu durumda süreç yeterlilik kavramı aşağıdaki iki ölçü ile tanımlanır:

- Sadece LSL ile ilgili süreçler için,

$$C_{PL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (2.2)$$

- Sadece USL ile ilgili süreçler için,

$$C_{PU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (2.3)$$

$C_p < 1$ olduğunda çok yüksek bir hurda oranı mevcuttur. Bu durum, Amerika sanayinin 1970'li yıllardaki genel durumudur. $C_p = 1$ (3σ) olması Amerika sanayinin 1980'li yıllardaki genel durumudur. $C_p = 1.33$ (4σ) olması Japon sanayinin 1980'li yıllardaki genel durumudur. $C_p = 2$ (6σ) olması Japon ve Amerika sanayinin günümüzdeki genel durumudur. İşte İstatistiksel proses kontrolü denilen mükemmellik hareketi budur.

2.6.2 Fiili Yeterlilik Endeksi (CPk)

Bir ürünün kalitesinin belirlenmesinde, ürünün gösterdiği yayılımın incelenmesi kadar, ortalama değerinin hedef değere ne ölçüde yakın olduğunun bilinmesi de önemlidir. C_p endeksi ile süreç yayılımının hangi düzeyde olduğunu incelenebilir. Ancak sürecin hedef değerde oluşma derecesi ile ilgili bilgi sağlanamaz. Bu nedenle ortalama değer yerleşimini değerlendiren C_{pk} endeksi geliştirilmiştir. Bu endeks,

$$C_{PK} = \min\left(\frac{\mu - ASL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right) \quad (2.4)$$

biçiminde formüle edilir.

Cp ve Cpk arasındaki ilişki,

$$C_{pk} = C_p (1-k) \quad (2.5)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Burada k, prosesin merkezden ne kadar uzakta olduğunu ölçen bir faktör olmak üzere,

$$k = \frac{|m - \mu|}{(USL - ASL)/2}, \quad 0 < k < 1 \quad (2.6)$$

eşitliği ile hesaplanır. m ise,

$$m = \frac{USL + ASL}{2} \quad (2.7)$$

olup spesifikasyon limitlerinin orta noktasını verir.

Süreç ve ürün değişkenleri fiziksel olarak ölçülebilen, gerilim, boyut, gürültü seviyesi, duyarlılık ve sıcaklık gibi şeylerdir. İstatistiksel proses kontrolü hedefine ulaşmak için değişkenlerin Cp = 2 ve Cpk = 1.5 olacak şekilde ürün veya sürecin tasarlanması gerekmektedir. Bu şartlar sağlanırsa, hata sayısı milyonda 3.4 olacaktır. Prosesin kalitesini değişkenler için iki şekilde tanımlanabilir; standart sapma s ve ortalamadan kayma (m-T). Bu iki gösterge için Cp ve Cpk indeksleri kullanılır.

Cp indeksi yüksek olması proses yeteneğini gösterir ama ürünün istenilen karakteristiğinin her defasında sağlanıp sağlanmayacağını göstermez. Cp ve Cpk indekslerinin yüksek olması ise gerçekten prosesin istenilen karakteristiği limitler içinde sağlayıp sağlamayacağını garantiler.

Juran'a göre Cpk'nın 1.33(4σ) olması süreç için yeterli iken, Motorola da uygulanan İstatistiksel proses kontrolü programına göre sürecin yeterliliği için Cpk = 1.5 olması önerilmiştir.

2.6.3 Cpm Endeksi

İşletmeler, tüketici spesifikasyonları içerisinde ve hedef değere en yakın ortalamaya sahip ürünleri üretmeye çalışırlar. Sürecin sahip olduğu yayılım Cp indeksi ile incelenirken, süreç ortalamasının yerleşimi de Cpk indeksi ile incelenebilir. Sürecin yayılımı ile ilgili bilgiyi Cp indeksinin başarılı olarak sunabilmesine karşın, ortalamanın yerleşimi ile ilgili bilgiyi veremez. Süreç ortalamasının yerleşimi Cpk ile incelenmesine karşın, bazı durumlarda sağlıklı sonuçlar elde edilemez. Cpm indeksi ise, hedef değer ile, süreç ortalaması arasındaki farkı temel aldığından, süreç ortalamasının yerleşimi hakkında daha sağlıklı bilgi sağlayabilir.

Cp ve Cpk endekslerinin sürecin merkezileştirilmesi konusunu uygun olarak çözemedikleri noktasından hareket eden Taguchi, Cpm endeksini geliştirmiştir. Cpm indeksi, spesifikasyon limitlerine daha az, hedef değer olan T'ye daha büyük önem verir.

$$C_{pm} = \frac{USL - ASL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (2.8)$$

Formüldeki değişkenlik, sürecin değişkenliği ile ortalamanın hedeften sapmasının değişkenliği olarak iki bileşen halinde ifade edilmiştir.

2.6.4 Pp ve Ppk Endeksleri

Bu endekslerden Pp sürecin merkezileştirilmesini göz önüne alır. Ppk ise sürecin merkezileştirilmesini göz önüne almaz. Ayrıca bu endekslerin her

ikisinde de standart sapma (σ) tahmininde, tüm gözlem değerlerinden oluşan dizinin standart sapması kullanılır.

Pp ve Ppk endeksleri,

$$P_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma} \quad (2.9)$$

ve

$$P_{PK} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - ASL}{3\sigma}\right) \quad (2.10)$$

eşitlikleri kullanılarak bulunur. Bu endeksler, Cp ve Cpk endeksleri ile karşılaştırılarak zaman içinde süreçte bir iyileşmenin olup olmadığını anlamak için hesaplanmalıdır.

2.7 İyileştirme Modeli ve Aşamaları

Temel görev süreç iyileştirmeye dayanan ölçüm stratejilerinin uygulanması ve geliştirilen projelerin uygulama sürecindeki değişimlerinin azaltılmasıdır. Bu durumda kısa adı TÖAİK (DMAIC*) olarak bilinen Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol aşamalarından oluşan model ile kısa adı TÖADD (DMADV**) olarak bilinen Tanımlama, Ölçme, Analiz, Dizayn ve Doğrulama aşamalarından oluşan yöntemler kullanılarak başarıya ulaşılr. TÖAİK, mevcut sürecin iyileştirilmesidir. TÖADD ise İstatistiksel proses kontrolü kalite düzeyinde yeni süreçler veya yeni ürünler geliştirmek için kullanılan daha ileri bir yöntemdir.

Bilimsel metodun işletme faaliyetlerine uygulanmasında kullanılan çok sayıda iyileştirme modeli bulunmaktadır. Ancak bu modellerin hemen hemen hepsi Deming'in PUKÖ–Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem al döngüsüne

dayanır. Temel olarak PUKÖ modelinden büyük bir farklılık göstermeyen TÖAIK modelinde sadece ölçme ve iyileştirme süreçleri özel olarak vurgulanmış ve bu süreçler ayrı birer aşama olarak ifade edilmiştir.

2.7.1 Tanımlama

Bu safhada ilgili projenin kapsamı ve amacı tanımlanır. Dikkat edilmesi gereken; seçilen projenin firmanın imkânları dahilinde olması, daha yüksek bir kalite yakalama ve maliyetleri azaltma ihtimalinin yüksek olmasıdır. Ayrıca problemlerin net ve sayısal verilerle tanımlanması gerekir.

2.7.2 Ölçme

Ölçme aşamasının amacı, varolan proses durum ve problemlerinin gerçeklere dayanan bir anlayış içinde oluşturulması ile problemlerin kaynak veya yerlerinin işaret edilmesidir. Bu bilgi analiz safhasında araştırmamız gereken potansiyel nedenlerin alanlarını daraltmamız konusunda bize yardımcı olur.

Ölçme safhasında en çok kullanılan teknik araçlar şunlardır:

- Veri Toplama Planı
- Çetele Diyagramı
- Frekans Poligonları
- Ölçüm Sistemi Analizi (Tekrar Edebilme ve Yeniden Üretebilme)
- Pareto Şeması
- Hata Tipi ve Etkileri Analizi (HTEA)
- Süreç Yeterliliği ve Süreç Sıgması
- Kontrol Grafikleri

2.7.3 Analiz

İstatistiksel proses kontrolü taktiklerinin uygulanmasının üçüncü adımı, analiz aşamasıdır. Bu aşamada ekip, verilerin ve sürecin kendisini analiz

ederek, sonunda sürecin kötü sigma performansının kökündeki nedenleri belirler. Analiz aşamasında problemlerin temel nedenleri hakkında teoriler geliştirilip, bu teorileri verilerle doğrularak problemlerin temel nedenleri tanımlanır. Doğruları kanıtlanan neden veya nedenler bir sonraki aşamada tartışılıp, çözümlerin oluşturulması için temel teşkil eder. [17]

Analiz aşamasında yaygın olarak kullanılan araçlar şunlardır:

- Yakınlık Diyagramı
- Beyin Fırtınası
- Sebep-Sonuç Diyagramı
- Örnekleme
- Hipotez Testleri
- Regresyon Analizi
- Dağılım Diyagramları

Analiz aşaması pek çok kişi tarafından DMAIC yaklaşımındaki en önemli adım olarak görülür. Bunun nedeni, pek çok proje ekibinin süreci iyileştirmek için ne yapılması gerektiğine dair önceden oluşmuş kriterlerin olmasıdır.

Pek çok ekip, problemin neden var olduğunu doğrulamadan sürecin iyileştirme safhasına atlamak ister. Bu yüzden, ekiplerin verileri ve/veya süreçleri analiz etmesi ve son olarak bir ekip olarak başarılı olmak istiyorlarsa Kök Neden Analizi gerçekleştirmesi hayati önem taşır.

2.7.4 İyileştirme

Müşteri tatmini, ancak süreçlerin iyileştirilmesi ile mümkündür. Süreçlerin iyileştirilmesi ise verilere bağlıdır. İstatistiksel proses kontrolü, süreç iyileştirme açısından veri odaklı sistematik bir yaklaşım sunmaktadır [38]

İyileştirme aşamasında nedenleri ortadan kaldırmayı hedefleyen çözümler geliştirilir, uygulanır ve değerlendirilir. Bu aşamada amaç, verileri

kullanarak ortaya konulan çözümün, problemi çözdüğü ve gelişme için yol gösterici olduğunu göstermektedir. [17]

Eğer proje ekibi, Analiz aşamasının Kök Neden Analizi adımıyla kapsamlı bir iş çıkarırsa, TÖAK'nin İyileştirme aşaması, hızlı, kolay ve tatmin edici bir şekilde gerçekleştirilebilir. İyileştirmenin de iki istasyonu vardır: Çözüm üretme ve çözümler arasından seçim yapma.

Çözümleri uygularken proje ekibinin çözümleri öncelik sırasına koyması, bunları gruplar halinde bir seferde uygulaması ve uygulamanın hemen ardından sigmanın yeniden hesaplanması tavsiye edilmektedir. Bunun nedeni çoğu zaman proje ekibinin hedef ve amaçlarına, önerilen çözümlerin hepsini uygulamadan ulaşabilecek olmasıdır.

2.7.5 Kontrol

İyileştirme aşaması sonucunda ortaya konulan çözüm ve uygulamaları kalıcı kılmak ve sürekli kontrol altında tutmak için uygulanan bir aşamadır. Kontrol aşaması sonucunda zamanla yeni metot veya metotların geliştirilmesi sağlanabilir. [17]

Bu aşamada yaygın olarak kullanılan araçlar şunlardır:[17]

- Ölçülebilir Değişkenler İçin Kontrol Grafikleri
 - X – R Grafikleri
 - X – S Grafikleri
 - Ortanca Değer Diyagramları
- Sayılabilir Değişkenler İçin Kontrol Grafikleri
 - p Diyagramları
 - np Diyagramları
 - c Diyagramları
 - u Diyagramları
- Diğer Kontrol Grafikleri
 - CUSUM Kontrol Grafikleri

EWMA Grafiği

- Zaman Serileri Metotları

TÖAİK'nin son aşaması olan kontrol aşamasında iki istasyon vardır; kontrolün teknik metodunun belirlenmesi ve tepki planının oluşturulması. İyileştirme gerçekleştikten sonra, çözümlerin zaman içerisinde “kalıcı” olduğundan emin olmak önemlidir.

3. İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN İSTATİSTİK TEKNİKLER

Bir işletmede istatistiksel proses kontrolü uygulanırken tüm tekniklerin kullanılması gerekmez. İşletmeler süreçlerine uygun olan tekniklerden bir veya bir kaçını kullanabilirler. Bu bölümde istatistiksel proses kontrolü uygulamalarında en sık kullanılan tekniklerden bahsedilecektir.

3.1 Beyin Fırtınası

Beyin fırtınası, 1930'larda ABD'de Alex F. Osborn isimli bir araştırmacının, iş görenlerin hayal gücünü geliştirmeye ilişkin çalışmaları esnasında oluşturduğu, bir grup çalışması yöntemidir. Amaç, hiçbir engelleme olmaksızın olabildiğince hayal gücüne dayalı öneriler oluşturmaktır. Her bir grup üyesi, hiçbir engelleme olmaksızın dilediğince öneri geliştirebilir ve söyleyebilir. Her öneri, diğer üyeler tarafından bir uyarıcı olarak kabul edilir ve ortaya atılan öneriyi nitelik olarak geliştirmeleri beklenir. Oturum süresince eleştiri kabul edilemez. [11]

Beyin fırtınası, daha çok düşünce oluşturmak için belli sayıda bireyden oluşan bir grubun herbir üyesinin kapasitesinden yararlanmayı amaçlar. Grup üyelerinden her birinin düşüncesi problemleri çözme grubunu doğurur. Beyin fırtınası iki evreden oluşur:

- Çok sayıda düşünce, bu düşüncenin kalitesine bakılmaksızın araştırılır.
- Daha sonra düşüncelerin kalitesi konusunda ayırım yapılır.

Beyin fırtınası, bazı konularda çember üyelerinin problemi analizlerinde kolaylık sağlar. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Her şeyden önce istekli çalışma grubu, çeşitli konular hakkında bir liste tarif eder.
- Grup, bir sorunun incelenmesi evresinde yeni düşünceler ortaya çıkarmak için olayları araştırma, nedenleri araştırma, çözümleri araştırma ve ortaya konan araçların araştırılması fırsatını bulur.
- Çeşitli fikir ve bilgilerin elde olmaması halinde kalite kontrol çemberlerini devreye sokmak mümkün olur.

Beyin fırtınası ayrıca deney tasarımında düşünülen etkenlerin doğru bir şekilde belirlenmesinde kullanılır.

3.2 Sebep-Sonuç Diyagramı

Sebep-sonuç diyagramı, proste ortaya çıkan bir hatanın muhtemel tüm sebeplerini gösteren bir diyagramdır. Hata belirlendikten sonra, ilgili tüm şahıslar bir araya toplanarak beyin fırtınası uygulaması yaparlar ve böylece söz konusu hatanın muhtemel sebepleri tespit edilir. Tespit edilen ana sebepler ve ana sebepleri etkileyen tali sebepler bir balık kılıcı şeklinde gösterilir. Bundan dolayı sebep-sonuç diyagramına “balık kılıcı” diyagramı da denir.

Kalite iyileştirmede bir hayli başarılı bir araç olarak kullanılan sebep-sonuç diyagramının oluşturulması için ilk önce ana nedenler belirlenir. Sebep-sonuç diyagramını oluşturan ana nedenler 4M olarak adlandırılan Makine (Machinery), İnsan gücü (Manpower), Yöntem (Methods) ve Malzeme (Materials) faktörlerinden oluşur.

Sebep sonuç diyagramı; sebepleri sayma, dağılım analizi ve proses analizi şeklinde olabilir. Bunlar aynı ilkeye dayanmakla beraber aralarında ufak farklar vardır.

3.3 Histogram

Tüm tekrarlanan olayların bir değişkenliği vardır. Olmaması imkânsız olan bu değişkenliğin bir sonucu olarak herhangi bir örnekteki iki ölçüm tamamen birbirinin aynısı olamaz. Aynı kiloda iki insan, aynı saç rengine sahip iki insan, aynı süreçte üretilmiş iki otomobil lastiği olamaz.

Histogram verilerin görsel olarak sunulduğu özel bir grafik türüdür. Histogramda hemen hemen birbirine özdeş şeylerin ölçümlerindeki değişiklikler gösterilir. Frekans dağılımının bir şekli olan histogramda herhangi bir sürecin içinde yer alan değişimlerin miktarı ortaya çıkartılır. Histogramlar üretim sürecinden alınan gözlemlerin dağılımını ve sıklık değerini belirleyerek spesifikasyonlarla mevcut durumun karşılaştırılmasını sağlar.

Bir uygulamada histogram çizmenin amacı, verilerin ilginç ve önemli özelliklerini öne çıkarmaktır. Hemen her zaman kaçınılmaz olan en can alıcı soru, ne kadar ayrıntının çizime konacağıdır. Çok az ayrıntı, önemli özellikleri perdelerken, diğer uçta bu özellikler ayrıntı denizinde boğulabilir. En iyi yol gösterici sağduyudur ama yine de birkaç ana çizgi belirtilebilir:

- Yorumlamayı kolaylaştırması bakımından bütün sınıf aralıkları genellikle eşit genişlikte seçilir. Ancak bazen bu ilkenin kullanılmaması gerekir. Eğer veri kümesinde gözlemlerin çoğunluğu aralığın görece dar bir parçasında toplanmış, diğer taraflarda geniş sınıf aralıkları kullanmak daha doğru olabilir. Bu yapıldığında histogramdaki dikdörtgenlerin yükseklikleri değil, alanları sıklıklarla orantılı olmalıdır.

- Gözlemlerin aralığı üstüste binmeyen sınıflara öyle bölünmelidir ki, belli bir gözlem bu sınıflardan birinin, ama yalnız birinin içine düşmelidir. Sınıf aralığı sınırlarının, verilerdekenden daha küçük birimlerle belirtilmesiyle bu sağlanabilir.

- Sınıf aralıklarının orta noktalarının, o sınıftaki gözlemleri iyi temsil etmesinin sağlanması önemlidir. Bunun nedeni histogramın daha güvenilir bir görsel gösterim sunabilmesini sağlamaktır.

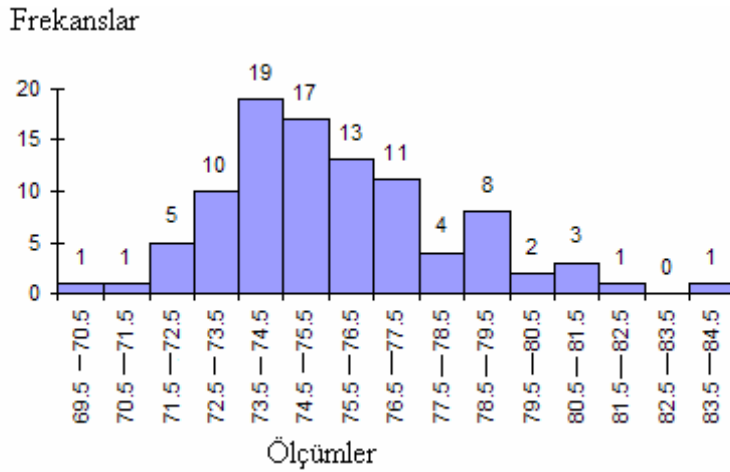
Bir histogramın etkili bir şekilde kullanılabilmesi ve yorumlanabilmesi için üretime ait tolerans sınırlarının da bilinmesi gerekir. Çeşitli histogramlara ait yorumlar şu şekilde yapılabilir: [18]

- Proseste yapılabilecek küçük değişiklik kusurlu üretime sebep olabilir. Biraz sağa kayacak şekilde proses ayarlanmalıdır.
- Üretim kontrol altında değildir. Kusurlu ürünler söz konusudur.
- Örnekleme hatası yapılmıştır. Belli bir değer altında veri yoktur.

Tablo 3.1: Veri sayısına bağlı olarak kullanılacak sınıf sayısı

Veri Sayısı	Sınıf Sayısı
50'den az veri için	5 ile 7 arası
50 ile 99 arası veri için	6 ile 10 arası
100 ile 249 arası veri için	7 ile 12 arası
250'den fazla veri için	10 ile 20 arası

Sınıf sayısı belirlendikten sonra sınıf aralıklarının genişlik ve limitleri belirlenir. Sınıf aralığı, veri aralığını toplam sınıf sayısına bölmekle elde edilir. Sınıf limitlerini öyle seçilmeli ki herhangi bir veri verilen limitlerin dışında kalmayın. Bu her limite mantıklı ondalık değerleri eklemek ile yapılabilir. Şekil 3.1'de bir histogram örneği verilmiştir.



Şekil 3.1: Bir histogram örneği

3.4 Kontrol Tablosu

Kontrol tablosu, üretimden alınan verilere dayanarak üretimin eğilimini veya ölçüm değerlerinin dağılımını görmede bir başlama noktasıdır. Üretim esnasında ortaya çıkan olayların hangi sıklıkta olduğunu kolayca görebilmeye kullanılan, kullanımı ve anlaşılması kolay bir formdur. Kontrol tabloları vasıtasıyla proseste meydana gelen zaman içindeki değişimleri mukayeseli olarak görmek mümkün olabilir. Böylece en çok karşılaşılan hata çeşidi de tespit edilmiş olur.

Kontrol tablosunda en çok dikkat edilecek unsur, verinin doğru ve dikkatli bir biçimde temin edilmesidir. Temin edilen verilerin kolay ve hızlı bir biçimde kullanılması ve analiz edilebilmesi için; veriler, tablo halinde düzenlenir. Her bir veri için ayrı ayrı kontrol tablosu hazırlanır. [19]

Kontrol tablosu oluşturulduğu zaman verinin toplandığı tarih, verinin tipi, parti numarası, analizi yapan kişi ve proseste oluşan değişikliklerin sebebini tespit etmede yararlı olabilecek diğer bilgilerin anlaşılır biçimde belirtilmesi büyük önem taşır. [20]

Eğer kontrol edilecek olan özellik uzunluk, ağırlık, zaman gibi ölçülebilir bir özellik ise kontrol tablosuna, "ölçülebilir özellikler için kontrol tablosu" denir.

Yapılması gereken işlemler kısaca şöyledir: Önce parti büyüklüğü ve sonra da numune alma planlarından faydalanarak örnek büyüklüğü belirlenir. Daha sonra hata tipleri alt alta yazılır ve hangi hata tipine rastlanırsa karşısına çetele çizilir. Kontrol edilecek parça sayısı bitince, her hata tipindeki çeteleler toplanır. Reddedilen kusurlu parça sayısı bilgi formuna yazılır. Böylece karşılaşılan hata türlerinin dağılımı ve düzeltmenin nereden başlaması gerektiği konusunda açıklık sağlanır. Bu şekilleri tamamlanış tarihleri itibariyle sıra ile ele almak suretiyle hataların türleri, oluş şekilleri

konusundaki eğilimi ortaya konarak, alınan düzeltici ve önleyici tedbirlerin başarı ve devamını izlemek mümkün olabilecektir. [21]

3.5 Pareto Şeması (Analizi)

Kalite çemberleri faaliyetlerinde kullanılan temel yöntemlerden biridir. Pareto grafiği, kategoriye düzenlenen özellik verilerinin basit bir sıklık dağılımıdır. 19. Yüzyılda yaşamış olan İtalyan iktisatçı ve aynı zamanda bir sosyolog olan Vilfredo Pareto, sonraları kendi adıyla anılmaya başlamış olan prensibini ilk kez ekonomik içerikli olarak ortaya koymuştur. Pareto Analizi, kalite mühendisleri tarafından en çok kullanılan bir tekniktir.

Problemlerin nedenleri genellikle Pareto prensibine uyar. 80'e 20 kuralı olarak da bilinen bu prensip; sonuçların yaklaşık %80'inin, sebeplerin %20'sine bağlı olarak ortaya çıktığını savunur. Kantitatif bir anlatımla makinelerin, hammaddelerin ve operatörlerin %20'si, problemlerin %80'ine sebep olmaktadır. Bir diğer örneğe göre; mâli varlığın %80'inin, halkın %20'si tarafından kontrol edildiği tespit edilmiştir. Başka bir örneğe göre; bir üretim sürecinde ortaya çıkan hurda veya işçilik maliyetinin %80'i, olası sebeplerin %20'sinden kaynaklanmaktadır.

Pareto analizi, en önemli birkaç konu veya sorun üzerinde yoğunlaştığından ve önceliklerin belirlenmesine yardımcı olduğundan verimlilik analizi için yararlıdır. Pareto diyagramının oluşturulmasında izlenen yöntem üç adımda incelenebilir:

Verilerin toplanması: Rakamsal veriler ve bilgiler tablolar aracılığı ile elde edilir.

Verilerin sınıflandırılması: Elde edilen veriler en büyük değerden en küçüğe doğru sınıflandırılır.

Grafiğin çizilmesi: Elde edilen rakamlar bir diyagram üzerinde yerleştirilir. Yatay eksende hata kaynakları, dikey eksende hata yüzdeleri ve hata sayıları gösterilerek pareto grafiği tamamlanır. Eğer mümkünse veriler normalize edilmelidir. Böylece verileri gelecekteki pareto diyagramlarında da kullanarak değişimler gösterilebilir.

Pareto diyagramları, en yüksek frekanstaki ya da en yüksek maliyet getiren ve ilk önce yok edilmesi gereken problemi tanımladığından İstatistiksel proses kontrolü projelerinde de pek çok defa başvurulması gerekli bir tekniktir.

3.6 Gruplandırma

Gruplandırma kalite kontrolü ile ilgili hataların nedenlerinin araştırılmasında kullanılan bir metottur. Sanayi işletmelerinde değişik bölümlerde farklı makine ve tezgâhlardan elde edilen hatalı malların hangi makineden hangi işlem sonucu elde edildiğinin bilinmesi önemlidir. Bu amaçla gruplandırma işlemi yapılarak hatalı makine ve işlemlerde hata kaynakları araştırılarak hataların önlenmesi mümkün olabilmektedir. [9]

Bir olaya ilişkin derlenen verilerin kişi, zaman, makine ve benzeri faktörlere göre tabakalandırılmasıyla (gruplandırılması) ilgilenilen olayı hangi faktörün nasıl etkilediği ya da etkilemediği daha kolayca açığa çıkar. [22]

Gruplandırma, öncelikle sorunlar meydana gelmeden önleyebilmek için iyi bir yöntemdir. Bazen bir kuruluşun bir sorunu olabilir ve verilerden bunun varlığı anlaşılabilir. Kusursuz gibi görünen veri yığınları arasında gizli kalmış hatalar olabilmektedir.

Gruplandırma; ayrıca bir sorunu parçalara ayırıp, her parçayı tek tek inceleme sürecidir. Buna bir örnek vermek gerekirse, bir fabrika büyüdükçe bölümlerinden birinde çok sayıda hata olmakta ise yapılması gereken, bölüm

içindeki her grubun hata oranını ayrı ayrı incelemektir. Böylece, sorunun bölüm içinde küçük bir alanda teşhis edilebilmesi sağlanmış olmaktadır.

3.7 Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)

Klasik kalite kontrol sistemi ile yeni geliştirilmiş Toplam Kalite Kontrol ve Toplam Kalite Yönetimi gibi sistemler arasındaki önemli bir fark, ürünlerde meydana gelen hatalarla ilgilidir. Klasik kalite kontrol sisteminde hatalar, ürün imal edildikten sonra yakalanmaya çalışılır. Bu durumda hatalı ürünlerin maliyeti genel imalat maliyetine yüklenmekte ve toplam maliyeti artırmaktadır. Yeni geliştirilmiş kalite sistemlerinde ise düşünce, hataları ürünü imal etmeden önce tasarım aşamasında hatalı mal üretmeyi engellemektir. Bu şekilde bir taraftan hatalı ürün miktarı azalacak (mümkünse sifıra indirilecek), buna bağlı hatalı ürün maliyeti ve bununla beraber genel imalat maliyeti de azalacaktır. [1]

HTEA olarak adlandırılan Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi, açıklanan amaca uygun olarak, hataları oluşmadan önce önlemeye yönelik bir sistem olarak ortaya çıkmıştır. HTEA, bir ürün, işlem veya hizmette meydana gelebilecek tüm hasar ve hata tiplerinin sistematik analizine dayanarak, bu hasar ve hataları önleme faaliyetlerini içeren bir yöntem olarak ifade edilebilir. Amaç; tasarım, proses tasarımı, üretim kademelerinde oluşabilecek hataları, bu kademeler tamamlanmadan önce belirlemek ve gidermektir.

HTEA, hataların türlerini ve etkilerini belirleyerek, tasarım veya süreç açısından ürün veya sürecin karşılaşılabileceği olası hataları ve bunların etkilerini tanımak, değerlendirmek ve bunların oluşma ihtimallerini azaltacak veya ortadan kaldıracak önlemleri almak olarak tanımlanabilir. Tanımdan da anlaşılacağı gibi HTEA, hatalar gerçekleştikten sonra alınacak önlemlerle ilgilenmek yerine, daha hatalar gerçekleşmeden, gerçekleşmesi olası hataların türlerini ve etkilerini belirleyerek onların oluşma ihtimallerini azaltacak veya ortadan kaldıracak önlemleri almakla ilgilenir.

Hata Türü ve Etkileri Analizi, NASA tarafından 60'lı yılların ortalarında havacılık ve uzay sanayinde Apollo projesinde uygulanmıştır. 70'li yılların ilk yarısında ABD'de uçak sanayinde uygulanan Hata Türü ve Etkileri Analizi'nin otomotivdeki ilk uygulaması ise Ford firması tarafından yapılmıştır. Analiz Fransız şirketlerince kısaca AMDEC olarak adlandırılmaktadır. Proaktif bir teknik olan HTEA; potansiyel, diğer bir deyişle gerçekleşme olasılığı bulunan hataların türleri ve etkileri ile ilgilendirir.

HTEA, her hata türü için bir risk önceliği değeri (Risk Priority Number-RPN) oluşturur. RPN değeri büyüdükçe hatanın ciddiyeti artmakta ve tasarım çabası içinde bu hata ile ilgilenilmesi önem kazanmaktadır. Büyük RPN değerine sahip olan hatalar öncelikle tasarım sırasında ortadan kaldırılmalı veya azaltılmalıdır.

Tablo 3.2: Hata olasılığının değerlendirilmesi

Hata Olasılığı	Hata Oranları	C_{pk}	Derece
Hemen hemen kesin	$\geq \frac{1}{2}$	$< 0,33$	10
Çok yüksek	1/3	$\geq 0,33$	9
Yüksek	1/8	$\geq 0,51$	8
	1/20	$\geq 0,67$	7
Orta	1/80	$\geq 0,83$	6
	1/400	$\geq 1,00$	5
	1/2000	$\geq 1,17$	4
Düşük	1/15000	$\geq 1,33$	3
Çok düşük	1/150000	$\geq 1,50$	2
Hemen hemen imkansız	$\leq 1/1500000$	$\geq 1,67$	1

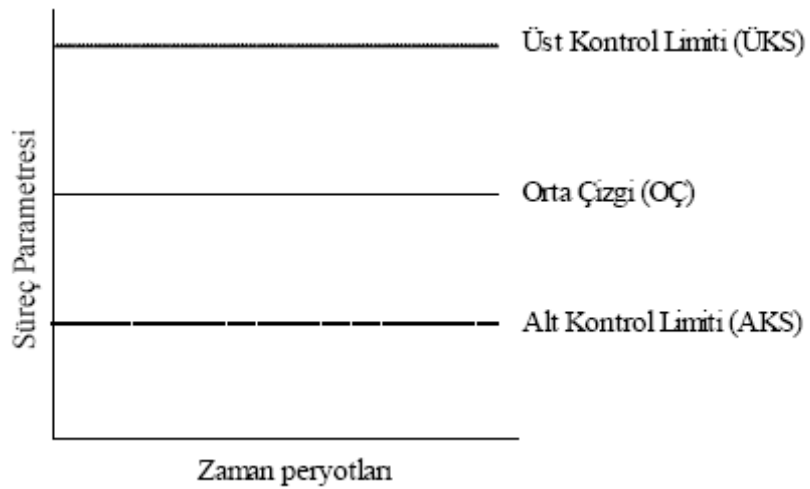
Risk öncelik değeri olan RPN hesaplandıktan sonra büyük RPN değerine sahip olan hatalar öncelikle tasarım sırasında ortadan kaldırılmalıdır. Risk Öncelik Değeri,

(Hata Olasılığı)*(Etkinin Önem Derecesi)*(Hatanın Saptanabilirliği)
çarpımından elde edilir.

3.8 Kontrol Grafikleri

1920'li yılların ikinci yarısında, Bell Telefon Şirketinde, Walter Shewhart istatistiksel kalite kontrol teorisini geliştirdi. Bütün üretim süreçlerinin iki tür değişkenlik içerdiği sonucuna vardı. Birinci bileşen "tesadüfi değişkenlik", ikinci tür değişkenlik ise özel nedenlere dayanan bir değişkenlikti. Özel nedenler etkin programlarla ekonomik olarak belirlenebilir ve ortadan kaldırılabilirdi. Shewhart, bu iki tür değişkenliği birbirinden ayıracak 3σ limitlerine dayanan standart kontrol grafiklerini oluşturdu. 1940'lı yıllarda kontrol grafikleri yaygın olarak kullanıldı. Daha sonra 50'li yıllarda Western Electric bu testlere dizi sayıları testlerini kattı. İstatistiksel kontrol grafikleri, standartların karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan istatistiksel tekniklerdir. [13]

Bir kontrol grafiği temel olarak üç çizgi içerir. Bu çizgiler; üst kontrol limiti (ÜKS), orta çizgi (OÇ) ve alt kontrol limiti (AKS)'dir. Şekil 3.2'de örnek bir Shewhart kontrol grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Shewhart kontrol kartı formatı

İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK), bir süreç içindeki değişkenliğin ölçümü ve değerlendirmesi ile bu tür bir değişkenliği sınırlamak ve kontrol etmek için harcanan çabaları içerir. Çoğu ortak uygulamada, İPK bir kuruluşun ya da süreç sahibinin olası sorunları veya alışılmadık olayları tanımlamasına yardım eder.

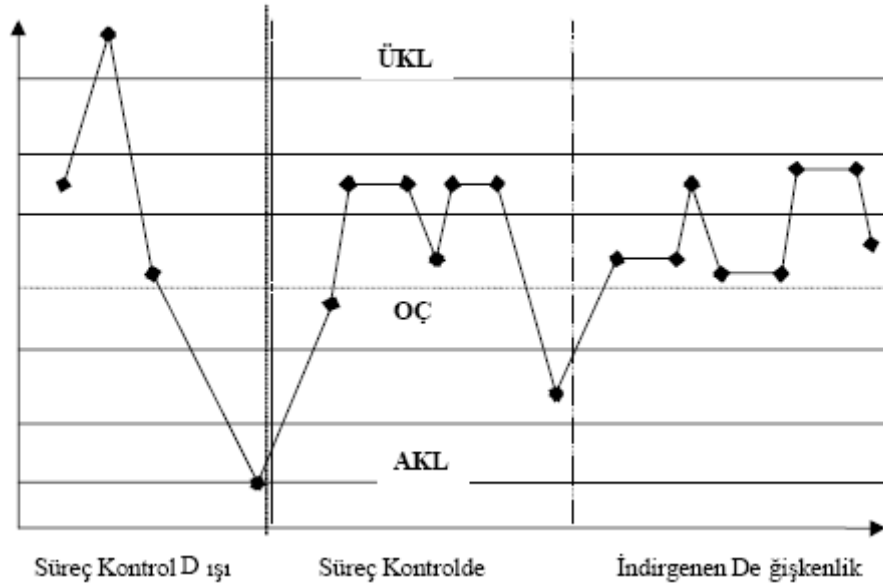
Kontrol tablolarının İstatistiksel proses kontrolü sisteminde üç belirgin kullanımı vardır:

- TÖAİK projesinin ilk “ölçüm” faaliyetlerinde, takımların, sorunların ya da “kontrol dışında kalan” durumların tiplerini ve sıklıklarını belirlemelerine yardımcı olur. Hatta hangi türde araştırma veya düzeltme faaliyetinin en etkili olabileceğini de söyleyebilir.

- Bir süreç çözümü ya da değişkenliğinin (iyileştirme ya da kontrol aşamalarında) denenmesi ya da uygulanmasında, değişkenliğin ve performansın nasıl etkilendiğini göstererek hatta başka çalışma veya araştırma alanları da önererek sonuçların izlenmesine yardımcı olur.

- Kontrol tabloları sürekli olan bir alarm sistemi gibi hareket eder ve inceleyen kişiyi süreçteki alışılmadık faaliyetler hakkında uyarır.

İPK'ya bir sürecin denetim altında olup olmadığını anlamanın bir aracı, süreci denetim altında tutmaya yarayan bir aygıt, ürün kalitesindeki değişkenliği azaltıcı bir düzenek gibi bakılabilir. Bir sürecin denetim dışına çıkmasının çeşitli yolları vardır. Üç çeşit durum çizimlerle gösterilebilir:



Şekil 3.3:Süreçin kontrolde, kontrol dışı ve indirgenen değişkenliği durumları

Kontrol grafikleri, çoğu kez ifade ettiği anlamın aksine yanlış anlaşılmaktadır. Kontrol grafikleri düzenlemekle kontrol etme ve kalite geliştirme işi yapılmış olmaz. Kontrol grafiği, tarih sırasına göre kaydedilmiş bilgilerin grafiğidir. Kontrol grafiği, kalite kontrol ve geliştirme faaliyetinde kullanılan araçlardan sadece birisidir. [23]

Shewhart kontrol grafikleri temel olarak nicel ve nitel kontrol grafikleri olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılır. Bunlar:

Nicel kontrol grafikleri:

- Ortalama (\bar{X}) ve değişim aralığı (R) kontrol grafikleri,
- Ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) kontrol grafikleri,
- Medyan ve değişim aralığı (R) kontrol grafikleri,
- Bireysel gözlem değerleri ve hareketli değişim aralığı (MR)

grafikleri.

Nitel kontrol grafikleri:

- Kusurlu oranı (p) kontrol grafiği,
- Kusurlu sayısı (np) kontrol grafiği,
- Örnek başına kusur sayısı (c) kontrol grafiği,

- Birim başına kusur sayısı (u) kontrol grafiği.

Kontrol grafiklerinden hangisinin kullanılacağı genellikle sürecin kalite karakteristiğine bağlıdır. Kalite karakteristikleri ölçülebilen ve nitel özelliklerle ilgili ölçülemeyen kalite karakteristiği olarak iki gruba ayrılır. Ölçülebilen kalite karakteristikleri; boyut, ağırlık, hacim, aşınma miktarı, hız, uzunluk, ışık hızı ve şiddeti, vb. gibi herhangi bir alet ve cihaz kullanılarak ölçülebilen özelliklerdir. Nitel özelliklerle ilgili ölçülemeyen kalite karakteristikleri; nitel durumlarla ilgili olan iyikötü, sağlam-bozuk, kırık, çatlak, kokulu, lekeli, pürüzlü, renk uyumsuzluğu, köşe kırığı, vb. duyu organlarını kullanarak tespit edilebilen özelliklerdir.

Mamullerin belli özelliklerine ait kantitatif ölçülerin istenilen standartlara uygunluğu X ve s veya X ve R grafikleri ile kontrol edilir. Kontroller, üretilen malların tamamının muayene edilmesi yerine örnekleme yoluna gidilerek gerçekleştirilir. Bu diyagramlar ortalama ile birlikte standart sapma (X - S) veya ortalama ile birlikte dağılma aralığı (X - R) çiftleri şeklinde uygulanmasıyla işlemin hem ortalama hem de değişkenlik bakımından kontrol altında olup olmadığı araştırılabilir.

Örnek ortalamasının kontrol limitleri arasında kalması, ürünün kalitesi için bir ölçü olmakla birlikte, uygulamada çoğu zaman diğer bir ölçüye daha ihtiyaç duyulur. Örnek ortalaması istenen standartlara uyduğu halde, örnek içindeki birimlerde standarttan önemli ölçüde sapsmalar görülebilir. Bu durumda aynı ortalamaya sahip olan iki örnekten standart sapsması (s) veya değişim aralığı (R) daha küçük olan örneğin daha kaliteli olduğu söylenir. O halde ortalamanın kontrol limitleri yanında, s veya R için de benzer limitler çizilmeli ve üretimde hem kararlılık hem de değişim durumunun istenen limitler arasında kalması hedef alınmalıdır.

Üretimden alınan örneklerin hacimleri 10'dan küçük ($n < 10$) olursa X grafiği ile birlikte R grafiğinin kullanılması tercih edilir. Bu tercihin önemli sebebi R değerlerinin belirlenme kolaylığıdır.

X ve R kontrol grafiklerinde kontrol sınırları standartların belli olması ve olmaması durumlarına göre ayrı ayrı belirlenir. Çoğu kez anakütle ortalaması ve standart sapma bilinmez. Bu durumda ortalama ve standart sapma anakütleden örnekler alınarak tahmin edilir. Bu tahminler en az 20 veya 25 örneğe dayandırılmalıdır. [20]

n birimlik m tane örneğin ortalamaları $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ olmak üzere proses ortalamasının en iyi tahmini,

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (11)$$

eşitliği ile bulunur.

Bu m adet örneğin değişim aralıkları $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ ise R'lerin ortalaması,

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} \quad (12)$$

yazılır. \bar{R} kullanılarak σ nın bir tahmini $\sigma = \bar{R}/d_2$ olarak hesaplanır.

μ yerine \bar{x} ve σ yerine de \bar{R}/d_2 birer tahmin edici olarak kullanıldığında \bar{x} grafiği için kontrol sınırları,

$$\text{Üst Kontrol Sınırı} = \bar{x} + 3 \frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}} \quad (13)$$

$$\text{Orta Çizgi} = \bar{x} \quad (14)$$

$$\text{Alt Kontrol Sınırı} = \bar{x} - 3 \frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

biçiminde yazılır.

4. MOTOR YENİLEŞTİRME SÜRECİNDE İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

Uygulama kısmı, Kara Kuvvetleri envanterinde bulunan tekerlekli araçların motor ve düzenlerine fabrika seviyesi bakım ve yenileştirme yapan askeri bir bakım merkezinde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bakım merkezi ve merkezde yürütülen motor yenileştirme süreci hakkında kısa bir bilgi verilmiş, daha sonra envantere en çok sayıda bulunan genel maksatlı bir askeri aracın motor yenileştirme prosesinde istatistiki teknikler ile gerçekleştirilen iyileştirmeler, sonuçları ve elde edilen kazanımlar anlatılmıştır.

4.1 Bakım Merkezi

Bakım merkezinde, güçleri 50-700 BG arasında değişen, personel ve malzeme taşıma amaçlı kullanılan genel maksat araçları ile muharebede görev yapan araçlara ait 121 çeşit motor ve düzenin yanı sıra, güçleri 5-90 BG arasında değişen deniz motorlarının ve gücü 1200 kvA'ya kadar olan jeneratörlerin yenileştirmesi gerçekleştirilmektedir. Bakım merkezi organizasyonu, bakım merkezi müdürlüğü altında, teknik müdürlük, kalite güvence müdürlüğü, malzeme yönetim merkezi, destek grup amirliği olmak üzere dört ana üniteden oluşmaktadır.

Yenileştirilmek üzere bakım merkezine gelen motor ve düzenlerin bütün parçaları sökülürken, sökülen parçalar çeşitli kimyasallar ile gerçekleştirilen bir dizi yıkama ve temizleme işleminden sonra yenileştirme postalarına sevk edilmektedir. Yenileştirme postalarına gelen malzemeler, ilgili araç üreticisi firmanın teknik katalog ve kalite kontrol kriterlerine göre yenileştirildikten sonra montaj hatlarına sevk edilmektedir. Montaj hatlarında ilgili üretici firma teknik katalog ve kalite kontrol kriterlerine göre montajı yapılan motor ve düzenler, bilgisayar kontrollü test ünitelerinde çalışma şartlarında test edilerek yenileştirme süreci tamamlanmaktadır.

Yenileştirme ve montaj sürecinde ihtiyaç duyulan malzemelerin ortalama % 45'i sökülen motor ve düzenlerin yenileştirilmesi ile, % 30'u bakım merkezinin imalat kabiliyeti ile, % 25'i dışardan temin ile karşılanmaktadır. Yenileştirilen, imal edilen ve tedarik edilen tüm malzemeler, kalite güvence müdürlüğü tarafından test ve muayene edilerek istenilen ölçü ve özellikleri karşıladıkları tespit edildikten sonra montaj hatlarında kullanılmaktadır.

AQAP 2110, TS 11954 ve Milli Savunma Bakanlığı endüstriyel kalite güvence seviye belgesine sahip olan bakım merkezinde, yenileştirilmesi yapılan motor ve düzenlere 2 yıl garanti verilmektedir.

4.2 Uygulamanın Hedefi ve Kapsamı

Uygulamanın hedefi, yenileştirilmesi tamamlanmış motorun testi esnasında karşılaşılan montaj ve yenileştirme kaynaklı hataları minimize ederek, sıfır hata yaklaşımı ile montaj ve yenileştirme işlemlerinin yapılmasını sağlamak, bu sayede yüzde yüz test yerine örnekleme usulü ile test yapılmasını sağlayarak zaman, işçilik ve malzeme tasarrufu sağlamaktır. Bununla birlikte, çoğunlukla yeni ürünlerin imalatında kullanılan istatistiksel proses kontrol tekniklerinin, kullanılmış ürünlerde de uygulanabilir olduğu gösterilmiştir.

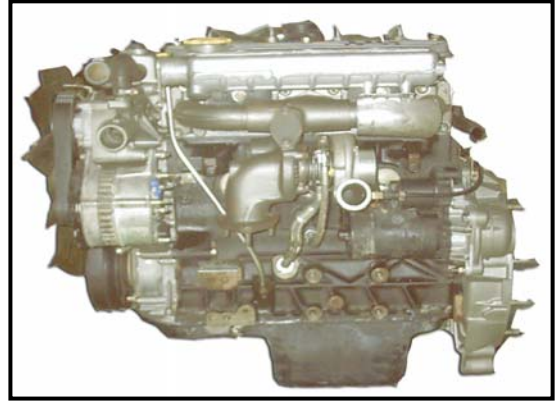
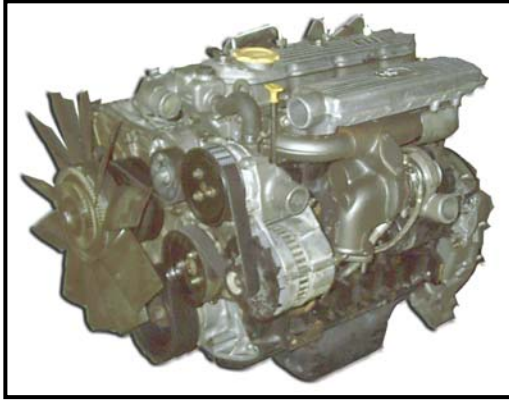
Uygulama, kara kuvvetleri envanterinde sayıca en fazla bulunan genel maksatlı Land Rover araçlarına ait TDI 300 motorunun montaj ve yenileştirme sürecinde gerçekleştirilmiştir.

İstatistiksel yöntemler kullanılarak, sözkonusu motorda test işleminde karşılaşılan hataların bir yıl süre ile kaydı tutulmuş, en çok zaman kaybına neden olan ve kritik önem taşıyan hata kaynakları belirlenmiş, iyileştirme çalışmaları yapılmış, iyileştirme sonrası ulaşılan yeni süreç değerleri ölçülerek başlangıç verileri ile karşılaştırılmıştır.

4.3 Uygulamada Kullanılan Motor

Uygulama Land Rover araçlarına ait TDI 300 2,5 lt. dizel motoru üzerinde yapılmıştır. Motorun genel özellikleri;

Silindir adedi	: 4
Çap	: 90.47 mm
Strok	: 97.00 mm
Silindir hacmi	: 2495 cm ³
Sıkıştırma oranı	: 21:1
Maksimum güç	: 130 hp
Maksimum tork	: 113 lbf ft



Şekil 4.1: Uygulamada kullanılan motor

4.4 Uygulama

4.4.1 Verilerin Toplanması

Hataları, hata kaynaklarını, kayıp zamanları tespit etmek amacıyla hatalı malzeme bilgi formları hazırlanarak test ünitelerinde hata çıkan motorlarda tutulmak üzere kullanılmıştır. Test esnasında motorda tespit edilen arızalar test makinisti tarafından bu formlara kayıt edilmiştir. Söz konusu formlarda; motora ve siparişe ait bilgiler, tespit edilen arızalar, arızalara yapılan işlemler ve kayıp zaman bilgileri yer almaktadır. Tespit edilen arıza test makinisti tarafından kayıt altına alınmakta, ilgili posta personeli tarafından arıza giderilmekte, testin tamamlanmasıyla söz konusu formda yer alan bilgiler bilgisayara girilerek değerlendirilmiştir.

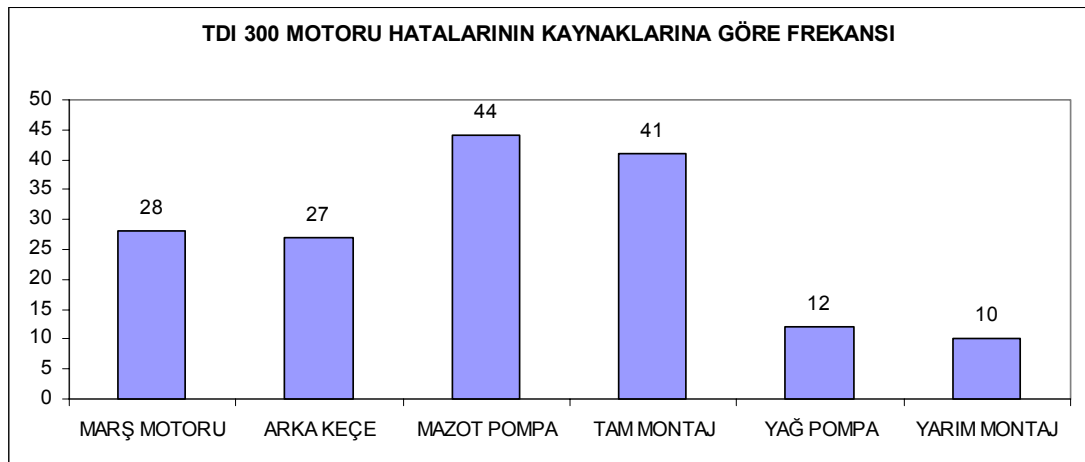
4.4.2 Hataların Gruplandırılması

Uygulamada, yenileştirme, montaj ve test işlemi gören toplam 681 adet TDI 300 motoru üzerinde gözlem yapılarak postalara göre hata frekansları belirlenmiştir. Buna göre toplam 224 adet motorda 331 adet arıza tespit edilmiştir. Motor başına arıza oranı 0,48 arıza/motor olarak, hataların giderilmesinden dolayı toplam kayıp zaman 732 saat olarak gerçekleşmiştir.

TDI 300 motoru 19 ana malzemeden oluşmakta olup, bu malzemelerde toplam 131 ölçüm noktası bulunmaktadır. Burada kayıp zamanların ve hata sayılarının en fazla görüldüğü dört yenileştirme postası, iki montaj postası ve iki cins malzeme kaynaklı hatalar ve yapılan iyileştirmeler ele alınmıştır. Belirlenen 331 arızadan 168 adeti (% 51), 732 saatlik kayıp zamandan 514 saati (% 70) bahsedilen 6 hata kaynağından (toplamda 22 hata kaynağı) meydana gelmiştir.

Hatalar; montaj, yenileştirme ve malzeme kaynaklı olmak üzere başlıca üç ana grupta sınıflandırılmıştır.

Montaj kaynaklı hatalar; yarım montaj ve tam montaj olmak üzere iki gruba, malzeme kaynaklı hatalar arka keçe olarak, yenileştirme kaynaklı hatalar marş motoru, mazot pompa ve yağ pompa olmak üzere 3 gruba sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.2: Hata kaynakları dağılımı

4.4.3 Yapılan İyileştirmeler

4.4.3.1 Montaj Kaynaklı

Gözlem yapılan 681 motordan 224 adetinde karşılaşılan 331 adet hatadan 41 adeti tam montaj, 10 adeti yarım montaja aittir.

Tam montaj hata kaynakları araştırıldığında, motor silindir kapağının bloğa montajında uygulanan civata torklama işleminden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Silindir kapak civatalarının 90 Nm + 60 ° kademeli olarak finalde 115-130 Nm'ye torklanması gerekirken, dijital tork ölçüm aletleri ile yapılan kontrollerde bu değerlerin mekanik tork kolları ile yapıldığında % 10 düşük gerçekleştiği tespit edilmiştir.

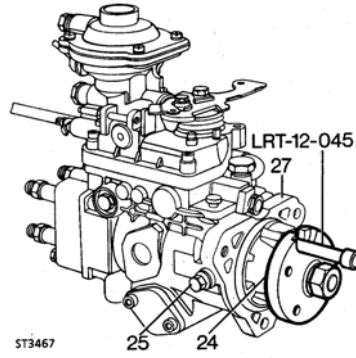
Yarım montaj hata kaynaklarında ise; ana yatak keplerinin 130-136 Nm, kol yatak keplerinin 37-41 Nm olması gerekirken, mekanik aletler ile yapılmasından dolayı bu değerlerin de % 10 oranında düşük gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Mekanik aletlerden kaynaklı hataları önlemek amacıyla, montaj hattında kritik öneme sahip bütün montaj işlemleri için akım kontrollü dijital torklama aletleri kullanılmaya başlanmış, böylece alet kaynaklı hatalar önlenmiştir.

Alet kaynaklı hataların yanı sıra olabilecek personel kaynaklı hatalara da önlem amacıyla barkodlu motor tanıma sistemi kurulmuştur. Gerekli montaj değerleri bilgisayarlara ve kontrol ünitelerine yüklenmiş, her motor için ayrı barkod numarası çıkartılmış, böylece sistemin motoru tanıyarak personel müdahalesi olmadan cihazları otomatik olarak ayarlaması sağlanmıştır.

4.4.3.2 Yenileştirme Kaynaklı

a. **Mazot Pompa:** Hata kaynaklarını bulmak amacıyla mazot pompa postasında yenileştirme yapılan malzemeler için 7 ölçüm noktasında operatör tarafından 30'ar adetlik numunelerde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

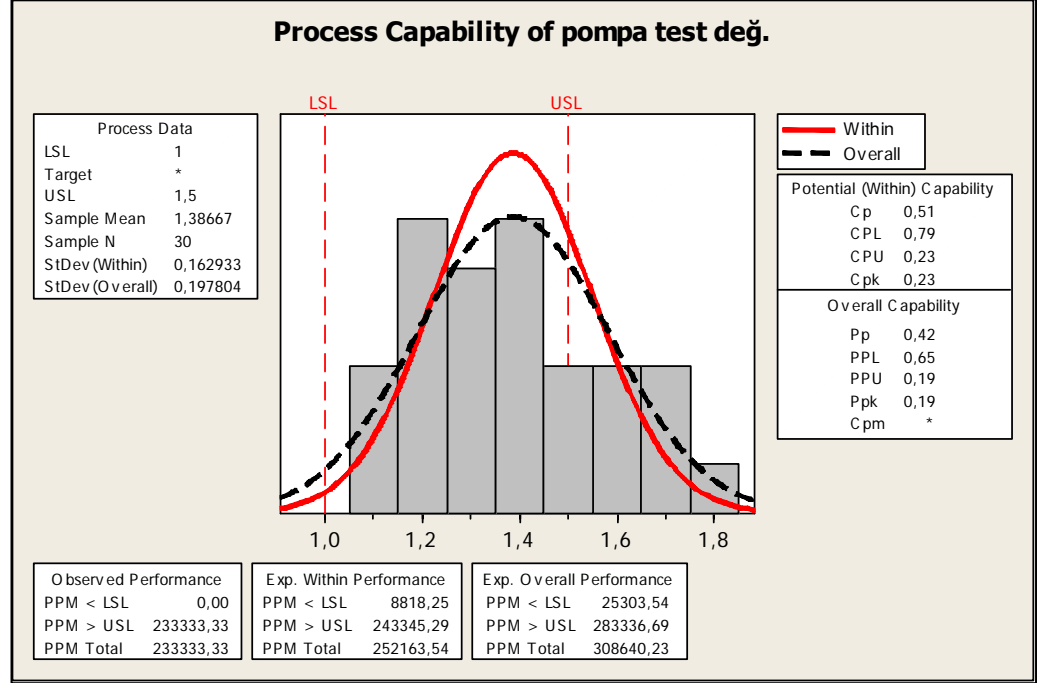


Şekil 4.3: TDI 300 motoru mazot pompası

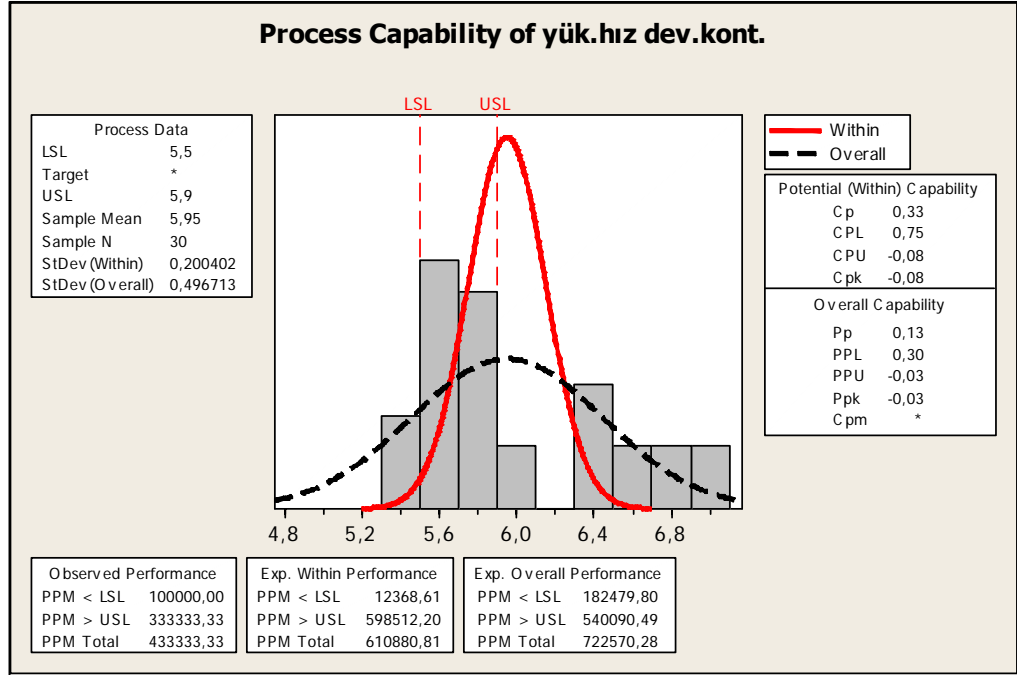
Tablo 4.1: Mazot pompa ölçüm verileri

ÖLÇÜM NOKTASI	1	2	3	4	5	6	7
	Mazot pompası test değerleri	Yüksek hız devri kontrolü	Yüksek hız yakıt verisi kontrolü	Transfer basıncı	Otomatik avans kontrolü	Marş devri kontrolü	Enjektörlerin yenileşmesini kontrolü
KRİTER (mm)	350 d/dk Strok 100 Yakıt mik.1-1,5 cm3	2100 d./dk 5,5-5,9 cm3 (havalı) 1 bar	1400 d./dk 6,6-6,7 cm3 (havalı) 1 bar	1600 d./dk 6,5-7,1 cm3 (havalı) 1 bar	1600 d/dk 3,5-3,9 mm	100 d/dk 8,5-13,5 cm3	Test basıncı 200 bar
1	1,2	5,6	6,6	6,4	3,5	11,2	180
2	1,5	5,6	6,5	6,8	3,4	12,3	170
3	1,7	5,8	6,7	6,6	3,6	7,0	175
4	1,4	5,5	6,6	6,5	3,5	8,0	185
5	1,8	5,7	6,8	6,3	3,3	11,5	190
6	1,3	5,4	6,7	6,8	3,6	12,3	170
7	1,4	5,5	7,0	6,4	3,7	12,5	180
8	1,1	5,4	6,9	6,7	3,9	12,0	185
9	1,3	5,7	6,8	6,3	3,8	13,2	190
10	1,2	5,9	6,7	7,0	3,6	13,0	185
11	1,6	5,3	6,5	6,9	3,7	12,4	180
12	1,7	5,6	6,9	6,8	3,5	11,7	175
13	1,1	5,7	6,4	6,7	3,6	12,6	190
14	1,4	5,7	7,0	6,5	3,4	13,4	195
15	1,5	5,6	6,7	6,6	3,8	13,3	185
16	1,2	5,8	6,8	6,4	3,5	13,0	175
17	1,3	5,9	6,9	6,8	3,6	12,7	170
18	1,2	5,6	6,5	6,7	3,7	12,8	180
19	1,1	5,7	6,4	6,4	3,8	13,1	185
20	1,4	5,6	6,8	6,7	3,7	13,4	180
21	1,6	6,5	6,5	6,4	3,4	12,0	190
22	1,7	6,4	6,3	6,7	3,2	13,2	185
23	1,4	6,8	6,4	6,8	3,3	13,5	180
24	1,6	6,7	6,7	7,0	3,4	12,9	175
25	1,5	6,5	6,5	6,9	3,3	12,8	170
26	1,3	6,4	6,8	6,7	3,5	12,7	180
27	1,2	7,0	6,6	6,8	3,2	12,5	175
28	1,4	6,9	6,5	6,9	3,4	11,8	185
29	1,3	6,3	6,3	6,5	3,4	11,7	180
30	1,2	6,4	6,6	6,4	3,2	12,9	175

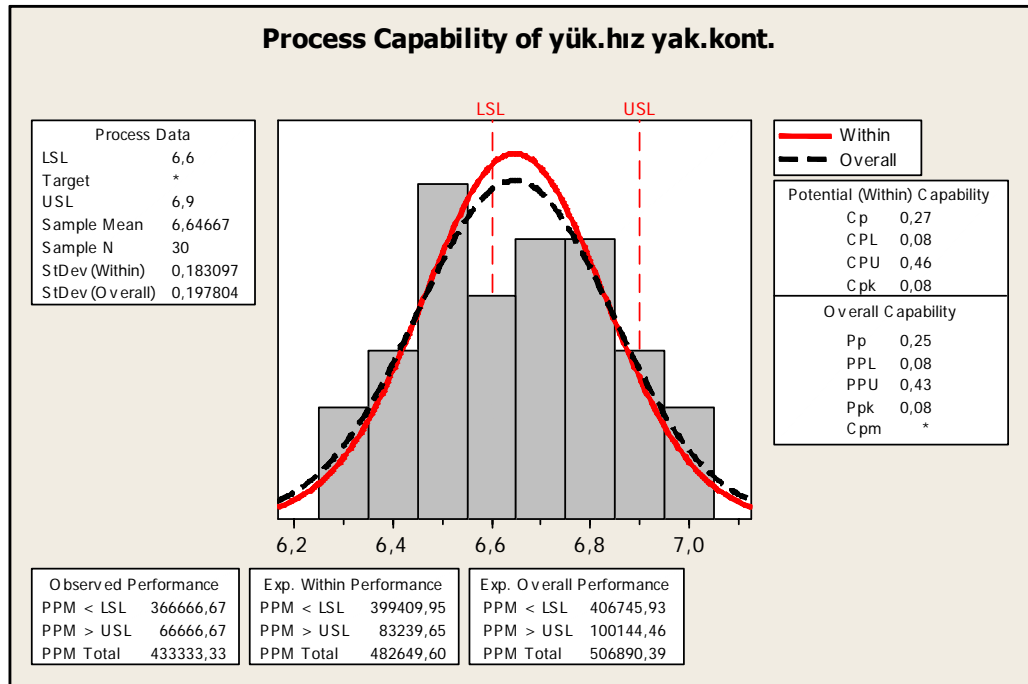
Minitab programı kullanılarak proses yeterlilikleri hesaplanmıştır. Ölçüm noktalarına ait minitab programı ile hesaplanan proses yeterlilikleri aşağıda verilmiştir.



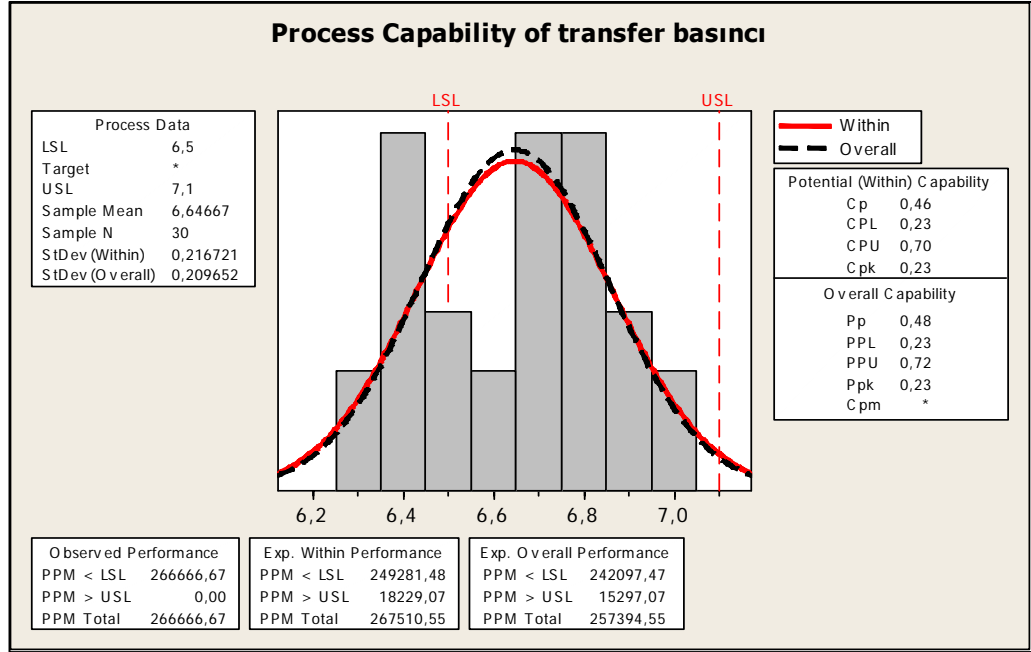
Şekil 4.4: Pompa test değeri ölçüm noktası proses yeterlilik analizi



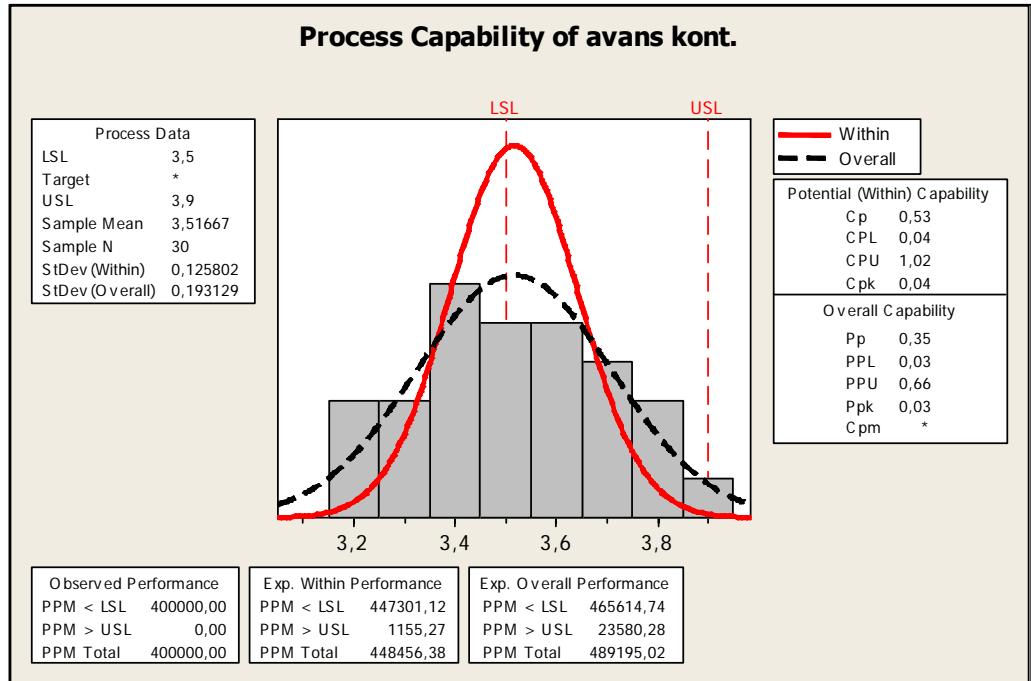
Şekil 4.5: Yüksek hız devir kontrolü ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi



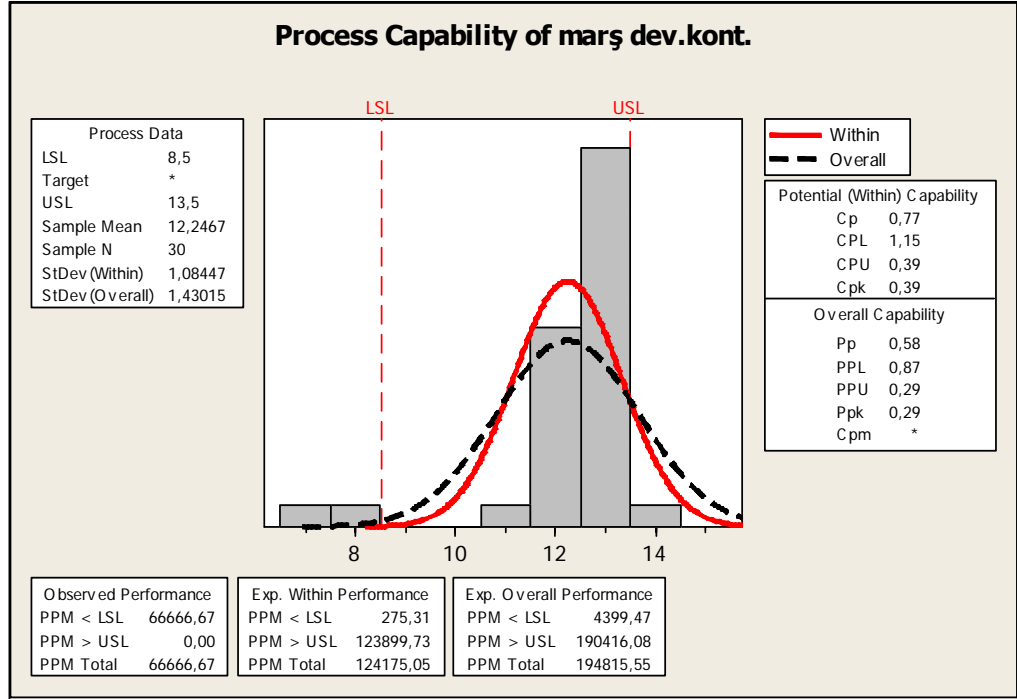
Şekil 4.6: Yüksek hız yakıt kontrolü ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi



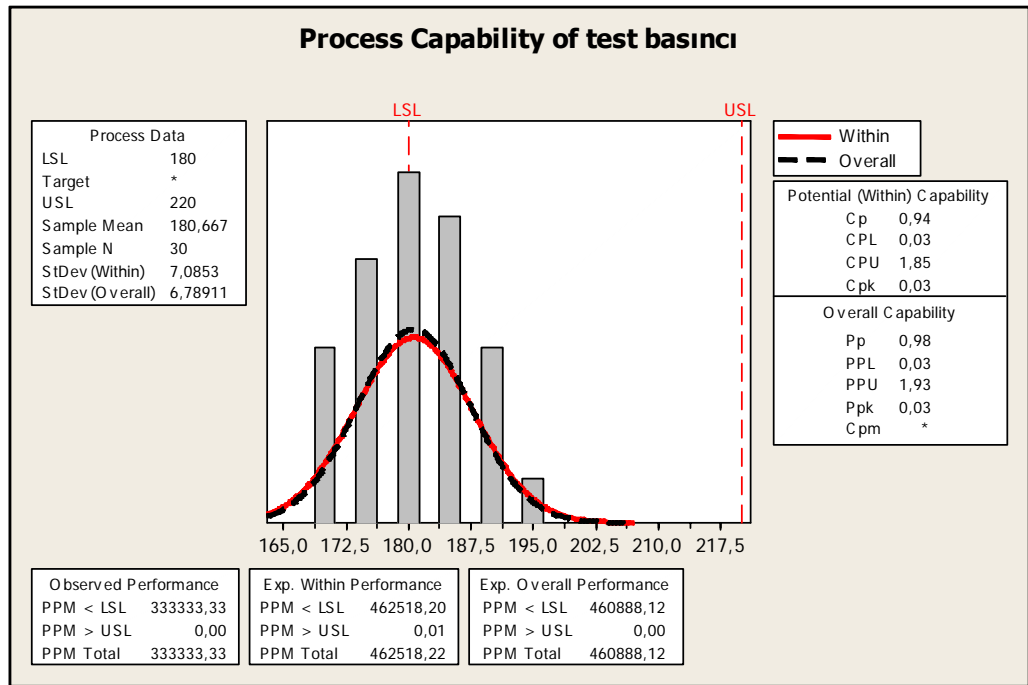
Şekil 4.7: Transfer basıncı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi



Şekil 4.8: Avans kontrolü ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi



Şekil 4.9: Marş devir kontrolü ölçüm noktası proses yeterlilik analizi



Şekil 4.10: Test basıncı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi.

Yapılan analizlere göre, 7 ölçüm noktasına ait proses yeterlilikleri ile kontrol sınırları dışında kalan miktarlar Tablo 4.2 olarak verilmiştir.

Tablo 4.2: Mazot pompa ölçüm noktalarına ait proses yeterlilikleri ve kontrol sınırları dışında kalan ölçüm sayıları.

Ölçüm Noktası	Proses Yeterliliği	Kontrol Sınırları Dışında Kalan Ölçüm Sayısı	Düşünceler
Mazot Pompa Test Değeri	0,23	--	Proses yeterliliği 1'in üzerine çıkarılmalı
Yüksek Hız Devir Kontrolü	-0,08	5	Proses kontrol sınırları içine taşınmalı ve yeterliliği 1'in üzerine çıkarılmalı
Yüksek Hız Yakıt Kontrolü	0,08	--	Proses yeterliliği 1'in üzerine çıkarılmalı
Transfer basıncı	0,23	--	Proses yeterliliği 1'in üzerine çıkarılmalı
Otomatik avans kontrolü	0,04	12	Proses kontrol sınırları içine taşınmalı ve yeterliliği 1'in üzerine çıkarılmalı
Marş devri kontrolü	0,39	2	Proses kontrol sınırları içine taşınmalı ve yeterliliği 1'in üzerine çıkarılmalı
Enjektör test basıncı	0,03	--	Proses yeterliliği 1'in üzerine çıkarılmalı

Motor test sonuçlarına göre 5 adet mazot pompa arızasından 2 adeti gaz kolundan yakıt kaçması, 1 adeti yakıt otomatığı diyaframının delik olması, 1 adeti giriş ve çıkışların bozuk olması, 1 adetin ise motorun test gücüne ulaşamamasıdır. Proses yeterlilik analizleri dikkate alındığında; yakıt kaçması, diyafram delinmesi ve motorun test gücüne ulaşmaması arızalarının (toplam 4 arıza), yüksek hız devir kontrolü, yüksek hız yakıt kontrolü ve enjektör test basıncı ölçüm noktalarının proses yeterliliğinin düşük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Sözkonusu ölçüm noktalarının proses yeterliliğinin iyileştirilmesi amacıyla her bir ölçüm noktası için proses kontrol diyagramı oluşturulmuştur. Mazot pompa malzemesine ait yapılan ölçümlerin bu forma kayıt edilmesi ile proseste meydana gelen sapmaların operatör ve kalite kontrol makinisti tarafından gözlemlenerek önlem alınması, kontrol sınırları dışına çıkan ölçümlere ait malzemelerin montaj hattına sevk edilmesi önlenmiştir.

b. Yağ Pompa: Yağ pompa postasında yenileştirilen malzemelerde toplam beş ölçüm noktasında 30'ar adetlik numunelerde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler Tablo 4-3'de verilmiştir.

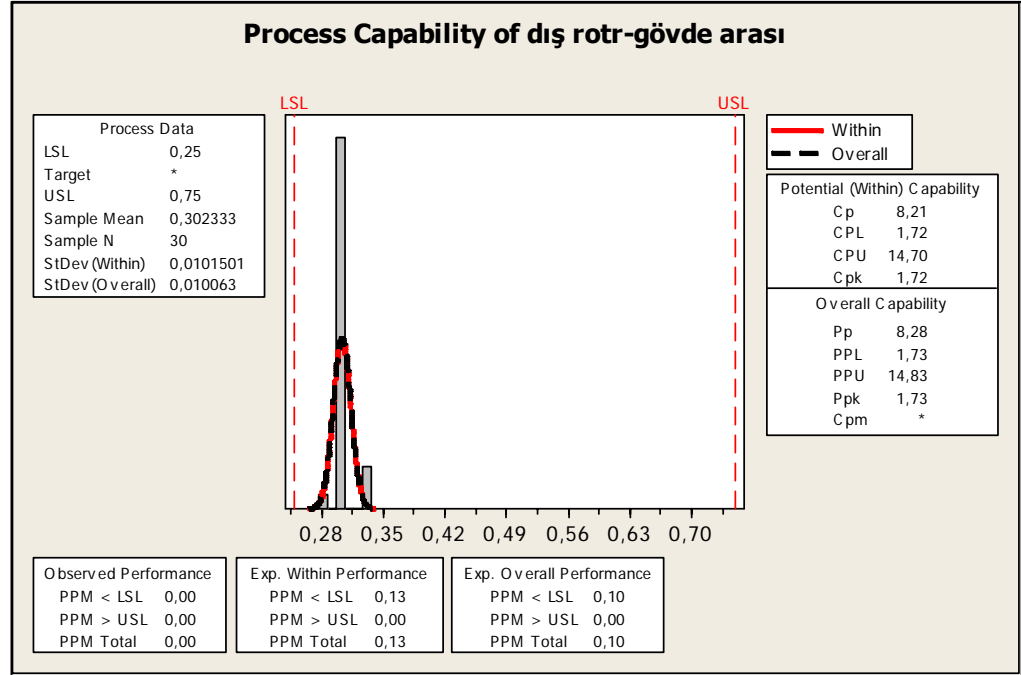


Şekil 4.11: TDI 300 motoru yağ pompası

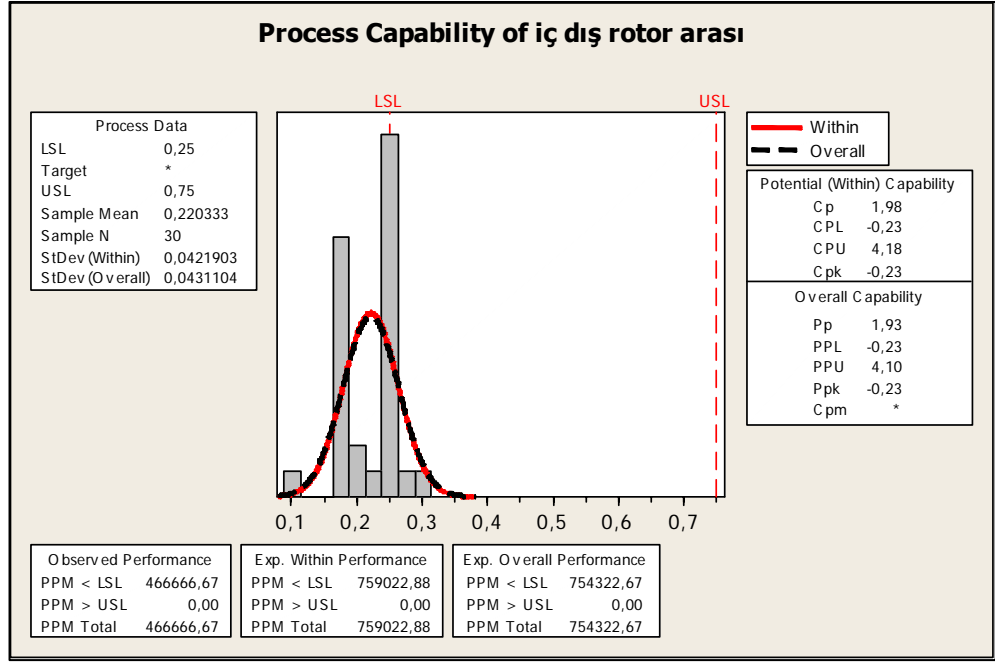
Tablo 4.3: Yağ pompa ölçüm verileri

ÖLÇÜM NOKTASI	1	2	3	4	5
	Dış rotor ile gövde arası	İç rotor ile dış rotor arası	Rotor aksiyel boşluğu	Rölanti yağ basıncı (kg/cm ²)	Yüksek devir yağ basıncı (kg/cm ²)
KRİTER (mm)	0,025-0,075	0,025-0,075	0,026-0,135	0,70-1,00	1,76-3,86
1	0,33	0,20	0,05	1,7	3,5
2	0,30	0,18	0,08	1,8	3,5
3	0,33	0,18	0,06	1,9	3,5
4	0,30	0,25	0,06	1,6	3,6
5	0,30	0,25	0,06	1,7	3,6
6	0,30	0,25	0,06	1,5	3,6
7	0,30	0,18	0,06	1,7	3,5
8	0,30	0,25	0,06	1,7	3,6
9	0,30	0,25	0,06	1,7	3,5
10	0,30	0,18	0,06	1,7	3,5
11	0,30	0,25	0,06	1,6	3,8
12	0,30	0,25	0,06	1,5	3,8
13	0,30	0,23	0,07	1,6	3,8
14	0,30	0,25	0,06	1,7	3,8
15	0,30	0,18	0,06	1,7	3,5
16	0,30	0,25	0,06	1,6	3,6
17	0,30	0,25	0,06	1,4	3,5
18	0,30	0,25	0,06	1,6	3,4
19	0,30	0,25	0,06	1,5	3,5
20	0,30	0,25	0,06	1,5	3,5
21	0,30	0,30	0,06	1,4	3,5
22	0,30	0,25	0,06	1,6	3,5
23	0,33	0,28	0,06	1,4	3,5
24	0,30	0,18	0,06	1,9	3,7
25	0,28	0,10	0,06	2,0	3,5
26	0,30	0,20	0,06	2,0	3,5
27	0,30	0,18	0,06	1,8	3,6
28	0,30	0,18	0,06	1,7	3,5
29	0,30	0,18	0,06	1,9	3,5
30	0,30	0,18	0,05	1,9	3,4

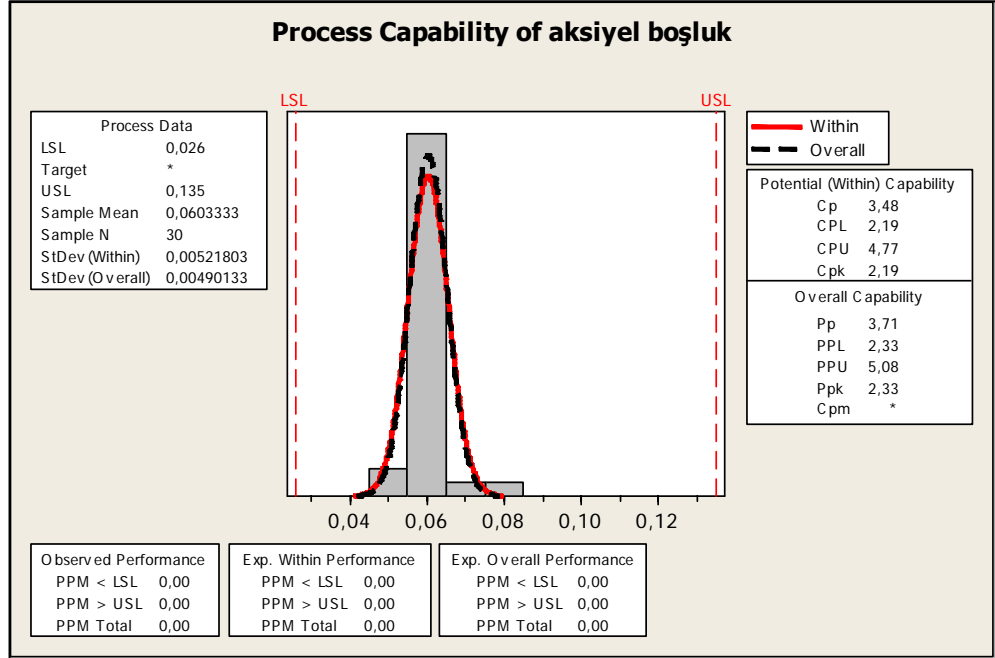
Minitab programı kullanılarak proses yeterlilikleri hesaplanmıştır. Ölçüm noktalarına ait minitab programı ile hesaplanan proses yeterlilikleri aşağıda verilmiştir.



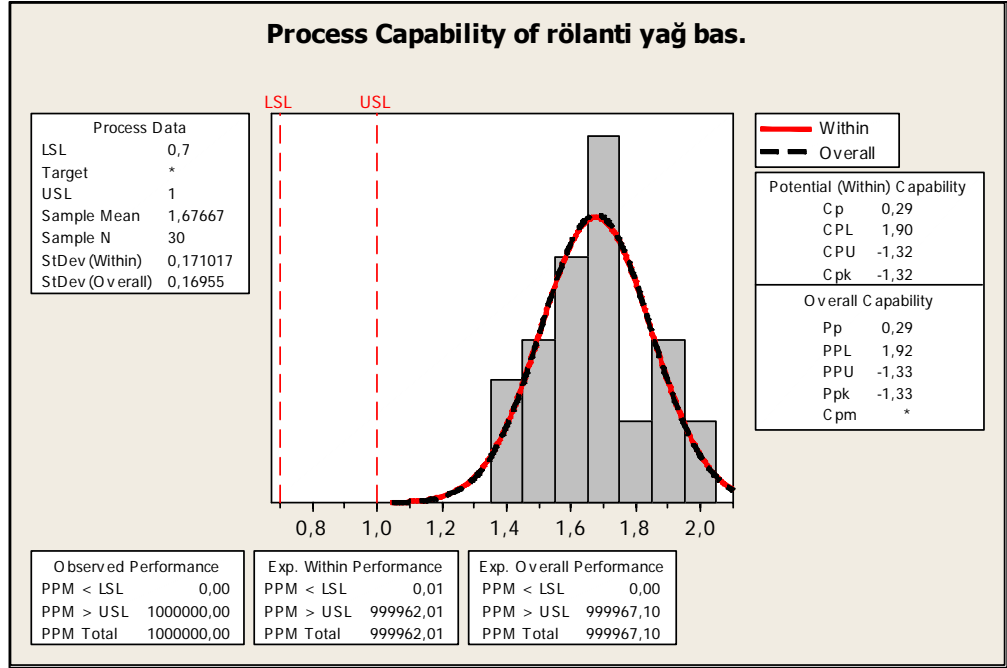
Şekil 4.12: Dış rotor-gövde arası boşluk ölçüm noktası proses yeterlilik analizi



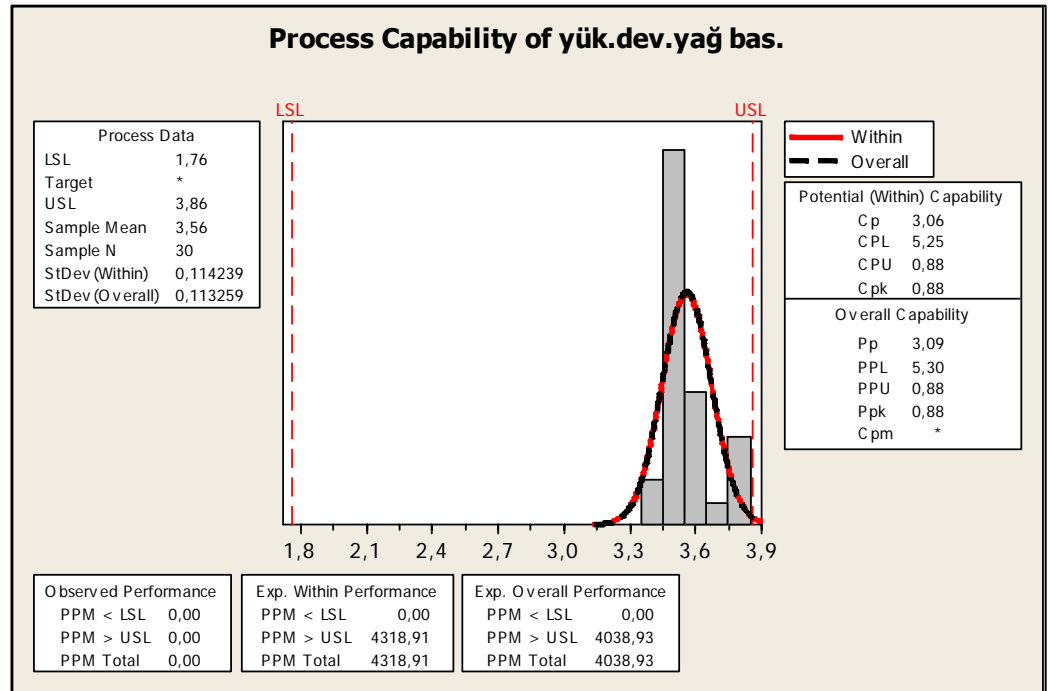
Şekil 4.13: İç rotor-dış rotor arası boşluk ölçüm noktası proses yeterlilik analizi



Şekil 4.14: Aksiyel boşluk ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi



Şekil 4.15: Rölanti yağ basıncı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi



Şekil 4.16: Yüksek devir yağ basıncı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi.

Yapılan analiz sonucu sözkonusu malzemenin proses yeterliliği, proses sınırları ile kalite sınırlarının karşılaştırması Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4: Mazot pompa ölçüm noktalarına ait proses yeterlilikleri ve proses sınırları ile kalite sınırlarının karşılaştırması

Ölçüm Noktası	Proses Yeterliliği	Proses Sınırları	Kalite Sınırları	Düşünceler
Dış rotor - gövde arası	1,72	0,28 - 0,32	0,25 – 0,75	Kalite sınırları 0,25-0,50 çekilebilir.
İç rotor – dış rotor arası	-0,23	0,13 – 0,31	0,25 – 0,75	Kalite sınırları 0,13-0,50 çekilebilir.
Rotor aksiyel boşluğu	2,19	0,053 - 0,067	0,026-0,135	Kalite sınırları 0,026-0,100 çekilebilir.
Rölanti yağ basıncı	-1,32	1,34 – 2,00	0,70 – 1,00	Kalite sınırları 0,70-2,00 çekilebilir.
Yüksek devir yağ basıncı	0,88	3,36 – 3,75	1,76 – 3,86	Proses kalite sınırları dahilinde

Yapılan analize göre; 5 ölçüm noktasından 4 tanesinde (dış rotor – gövde arası, rotor aksiyel boşluğu, rölanti yağ basıncı, yüksek deir yağ basıncı) proses yeterli seviyede gerçekleşerek 1'e yaklaşmış veya üzerinde çıkmış, 2 ölçüm noktasında (iç rotor – dış rotor arası, rölanti yağ basıncı) proses sınırları kalite sınırlarının dışında çıkmış, 2 ölçüm noktasında ise (dış rotor – gövde arası, yüksek devir yağ basıncı) proses kalite sınırlarından birinde yığılma göstermiştir. Dört ölçüm noktasında proses sınırlarının kalite sınırları dışına çıkmış olmasına ya da kalite sınırlarından birinde yığılma göstermiş olmasına rağmen c_{pk} katsayıları 1'in üzerinde olduğundan proses yeterlidir ve bu ölçüm noktaları için yeni kalite sınırları proses sınırlarına çekilebileceği değerlendirilmiştir.

Motor test sonuçları incelendiğinde, 2 adet arızanın da yağ kaçırma şeklinde meydana geldiği, analiz sonuçlarına göre yağ basıncı ölçüm noktalarında prosesin kalite üst sınırlarına çok yakın ve üzerinde

gerçekleştigi dikkate alındığında yağ kaçırma arızasının beklenebilecek bir arıza olduğu, ancak test basınçları herhangi bir kaçağa sebebiyet verecek kadar büyük olmadığından dolayı meydana gelen arızaların oring malzeme kalitesinden kaynaklandığı değerlendirilmiş, tedarikçi firmalar ile görüşülerek malzeme kalitesi iyileştirilmiştir.

c. Marş Motoru: Oto elektrik postasında yenileştirilen marş motoru malzemeleri için 30'ar adetlik numunelerde 5 ölçüm noktasında ölçümler yapılmıştır. Ölçüm değerleri aşağıda tablo olarak verilmiştir.

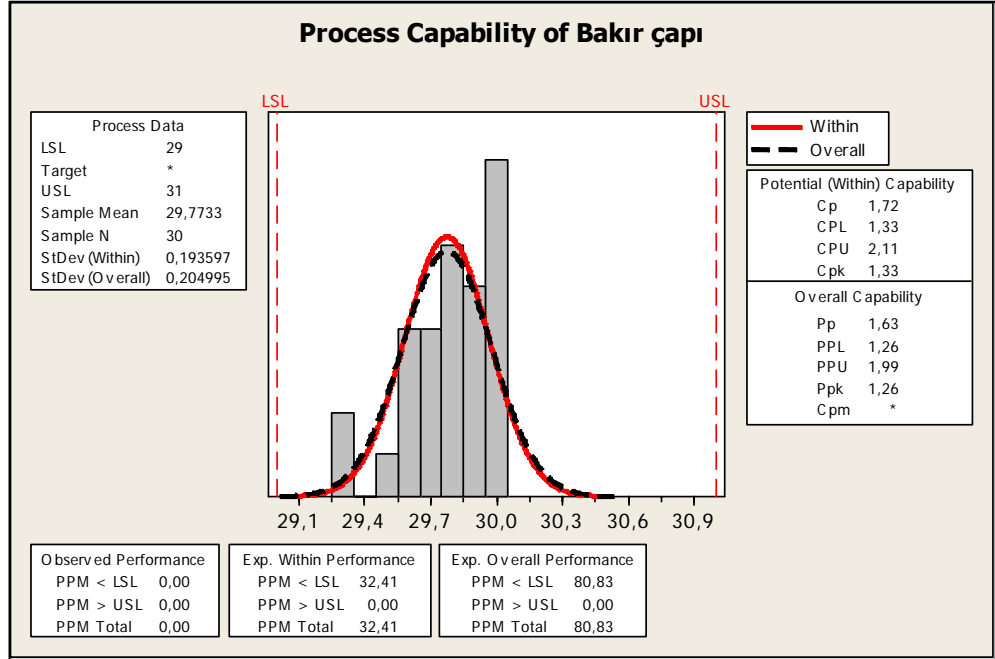


Şekil 4.17: TDI 300 motoru marş motoru

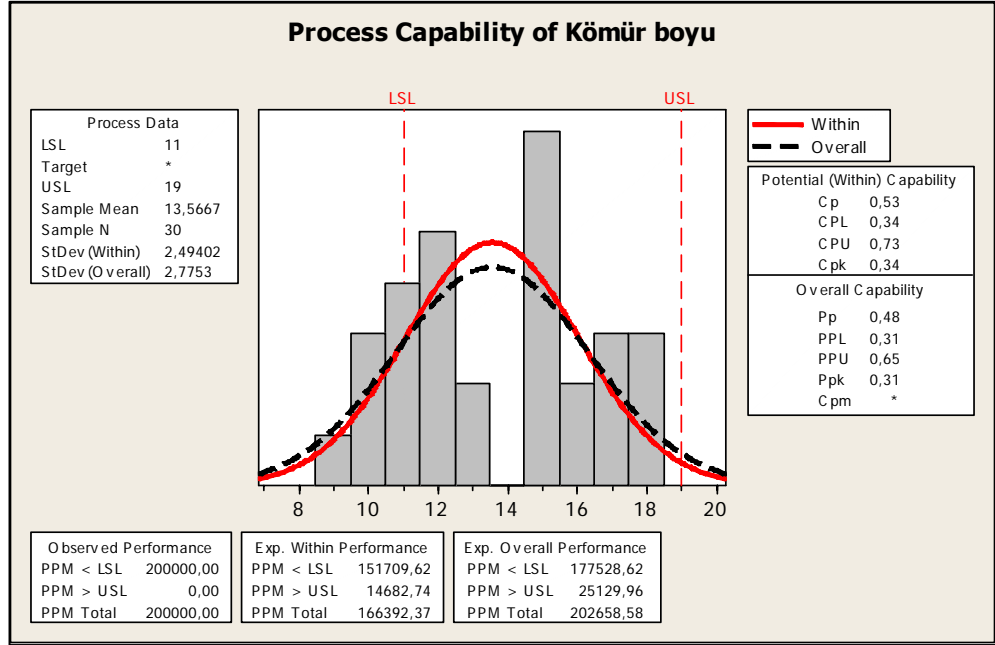
Tablo 4.5: Marş motoru ölçüm verileri

ÖLÇÜM NOKTASI	1	2	3	4	5
	Endüvi bakır çapı	Kömür boyu	Arka kapak burcu iç çapı	Marş motoru testi (Boşta) (12V ile)	Marş motoru testi (Yükte) (12V ile)
KRİTER (mm)	29,00-31,00	11,00-19,00	10,00	110A	110-300A
1	30	10,00	10,00	108	210
2	29,90	9,00	10,30	105	190
3	30,00	10,00	10,20	105	290
4	30,00	10,50	10,10	107	210
5	29,85	11,00	10,00	109	230
6	29,70	17,00	10,30	110	270
7	29,25	16,00	10,15	105	210
8	29,95	13,00	10,00	100	260
9	29,90	12,00	10,30	100	240
10	29,80	18,00	10,20	108	300
11	29,50	14,50	10,30	100	290
12	29,75	15,00	10,15	110	210
13	29,60	12,00	10,00	104	190
14	29,75	14,50	10,35	107	260
15	29,80	12,00	10,20	103	250
16	29,70	18,00	10,00	109	225
17	29,75	16,50	10,00	100	235
18	30,00	15,00	10,15	99	240
19	30,00	11,00	10,30	108	270
20	29,60	10,50	10,00	106	220
21	29,85	9,50	10,00	107	210
22	29,70	11,50	10,00	104	180
23	30,00	13,00	10,00	103	260
24	29,60	18,00	10,00	99	220
25	29,80	16,00	10,00	109	270
26	29,25	12,00	10,00	100	210
27	29,90	15,00	10,00	105	200
28	29,70	17,00	10,00	107	280
29	29,60	14,50	10,00	106	250
30	30,00	15,00	10,00	101	220

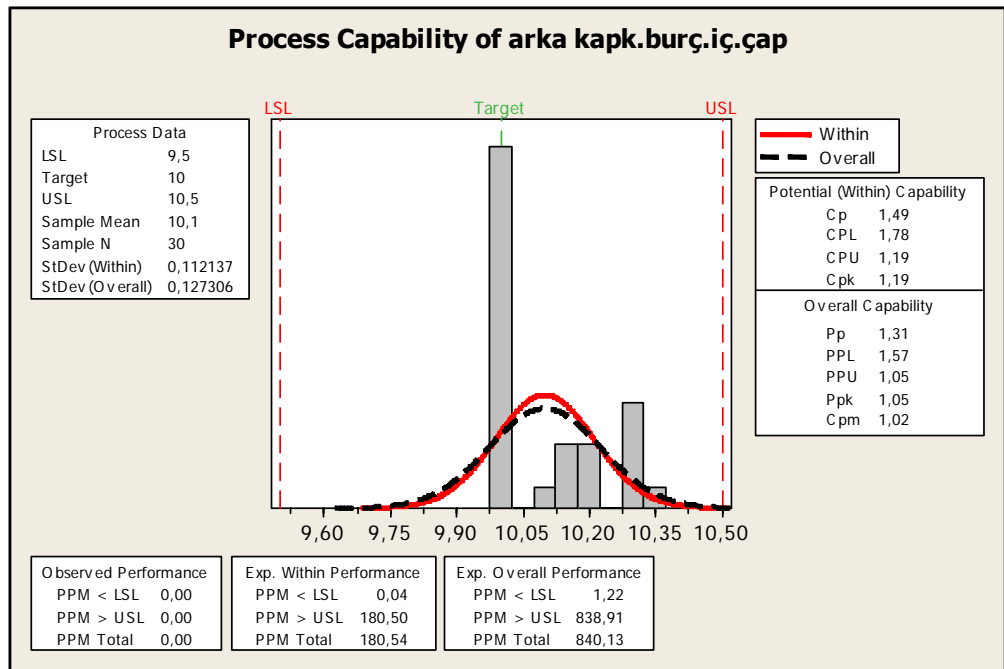
Minitab programı kullanılarak, beş ölçüm noktasına ait proses yeterlilikleri hesaplanmıştır. Hesaplanan proses yeterlilikleri aşağıda verilmiştir.



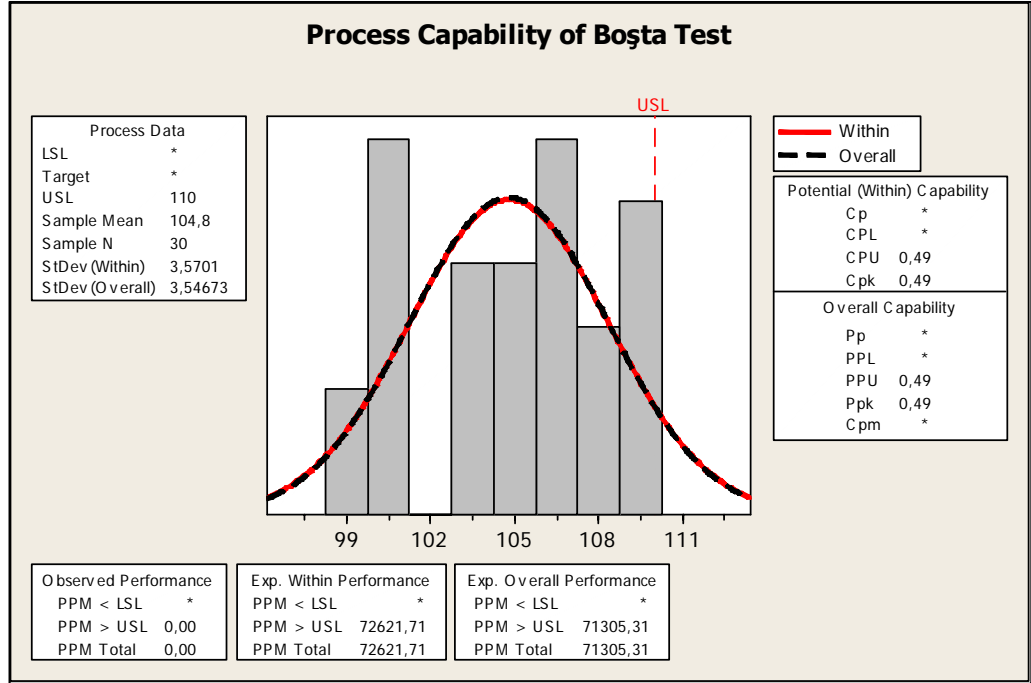
Şekil 4.18: Bakır çapı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi



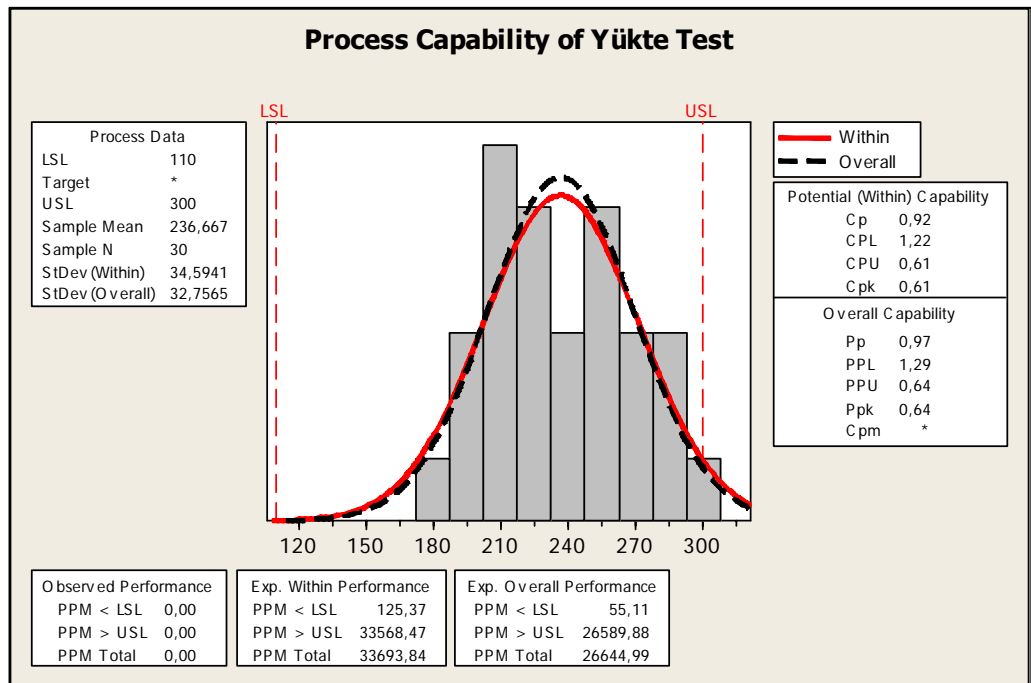
Şekil 4.19: Kömür boyu ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi



Şekil 4.20: Arka kapak burç iç çapı ölçüm noktasının proses yeterlilik analizi



Şekil 4.21: Boşta test kriterinin proses yeterlilik analizi



Şekil 4.22: Yükte test kriterinin proses yeterlilik analizi

Yapılan analiz sonucu marş motorunun proses yeterliliği, proses sınırları ile kalite sınırlarının karşılaştırması Tablo 4.5 olarak verilmiştir.

Tablo 4.6: Marş motoru proses ve kalite sınırları ile proses yeterliliği

Ölçüm Noktası	Proses Yeterliliği	Proses Sınırları	Kalite Sınırları	Düşünceler
Endüvi bakır çapı	1,33	29,18-30,38	29,00-31,00	Proses sınırları ve yeterliliği uygundur.
Kömür boyu	0,34	7,24-19,89	11,00-19,00	Proses sınırları kalite sınırları dışına çıkmış, proses yetersiz olup iyileştirilmelidir.
Arka kapak burcu iç çapı	1,19	9,79-10,40	9,50-10,50	Proses sınırları ve yeterliliği uygundur.
Marş motoru boşta test	0,49	93,34-116,26	110	Proses sınırları kalite sınırları dışına çıkmış, proses yetersiz olup iyileştirilmelidir.
Marş motoru yükte test	0,61	128,4-344,9	110-300	Proses sınırları kalite sınırları dışına çıkmış, proses yetersiz olup iyileştirilmelidir.

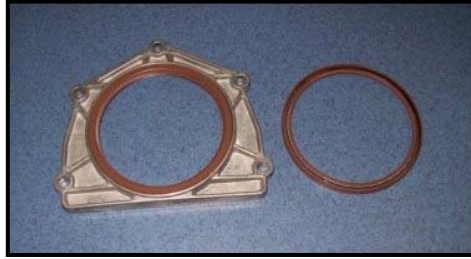
Minitab analizleri incelendiğinde, iki ölçüm noktasında (endüvi bakır çapı, arka kapak burcu iç çapı) proses yeterli ve sınırlar dahilinde olmasına rağmen bir ölçüm noktasında (kömür boyları) proses yetersiz ve sınırlar dışında gerçekleşmiştir. Marş motorunun son test değerlerinin ölçüm noktalarının (marş motoru boşta test, marş motoru yükte test) analizleri incelendiğinde ise her iki ölçüm noktasının da prosesinin yetersiz ve sınırlar dışında gerçekleştiği görülmüş, kömür boyu prosesindeki yetersizliğin marş motorunun son test değerlerinin yetersiz olmasına sebep olduğu değerlendirilmiştir.

Motor test sonuçları incelendiğinde, bir adet arızanın marş basmama şeklinde meydana geldiği görülmektedir. Ölçüm noktalarının proses analizleri

dikkate alındığında, endüvi bakır çapı ve arka kapak burcu iç çapı proseslerinin yeterli olmasına rağmen kömür boyu prosesinin yetersiz olmasının marş motoru son test proseslerinin de yetersiz olmasına neden olduğu, kömür boyu prosesindeki yetersiz durumun motor test sürecinde marş basmama arızasına sebebiyet verebileceği değerlendirilmiştir. Motor test sürecinde marş motoru arızalarının önüne geçebilmek için kömür boyu prosesinin sınırlar dahilinde kontrol altına alınması gerekmiştir. Bu amaçla proses kontrol diyagramı formu hazırlanarak sözkonusu malzeme ve ölçüm noktası için oto elektrik postasında uygulamaya başlanmıştır. Bu sayede operatörün prosesteki sapmaları gözlemleyerek zamanında müdahale etmesi, kontrol sınırları dışına çıkan ölçümlerde malzemeyi bir sonraki prosese aktarması engellenmiş, böylece proses sınırlar dahiline çekilmiştir.

4.4.3.3 Malzeme Kaynaklı

Arka Keçe: Motor test verileri incelendiğinde bir adet krank arka keçesinden yağ kaçırma arızası ile karşılaşılmıştır.



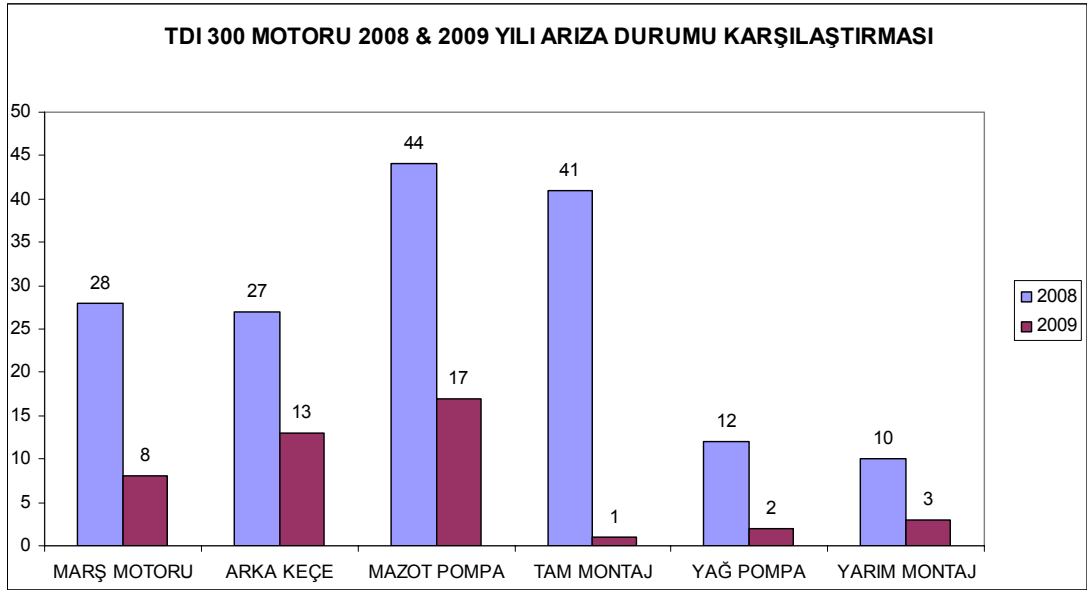
Şekil 4.23: TDI 300 motoru krank arka keçesi

Sözkonusu keçe, krank mili üzerindeki yağın, blok dışına çıkmasını, dışardan krank miline toz vb. yabancı partiküllerin erişmesini engellemek amacıyla krank milinin motor bloğuna yatakladığı arka yatakta kullanılmaktadır. Keçenin kullanıldığı bölgede krank milinin çapı 99,50 mm. Keçenin iç çap ölçüsünün ise 99,00 mm olduğu belirlenmiştir. Kalite kontrol kriterlerine göre ise keçe iç çap ölçüsü en fazla 97,50 mm olmalıdır. İlgili keçe tedarikçisi firma ile görüşülerek istenilen ölçülerde keçe imal edilmesi sağlanmıştır.

4.4.4 İyileştirmeler Sonrası Motor Test Verileri

Uygulama yapılan TDI 300 motorunda, bu çalışmada belirtilen 6 hata kaynağı dışında diğer 16 hata kaynağında da iyileştirmeler yapılmıştır. Çalışmanın başlamasından sonra toplam 635 adet TDI 300 motorunda yenileştirmeler geliştirilerek uygulanmıştır. Söz konusu motorlardan test aşamasında 134 adetinde 156 arıza ile karşılaşılmış, toplam kayıp zaman 204 saat olarak gerçekleşmiştir.

Bu çalışmada incelenen 6 hata kaynağındaki iyileşmenin, iyileşme öncesi durum ile karşılaştırması Şekil 4.18'de ve Tablo 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.24: İyileştirme öncesi ve sonrası durumun karşılaştırması

Tablo 4.7: İyileştirme öncesi ve sonrası durumun karşılaştırması

Hata Kaynağı	İyileşme Öncesi	İyileşme Sonrası	İyileşme (%)
Marş Motoru	28	8	71,4
Arka Keçe	27	13	51,9
Mazot Pompa	44	17	61,4
Tam Montaj	41	1	97,6
Yağ Pompa	12	2	83,3
Yarım Montaj	10	3	70
Kayıp Zaman	732	204	72,1

Uygulamanın gerçekleştirildiği bakım merkezinde çalışmanın amacı, örnekleme yöntemi ile test yapılmasıdır. Bu amaca ulaşabilmek için, TDI 300 motoruna ait 19 ana malzeme ve 131 ölçüm noktası ile yarım montaj ve tam montaj postalarında proses yeterliliklerinde $c_{pk}=1.00$ 'e ulaşma çalışmaları devam etmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İstatistiksel proses kontrolü, süreç kalitesinin ölçümü ve iyileştirilmesinde, uçak parçası üretiminden hizmet üretimine kadar çok geniş alanda kullanılmaktadır. Birbirine benzemeyen ürün ve prosesle karşılaştırma imkânı sağlar. Bu durum işletmelerin diğerlerinden ne kadar ileride veya geride olduğunu göstermektedir, en önemlisi, nereye gidilmesi gerektiğini ve başarmak için ne yapmak gerektiğini belirler. İstatistiksel proses kontrolü, bir işletme ve yönetim stratejisi olarak işletmelerin rekabet üstünlüğü kazanmalarında, içerdiği stratejiler ve çağdaş anlayışı ile rehberlik yapar. Çünkü süreçlerin sigma seviyesi arttıkça ürün kalitesi yükselir ve maliyet azalır. Böylece müşteriler daha yüksek düzeyde tatmin olurlar.

Bu çalışmada, istatistiksel proses kontrol teknikleri motor yenileştirme ve montaj sürecine uygulanmıştır. Histogramlar aracılığı ile hatalar sınıflandırılmış ve frekansları belirlenmiş, beyin fırtınaları ile olası hata sebepleri ortaya konulmuş, pareto analizi hata sebepleri önem derecelerine göre sıralanmıştır. Montaj ve yenileştirme süreçlerinde yer alan personelin katılımı ile oluşturulan çalışma grupların hata sebeplerini ortadan kaldıracak iyileştirme faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Proses yeterlilik analizleri aracılığı ile kazanılan iyileştirme faaliyetleri sonucunda geline aşama, hata kaynaklarındaki iyileşmeler sayısal olarak ortaya konulmuştur.

Çalışma sonucunda; marş motoru yenileştirmesinde % 71, mazot pompa yenileştirmesinde % 61, yağ pompa yenileştirmesinde % 83, arka keçe kaynaklı hatalarda % 52, tam montaj kaynaklı hatalarda % 97, yarım montaj kaynaklı hatalarda % 70 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bütün bu iyileştirmeler neticesinde, hatalardan kaynaklı kayıp zamanlarda % 72'lik bir azalma elde edilmiştir.

Bu çalışmada, süreç iyileştirme ve kalite artırma amaçlı kullanılan istatistiksel proses kontrolü ile, montaj ve yenileştirme faaliyetlerinde % 70 gibi bir iyileştirme sağlanmıştır. Çoğunlukla mal ve hizmet üretiminde kullanılan süreç iyileştirme ve kalite artırma amaçlı kullanılan istatistiksel proses kontrolünün, yenileştirme faaliyetlerinde de kullanılabileceği, Landrover TDI 300 motorunun yenileştirme ve montaj proseslerinde gösterilmeye çalışılmıştır. En sağlıklı sonuç, tüm proseslerde iyileştirme yapılması ve proses yeterliliklerinin $c_p=1$ seviyesinin üzerine çıkarılmasıyla elde edilecektir.

Çalışmada elde edilen sonuçların hedeflenen amaca ulaşması için yapılacak çalışmaların tüm ana malzemelerde gerekli proses yeterlilik seviyesine ulaşıncaya kadar devam ettirilmesi, hedeflenen seviyeye ulaşıldıktan sonra da bu durumun korunması için kontrol grafiklerinin uygulanmaya konulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yavuz, S., Altı sigma yaklaşımı ve bir sanayi işletmesinde uygulama, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Erzurum, (2006)
- [2] George, S., Weimerskirch A., Total Quality Management: Strategies and Techniques Proven at Today's Most Successful Companies, John Wiley and Sons Inc., New York, (1996)
- [3] Kotler, P., Marketing Management, 8th.Edition, Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, N.J., (1996), p.56
- [4] Juran J.M., Juran on Quality by Design, The Free Pres, New York, (1992), p.12
- [5] Garvin, D.A., Competing on the Eight Dimensions of Quality, Harward Business Review, November, (1987), p.23-35
- [6] Ishikawa, K., Toplam Kalite Kontrol, KalDer Yayınları, İstanbul, (1995), s.47
- [7] Flood, L.R., Beyond TQM, John Wiley and Sons, West Sussex, P019 1UD, England, (1993), s.31.
- [8] Hoyer, W.H., What is Quality: Learn how each of eight well-known gurus answers this question, Quality Progress, (2001), p.53-62
- [9] Tekin, M., Toplam Kalite Yönetimi, Ankara, (2004), s.7
- [10] Montgomery, D.C., Design and analysis of experiements, John Wiley & Sons Inc., New York, (1991), s.16
- [11] Ertuğrul, İ., Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri, Ekin Kitabevi, Bursa, (2004), s.12
- [12] Bozkurt, R., Odaman, A., ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri, Ankara, (1997), s.6

[13] Gümüőođlu, Ő., İstatistiksel Kalite Kontrolü, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, (1996), s.8-9

[14] Gitlow, H., Gitlow S., Oppenheim A., Oppenheim R., Tools and Methods for the Improvement of Quality, Irwin Homewood, IL, U.S.A., (1989), s.65

[15] Mccoy, P.F., Using Performance Indexes to Monitor Production Process, Quality Progress, (1991), s.50

[16] Samuel I., Norman L., Process Capability Indices, Chapman and Hall, England, (1993), s.5

[17] Rath&Strong Management Consultants. Six Sigma Pocket Guide, 2nd printing, Massachusetts, (2001), s.95

[18] Bircan, H., Özcan, S., Excel Uygulamalı Kalite Kontrol, Yargı Yayınları, Ankara, (2004), s.120

[19] Dale, H., Quality Control, Prentice Hall, International Editions, (1990), s.387.]

[20] Montgomery, D.C., Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley and Sons. Inc., (1991), s.119

[21] Akın, B., İőletmelerde İstatistik Proses Kontrol Teknikleri, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, (1996), s.35

[22] Burnak, N., Toplam Kalite Yönetimi-İstatistiksel Süreç Kontrolü, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, (1997), s.54

[23] Gerald, M.S. Statistical Process Control and Quality Improvement, MacMillan Publishing, (1993), s.53