

**T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
KALİTE YÖNETİMİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SÜREÇ YETENEKLERİ VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ ÜZERİNE
BİR ÇALIŞMA**

BARAN CEBENOYAN

**Danışman
DOÇ. DR. ALİ RIZA FİRUZAN**

İZMİR 2018

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Süreç Yetenekleri Ve Ölçüm Sistemleri Analizi Üzerine Bir Çalışma" adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

16/03/2018

Baran CEBENOYAN

İmza



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Süreç Yetenekleri Ve Ölçüm Sistemleri Analizi Üzerine Bir Çalışma

Baran CEBENOYAN

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Toplam Kalite Yönetimi Anabilim Dalı

Kalite Yönetimi Programı

Kalite Yönetim Sistemi içerisinde kaliteyi iyileştirme, verimliliği artırma ve maliyetlerin düşürme gibi hedeflere ulaşabilmek için süreçler hakkında doğru karar verilmeye çalışılmaktadır. Ölçüm Sistemleri Analizi çalışması, ölçüm yeterlilik çalışması olarak da adlandırılır. Bir ölçüm sürecinin, yeterliliğini belirlemede kullanılır. Ölçüm Sistemleri Analizi çalışmasında, yaygın olarak kullanılan iki faktör vardır: ürün ve operatörler. Süreç sonucunda elde edilen ürünlerde operatörler her bir ürün üzerinde tekrarlı ölçüm yaparlar. Nihai müşteri ve devam eden süreçler içerisinde yanlış bir kararın etkisini, ürün ve ölçüm süreçlerini etkileyen değişkenlerin potansiyel nedenlerini anlamak gerektiğinden, herhangi bir süreç değerlendirme veya iyileştirme çalışmasına başlanmadan önce elde edilen ölçüm verilerinin güvenilir olup olmadığı belirlenmeli ve Ölçüm Sistemleri Analizi yapılmalıdır.

Bu çalışmada, parfüm ve esans üretimi yapan bir işletmede maliyetleri azaltmak amacıyla parfüm dolum sürecinde meydana gelen hata türleri ve sayıları incelenmiş ve en fazla yapılan hata türünün hatalı şişe dolumları olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel Kalite Kontrol araçlarından Shewhart Kontrol Kartları ve Süreç Yetenek Analizleri ile ürünlerin spesifikasyon değerlerini karşılayabilme yeteneği incelenmiştir. Süreçte ürün değişkenliğinin etkisi görülmediğinden, gerçekleşen ölçüm değişkenliğinin kaynağını belirleyebilmek için Ölçüm Sistemleri Analizi uygulanmış ve iyileştirme yapılması gereken yerler belirlenmiştir. İyileştirme çalışmalarından sonra süreç, Ölçüm Sistemleri Analizi ve Süreç Yetenek Analizi tekrar uygulanarak süreç tekrar

incelenmiş ve iyileştirmelerin maliyete etkisi hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre; süreçteki hata sayısı %50'den fazla azalmış bu nedenden dolayı firmanın karı artmış ve sigma seviyesi yükselmiştir.

Anahtar Kelimeler: İstatistiksel Kalite Kontrol, İstatistiksel Süreç Kontrol, Süreç Yetenek İndeksleri, Ölçüm Sistemleri Analizi, Gage R&R.



ABSTRACT
Master's Thesis
Baran CEBENOYAN

Dokuz Eylöl University
Graduate School of Social Sciences
Department of Total Quality Management
Quality Management Program

Within the Quality Management Systems, attempts are made to make correct decisions about the processes in order to reach the targets such as improving quality, increasing productivity and reducing costs. The Measurement Systems Analysis study is also known as measurement proficiency study. It is used to determine the adequacy of a measurement process. In the study of Measurement Systems Analysis, there are two widely used factors: products and operators. When the products obtained as a result of the process, the operators make repeated measurements on each product. Since it is necessary to understand the effect of a wrong decision in the final customer, ongoing processes and the potential causes of the variables affecting the product and measurement processes, it should be determined whether the measurement data obtained before any process evaluation or improvement work is reliable and the Measurement Systems Analysis should be performed.

In this study, in order to reduce costs in an operation that produces perfume and essence, the types and number of faults that occur in the perfume filling process have been examined and it has been determined that the faulty bottles are the most common types of faults. Shewhart Control Cards and Process Capability Analyzes from the Statistical Quality Control tools have examined the ability of the products to meet the specification values. Since the effect of product variability is not observed in the process, the Measurement Systems Analysis has been applied to determine the source of the actual measurement variance and the locations where improvement is required have

been identified. After the improvement works, the process was re-examined by applying the Measurement Systems Analysis and Process Capability Analysis again and the financial effect of the improvements was calculated. According to findings; the number of errors in the process has decreased by more than 50%, and therefore the profit of the company has increased and the sigma level has increased.

Keywords: Statistical Quality Control, Statistical Process Control, Process Capability Indexes, Measurement System Analysis, Gage R&R.



SÜREÇ YETENEKLERİ VE ÖÇLÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

İÇİNDEKİLER

TEZ/PROJE ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLOLAR LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
EKLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM KALİTE YÖNETİMİ

1.1. KALİTE TANIMI	4
1.2. KALİTE KONTROL	5
1.3. KALİTE GÜVENCE	7
1.4. İLERİ ÜRÜN KALİTE PLANLAMASI	8
1.5. KALİTE VE ALTI SİGMA YAKLAŞIMI	9
1.5.1. Altı Sigma Kalite Düzeyi Ve İstatistiksel Anlamı	10
1.5.2. Altı Sigma DMAIC Döngüsü	13

İKİNCİ BÖLÜM KALİTE KONTROL

2.1. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜNÜN KALİTEDEKİ YERİ	14
2.2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL TEKNİKLERİ	16

2.2.1. Çetele Diyagramları	16
2.2.2. Histogram	16
2.2.3. Pareto Analizi	17
2.2.4. Sebep-Sonuç Diyagramı (Balık Kılçığı Diyagramı)	18
2.2.5. Akış Şeması	19
2.2.6. Saçılma Diyagramı	20
2.2.7. Gruplandırma	20
2.2.8. Kontrol Kartları	21
2.2.8.1. Değişkenler İçin Kontrol Kartları	24
2.3. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL İŞLEM BASAMAKLARI	29
2.4. KONTROL KARTLARININ YORUMLANMASI	29
2.5. SÜREÇ YETENEK ANALİZİ	30
2.5.1. Süreç Yetenek İndeksleri	31
2.5.1.1. C_p İndeksi	31
2.5.1.2. C_{pm} indeksi	32
2.5.1.3. C_{pk} İndeksi	33
2.5.2. Süreç Yayılımı Ve Ortalama Değerin İncelenmesi	34
2.5.3. Sürecin İstikrarlığının İncelenmesi	35

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

3.1. ÖLÇÜMLERİN PLANLANMASI	38
3.2. SÜREÇ VE ÖLÇÜM DEĞİŞKENLİĞİ	38
3.3. ÖLÇÜM SİSTEMİ ANALİZ ÇALIŞMASI	40
3.4. ÖLÇÜM SİSTEMİ VARYANS TÜRLERİ	41
3.4.1. Kararlılık	41
3.4.2. Eğilim	43
3.4.2.1. Bağımsız Örnek Yöntemi	44
3.4.2.2. Kontrol Kartı Yöntemi	44
3.4.3. Tutarlılık	45
3.4.4. Doğrusallık	45

3.4.5. Hassasiyetlik	47
3.4.6. Tekrarlanabilirlik & Tekrar Yapılabilirlik	48
3.4.8. Yetenek	58
3.4.9. Performans	59

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. FİRMA TANITIMI	60
4.2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL UYGULAMA	61
4.2.1. Dolum Sürecinde İstatistiksel Kalite Kontrol Uygulamaları	62
4.2.1.1. Kalite Kontrol Kartları Ve Süreç Yetenek Analizleri	62
4.2.1.2. Ölçüm Sistemleri Analizi	66
4.2.1.3. Sebep-Sonuç Diyagramı (Balık Kılçığı Diyagramı)	74
4.2.1.4. İyileştirme Çalışmaları	76
SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKÇA	92
EKLER	

KISALTMALAR

AKL: Alt Kontrol Limiti

ANOVA: Varyans Analizi

ASL: Alt Spesifikasyon Limiti

AV: Tekrar Yapılabilirlik

C_p: Süreç Yetenek İndeksi

C_{pk}: Süreç Performansı

DF: Serbestlik Derecesi

EMS: Kareler Ortalamasının Beklenen Değeri

EV: Tekrarlanabilirlik

ISO: International Organization for Standardization

İKK: İstatistiksel Kalite Kontrol

İSK: İstatistiksel Süreç Kontrol

MÇ: Merkez Çizgi

MS: Kareler Ortalaması

MSA: Ölçüm Sistemleri Analizi

ndc: Kategori Sayısı

Ölçüm R&R (Gage R&R): Alet Tekrarlanabilirliği ve Tekrar Yapılabilirliği

Pp: Yeterliliğin Potansiyel Ölçüsü

Ppk: Yeterliliğin Gerçekleşen Ölçüsü

PV: Parça Varyansı

SS: Kareler Toplamı

TSE: Türk Standartları Enstitüsü

TÖAİK (DMAIC) : Tanımla, Ölç, Analiz et, İyileştir, Kontrol et

TV: Toplam Varyansı

UKL: Üst Kontrol Limiti

USL: Üst Spesifikasyon Limiti

$\bar{X}$ -R: Ortalama – Aralık Grafiği

$\bar{X}$ -S: Ortalama Standart Sapma Grafiği

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Sigma Seviyelerine Göre Milyonda Hata Sayıları ve Kalite Düzeyleri	s. 12
Tablo 2: Kontrol Kartları	s. 23
Tablo 3: Cp indeksinin yorumlanması	s. 32
Tablo 4: Cpk indeksinin yorumlanması	s. 33
Tablo 5: Bir Operatör Tarafından Gerçekleştirilen Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Veri Sayfası	s. 52
Tablo 6: Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Hesaplamaları	s. 55
Tablo 7: Varyans Tahminleri	s. 57
Tablo 8: Varyans Analizi	s. 58
Tablo 9: Firma Sigma Seviyesi	s. 62
Tablo 10: 50 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi	s. 67
Tablo 11: 50 ml için Gage R&R - $\bar{X}$ -R Metodu	s. 68
Tablo 12: 100 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi	s. 71
Tablo 13: 100 ml için Gage R&R - $\bar{X}$ -R Metodu	s. 72
Tablo 14: Kök Neden Analizi	s. 75
Tablo 15: 5N1K Analizi	s. 77
Tablo 16: İyileştirme Sonrası 50 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi	s. 79
Tablo 17: İyileştirme Sonrası 50 ml için Gage R&R - $\bar{X}$ -R Metodu	s. 80
Tablo 18: İyileştirme Sonrası 100 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi	s. 83
Tablo 19: İyileştirme Sonrası 100 ml için Gage R&R - $\bar{X}$ -R Metodu	s. 84
Tablo 20: İyileştirme Sonrası Firma Sigma Seviyesi	s. 88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Altı Sigma Yeterliliği	s. 12
Şekil 2: Histogram	s. 17
Şekil 3: Pareto	s. 18
Şekil 4: Akış Şeması	s. 19
Şekil 5: Saçılma Diyagramları	s. 20
Şekil 6: Kararlılık	s. 42
Şekil 7: Eğilim	s. 43
Şekil 8: Doğrusallık	s. 45
Şekil 9: Doğrusallık Grafiği	s. 47
Şekil 10: Tutarlılık ve Hassasiyet	s. 48
Şekil 11: Tekrarlanabilirlik	s. 49
Şekil 12 : Tekrar Yapılabilirlik	s. 49
Şekil 13: Pareto Analizi	s. 61
Şekil 14: 50 ml ve 100 ml için Normallik Testleri	s. 63
Şekil 15: 50 ml için $\bar{X}$ -R Kartları	s. 63
Şekil 16: 100 ml için $\bar{X}$ -R Kartları	s. 64
Şekil 17: 50 ml için Süreç Yetenek Analizi	s. 65
Şekil 18: 100 ml için Süreç Yetenek Analizi	s. 65
Şekil 19: 50 ml için Ölçüm Sistemleri Analiz Raporu	s. 69
Şekil 20: 100 ml için Ölçüm Sistemleri Analiz Raporu	s. 73
Şekil 21: Balık Kılçığı Diyagramı	s. 76
Şekil 22: İyileştirme Sonrası 50 ml için Ölçüm Sistemleri Analiz Raporu	s. 81
Şekil 23: İyileştirme Sonrası 100 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi Raporu	s. 85
Şekil 24: İyileştirme Sonrası 50 ml için Süreç Yetenek Analizi	s. 86
Şekil 25: İyileştirme Sonrası 100 ml için Süreç Yetenek Analizi	s. 87

EKLER LİSTESİ

EK 1: $\bar{X}$ -R Kartları için d_2 değerleri	ek s.1
EK 2: Kontrol Kartları Sabitleri	ek s.2
EK 3: Sigma Hesaplama Tablosu	ek s.3



GİRİŞ

Günümüzde yaşanan rekabet ortamı işletmeleri, mevcut kaynakları optimum seviyede değerlendirmek için sadece üretim ve maliyete odaklanmaya değil; aynı zamanda kaliteyi artırma ve müşteri beklentilerini karşılama çalışmalarına yönlendirmiştir. Müşteriler sadece ürünün fiyatını değil, ürün kalitesini de önemsediklerinden kalite, üretim sürecinde önemli bir yer almaktadır. Bu nedenle işletmeler kalitelerini iyileştirmek için Kalite Yönetim Sistemleri adı altında Toplam Kalite Yönetimi, İstatistiksel Süreç Kontrol (İSK), Yalın Üretim, Ölçüm Sistemleri Analizi gibi kalite iyileştirme teknikleri uygulamaktadır.

İstatistiksel süreç kontrol araçları üretim ortamında ortaya çıkan ya da çıkabilecek potansiyel hataları, en ekonomik şekilde uygulayan, analiz eden ve tekrarını önleyecek faaliyetlerin belirlenerek ortadan kaldırılması için kullanılan bir araçtır. Kısaca, süreçte var olan özel nedenlerin tespit edilerek boyutunun değerlendirilmesi noktasında kullanılabilen araçlardır.

Kalite Yönetim Sistemleri'nde süreç etkinliklerinin ölçümü, süreçler üzerinde analiz yapılabilme ve gerçekçi kararlar alabilmek için ölçüm verileri sıklıkla kullanılmaktadır. Bir süreçte iyileştirme yapılıp yapılmayacağının kararı ölçüm verilerine dayandırılarak verilmelidir. Ölçüm verilerinden hesaplanan bazı istatistiksel değerler, sürecin istatistiksel kontrol limitleri ile karşılaştırılmaktadır. Süreç, istatistiksel olarak kontrol dışına çıktığı takdirde bir takım iyileştirmeler yapılmakta; sürecin kontrol içinde olduğu tespit edilirse, sürecin uygun olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenden dolayı süreçteki gerçek değişkenliğini ortaya çıkarmak için, ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenlik tanımlanır ve süreç değişkenliğinden ayrıştırılır.

Ölçüm verileri, parçaların ve operatörlerin birbirleri ile ilişkileri değerlendirilmektedir. Bir ölçüm sisteminin analizinin amacı sistemin ortaya çıkardığı sonuçları etkileyen nedenleri daha iyi anlamaktır. Bu nedenle Ölçüm Sistemleri Analizi, bir süreç karakteristiğine ait olan verilerin etkili bir analizinin yapılabilmesi ve istatistiksel süreç kontrolü tekniklerinin uygulanabilmesi için, elde edilen verilerin güvenilir olup olmadığını belirleyebilmek için geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, parfüm ve esans fabrikasında maliyetlerinin fazla olmasından dolayı en fazla hatanın gerçekleştiği şişe parfüm dolum süreci, İstatistiksel Kontrol araçları ile araştırılmış, süreç yeteneği ve süreçten elde ettiğimiz değerlerin kontrol limitleri dahilinde olup olmadığı incelenmiştir. Süreç istatistiksel olarak kontrol altında görülmekte fakat belirlenen spesifikasyon değerlerini karşılayabilmek için yeterli değildir. Toplam varyansın içerisindeki ölçüm varyansının etkisini inceleme amacı ile Ölçüm Sistemleri Analizine başvurulmuştur. Süreçte oluşan sorunların nedenleri belirlendikten sonra iyileştirme çalışmalarına başlanmıştır. Uygulanan iyileştirme çalışmalarından sonra süreç tekrar Ölçüm Sistemleri Analizi ve Süreç Yetenek Analizleri yardımıyla incelenmiştir. Uygulama sonrası şirketin maliyetlerini ne kadar azaltabildiği hesaplanmıştır.

Bu kapsamda, tezin ana konusu olan Ölçüm Sistemleri Analizi'nin temel noktası olan Kalite Yönetimi'nin bazı detayları birinci bölümde paylaşılmıştır. Shewhart Kontrol Kartları ve Süreç Yetenek Analizleri başta olmak üzere İstatistiksel Kalite Kontrol Araçları ikinci bölümde incelenmiştir. Ölçüm Sistemleri Analizi'nin kavramları ve istatistiksel özellikleri ve analizin yapılabilmesi için gereken hazırlıklar ile analizde hangi yöntemlerin kullanılabileceği üçüncü bölümde paylaşılmıştır. Dördüncü bölümde, uygulamanın yapıldığı parfüm ve esans firması hakkında kısaca bilgi verilmiş ve süreçlerden elde edilen veriler kullanılarak yapılan uygulamanın analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Uygulama aşamasında Minitab paket programı kullanılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE YÖNETİMİ

Günümüzde üreticiler ve tüketiciler satın aldıkları her türlü mal ve hizmetin kalitesini sorgulamakta, hizmet ve ürün kalite düzeyinin artırılmasını istemektedirler. Ülkeler arasında kitle iletişim araçlarının da etkisi ile ekonomik, sosyal ve siyasal alanlarda engellerin kalktığı, uluslararası rekabetin yoğun bir biçimde yaşandığı, çalışma ortamında insanın öne çıkması ile birlikte ne istediğini bilen müşterilerin sayısı artmıştır. Bu nedenle, işletmeler mevcut küresel pazarda yerlerini korumak ve kendilerini geliştirmek için yönetim anlayışlarını değiştirmişlerdir. Tüm bu gelişmeler ışığında, klasik yönetim anlayışında "ürün ve kar odaklı" olarak düşünülen rekabet, modern yönetim anlayışında "kalite ve müşteri odaklı" olarak düşünölmeye başlanılmıştır (Acuner ve Akın, 1999).

Kalite yönetimi kurumsallığın unsurlarını ayrı ayrı ve bir bütün olarak tanımlayan, süreç içerisindeki uygulamalarda oluşan problemlere yönelik düzeltme tedbirleri alan, organizasyonu önceden planlayan ve sistemin sürekli yenilenmesini öngören bir anlayış biçimidir. Kalite sistemi içerisinde kurumsal iş ve işlemlerin tanımlanması, geliştirilen teknikler ve standartlar çerçevesinde analiz edilmesi, değerlendirilmesi ve yeniden yorumlanarak ilgili alanlarda programların geliştirilmesi öngörülmektedir. Kalite Yönetimi, bir örgütteki değişik grupların müşteri tatminini de göz önünde tutarak; pazarlama, mühendislik, üretim ve hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek amacıyla; kalite geliştirme, kalite koruma ve kalite iyileştirme çabalarını birleştiren bir yönetim felsefesidir (Karcıoğlu, 2000: 106).

Müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin sürekli değişiyor olması, rekabetçi koşullar ve teknolojik ilerlemeler işletmeleri, ürünlerini ve süreçlerini sürekli iyileştirmeye ve geliştirmeye zorlamaktadır. Müşteriler, ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak özelliklere sahip ürünleri şartnameler yardımıyla belirtmektedir. Bir ürünün kabul edilebilirliği en son müşteri tarafından belirlenmektedir. İşletmenin belirlediği politika ve hedefler istenen sonuçları belirlemekte ve işletmeye bu sonuçları elde etmek için kaynaklarını kullanmasında yardımcı olmaktadır. Kalite politikası, kalite

hedeflerini oluşturmak ve gözden geçirmek için bir çerçeve sağlar. Kalite hedefleri, kalite politikası ve sürekli iyileştirme teminatları ile tutarlı olmalı ve bunların seviyeleri ölçülebilir olmalıdır. Kalite hedeflerinin ulaşılmasının, ürün kalitesi, süreçlerin etkinliği, mali performans ilgili tarafların güveni ve memnuniyeti üzerinde olumlu etki bırakır. Azaltılan maliyet giderleri, artan verimlilik ve yükselen kalite ise karlılığın artmasına sebep olarak çalışanlara daha iyi ücretler ödeme imkânları yaratacaktır. Böylece işletme yararına olumlu bir döngüye girilmiş olunacaktır (Bagdoniene ve Jakstaite, 2006: 22).

1.1. KALİTE TANIMI

Kalite tanımı günümüz koşullarında müşteri memnuniyetini esas alan dar bir kapsamda ifade edilmektedir. Müşteri, ürünü istediği zaman, istediği miktarda ve alabileceği fiyata alıp tüketmek ister. Müşteri odaklı kalite diyebileceğimiz bu yaklaşımda; kaliteyi müşteri beklenti ve isteklerinin belirlemesi, ürün ve hizmetin bu belirlemelere göre yapılan tasarıma uygun yapılması, fiyatın satın alınabilir seviyede olması ve kullanım sürecinde performansı için gereken hizmetlerin verilmesi şeklinde tanımlanabilir (Kanıt, 2005).

Kalitenin tarihi çok eskilere dayanmakla birlikte mükemmellik olarak kalite tanımının yapılması 18. yüzyılın ortalarında başlamıştır. Ticaret koşulları nedeniyle fiyat rekabetine odaklanılarak kalite, düşük fiyatla kıyaslanmıştır. Böylece zamanla ürün kalitesindeki düşüşün ticareti zorlaştırdığı gözlenmiş, kalitenin önemi artmaya başlamıştır. Kalitedeki gelişmelerin çoğu 19. yüzyıldan 20. yüzyıla kadar Amerika Birleşik Devletleri'nde olmuştur. Henry Ford'un yığın üretimi, daha yüksek kalite standartlarına ve Amerika'nın üretim sisteminin geniş ölçekli yayılımına öncülük etmiştir (Öztürk, 2009: 6).

Taguchi'ye göre kalite, ürünün toplumda neden olduğu minimum zarardır. Deming kaliteyi, gereksinimleri tatmin edebilme kapasitesi olarak tanımlamıştır. Gilmore'a göre kalite, özel bir ürünün özel bir müşterinin gereksinimlerini karşılama derecesi olurken, Crosby; kalite ihtiyaçlara uygunluktur demiştir (Doğan, 2000: 17). Bir başka kalite öncüsü olan Feigenbaum, "Bir ürün veya hizmetin kalitesi, müşteri gereksinimlerini mümkün olabilen en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan

mühendislik, üretim, sürdürülebilirlik ve pazarlama özelliklerinin toplam bileşimidir.” (Feigenbaum, 1991: 7) Juran’a göre kalite bir ürünün sağlanabilirlik, güvenilebilirlik ve sürdürülebilirlik derecesidir (Juran, 1979: 6-7). Juran 1962 yılında kalitenin endüstride kullanılan sekiz terimini belirlemiştir. Bunlar, pazaryeri kalitesi, tasarım kalitesi, uygunluk kalitesi, tüketici tercihi, kalite özelliği, yeterince sınıflandırma için özellikli olmayan genel mükemmellik ifadesi, ürün kalitesini elde etmek için endüstride sorumlu olan fonksiyonun ismi, bir şirketteki kalite ile ilgili özel departmanın ismi (Kalite Güvence Departmanı gibi) (Öztürk, 2009: 8). Kalite adına yapılmış bu çeşitli tanımlardan anlaşılacağı üzere, kalite ve müşteri arasındaki ilişki unsuru öne çıkmaktadır. Müşteri memnuniyeti, kalite için önemli bir rol oynamaktadır. Bu anlamda, verimli, tedbirli ve esnek üretim, kalite için vazgeçilmezdir. Kalite kavramı altında üretim, hızlı ve etkili, bir program dahilinde, zamanında ve tek seferde yapılmalıdır.

Kalite kavramı, böyle çeşitlilik gösterdiği için, kalite ile ilgili çeşitli kuruluşlar, çeşitli tanımlarda bulunarak, kalite kavramını standart bir kavram haline getirmeye çalışmışlardır. Amerikan Kalite Kontrol Derneği’ne (ASQC) göre, bir mal yada hizmetin belirli bir gerekliliği karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerin tümüne birden kalite denir. Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu’na (EOQC) göre kalite, belirli bir malın veya hizmetin, müşterinin isteklerine uygunluk derecesidir. Alman Standartlar Enstitüsü’ne (DIN) göre kalite, bir ürünün, ön görülen ve şart koşulan gereklere uyum yeteneğidir. Japon Sanayi Standartları Komitesi’ne (JIS) göre, ürün yada hizmeti, ekonomik bir yoldan üreten ve tüketici isteklerine cevap veren üretim sistemi kalite olarak adlandırılmıştır. Türk Standartları Enstitüsü’ne (TSE) göre de bir ürün yada hizmetin, belirlenen veya olabilecek gereksinimleri karşılama yeteneğine dayanan özelliklerinin toplamına kalite denir (Doğan, 2000: 17).

1.2. KALİTE KONTROL

Kaliteyi oluşturmak, korumak, geliştirmek ve üretimi alıcının tatmin olacağı en ekonomik düzeyde sürdürmek için organizasyonlar tarafından uygulanan işlemler dizisi olarak tanımlanabilir (Anadol, 1998).

Bir üretim sistemi içinde sürecin gerçek performansının gözlemini ve gözlemin önceden belirlenmiş hedeflere uygun bir şekilde, sürdürülecek olan faaliyetlere ilişkin yetki ve sorumluluğun dağıtılıp bu hedefler doğrultusunda çalışılmasına, kalite kontrol denilmektedir. Kalite Kontrol, işletmenin kalite amaçlarını gerçekleştirmek amacıyla tüm görevlerin veya fonksiyonların yerine getirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Caplen, 1978: 31). Kalite kontrolün işletme fonksiyonları, aşağıdaki gibidir;

Yeni Tasarım Kontrolü: Üretime başlamadan önce ürüne ilişkin maliyet-kalite, güvenilirlik-kalite, performans-kalite standartlarının, üretim aşamasında belirecek kalite sorunlarını ortadan kaldıracak şekilde oluşturulmasıdır.

Gelen Malzeme Kontrolü: Üretimde kullanılacak her türlü malzeme, hammadde ve yarı mamulden, önceden belirlenmiş kalite spesifikasyonlarına uyanlarının kabulüdür.

Süreç Sırasındaki Kontroller: İmalat işlemlerinin başlangıcından nihai ürünün ortaya çıkışına kadar devam eden sürecin içerisinde üretim kaynağında kusurlu parçaların önüne geçilmek ve kalite spesifikasyonlarından sapmaları önlemek amacıyla yapılan kontroldür.

Mamul Kontrolü: İmalat işlemleri bitmiş ve artık sevk edilecek mamul haline gelmiş ürün üzerinde yapılan kontrollerdir. Bu aşamada mamulün, bitmiş halde, istenilen spesifikasyonlara uyup uymadığı kontrol edilir.

Özel Süreç Etütleri: Ürün kalite karakteristiklerinde yapılabilecek iyileştirmelerin belirlenmesi ve ürün - kalite sürecinde kusurların nedenleri ve yerlerinin belirlenmesi amacıyla sürdürülen test ve çalışmalardan oluşmaktadır (Caplen, 1978: 39).

Kusurlu mamul üretimini önlemeye yönelik bir çalışma olarak karşımıza çıkan Kalite Kontrol'ü, Ishikawa altı kategoride ele almaktadır. İlk olarak amaç ve hedefler belirlenir, sonra da bu amaçlara ulaşmak için yöntemler saptanmaktadır. Kalite üzerine çalışacak kişilerin yetiştirilmesi gerekmekte ve iş standartlara uygun bir biçimde uygulanmaktadır. Uygulamanın sonuçları, nedenleri ile denetlenip düzeltici faaliyetlerin başlaması ile kontrol çemberi tamamlanmaktadır. Bu döngü kendini sürekli tekrarlaması ile firma içinde kalite kontrol sağlanmış olur (Ishikawa, 1995: 61).

1.3. KALİTE GÜVENCE

Kalite güvencesi, müşterinin hatalı bir ürünü satın almamasını garanti etmektedir; bu, ürün kontrolü ile değil, süreç kontrolü ile yapılmaktadır. Kalite güvence, ürün veya hizmetin müşterinin güvenle satın alabilmek ve kullanabilmek için işletme tarafından yürütülmesi gereken planlı ve sistematik faaliyetlerin bütünüdür (Sanders, 1993: 53).

İşletmeler, kalite güvenceyi sağlayabilmek için müşteri ihtiyaçlarını tam ve doğru olarak anlamalıdır. Etkililiğini sağlayabilmek için, üretim, montaj, ve muayene işlemlerini denetlemeli ve değerlendirmeli, kayıtlarla güven sağlama çalışmaları desteklenmelidir (Bozkurt ve Odaman, 1996: 11). Zamanla makineler aşınır veya istenilen kalite düzeyinde çalışmamaktadırlar. Kalite güvencesini bilen bir işletme tipik olarak tüm imalat hattı boyunca süreci düzenlemek üzere, veri toplamak için istatistiksel metotları kullanmakta; böylece makine aşınması, operatör farklılıkları, hazırlık değişiklikleri, çevresel faktörler gibi değişkenlerin etkileri azaltılmaktadır (Sanders, 1993: 27).

Kalite Güvence Sistemi'ni uygulayan organizasyonlar işletmelerine önemli faydalar kazandırabilirler. Bu faydaların başında organize çalışma ortamı, yüksek müşteri memnuniyeti ve dolayısı ile tekrar satın alma eğilimi gösteren ve karlılığı arttıran müşteriler gelmektedir. Sistem, aşağıdaki temel faydaları sağlayacaktır:

Süreç İyileştirmesi; Kalite Güvence Sistemi çalışmaları süresince süreçler gözden geçirilerek tanımlanmakta, sistem gereksinimleri sürece dahil edilmektedir. Süreçte yer alan çalışanların görüşlerinin iyileştirilmesi durumunda süreçlerin iyileştirileceği beklenmektedir.

Kalite Bilinci; Uygulama sürecinde verilecek eğitim ve yönlendirmeler ile, çalışanların dahil oldukları süreçleri benimsemeleri ve bu süreçleri iyileştirmede sorumluluk sahibi olma isteklerini arttırmaktadır. Kalite Güvence Sistemi kapsamında oluşturulan ya da iyileştirilen kalite göstergeleri, süreç ölçümleri, hataların önüne geçilmesinde çalışanlara yol gösterici olmaktadır. Kalite kültürünün oluşmasını sağlayarak çalışanların alıştıkları bireysel eleştirilerden çok, süreçlerdeki yapısal hatalara odaklanmalarını teşvik etmektedir.

Verimlilik Artışı; Kalite Güvence Sistemi, işlerin nasıl yürütüldüğü ve izlendiği ile ilgili bir disiplindir. Bu disiplin ve sistem çalışanların eğitim ve adaptasyonunu kolaylaştırarak hatalarını azaltmaktadır.

Sürecin Kontrolünü Sağlama; Sürecin dengeli ve zaman içerisindeki gelişmesinin tahmin edilebilir olmasıdır. Sürecin parametreleri sürekli olarak gözden geçirilmek ile beraber süreçteki değişimler de kaydedilmektedir. Hedef; önceden belirlenen standartlara uygun bir şekilde sürecin müşterinin istediği spesifikasyon değerlerinin içerisinde olmasıdır.

Maliyetlerin Azalması; Sürecin kontrol altında tutma, İstatistiksel Süreç Kontrol yolu ile kalite güvence, daha az hurda, daha az yeniden işleme süresi ve daha fazla müşteri tatmini demektir.

Sürekli İyileştirme; Sistemin etkinliğini arttırmaya yönelik sistematik bir yaklaşımdır. Müşteri memnuniyeti, ürünler, süreçler ve tedarikçiler ile ilgili düzenli olarak elde edilen bilgilerin analizi sonucunda, belirlenen uygunsuzluklar hesaba katılarak ve bu uygunsuzluklarda düzeltmeler yapıp tekrar meydana gelmemesi için önlemler alınarak, ürünlerde, süreçlerde ve Kalite Güvence Sistemi'nde iyileşme sağlanmaktadır (Sanders, 1993: 28).

1.4. İLERİ ÜRÜN KALİTE PLANLAMASI

Bir ürünün müşteri memnuniyetini sağlayabilmesi için gerekli adımların tanımlanmasını ve gerçekleştirilmesini sağlayan bir yöntemdir. Aynı zamanda uygunsuzlukların önüne geçmek ve müşterilere ulaşmasını önlemek için kuvvetli araçlar kullanan ve sürekli iyileştirmeyi amaçlayan bir süreçtir. Ürün Kalite Planlaması döngüsü içerisinde uygulama, yöntem ve analitik teknikler ne kadar erken tamamlanırsa sonuçlar da o kadar iyi alınmaktadır.

Ürün Kalite Planlama Döngüsü olarak PUKÖ döngüsü (Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al) seçilmiştir. İlk adım olan “Planla” ile sürecin hedefleri belirlenmekte ve hedeflere ulaşmak için yapılacak işlemler planlanmaktadır. İkinci adım olan “Uygula”, seçilen küçük bir örneklem üzerinde uygulanır. Etkiler, üçüncü adım olan “Kontrol Et” aşamasında analiz edilir. Son adım olan “Önlem Al” ile

uygulama sonuçları incelenir ve gerekli önlemler alınır. Süreç içinde gerekli görüldüğünde bu döngü tekrarlanabilmektedir (Işığışok, 2005: 23).

İleri Ürün Kalite Planlaması'nın bir kuruluştaki uygulanmasında takip edilecek faaliyet aşamaları şunlardır;

- Projenin tanımlanması ve planlanması,
- Ürün tasarımı veya ürün geliştirme doğrulaması,
- Süreç tasarımı veya süreç geliştirmesi,
- Ürün ve sürecin geçerlilik kazanması,
- Geri bildirimin değerlendirilmesi ve düzeltici faaliyetler.

Ölçüm Sistemleri Analizi, İleri Ürün Kalite Planlaması aşamalarında kullanılan bir istatistiksel metottur. Projenin tanımlanması ve planlanması aşamasında ise iş planları yapılmakta ve müşterilerin istekleri doğrultusunda süreç tanımlanmaktadır. Ürün tasarımı veya ürün geliştirme doğrulaması ile ürünün güvenilirlik, kalite hedefleri ve karakteristikleri belirlenir. Süreç tasarımı veya süreç geliştirmesi ile ölçüm ekipmanları belirlenmekte ve ürünün tekrar üretilebilirliği incelenmekte olup, ayrıca bu aşamada Ölçüm Sistemleri Analizi'nin planlanması da yapılmaktadır. Planlamanın ardından ürün ve sürecin geçerlilik kazanabilmesi için Ölçüm Sistemleri Analizi Çalışması yapılmaktadır.

1.5. KALİTE VE ALTI SİGMA YAKLAŞIMI

Altı Sigma yaklaşımı, müşteri gereksinimlerini karşılayacak biçimde ürünü iyileştirmek, kayıpları ve maliyetleri düşürmek, verimliliği arttırarak sürekli kılmak için istatistiksel araçları kullanarak kaliteye ve verimliliğe projelerle odaklanan bir yöntemdir. Hatalara sebep olan ana nedenlere ulaşılmasını ve değişkenliği azaltan önlemler alınmasını sağlamaktadır.

Altı Sigma, herhangi bir üretim sürecine ilişkin ölçülebilir gözlem değerlerinin değişkenliğini veya birbirinden uzaklığını ölçen bir istatistiksel yöntemdir. Gözlem değerlerinin değişkenliği standart sapma ile belirlenmekte olup, değerler arasındaki değişkenlik arttıkça, standart sapma büyümekte, değişkenlik azaldıkça standart sapma küçülmektedir (Işığışok, 2005: 89).

Amacı, problemleri çözmek, verilere dayalı karar verme sürecinden faydalanmak ve iyileştirmelere dayalı, altı sigma kalitesinde yeni ürün ve süreç tasarlamaktır. Süreçlerdeki hataların ana nedenlerine ulaşarak değişkenliği azaltan önlemler alıp, analiz ederek en aza indirgenmesi sağlanmaktadır. Kısaca Altı Sigma, sürekli iyileştirmeye dayalı, hedeflere uygun süreç yönetimi sağlayan, bilimsel bir yaklaşımdır.

Altı Sigma çalışmalarının başarıya ulaşılabilmesi için, ölçme ve iyileştirme süreçlerinde çalışacak yeterli bilgi donanımına sahip nitelikli kadrolar oluşturulmalıdır. Yeşil kuşak, kara kuşak, uzman kara kuşak gibi tanımlarla bu kadroların nitelik ve işlevleri belirlenmiştir (Kasa, 2003: 33). Yeşil kuşaktan uzman kara kuşağa gidildikçe problem çözme yetenekleri, eğitim seviyeleri ve uygulanan istatistiksel araçlar artmaktadır.

Altı Sigma, uygulama yapacak kişilere ilgili eğitimlerin verilmesi gerektiğini savunmaktadır. Kişilerin yetkinlikleri doğru tanımlanmalı, eğitim ihtiyaçları belirlenmeli ve değerlendirilmelidir. Tüm başarılı sistemlerde üst yönetimin katılımcı desteğinin olduğu görülmektedir.

Altı Sigma uygulamalarında; projeleri saptayan yöneticiler, rehberlik eden ve öğreten gruplar, öncülük eden gruplar, ölçüm araçlarını iyi kullanan gruplar gibi çeşitli gruplar bulunmaktadır (Goh, 2002: 403). Altı Sigma organizasyonlarında görev alan personeller, aldıkları eğitime göre farklı unvanlara, yetki ve sorumluluklara sahiptirler.

1.5.1. Altı Sigma Kalite Düzeyi Ve İstatistiksel Anlamı

Altı Sigma, ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin ne kadar iyi olduğu hakkında bilgilendiren sayısal bir göstergedir. Sürecin, sorunsuz bir üretim sürecinden ne kadar saptığını göstermektedir. Sürecin altı sigma seviyesinde olması, üründe veya hizmette milyonda 3,4 hataya denk geldiğini ifade etmektedir. Süreçteki değişimlerin kök nedenleri izlenmekte ve değişim nedenlerini ortadan kaldırarak kalite düzeyini altı sigma seviyesine getirmeye çalışılmaktadır (Argüden, 2002: 23).

Sigma, ana kütleyle ilişkin herhangi bir veri kümesinin normal dağılımının standart sapmasını gösteren bir parametredir. İstatistiksel bir dağılımda, tüm verilerin

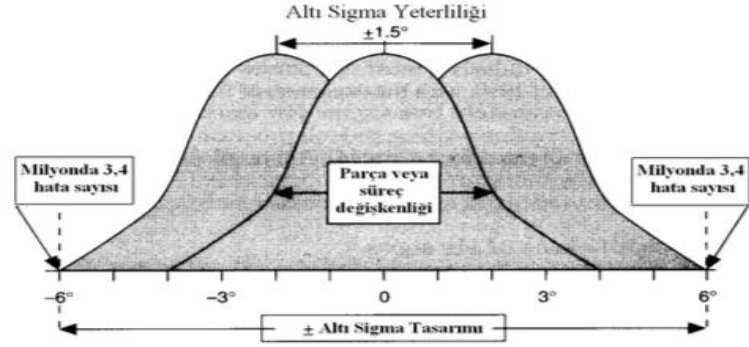
ortalama değeri ile arasındaki değişimleri gösteren bir değişkenlik ölçüsüdür (Argüden, 2002: 15). Bir normal dağılım, ortalama (μ) ve standart sapma (σ) olmak üzere iki parametreden oluşmaktadır. Standart normal dağılımda ise, tek bir ortalama ve standart sapma vardır (Gürsakal, 2005: 57). Veriler normal dağılıma sahip ise, değerlerin % 99,73'ü ortalamadan ± 3 sigma aralığında yer almaktadır.

Bir sürecin sigma seviyesi, üretim sürecinin iyi çalışıp çalışmadığını ve hatanın hangi sıklıkla ortaya çıktığını gösteren bir süreç yeterlilik ölçüsüdür (Işığışok, 2005: 89). Altı Sigma yaklaşımı, süreçteki değişkenliği azaltmayı, standart sapmayı küçülterek alt ve üst sınırlar arasında iki yönde 6 standart sapmayı ($\pm 6\sigma$) sığdırmayı ve hatalı ürün sayısını 3,4 seviyesine indirgemeyi amaçlamaktadır. Altı Sigma uygulamalarında, elde edilen veriler nicel değerler ile ifade edilmekte, sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmektedir. Elde edilen sigma seviyesi, hatanın ne miktarda gerçekleştiğini göstermektedir. Bulunan sigma seviyesinin 6'ya doğru yaklaşması, hatanın azalmasını ifade etmektedir (Pande ve Holpp, 2002).

Sigma kalite düzeyi ve milyonda hata parça sayısı arasındaki ilişki iki farklı hipotezde incelenmektedir. Birincisi; sürecin ortalamasının belirlenmiş bir hedef değere ayarlandığı varsayımdır. İkincisi; normal dağılımın ortalamasının $1,5\sigma$ kayması varsayımı ile alt ve üst sınırları göstermektir (Şekil 1). Amaç, süreç değişim miktarının, alt ve üst spesifikasyon sınırları arasındaki değerini $\pm 6\sigma$ biçiminde azaltmaktır. Tablo 1'de tek aşamalı süreç veya parça için hata seviyeleri ve ilişkin olduğu sigma düzeyleri gösterilmektedir.

Bir sürecin 3σ kalite seviyesinde olması, bir milyon ürün veya hizmette 66810 hatalı ürünün veya hizmetin üretilmesi anlamına gelmektedir (Tablo 1) (Desphande vd., 1999: 65).

Şekil 1: Altı Sigma Yeterliliği



Altı Sigma'nın temelinde müşteri odaklılık yatmaktadır. Bu yüzden işletmeler, öncelikle müşterilere daha iyi değerler sağlamayı hedeflemektedir. 3σ 'dan 6σ kalite düzeyine doğru ilerledikçe milyonda kusur sayıları parabolik olarak azalmaktadır. Hataların azalması gelişme düzeyinde 3σ 'dan 4σ 'ya yaklaşık 10 kat, 4σ 'dan 5σ 'ya yaklaşık 30 kat, 5σ 'dan 6σ 'ya ulaştığında yaklaşık 70 kat artmaktadır.

Tablo 1: Sigma Seviyelerine Göre Milyonda Hata Sayıları ve Kalite Düzeyleri

Sigma Seviyesi	Milyonda Bir Hata Sayısı	Kalite Düzeyi (%)
6 σ	3.4	99,997
5 σ	233	99,98
4 σ	6210	99,40
3 σ	66810	93,30
2 σ	308538	69,00
1 σ	691462	31,00

Günümüzde çoğu işletme 3 veya 4 sigma düzeyinde çalışmaktadır. Tablo 1'deki gibi 3 ve 4 sigma kalite düzeylerinde çalışan bir işletmede milyonda hata oranları 66810 ile 6210 arasında değişmektedir. Eğer bir tasarım, sürecin ± 6 sigma (normal süreç değişiminin iki katı) değişimini kabul ederse, ürünlerin % 99,99966'sı spesifikasyon limitleri arasında olur. Milyon başına üretimde 3,4'den daha fazla hatalı parça kabul edilmez (Öztürk, 2009: 455).

1.5.2. Altı Sigma DMAIC Döngüsü

Altı sigma yaklaşımının uygulanmasında, öncelikle işletmenin stratejik ve kritik başarı faktörlerine yönelik uygun projeler oluşturulmaktadır. Bu projeleri yönetecek bir takım seçilmektedir. Takımda bulunanlar yeşil kuşak veya kara kuşak eğitimlerden geçirilerek; Altı Sigma iyileştirme planı veya yol haritası olarak bilinen DMAIC aşamalarını uygulamaktadırlar. Bu, aşamalar aşağıdaki gibidir (Sheehy ve diğerleri, 2002: 1–6):

- Tanımlama (T) - [Define (D)]
- Ölçme (Ö) - [Measure (M)]
- Analiz (A) - [Analyse (A)]
- İyileştirme (İ) - [Improve (I)]
- Kontrol (K) - [Control (C)]

Bu süreçte uygunsuzlukların nedenlerini tanımlayıp, düzeltmek için sürecin nasıl tanımlanacağı, hesaplanacağı, iyileştirileceği, ne şekilde analiz ve kontrol edileceği belirlenmektedir. DMAIC döngüsü ile Altı Sigma projeleri ölçülüp, değerlendirilmekte ve döngü takip edilerek gerekli Altı Sigma araçları kullanılmaktadır. Maliyet, kalite ve plan iyileştirmeleri ile ortaya çıkan problemlerin çözümü sağlanmaktadır (Lynch , 2003: 38).

İKİNCİ BÖLÜM

KALİTE KONTROL

Bir üretim sistemi içinde sürecin gerçek performansının gözlemini ve gözlemin önceden belirlenmiş hedeflere uygun olarak, sürdürülecek olan faaliyetlere ilişkin yetki ve sorumluluğun dağıtılıp bu hedefler doğrultusunda çalışılmasına, kalitenin kontrolü denilmektedir. Kalite Kontrolü, bir işletmenin kalite amaçlarını gerçekleştirmek amacıyla tüm görevlerin veya fonksiyonların yerine getirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Caplen, 1978: 31). Bu kontrol, ürün miktarına ve kritiklik seviyesine, rastgele örnekleme miktarına göre yapılır. Kalite kontrol, rastgele örnekler aracılığı ile sürekli teste dayanarak denetleme yapan ve çıktıların kalitesini üretim süreci boyunca sürdüren ve geliştiren, ekonomik ve etkili bir sistemdir.

ISO “kalite kontrolü” şu şekilde tarif etmektedir: Geniş anlamda kalite kontrol; kaliteyi korumak, geliştirmek ve üretimi alıcının tatmin olacağı en ekonomik seviyede sürdürülebilmesi için uygulanan işlemler dizisidir. Dar anlamda kalite kontrol ise, bir ürünün spesifikasyonlarına uygunluğunu denetleme ve doğrulama işlemidir. Kalitenin gerçekleştiği tüm noktalarda kontrol gereklidir. Kalite kontrol, işletmenin tüm bölümlerini ilgilendiren bir fonksiyondur. Genel müdürden, operatöre kadar her bir personelin sorumluluk alarak üretimin her sürecinde gerçekleştirdiği işlemler kümesidir. Bir işletme organizasyonunda kalite kontrolüne, müşteriyi her bakımdan tatmin edecek üretimi sağlamak için çeşitli gruplar tarafından kalitenin devam ve gelişimi konusunda harcanan çabaları koordine eden bir sistem olarak bakılabilir (Bircan ve Özcan, 2003).

2.1. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜNÜN KALİTEDEKİ YERİ

İstatistik, verileri belirli bir düzende kayıt altına alma, analiz etme, düzenleme, karşılaştırma gibi fonksiyonları içermektedir. Girdilerin çıktıya dönüşmesine, diğer bir deyişle hammadde, yarı mamul ve ara ürünlerin bitmiş ürün haline gelmesi olayına “süreç” denir. Kontrol ise süreç esnasında tasarlanan ile üretilen ürün arasındaki farkın tolerans sınırları dahilinde olup olmadığını başka bir

deyişle planlanan ile gerçekleşen ürün arasındaki farkın tolerans limitleri arasında olup olmadığının incelenmesidir. Özet olarak istatistiksel kalite kontrol, istatistiksel yöntemler aracılığı ile, ürünün tasarım aşamasında planlanan tolerans bandı içinde kalmasını sağlayacak sistem bütünüdür. Sürekli iyileştirme yolunda atılan ilk adımdır. İstatistiksel kalite kontrol, basit bir kalite muayenesi değildir. Kalite kontrol, üretimin normal şartlar altında oluşturulmasını ve yürütülmesini sağlamada önemli bir rol oynayan, sürece bir aksaklık nedeni veya özel sebep karışıp üretimin kontrol dışına çıkması halinde bu durumu hemen gözler önüne sererek, gerekli tedbirlerin zamanında alınmasına imkan veren bir yöntemdir (İşçil, 1971: 16). İstatistiksel kalite kontrolün amacı, üretim sürecini kontrol altında tutarak kusurlu malların oranının olasılığını en düşük düzeye getirmek olarak özetlenebilir (Ünver, 2011: 35).

Üretim sisteminde istatistiksel kalite kontrol üç şekilde kullanılmaktadır. Satın alınan ham madde ve materyalin kontrolü yapılır. Burada kullanılan istatistiksel kalite kontrol tekniği, numune örneklemesidir. Üretim hatlarındaki üretim sürecinde yapılan kalite kontrol çalışmalarında, makine, insan, yöntem, ham madde vb. performanslarından dolayı ortaya çıkabilecek sorunları belirlemek amacı ile süreç sürekli olarak kontrol altındadır. Burada istatistiksel süreç kontrol tekniklerinden kontrol kartları kullanılmaktadır. Ürün tamamlandıktan sonra ürünün istenen özelliklere ve standartlara uygunluğunun belirlenebilmesi için muayene yapılmaktadır. Burada da çeşitli örnekleme tekniklerinden yararlanılmaktadır. (A Gabor, 1990: 31).

Sadece üretimde kullanıldığı düşünülen istatistiksel süreç kontrolü diğer bölümlerde de gelişme/geliştirme aracı olarak kullanılabilir. İstatistiksel kalite kontrol uygulamalarının başlıca faydaları aşağıdaki gibidir:

- Kalite seviyesinin artırılması,
- Verimliliğin artırılması,
- Tamir ve firelerinin azaltılması,
- Maliyetlerin düşürülmesi,
- Kontrol kriterlerinizin açık ve basit olarak belirlenmesi,
- Standartların geliştirilmesi,
- Azalan problemler sebebiyle çalışanlar arası ve/veya yöneticilerle olan ilişkilerin geliştirilmesi (Bircan ve Özcan, 2003).

2.2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL TEKNİKLERİ

Başlıca istatistiksel süreç kontrol araçları olarak aşağıdaki araçlar kullanılmaktadır:

- Çetele Diyagramları
- Histogram
- Pareto Analizi
- Sebep - Sonuç Diyagramı (Balık Kılçığı)
- Akış şeması
- Saçılma Diyagramı
- Gruplandırma
- Kontrol Kartları

2.2.1. Çetele Diyagramları

Verilerin kayıt edilmesi için kullanılan, belirli bir zaman aralığında oluşan hataların kayıt altına alındığı bir istatistiksel kalite kontrol aracıdır. Çetele diyagramları hataların tipini ve ortaya çıkma sıklığını gösterir ancak nedenini ve kaynağını göstermez (Gümüšoğlu, 2000: 140).

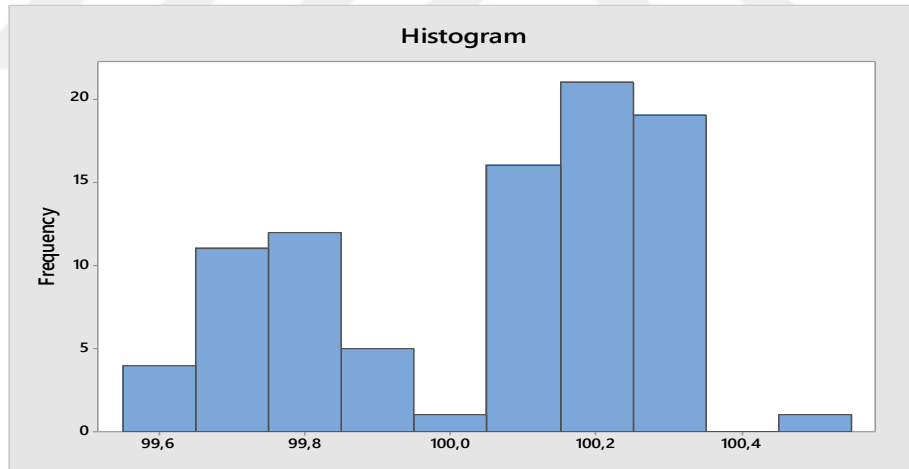
2.2.2. Histogram

Histogramlar, veri sıklıklarının grafiksel olarak ortaya konmasını sağlar. Histogramda veriler ne kadar fazla olursa, elde edilen histogram o derece gerçeğe yakındır. Histogramlar nitel ve nicel verilerin belirli bir zaman aralığındaki gözlem dağılımının değişkenliğini grafiksel olarak gösterir. Uygun sınıf sayısı belirlenerek sınıf aralıkları bulunur. Çetele diyagramlarından elde edilen verilerden her sınıf için bir frekans değerine ulaşılır. Frekans değerleri için kullanılacak çubuk diyagramlar yatay eksene yerleştirilir. Histogramlarda her çubuk için taban uzunluğu birbirine eşittir ve çubuğun orta noktasını gösterir. Frekans değerlerinin büyüklüğüne göre çubukların dikey uzunlukları ortaya çıkar (Gümüšoğlu, 2000: 141).

Histogramları çizebilmek için yatay eksene toplanan veriler sınıflandırılarak yazılır. Sınıflara düşen frekans sayısı da düşey ekseninde gösterilmelidir. Bu şekilde, çizilen histogramların dağılımının büyüklüğünü, simetri/asimetri durumunu ve şeklini ortaya koyar. Böylece mevcut veya olası problemlerin yapısıyla ilgili önemli veriler elde edilebilir. Ayrıca histogramlar; spesifikasyon ile sonuç arasındaki ilişkilerin araştırılmasında, normal olmayan verilerin belirlenmesinde, malzeme ve değişik verileri sınıflandırarak üretim süreci içerisinde değişikliklere neden olan faktörlerin gözden geçirilmesinde kullanılmaktadır (Akın ve diğerleri, 2001: 418).

Histogramlarda sınıf sayılarının belirlenmesi ve sınıf serilerinin oluşturulmasında izlenen yöntem önce toplanan verileri küçükten büyüğe doğru bir düzene koymak, sonra en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farkı bulmak ve sınıf aralığını bulmak için bu farkı, sınıf sayısına bölmek şeklindedir. Sınıf sayısı da pratik olarak verilerin sayısının karekökü alınarak bulunabilir (Akın ve diğerleri, 2001: 419).

Şekil 2: Histogram



2.2.3. Pareto Analizi

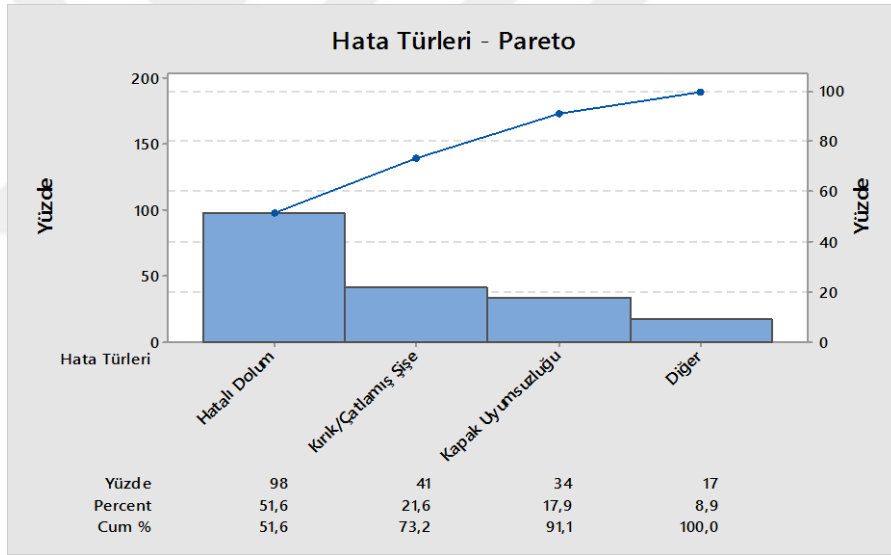
Pareto analizi, verileri sınıflandırarak önceliklerin belirlenmesine yardımcı bir tekniktir. Bu diyagram, her bir unsurun, önem derecesine göre sonuca katkısını göstermek ve önceliklendirmek için kullanılmaktadır.

Sebeplerin en önemli %20'si, sonuçların %80'ini; sonra gelen %30'u, sonuçların %15'ini ve geri kalan %50'si ise sonuçların sadece %5'ini

oluşturmaktadır. Buradan yola çıkarak maliyetin yaklaşık %80'ninin elemanların sadece %20'sinden kaynaklandığı sonucuna ulaşabiliriz. Bu oranlar nedeniyle Pareto prensibine literatürde “80-20” kuralı da denilmektedir (Akın ve diğerleri, 2001).

Pareto grafikleri üç kısımdan oluşmaktadır. Birincisi, sol koordinatta bulunan hata sayıları; ikincisi sağ koordinatta bulunan ve kümülatif olarak hesaplanmış olan hata yüzdeleri; üçüncüsü ise yatay ekseninde bulunan hata türleridir. Bu grafiklerin amacı en önemli hatayı ortaya çıkarmaktır. Özellikle kalite kontrol ve geliştirme çalışmalarında sorunların nedenleri araştırılırken hangi hataların daha yüksek bir orana sahip olduğunu belirleyebilmek için bu teknik kullanılmaktadır. Pareto grafiği, hatalı parçaların ve hata tiplerinin incelenmesinde çalışanlara yol göstererek daha doğru noktalar üzerinde çalışmaya yönlendirmektir (Akın ve diğerleri, 2001).

Şekil 3: Pareto



2.2.4. Sebep-Sonuç Diyagramı (Balık Kılçığı Diyagramı)

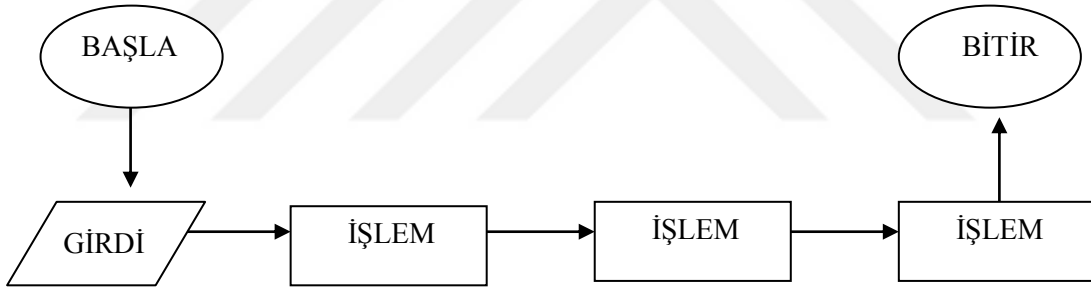
Süreçte meydana gelen değişkenliklerin potansiyel kaynaklarını belirlemek amacıyla sürecin elemanlarını grafiksel olarak gösteren bir araçtır. Görüntüsü sebebiyle “Balık Kılçığı” adı da verilmektedir. Diyagramda problemin temel nedenleri, yatay bir çizgi üzerine yerleştirilip kategorize edilerek potansiyel nedenlerin tamamına dikkat çekmesine ve çözüm yollarının bulunmasına olanak sağlar. Veri toplama, verileri sınıflama, verileri geniş bir bakış açısı ile

değerlendirebilme konusunda yönlendiricidir. Diyagramın etkili bir yönetim aracı olarak kullanılabilmesi sebep-sonuç ilişkisinin doğru kurulmasına bağlıdır (TSE, 1996: 144).

2.2.5. Akış Şeması

Sorunların nedenlerinin belirlenmesini kolaylaştıran araçlardan biri de süreç akış şemalarıdır. Süreç akış seması bir mal veya hizmet üretimindeki adımları, bunların kendi aralarındaki ilişkilerini grafiksel olarak göstermek için kullanılır (TSE, 1996: 140). İnsan veya materyalin fiili ve potansiyel faaliyetlerinin basit, anlaşılır ve doğru biçimde birbirine eklediğinden son derece faydalı bir araçtır. Akış şemalarında ayrıntıları içeren açık ifadeler bulunduğu için işin anlaşılması ve tanımlanması kolaylaşır.

Şekil 4: Akış Şeması



Akış şemasının hazırlanmasında süreçle ilgili kişilerin olması son derece önemlidir. Bu kişilerin görevleri şunlardır;

- Akış süreci ile ilgili tüm işlemlerin belirlenmesi,
- İşlemler, alınan kararlar ve ilgili veriler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi,
- İş yeri düzeninin uygunluğu gözden geçirilmesi,
- Müşteri ve tedarikçi ilişkileri dikkate almak,
- Süreçle ilgili kişilerin görev tanımlarını ve sorumluluklarını belirlemek,
- Her aşamanın maliyetleri ve eklediği değerleri belirlemek,
- Eldeki verileri belirlemek,
- İyileştirme çalışmaları için gerekli verileri belirlemek,

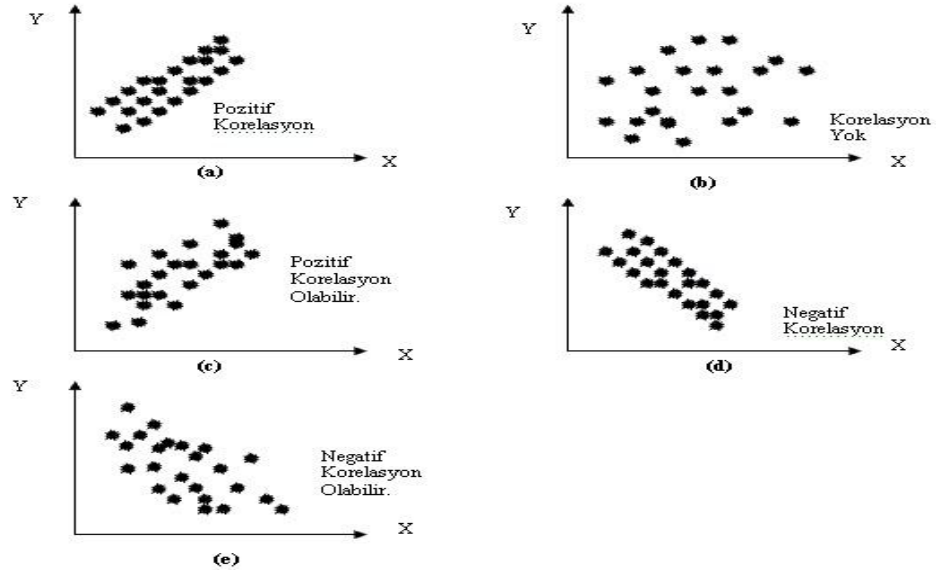
- Geliştirme olanakları saptanmak (Gümüşoğlu, 2000: 141).

2.2.6. Saçılma Diyagramı

Karşılıklı ilişkide olduğu düşünölen iki veri setinin birbiri ile olan ilişkilerinin düzeyinin incelendiği diyagramlardır (Gümüşoğlu, 2000: 144). Değişkenlerden biri yatay eksen değeri dikey eksen de yer alır. Yatay eksen de değişkenin belirli bir değerine karşılık, dikey eksen de değişkenin aldığı değerin kesişme noktaları belirlenerek bir noktalar kümesi elde edilmektedir.

İki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve şiddetini biliyorsak, bunlarla yapılan çeşitli kombinasyonlarla kalite üzerinde etkili olunması mümkün olabilmektedir. X ve Y noktalarının arasındaki ilişkilere serpilme şekillerine göre anlam verilir. X ve Y arasındaki pozitif ilişki demek; X değeri artarken, Y değerinin de artması demektir. Negatif bir ilişki ise, X'in artan değerlerine rağmen, Y değerlerinin azalması anlamına gelmektedir.

Şekil 5: Saçılma Diyagramları



2.2.7. Gruplandırma

Gruplandırma sorunların tamamına bakmak yerine onları alt kümelere ayırarak daha küçük olan bu kümelerde sorunların nedenlerini araştırmak, olarak

tanımlanabilir. Verilerin tamamına bakıldığında sorun açılmış gibi görünür, fakat veriler daha küçük parçalara ayrılmadığı sürece güçlüğün ne olduğunu belirlemek oldukça zordur. Gruplandırma yöntemiyle bilgiler belirli sınıflara ayrılarak, daha kolay karşılaştırılabilmekte ve değerlendirilebilmektedir (Akin ve diğerleri, 2001: 427).

2.2.8. Kontrol Kartları

1924 yılında Shewhart tarafından uygulanmaya başlanan kontrol kartları ürünlerin belirlenen limitler dahilinde üretilip üretilmediğini takip etmek amacıyla kullanılan grafiklerdir. Bu kartlara ayrıca Shewhart kartları denmesinin nedeni ilk uygulayıcısından dolayıdır. Kontrol kartları bir sürece ne zaman müdahale edileceği ya da ne zaman kendi haline bırakılacağı noktasında operatörü yönlendirir.

Üretimi gerçekleştirilecek olan ürün; tasarım aşamasında, insan, makine, ekipman vb. şartlardaki doğal değişkenler nedeniyle belirlenen belirli tolerans aralıklarında üretilebilmek için sınırlandırılırlar. Ağırlık, şekil, boyut, renk, performans vb. spesifikasyonların, bu belirlenen sınırlar dahilinde hareket etmesi gerekmektedir. Bu değişimler sınırların dışında gerçekleşirse bu noktada müdahale etmek ve iyileştirmek gerekmektedir. (TSE, 1996).

Üretilen her ürün kalite özellikleri açısından farklılık gösterebilir. Bu farklılıklara sebep olan temel unsurlar aşağıda açıklandığı gibi beş başlık halinde ifade edilebilir.

Bunlar;

- Süreçler: aletin yıpranması, makinenin titremesi, çalışma pozisyonu, elektrik dalgalanmaları gibi
- Malzemeler: kullanılan malzemenin yapısı, ölçüsü ve sertliği gibi
- Çevre şartları: sıcaklık, voltaj farklılıkları gibi
- Operatör: tezgah ayarı, konumlama hassasiyeti, kullanım talimatına uyma derecesi, yöntem, beceri, fiziksel ve ruhsal durumu gibi
- Muayene: hatalı muayene ekipmanı, kalite standardının yanlış uygulanması, farklılıkların hatalı şekilde rapor edilmesi. (TSE, 1996).

Kontrol kartları kontrol edilecek karakteristik sayısına göre ikiye ayrılır. Bunlar tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol kartlarıdır. Tek değişkenli kontrol kartında üzerinde ölçüm yapılan kalite karakteristiği tektir. Çok değişkenli kontrol kartları ise birden fazla karakteristiğin gösterildiği kartlardır. Tablo-2’de bu ayrım  zet olarak verilmeye çalışılmıştır.



Tablo 2: Kontrol Kartları

Kontrol Kartları	Tek Değişkenli Kontrol Kartları	Değişkenler için kontrol kartları: Ağırlık, yükseklik, uzunluk gibi ölçülebilir kalite karakteristiklerinin kontrolü için kullanılırlar.	•Shewhart kontrol kartları •Birikimli Toplam (CUSUM) Kontrol kartları •Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) Kontrol Kartları •Üstel Ağırlıklandırılmış Hareketli Sapmalar (EWMD) •Hareketli Ortalama (MA) Kontrol Kartları
	Çok Değişkenli Kontrol Kartları	Özellikler için Kontrol Kartları: İyi-kötü, kusurlu-kusursuz gibi ölçülemeyen kalite karakteristikleri için kullanılır.	• Kusurlu Oranı (p) Kontrol Kartı • Kusurlu Sayısı (np) Kontrol Kartı • Kusur Sayısı (c) Kontrol Kartı • Birim başına Kusur Sayısı (u) Kontrol Kartı
		Hotelling T ² Kontrol Kartı Çok Değişkenli EWMA Kontrol Kartı Çok Değişkenli CUSUM Kontrol Kartları	

(Montgomery, 2001: 170)

2.2.8.1. Değişkenler İçin Kontrol Kartları

Uzunluk, ağırlık, yoğunluk, ısı, zaman, hacim, kütle gibi bir alet veya makine yardımı ile ölçülebilen ve rakamlarla ifade edilebilen nümerik özelliklerdir. Kontrol kartları, yapılan ölçümlerin, merkez noktasına olan mesafelerini belirlemek için kullanılmaktadır.

Ortalama($\bar{X}$), standart sapma (σ) ve değişim aralığı (R) kartları en sık kullanılan kontrol kartlarıdır. Ortalama kartı; ortalama sapmaları, değişim aralığı ve standart sapma kartları ise homojenlikten sapmaları gösterir. Ortalama ile birlikte standart sapma ($\bar{X}-\sigma$) ya da ortalama ile değişim aralığı ($\bar{X}-R$) çiftleri şeklinde uygulanan kontrol kartları işlemin hem ortalama hem de değişkenlik bakımından kontrol altında olup olmadığını göstermektedir.

Değişim aralığı “R” tipi kontrol kartları, standart sapma “ σ ” tipi kontrol kartlarına göre dağılma aralığının hesaplanması ve yorumlanması bakımından daha kolay olduğu için tercih edilmektedir (Montgomery, 2001: 171).

1. $\bar{X}-R$ Kartları

Örneklem büyüklüğü 10’dan küçük olduğunda bu kontrol kartları tercih edilir. Süreç kontrol altında olduğunda X , μ ortalamalı ve σ^2 varyanslı normal dağılıma sahiptir. $\bar{X}$, n hacimli bir örneklem ortalamasını göstermek üzere, süreç kontrol altındayken, μ ortalamalı σ^2/n varyanslı normal dağılıma sahip olur. $\bar{X}$ kartı için 3σ sınırları, $\mu \pm 3\sigma / \sqrt{n}$ olur (Besterfield, 2004: 195).

μ ve σ değerleri biliniyorsa bu sınırlar belirlenebilir. Genelde bu parametrelerin kesin değerleri bilinmediğinden, değerler tahmin edilmelidir. Süreçten n hacimli N tane örneklem seçilir. Her örneklem için X_i örneklem ortalaması değerleri hesaplanır. N tane örneklem ortalaması toplanarak μ için;

$$\bar{\mu} = \sum \frac{\bar{x}_i}{n} = \bar{X}$$

bulunur.

Değişim aralıkları R_i , σ ’ yı tahminlemek için kullanılır. Değişkenler için örneklem değişim aralığı R ’ nin beklenen değerinin standart sapmaya oranı,

örneklem hacmine bağlı bir sabite eşittir. Bu sabit d_2 olarak adlandırılır. $d = E(R)/\sigma$ ile bulunur. d_2 'nin uygun değerleri hazır tablo değerlerinden elde edilebilir. R 'nin beklenen değeri N tane değişim aralığının $(R_1, R_2, \dots, R_N)$ ortalaması alınarak tahmin edilir. Yani; $E(R) = \bar{R} = \sum R_i / N$ dir. Bu durumda $\sigma = E(R)/d_2$ elde edilir. Tüm bu bilgiler ışığında $\bar{X}$ kartı için tahmin edilen 3σ limitleri; $\mu \pm 3\sigma/\sqrt{n}$ iken $\mu \pm 3\bar{R} / d_2\sqrt{n}$ olacaktır; (Montgomery, 2001: 210-211).

Burada $3\bar{R} / (d_2/\sqrt{n})$ ifadesi yerine A_2 yazılırsa aşağıdaki limitler elde edilir:

$$AKL = \bar{X} - A_2\bar{R}$$

$$ÜKL = \bar{X} + A_2\bar{R}$$

$$MÇ = \bar{X}$$

Değişen örnek hacimleri için $\bar{R} = d_3\sigma$ olur. Kontrol kartları için limitler aşağıdaki gibi hesaplanır (Gümüşoğlu, 2000: 118):

$$AKL = D_3\bar{R}$$

$$ÜKL = D_4\bar{R}$$

$$MÇ = \bar{R}$$

R için tahmin edilen alt kontrol limiti, özellikle örneklem hacmi 6 veya daha az ise, negatif çıkabilir. Bu durumda alt kontrol limitinin sıfır alınması gerekir.

2. $\bar{X}$ - S Kartları

$\bar{X}$ -Skartı bir $\bar{X}$ -R kartından daha doğru sonuçlar ortaya koymaktadır. Alt grup hacmi 10'dan az olduğu durumlarda her iki kart aynı değişimi göstermektedir. Ancak alt grup hacmi 10 veya daha fazla olduğunda uç değerler R kartı üzerinde aşırı derecede bir etkiye sahip olacaklarından, alt grup hacmi büyük olan kontrollerde $\bar{X}$ -S kartını tercih etmek doğru olacaktır. $\bar{X}$ ve R kartlarında uygulanan adımlar $\bar{X}$ ve S kartlarına benzerdir. $\bar{X}$ kartı için kontrol limitleri;

$$AKL = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$$

$$ÜKL = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$$

$$MÇ = \bar{\bar{X}}$$

S kartı için kontrol limitleri;

$$AKL = B_3\bar{S}$$

$$ÜKL = B_4\bar{S}$$

$$MÇ = \bar{S}$$

Anlamli alt gruplar oluşturmak istatistiksel süreç kontrolünde önemlidir. Bundan dolayı bir örneklemede bir taneden fazla örnek almanın anlamlı olmadığı durumlarda (n=1 iken); $\bar{X}$ -MR (hareketli değişim aralığı) kartları, olarak ağırlıklandırılmış hareketli sapmalar (EWMD), üstel olarak ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (EWMA) kartları veya kümülatif toplam (Cusum) kartları kullanılır. $\bar{X}$ -MR ve kartları değişimin çok küçük olması durumunda süreç ortalaması ve varyasyonundaki değişimi belirlemede çok etkili olmamaktadır. Bu durumda EWMA veya EWMD kartlarının kullanımı daha doğru olmaktadır. Cusum kartları Shewhart'ın klasik kartlarına göre daha duyarlıdır. Cusum kartları tek bir tip olmayıp çeşitli ölçüler için mevcuttur (Montgomery, 2001: 406-409).

3. Kusurlu Oranı (p) Kartı

“p” kartının amacı tespiti mümkün değişkenlerin varlığını ortaya çıkartmak ve hata kaynaklarını belirlemektir. “p” kartı normal dağılıma yakınsar.

$$p = np/n$$

Burada:

$$p = \text{Hatalı oranı}$$

$$n = \text{Parti veya alt grup büyüklüğü}$$

$$np = \text{Hatalı sayısı}$$

Standartlar biliniyorsa (p= sürecin gerçek ortalama hatalı oranı);

$$M\check{C} = p$$

$$AKL = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$\ddot{U}KL = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Standartlar bilinmiyorsa;

$$M\check{C} = \bar{p}$$

$$AKL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$\ddot{U}KL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$\bar{p} = \frac{\text{Toplam Kusurlu Sayısı}}{\text{Toplam Muayene Sayısı}}$$

4. Ortalama Kusurlu Sayısı (np) Kartı

“np” kartının teorik temeli “p” kusurlu oranı sayısının aynısıdır. Kalite kontrolcü, kusurlu oranı yerine kusurlu sayısı ile daha fazla ilgilendiği takdirde, “p” kartının parametrelerinin n ile çarpılması ile elde edilen değerlerden kurulu np kartını kullanır.

Standartlar biliniyorsa;

$$M\check{C} = np$$

$$AKL = np - 3\sqrt{npq}$$

$$\ddot{U}KL = np + 3\sqrt{npq}$$

Standartlar bilinmiyorsa;

$$M\check{C} = n\bar{p}$$

$$AKL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}\bar{q}}$$

$$ÜKL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}\bar{q}}$$

$$q = 1 - p$$

5. Kusur Sayısı (c)Kartı

Bu kart genellikle bir üründe rastlanan çeşitli (veya tek) kusurların sayısını kontrol etmek için kullanılır. Poisson dağılımına yakınsar.

$$M\check{C} = \bar{c}$$

$$AKL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$ÜKL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$\bar{c} = \frac{\text{Toplam Kusur Sayısı}}{\text{Toplam Muayene Sayısı}}$$

6. Birim Başına Hata Sayısı (u) Kartı

U kartı da bir kusur sayısı kartıdır. Temeli c kusur sayısı kartına dayanır. Arasındaki fark, muayene yapılan alanın her örnekte farklı boyutta olmasıdır. Üst ve Alt kontrol limitleri her örneklem için ayrı hesaplanır.

$$M\check{C} = \bar{u}$$

$$AKL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$ÜKL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$\bar{u} = \frac{\text{Toplam Kusur Sayısı}}{\text{Toplam Muayene Alanı}}$$

2.3. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL İŞLEM BASAMAKLARI

İstatistiksel süreç kontrol işlemi aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır:

- Kontrolü yapılacak süreci belirleme,
- Belirlenen süreç içerisindeki kontrolü yapılacak ürünü belirleme (eğer aynı süreçte farklı ürünler üretiliyorsa),
- Ürün üzerinde kontrolü yapılacak kritik ölçüyü tespit etme (genellikle kritik ölçüler ve spesifikasyon limitleri tasarımcı tarafından teknik resim üzerinde belirtilir),
- Ölçüm aletlerini test etme ve kalibre etme,
- Örnekleri belirleme ve ölçümleri kayıt altına alma ,
 - Rasyonel alt örneklem grupları oluşturma (bir numune alma sürecinde kaç adet alınacağı ve kaç kez numune alınacağı belirlenir)
 - Numune alma zamanı belirleme
 - Alınan numunelerde belirlenen kritik ölçüleri kayıt etme
- Örneklerle uygulanacak kontrol kartları belirlenme ($\bar{X}$ -R, $\bar{X}$ -S, p, np, c, u vb. kartlar olabilir),
- Süreç yetenek ve performans analizi yapma,
- Kontrol kartları yorumlanma ve süreç mühendisliğine verileri sunma (Bircan ve Özcan, 2003).

2.4. KONTROL KARTLARININ YORUMLANMASI

Kontrol kartlarında ölçüm değerlerinin limit değerlerinin tolerans bandı içerisinde kalması, sürecin doğal faktörlerin etkisi altında olduğunu göstermektedir. Böyle durumlarda genellikle süreç kontrol altında bulunmaktadır. Bazı durumlarda ölçümlerin limitler dahilinde olmasına rağmen ardı ardına yapılan ölçümlerin değerleri süreçte bir şeylerin ters gittiği anlamına gelebilir. Kontrol limitleri dışında yapılan ölçümlerde, süreçte özel nedenlerin var olduğunu belirtir. Aşağıdaki durumlar kontrol limitleri içinde kalan sürecin gerçekte kontrol altında olup olmadığını göstermektedir (Kısaoglu, 2002: 18).

- Aşağıda belirtilen adette ardışık ölçümün sürekli merkez çizgisinin alt ya da üst tarafında yer alması;
 - 7 veya daha fazla ardışık ölçüm,
 - 11 ardışık ölçümden en az 10 ölçüm,
 - 14 ardışık ölçümden 12 veya daha fazla ölçüm,
 - 17 ardışık ölçümden 14 veya daha fazla ölçüm,
 - 20 ardışık ölçümden 16 veya daha fazla ölçüm,
- 3 ardışık ölçümden en az 2 ölçümün veya 7 ardışık ölçümden 3 veya daha fazla ölçümün $\pm 2\sigma$ ile $\pm 3\sigma$ alanı içinde kalması,
- En az 7 ardışık ölçümün sürekli azalma veya artma göstermesi,
- Periyodik dalgalar halinde yükselen veya alçalan tesadüfi olmayan noktaların bulunması.

2.5. SÜREÇ YETENEK ANALİZİ

İstatistiksel olarak kontrol altında bulunan normal dağılmış süreçler için süreç yetenek analizi yapılabilir. Kontrol altındaki süreçler her zaman için spesifikasyonları karşılamada yeterli olmayabilir. Süreç yeteneği, üretilen parçanın belirtilen spesifikasyonlara göre üretilip üretilmeyeceği konusundaki yeteneğini ifade etmektedir. Süreç yeterliliği belirlenmeden önce süreç varyasyonlarının kararlı olması gerekmektedir. Bu, sürecin kontrol altında olması gerektiğini belirtmektedir. Başka bir deyişle süreçte özel bir değişken olmamalıdır (Garrity, 1990).

Süreç yetenek analizi sayesinde süreçte var olan doğal değişkenlerin üretilen parçanın tolerans bandı içinde kalmasını sağlayacak ve sürecin kontrol altında olup olmadığı görülecektir. Eğer süreç yeterliliği uygun değilse süreçte özel değişken varlığı gözden geçirilmeli ve/veya tolerans bandı gözden geçirilmelidir (Kısaoğlu, 2002: 18).

2.5.1. Süreç Yetenek İndeksleri

Tüketici gereksinimlerini belirlemek için, tüketiciler ile sağlıklı bir iletişim kurulmalı ve gereksinimler belirlenmelidir. Bu çalışmanın sürekliliği sağlanarak, tüketici gereksinimlerinde meydana gelebilecek değişiklikler hızlı bir şekilde ürüne yansıtılmalıdır. İşletmelerin rekabette başarılı olabilmesi için, tüketici spesifikasyonları içerisinde üretim yapmaları gerekmektedir. Hatta yakın gelecekte işletmeler rekabet üstünlüğü sağlayabilmek için, hedef değerde üretim yapma durumunda olacaktır. Bu nedenle üretim sürecinin spesifikasyonlarını karşılayan ürün oluşturabilme yeteneği sürekli olarak incelenmelidir. Bu inceleme, süreç yetenek indeksleri ile yapılabilir. İndekslerin periyodik olarak hesaplanması ile süreç sürekli olarak kontrol altında tutulabilir (Mccoy, 1991: 5).

2.5.1.1. C_p İndeksi

Ölçümü yapılmasına karar verilen kritik noktaların, üretiminin gerçekleştirileceği süreçte ortaya çıkacak değerlerin kabul edilebilir limitler dahilinde olup olmadığını gösteren süreç kapasite indeksidir. C_p indisi sürecin sadece yayılımını kontrol eder, yani sürecin potansiyel yeterliliğini ölçer. Sürecin doğal yayılımının spesifikasyon limitleri üzerindeki etkisini gösterir. C_p indisi sürecin hedeflenen değerini hesaba katmadan sürecin yeterliliğini ölçer. Bu bakımdan çift yönlü spesifikasyona sahip süreçlerde, ürün değişkenliğinin spesifikasyonları eşit şekilde sağlayıp sağlayamadığı ve sürecin merkezlenmesi anlaşılamaz. Sürecin potansiyel yeterliliğinin hesaplanmasında kullanılır. ÜSL ve ASL spesifikasyon limitlerini belirtirken, 6σ ile sürecin yayılımı veya aralığı tanımlanır. Örneklem farklılığı ve makine kontrol sınırlamalarından dolayı genellikle en düşük C_p değeri olarak 1.00 kullanılamaz. $C_p = 1.00$ olduğu zaman spesifikasyon limitlerinin genişliği kontrol limitlerinininkine eşit olmuş olur. (Kane, 1986) Birçok uygulamanın kritikliği ve süreç ortalamasının spesifikasyon genişliğinin orta noktasında sürekliliğini sağlayamayacak olması devam eden süreçler için C_p değerinin en düşük 1.33 olmasını gerektirmiştir. (Juran ve Godfrey, 1999)

$$C_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma}$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$\bar{R}$ = Alt grup aralıklarının ortalaması

d_2 = alt grup örnek büyüklüğüne göre tablo değerleri

Formülden de görüldüğü gibi, C_p yalnızca süreç yayılımını analiz eder. C_p değerinin 1'den büyük olması istenen bir durumdur. Buna karşın, uygulamalarda $C_p \geq 1,33$ durumunun olması önerilir. Ayrıca güvenilir sonuçlar elde edebilmek için, örnek sayısı en az 50 olmalıdır (Noori ve Radford, 1995: 351).

Tablo 3: C_p indeksinin yorumlanması

C_p	Değerlendirme	Yorum
$C_p \leq 1$	Yetersiz	Süreç yetersiz. İyileştirmeler yapılmalıdır
$1 < C_p \leq 1,33$	Kabul Edilebilir	Süreç spesifikasyonları karşılamaz. Süreç kontrolü sürdürülmelidir
$C_p \geq 1,33$	Yeterli	Süreç spesifikasyonları karşılar

(Bircan ve Özcan, 2003: 142)

2.5.1.2. C_{pm} indeksi

C_{pm} diğer bir yetenek indeksidir. C_p ve C_{pk} indeksleri müşteri gereklerinin sağlanmaması durumunun oluşturduğu durumu dikkate almazlar. C_{pk} değeri, σ ifadesinin tersi ile ilişkilidir. Çok büyük σ değerleri için bu değer sıfıra yaklaşır. Bu, C_{pk} ifadesinin merkezleme ölçüsü olarak kullanılması bakımından bir dezavantaj yaratmaktadır. Bu durumda C_{pk} bu geniş ÜSL-ASL aralığı için ortalamanın yeri hakkında gerçek bilgi veremez. Bu problemi çözebilmek için C_{pm} indeksi kullanılmaktadır (Kahraman ve Kaya, 2009).

$$C_{pm} = \frac{USL - ASL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{USL - ASL}{6\sqrt{E[(X - T)^2]}}$$

Burada σ sürecin standart sapması, T hedef değer, $E[.]$ ise beklenen değerdir (Kahraman ve Kaya, 2009).

2.5.1.3. C_{pk} İndeksi

Süreç ortalamasının üst ve alt spesifikasyon limitlerinden olan uzaklığını tespit etmekte kullanılır.

$$C_{pk} = \text{Min} \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - ASL}{3\sigma} \right)$$

C_{pk} indeksi bir çok işletmede yetenek indeksi olarak algılanmaktadır. Bu değer sadece süreç ortalamasını ölçmeyi değil, süreç ortalamasının pozisyonu ile ilgili de bilgi vermektedir.

Tablo 4: C_{pk} indeksinin yorumlanması

C_{pk}	Değerlendirme
$C_{pk}=1$	Verilerin bir kısmı spesifikasyonları karşılar
$C_{pk}> 1$	Verilerin tamamı spesifikasyon limitleri içine düşer
$0 < C_{pk} < 1$	Süreç ortalaması spesifikasyon limitleri içindedir
$C_{pk} = 0$	Süreç ortalaması spesifikasyon limitlerinin birine eşittir.
$C_{pk} < 0$	Süreç ortalamasının spesifikasyon limitlerinin dışında olduğunu gösterir

(Bircan ve Özcan, 2003: 136)

Bir sürecin tüketici spesifikasyonlarını sağlayabilme yeteneğini incelemeye, sürecin sahip olduğu yayılım ile birlikte ortalamasının yerleşiminin de incelenmesi gerekmektedir. Ortalama değer ve yayılımın spesifikasyon sınırları ile ilişkilendirilerek, sürecin spesifikasyonları sağlama derecesi C_{pk} ile incelenebilir (Melloy ve Chandra, 1992: 2253).

Özellikle Taguchi'nin ekonomik kayıp fonksiyonu felsefesine göre, süreç yetenek indisleri olan C_p ve C_{pk} üzerinde bazı tartışmalar mevcuttur. Örneğin, bir süreç ortalama yayılma hedefi olduğu zaman bile yüksek bir C_{pk} 'ye sahip olabilir ve süreç yayılımı küçük olduğu sürece spesifikasyon sınırlarına yakın olabilir. Bu duruma bir çok alternatif yöntemler önerildi. Bunlardan birisi C_p 'yi $(1-k)$ faktörü ile düzenlemektir (Evans ve Lindsay, 1999).

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

$$k = \frac{2(\text{ortalama} - \text{hedef değeri})}{\text{Tolerans}}$$

Örnekleme ortalaması hedef değere eşit olduğunda, $k=0$ ve $C_{pk} = C_p$ olur. Örnekleme ortalaması, hedef değerden saptıkça aralarındaki mutlak değer ve k değeri artar. Spesifikasyon limitleri sadece toleransı belirlemede kullanılır. Bu yüzden bu ölçümün odağı kabul edilebilir spesifikasyon limitleri yerine hedef değerdir.

2.5.2. Süreç Yayılımı Ve Ortalama Değerin İncelenmesi

Süreç yetenek analizi çalışmasının amacı; süreç ortalaması ve standart sapmasını, spesifikasyonlar ile ilişkilendirilerek sürecin tüketici isteklerine uygun ürün oluşturma yeteneğini değerlendirmektir. İşletmelerin ulaşmak istediği amaç; süreç ortalamasının hedef değer üzerinde ve yayılımın spesifikasyonlar içerisinde, mümkün olan en küçük değerde oluşmasıdır. Burada yetenek açısından iki önemli nokta söz konusudur (Persijn ve Nuland, 1996: 95);

- Süreç yayılımının spesifikasyon aralığı içerisinde oluşması,
- Süreç ortalamasının hedef değer üzerinde veya çok yakın bir noktada oluşması.

2.5.3. Sürecin İstikrarlılığının İncelenmesi

Süreç istikrarlığının kontrolü, temel olarak istatistiksel kontrol kartları ile yapılır. Yetenek indeksleri hesapları yapılmadan önce, kontrol kartları kullanılarak sürecin istikrarlılığı araştırılmalıdır. İstatistiksel kontrol kartları ile yapılan incelemede, süreçten elde edilen veriler kontrol kartları sınırları içerisinde ise sürecin istikrarlı olduğu sonucuna varılır (Bissell, 1990: 331).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

İşletmeler iyi bir süreç yönetimi kurmak amacıyla Altı Sigma DMAIC Döngüsü ile gereken hedefi belirlemeyi ve doğru projeyi seçmeyi amaçlamaktadır. Amaç, sürecin girdi ve çıktı değişkenleri tanımlanmak ve sürecin daha iyi anlaşılabilmesi için nitel veya nicel sorunların çözümünü sağlayacak veriler elde etmektir. Girdi ve çıktı değişkenliğini belirlenmesini sağlayan verilerin ölçümü ve analizi Altı Sigma uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Bu yüzden DMAIC Döngüsü'ndeki ölçme ve analiz aşamalarında bazı metotlardan faydalanılmaktadır. Bu metotlardan Ölçüm Sistemleri Analizi; süreç veya ürün karakteristiğine ait verilerin analizinin yapılmasında ve istatistiksel süreç kontrolünün sağlanması adına elde edilen verilerin güvenilirliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Gürsakal, 2005: 176).

Ürünün, tüketici isteklerini ifade eden spesifikasyon limitlerine veya standartlara uygunluğunu belirleyebilmek için, ürün üzerinde yapılan incelemelere "ölçüm" denir. Yapılan ağırlık, uzunluk, yoğunluk gibi ölçümler ile ürünler, uygun ve uygun olmayan ürünler olarak sınıflanır. Elde edilen ölçüm değerleri ile; süreç yetenek seviyesinin tespit edilmesi, ölçüm operatörünün güvenilirliğinin belirlenmesi, ölçüm aletlerinin hassaslığının tespit edilmesi gibi konular araştırılabilir (Tannock, 1995: 76).

Üretim sürecinde yapılan ölçümler ile ürünlerin kalitesi sürekli olarak incelenebilir. Bu tür incelemeler, sürecin gelecek dönemlerde alacağı şekil hakkında bilgiler edinmemizi de sağlar. Güvenilir ölçümler olmadan, süreç ve ürün hakkında doğru kararlar almak mümkün değildir. Ölçümlerde iki temel kavram vardır;

- Olması gereken referans veya standart değer,
- Ölçümlenen değer.

İşletmeler, kaliteli bir ölçme sistemi ile hatalı bir parçayı hatasız, hatasız bir parçayı hatalı olarak değerlendirmeyi önlemek istemektedir. Bir ölçme sisteminin amacı sürecin işleyişinde elde edilen sonuçlara neden olan değişkenlik kaynaklarını

iyi anlamaktır (Gürsaka1, 2005: 176). Bu nedenle yanlış analiz sonuçları elde etmemek için Ölçüm Sistemleri Analizi kullanılmaktadır.

Bir ölçüm sistemi, ölçüm aletlerini, ölçüm yapan operatörleri, ölçüm prosedürlerini, ölçüm ortamını ve ölçümde kullanılan yardımcı ekipmanlarını kapsamaktadır. Ölçüm Sistemleri Analizi; ölçüm aletlerinden ve ölçüm aletlerinin kullanımından doğan değişkenliği bulma, ölçüm varyansının miktarını karşılaştırma ve ölçüm sürecini iyileştirerek toplam değişkenliği azaltmayı hedeflemektedir (Erginel, 2010).

Ölçüm sistemi değerlendirilirken beklenen aralıklar içinde sapmaların değerlerindeki farklılığın kabul edilebilir, zamana göre verilerin istatistiksel olarak istikrarlı olup olmadığına bakılmaktadır. Değişkenlikler sadece genel nedenlerden dolayı ortaya çıkmalıdır. Genel nedenler; üretim faktörlerinin tamamında rassal olarak ortaya çıkan, tek başlarına etkileri zayıf olan ve küçük farklılık yaratan ortak nedenlerdir. Ölçüm Sistemleri Analizi'nde birden fazla operatör birden fazla parçanın aynı karakteristiğini bir çok kez ölçmektedir. Farklı operatörlerin ölçüm sonuçları karşılaştırılarak tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik ve kararlılık analizleri ile ölçüm sisteminin değişkenliği ve güvenilirliği incelenmektedir. Burada hedef, ölçümlerin aynı veya farklı operatörler tarafından yapılması halinde ölçüm sonuçlarının farklılık gösterip göstermediğini tespit edebilmektir (Gürsaka1, 2005: 177).

Ölçüm sistemleri analizinin yapılma nedenleri;

- Ölçümün tutarlı ve hassas olduğundan emin olmak,
- Süreçte alınacak hatalı kararları önlemek,
- Ürünleri ve süreçleri hesaplamamızı sağlayan ölçü aletleri hakkında bilgi sahibi olmak,
- İyi ürünleri kötü ürün olarak yorumlamamızın riskini düşürmek (1.Tip Hata),
- Kötü ürünleri iyi ürün olarak yorumlamamızın riskini düşürmektir (2.Tip Hata) (GHSP, 2012).

3.1. ÖLÇÜMLERİN PLANLANMASI

Ölçümlemenin planlanması, ölçümlenecek olan kalite karakteristiklerinin seçimini ve ölçüm istasyonlarının belirlenip, düzenlenmesini içerir. Basit nitelikte kalite karakteristiklerinin ölçümü için gerekli olan planlamalar operatör tarafından yapılabilirken, büyük işletmelerde veya karmaşık yapıya sahip ürünlerde bu planlama uzman kişiler tarafından yapılmalıdır.

İşletmedeki uzmanlar, incelenecek kalite karakteristiklerinin listelerini hazırlamalı ve ölçümlenecek karakteristikleri belirlemede tüketici spesifikasyonlarını referans almalıdır. Kalite karakteristiklerinde ve spesifikasyonlarında olası değişiklikler ölçüm elemanına bildirilmelidir.

Ölçümün yapılacağı istasyonlar, üretim süreci içerisinde çeşitli yerlerde oluşturulabilir. Üretim içerisinde belirlenen yerlerde oluşturulan istasyonlarda veya laboratuvarlarda yapılabilir.

Ölçümlenecek kalite karakteristikleri ve ölçüm istasyonlarının belirlenmesinden sonra ele alınması gereken diğer konular aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ölçümün güvenilirliğinin belirlenmesi,
- Ölçümlenecek birimlerin sayısının belirlenmesi,
- Örneklerin seçiminde kullanılacak yöntemin belirlenmesi,
- Ölçülecek veri tipinin belirlenmesi (değişken - özellik verisi),
- Ölçümler için tolerans kriterlerinin belirlenmesi (Sinha ve Willborn, 1985: 308).

3.2. SÜREÇ VE ÖLÇÜM DEĞİŞKENLİĞİ

Süreç değişkenliği ve yapılan ölçümlerin sahip olduğu değişkenlik birbirlerini bütünleyen kavramlardır. Ölçümlerin sahip olduğu değişkenlik, ölçüm sisteminden kaynaklanır. Üründe herhangi bir uygunsuzluk olmasa da, ölçüm sistemindeki değişkenlik sonucu ürün uygunsuz olarak yorumlanabilir.

Süreç kontrol teorisine göre, üretim süreci işlerken ürün ile ilgili parametrelerde değişkenlikler oluşabilir. Tesadüfi olarak meydana gelen

değişkenliklere, tesadüfi veya genel değişkenlik denir. Genel değişkenliğin nedenlerini tespit edebilmek mümkün olmayabilir. Atmosferik basınç, ısı değişimleri, ekipmanlardaki titreşim, nem oranı gibi faktörler tesadüfi değişkenliğe neden olabilir. Bir süreç tesadüfi değişkenliğe sahip ise, süreç istatistiksel olarak kontrol altında denilebilir. Diğer bir değişkenlik ise, özel veya tespit edilmesi mümkün nedenlerden oluşan değişkenliktir. Bu değişkenliği oluşturan faktörler tespit edilebilir. Üretim sürecindeki değişkenlik özel sebeplerden oluşuyor ise, sürecin istatistiksel olarak kontrol dışında olduğu kabul edilir (Walsh ve diğerleri, 1986: 176).

Süreç değişkenliğine yönelik aşağıdaki iki konu incelenebilir;

- Sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması,
- Süreç değişkenliğinin boyutunun belirlenmesi (Gunter, 1989: 86).

Süreç içerisinde oluşturulacak sistematik bir çalışma ile hatalı ürünlerin oluşmasına neden olan özel sebepleri tespit etmek mümkün olabilir. Tespiti yapıldıktan sonra geri bildirim ile bu nedenler ortadan kaldırılarak süreç kontrol altına alınabilir. Ölçümlerde değişkenliği oluşturan nedenler çevre koşulları, operatörler ve ölçüm araçları ile ilgili problemler olabilir. Değişkenliğin oluşmasını etkileyen bu tür nedenlere "ölçüm hatası" denir. Ölçüm hatası ne kadar küçük ise, ürünün kalitesi ile ilgili verilecek kararlar ve kullanılacak veriler daha güvenilir olur (Juran ve Gryna, 1980: 390). Ölçüm hatasının formülü aşağıdaki gibi gösterilir:

$$x_m = x + \epsilon$$

x = Kalite karakteristiğinin gerçek değeri,

x_m = Kalite karakteristiğinin ölçümlenen değeri,

ϵ = Ölçüm hatası

Bu denklem, ölçüm hatası ile ilgili araştırmalara temel olmaktadır. Ölçüm analizi çalışmalarında doğruluk kavramı tekrar yapılabilirlik ve kesinlik kavramı da tekrarlanabilirlik olarak ifade edilir (Taylor, 1991: 180).

3.3. ÖLÇÜM SİSTEMİ ANALİZ ÇALIŞMASI

Ölçüm sistemi yetenek analizi çalışmasında aşağıdaki adımlar izlenir (Smith, 1991: 312);

- Analizin yapılacağı ölçüm ekipmanlarında gerekli ayarlar yapılır,
- Üretim süreci içerisinde on adet parça seçilir ve 1'den 10'a kadar numaralandırılır,
- Çalışmaya katılan operatörlere ölçümlemeyi nasıl yapacakları konusunda bilgi verilir,
- 1. operatöre sırası ile on parça ölçümletilir ve elde edilen sonuçların veri formuna kaydı yapılır. Çalışmadan sağlıklı sonuçların elde edilebilmesi için, operatörlere ölçüm sisteminin analiz edildiği bildirilmez,
- Aynı parçalar, aynı koşullarda 2. ve 3. operatörlere ölçümletilir ve veri formuna kaydı yapılır,
- Aynı on parçanın sıraları değiştirilir ve 1., 2. ve 3. operatörlere aynı koşullarda tekrar ölçümletilir. Ölçüm sonuçları ilk yapılan sıralamaya göre kayıt edilir,
- Aynı parçaların bir kez daha sıraları değiştirilerek, sırası ile üç operatöre aynı koşullarda ölçümletilir. Elde edilen ölçüm sonuçları yine ilk yapılan sıralamada olduğu gibi kayıt edilir,
- Her operatörün tekrarlı ölçümleri için aralıkları (R) hesaplanır ve bunların ortalaması alınarak, ortalama aralık ($\bar{R}$) elde edilir. Aralıkların ortalaması D_4 katsayısı ile çarpılır ve aralıklar için üst kontrol limiti elde edilir. Tüm aralıklar bu limitin altında ise çalışmaya devam edilir. Limiti aşan aralık değeri var ise, sorun giderildikten sonra çalışma tekrarlanır,
- Aralıkların ortalaması kullanılarak;

$$\left(\frac{1}{d_2} \bar{R}\right) * 6$$

formülü ile tekrarlanabilirlik hesaplanır,

- Her bir operatörün yapmış olduğu ölçümlemelerin ortalaması hesaplanır. En büyük ve en küçük ortalama arasındaki fark ($\bar{x}_{\text{Fark}}$) ile tekrar yapılabilirlik değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\left(\frac{1}{d_2} \bar{X}_{Fark}\right) * 6$$

- Tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabirliğin kareleri toplamının kare kökü alınarak "Toplam Değişkenlik" hesaplanır,
- Tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabirliğin karesi, ürünün kabul edilen toleransı ile toplam değişkenliğinin çarpımına bölünür ve 100 ile çarpılarak yüzde tolerans değeri hesaplanır,
- Tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabirliğin yüzde değerleri toplanarak, toplam değişkenliğin % tolerans değeri elde edilir,
- Toplam değişkenliğin (%TD) değeri aşağıdaki şekilde yorumlanır,

$\%TD \leq \%10$	Kabul
$\%30 > \%TD > \%10$	Şartlı Kabul
$\%TD \geq \%30$	Red

3.4. ÖLÇÜM SİSTEMİ VARYANS TÜRLERİ

Çoğu ölçme işlemi için toplam ölçüm varyasyonu, genellikle normal dağılım olarak tanımlanır. Normal olasılık, standart ölçüm yöntemleri analiz yönteminin varsayımıdır. Aslında, normal dağılmayan ölçüm sistemleri vardır. Bu ve normallik varsayımı altında, MSA yöntemi ölçüm sistemi hatasını fazla tahmin edebilir. Ölçüm analisti, normal olmayan ölçüm sistemleri için değerlendirmeleri tanımalı ve düzeltmelidir (AIAG MSA, 2010: 50).

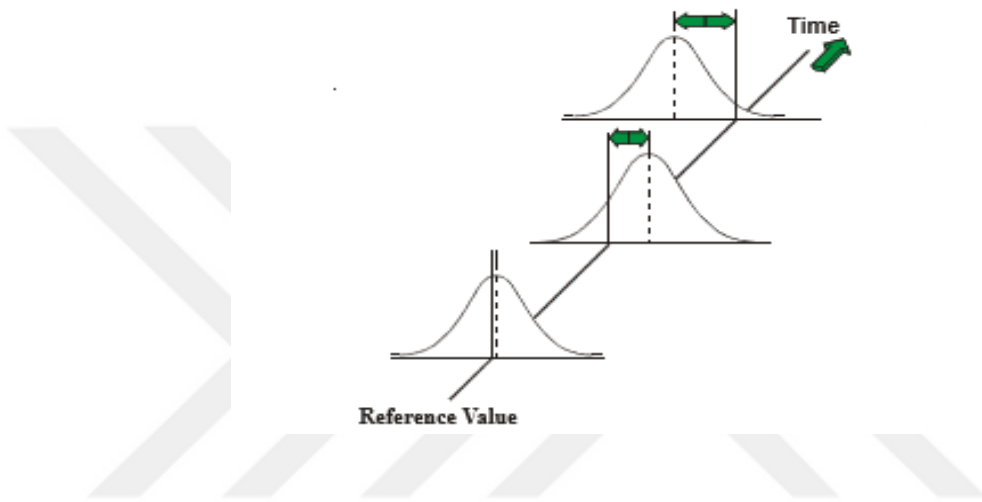
Ölçüm sistemi çalışmasının bir amacı da ortam koşullarıyla etkilenen ölçüm sistemlerinin varyansının büyüklüğü ve çeşitleri hakkında bilgi edinmektir. Tekrarlanabilirlik ve kalibrasyon eğilimini tanımak, kabul edilebilir sınırlarını belirlemek uygulamanın pratikliği açısından oldukça önemlidir.

3.4.1. Kararlılık

Kararlılık, aynı örnekler üzerinde, uzun bir zaman periyodu içerisinde tek bir karakteristiği ölçerken, bir ölçüm sistemi ile elde edilen ölçümlerin toplam değişkenliğini ifade etmektedir.

Bir ölçüm sürecinin kontrol durumunun verilere dayalı bilgisi olmadan, “tekrarlanabilirlik”, “tekrar yapılabilirlik” gibi yapılan analizler sürecin gelecekteki performansı için bir anlam ifade etmemektedir. Kararlılık durumu belirsizken bir ölçüm sisteminin tekrarlanabilirliğini, tekrar yapılabilirliği, vb. analizleri değerlendirmek sürece fayda sağlamamaktadır.

Şekil 6: Kararlılık



Kararlılık çalışmasında, izlenilebilir standartlara göre referans değerleri belirlenmektedir. Eğer böyle bir parça elde yok ise, üretim ölçümlerinin hedef değerine denk gelen bir parça seçilerek kararlılık analizini uygulamak için master parça olarak kullanılmaktadır. Beklenen ölçüm değerlerini belirlemenin en uygun yolu alt noktası, üst noktası ve orta aralığından master parçaları seçmektir. Her biri için ayrı ölçüm ve kontrol kartları gerekmektedir. Periyodik olarak (günlük, haftalık, aylık), master parça birkaç kez ölçülmektedir. Örneklem büyüklüğü ve frekansı ölçüm sisteminden gelen bilgiye göre belirlenmektedir. Faktörlerin, ne kadar sıklıkla tekrar kalibrasyon veya onarım gerektiği, hangi frekansla ölçüm sisteminin kullanıldığı, çalışma şartlarının ne kadar zorlu olduğu hakkında bilgi vermesi gerekmektedir. Ölçüm sisteminin uygulandığı tüm zamanı içermesi için, ölçümler farklı zamanlarda elde edilmektedir. Bu, gün içinde değişebilecek faktörleri göz önüne almak için yapılmaktadır. Veriler, $\bar{X}$ - R, veya $\bar{X}$ - S kontrol kartlarına yerleştirilerek kontrol sınırları belirlenmektedir. Her bir kart için kontrol dışı veya kararlı olmayan durumlar belirlenmektedir (AIAG MSA, 2010: 85).

3.4.2. Eğilim

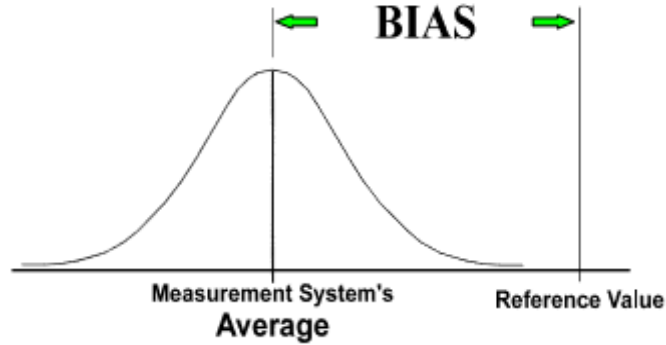
Eğilim, elde edilen ölçümlerin gözlenen ortalaması ile referans değeri arasındaki farktır. Kabul edilen referans değeri, ölçülen değerler için referans noktası işlevi gören bir değeri ifade etmektedir. Referans değeri, yüksek seviyeli bir ölçüm ekipmanı ile yapılan ölçümlerin ortalaması ile belirlenebilir.

Eğilim genellikle “doğruluk” kelimesi ile ifade edilmektedir. Fakat literatürde çeşitli anlamları olan “doğruluk” Ölçüm Sistemleri Analizi’nde eğilime alternatif olarak kullanılması tavsiye edilmemektedir.

Eğilimin potansiyel nedenleri;

- Ölçü aletinin kalibrasyon ihtiyacı,
- Eskimiş ölçü aleti ya da ekipman,
- Temel parçada hata (eskimiş, hasarlı),
- Ölçüde uygun olmayan referans değer seçimi,
- Ayrı ölçüm metotları (kurma, yükleme, teknik, vb.),
- Çevre (sıcaklık, nem, temizlik vb.) (GHSP, 2012).

Şekil 7: Eğilim



Ölçüm sisteminin eğilimini belirleyebilmek için, bir parçanın kabul edilmiş referans değerini elde etmek gerekmektedir. Elde edilen referans değerleri daha sonra ölçümü yapan kişilerin gözlemlediği ortalamalarla karşılaştırılmaktadır. Mastarda hata, aşınmış elemanlar, aletlerin yanlış ölçü birimlerine göre ayarlanması, yanlış karakteristikleri ölçmesi, yanlış kalibre edilmesi, ölçümü yapan kişinin aletleri yanlış

kullanması gibi nedenlerle eğilim göreceli olarak fazla bulunabilir (AIAG MSA, 2010: 51).

3.4.2.1. Bağımsız Örnek Yöntemi

Bu yöntemde, standartlara göre referans değerleri belirlenmektedir. Eğer böyle bir parça elde yok ise, üretim ölçümlerinin orta değerine düşen bir parça seçilerek eğilim analizi için master parça olarak kullanılmaktadır. Parçanın operatörler tarafından 10 veya daha fazla kez ölçümü yapılmakta ve daha sonra ölçüm değerlerinin ortalamasını hesaplanmaktadır. Elde edilen ortalama “referans değeri” olarak kullanılmaktadır. Beklenen ölçüm değerlerinin alt noktası, üst noktası ve orta aralığından alınan master parçalar analiz için uygun bir seçimdir. Her biri için ayrı ayrı analiz yapılması gerekmektedir (AIAG MSA, 2010: 87).

3.4.2.2. Kontrol Kartı Yöntemi

Kararlılığı ölçmek için kullanılan $\bar{X}$ - R, veya $\bar{X}$ - S kontrol kartları eğilim içinde kullanılmaktadır. Çalışmada belli bir sebebe bağlı standartlara göre referans değerleri belirlenebilir. Bağımsız örnek yönteminde olduğu gibi operatörler tarafından 10 veya daha fazla parça ölçülmektedir ve ölçüm değerlerinin ortalaması;

$$\text{Eğilim} = \text{Gözlenen Ortalama} - \text{Referans Değeri}$$

şeklinde hesaplanmaktadır (AIAG MSA, 2010: 92).

Eğilim için süreç değişkenliğinin yüzdesi ise;

$$\% \text{Eğilim} = 100 * (\text{Eğilim} / \text{Süreç Değişkenliği})$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Eğer eğilim göreceli olarak büyükse; yanlış birime ayarlanmış, ölçüm aleti aşınmış, yanlış özelliği ölçmüş veya iyi kalibre edilmemiş olabilir.

3.4.3. Tutarlılık

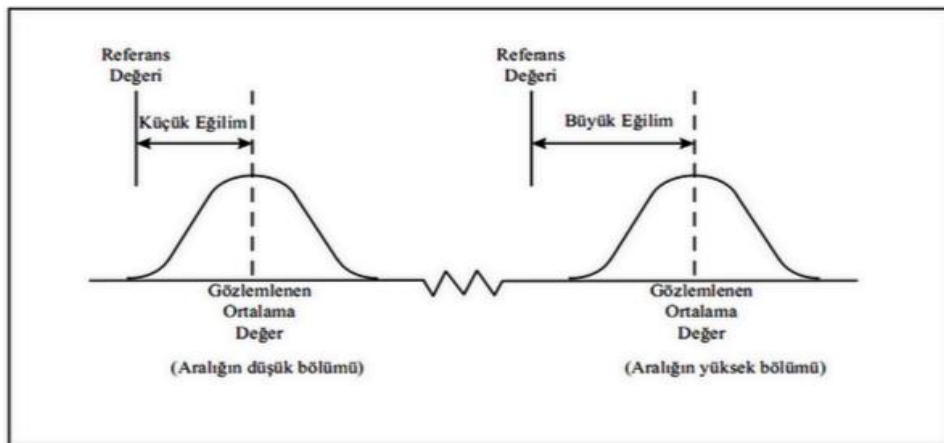
Tutarlılık, gözlenen değerin kabul edilen referans değeri veya standarda olan yakınlığıdır. Tutarlılık yetersizliği kalibre edilmemiş, eskimiş ya da operatör tarafından yanlış bir şekilde kullanılan ölçme aletinin varlığını yansıtır. Tutarlılık, ölçümdeki hata miktarının, tüm ölçümlerin oranına bölünmesi ile bulunur. Ölçüm süreci istatistiksel olarak kontrol edilmelidir, aksi takdirde sürecin tutarlılığı anlamsız olur (Evans ve Lindsay, 1999).

3.4.4. Doğrusallık

Doğrusallık, ölçüm cihazının beklenen çalışma aralığı boyunca eğilim değerleri arasındaki farktır. Parçaların ölçüsü fiziksel olarak büyüdüğünde ölçüm hatasının büyümemesi gerekmektedir. Eğer büyüyorsa ölçüm sistemi doğrusal değildir.

Doğrusallık Analizi için ölçüleri, ölçüm cihazının sınırları içerisinde olan en az beş parça seçilmektedir. Parçanın referansının belirlemek ve söz konusu cihazın çalışma sınırlarının kapsadığını doğrulamak için her bir parça operatörler tarafından ölçülmelidir.

Şekil 8: Doğrusallık



Eğilimin en aza indirilmesi için parçalar rastgele olarak seçilmelidir. Parça ve eğilim ortalamaları;

$$\text{Eğilim} = \text{Gözlemlenen Ortalama} - \text{Referans Değeri}$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Parça eğilimin ortalaması, gözlenen parça ortalamasının parça referans değerinden çıkarılması ile bulunmaktadır. Regresyon doğrusu aşağıdaki gibi yazılmaktadır (AIAG MSA, 2010: 96):

$$y = a + bx$$

x referans değeri, a kesme katsayısını , b eğim ve y eğilimi ifade etmektedir. Eğim ve kesme katsayısı;

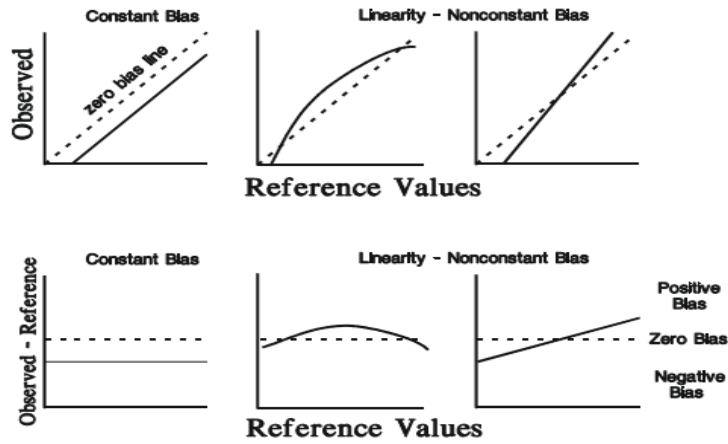
$$a = \frac{\sum xy - (\sum x \frac{\sum y}{n})}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$
$$b = \frac{\sum y}{n} - b \times (\frac{\sum x}{n})$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

$$R^2 = \frac{[\sum xy - (\sum x \frac{\sum y}{n})]^2}{[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}] \times [\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}]}$$

Eğilim ortalaması ve referans değerleri doğrusal ilişki sonucunda parametreleri en iyi şekilde tanımlayan Doğrusallık Grafiği çizilmekte ve bu grafikteki doğrunun en iyi şekilde tanımladığı, yukarıdaki formülünden hesaplanan R^2 değeri ile anlaşılmaktadır. Bu formül ile iki değer arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığına bakılmaktadır. Doğrunun eğimi azaldıkça, ölçüm aletinin doğrusallığı ve tersine eğim arttıkça doğrusallık düşmektedir.

Şekil 9: Doğrusallık Grafiği



Çalışma aralığı boyunca seçilmiş parçalar, bir veya daha fazla operatör tarafından ölçülür ve her bir parça için gözlemlenen ortalama belirlenir. Parçaların referans değerleri ve gözlemlenen ortalamaları arasındaki fark eğilimdir; seçilen her bir parça için hesaplanmaktadır. Doğrusallık grafiği, çalışma aralığı süresince eğilimler ve referans değerleri kullanılarak çizilmektedir. Sistemin doğrusallığı ve doğrusallık yüzdesi, regresyon doğrusunun eğimi ve parçaların süreç değişkenliğinden hesaplanmaktadır.

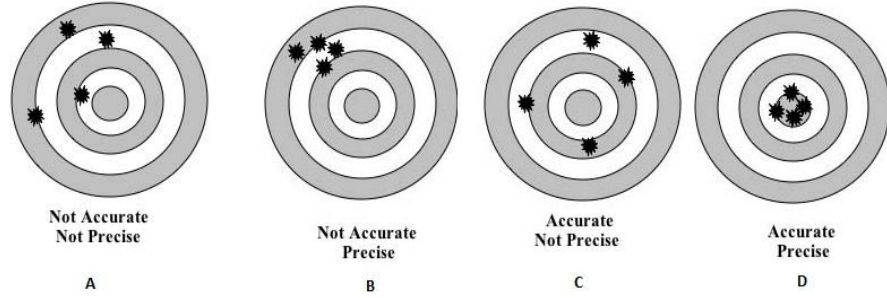
3.4.5. Hassasiyetlik

Hassasiyet, rastgele seçilen bireysel ölçüm veya sonuçlar arasındaki mutabakat yakınlığı olarak tanımlanır. Bu nedenle tekrarlanan ölçümlerin varyansı ile ilgilidir. Düşük varyansa sahip bir ölçüm aracı, daha yüksek bir varyansa sahip olanlara göre daha hassastır (Evans ve Lindsay, 1999).

Bir ölçüm sistemi hassas olabilir fakat tutarlı olmayabilir. Hassasiyet ve tutarlılık arasındaki ilişki Şekil 10'da özetlenmiştir. Şekil 10 - A görselinde ölçümlerin ortalaması hedeflenen değere yakın değildir. Ortalamanın etrafında geniş bir değer aralığı vardır. Bu durumda ölçüm tutarlı ve hassas değildir. Şekil 10- B görselinde ölçüm değerleri hedef değere yakın olmamasına rağmen varyans aralığı küçüktür. Bu nedenle ölçüm sistemi hassas ama tutarlı değildir. Şekil 10 - C ve Şekil 10 - D görsellerinde ise ölçüm değerleri hedeflenen değere yakındır. Bu nedenle

hassasiyet vardır. Fakat Şekil 10 - C görselinde dağılım oldukça yayılmıştır ve bu nedenle tutarlı değildir.

Şekil 10: Tutarlılık ve Hassasiyet

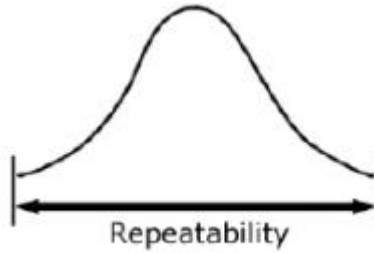


3.4.6. Tekrarlanabilirlik & Tekrar Yapılabilirlik

Ölçüm cihazından kaynaklanan değişkenlik tekrarlanabilirlik olarak tanımlanmaktadır. Tekrarlanabilirlik, ölçüm cihazının aynı ölçüyü aynı operatör ile birden çok defa ölçtüğünde meydana gelen değişkenliktir.

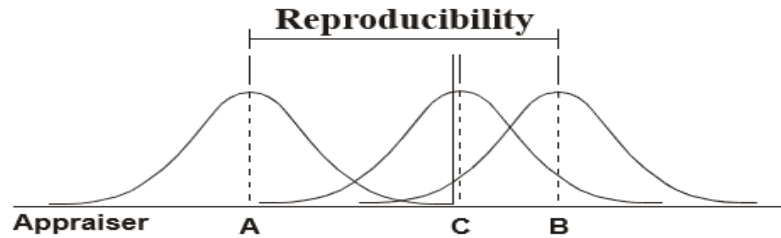
Ölçüm işleminin tekrarlanabilirliği, ölçüm sisteminin değişkenliğinin tutarlılığını işaret etmektedir. Aletin kendisinden kaynaklanan ölçüm farklılıkları ve parçanın alet içindeki pozisyon farklılıkları, tekrarlanabilirlik hatalarının genel sebepleridir. Bu farkların her ikisi de tekrarlanmış ölçümlerin alt grup aralığıyla temsil ettiği için, aralık kartı ölçüm işleminin tutarlılığını ifade etmektedir. Eğer aralık kartındaki değerler kontrol limitlerinin dışına çıkmışsa, bu ölçüm sisteminin tutarlılığında bir sorun olduğunu göstermektedir. Böyle bir durumda “Kontrol dışı” olarak belirlenmiş noktalarda tutarsızlığın özel sebepleri araştırılmalı ve düzeltilmelidir. Özel sebepler; üretimin bir kısmında veya tek başlarına önemli bir etkisi olan, bazı durumlarda az sayıda ortaya çıkan ve giderilmesi mümkün olan sebeplerdir.

Şekil 11: Tekrarlanabilirlik



Tekrar yapılabilirlik, aynı ölçüm cihazı ile aynı ölçünün farklı operatörler tarafından ölçüldüğünde meydana gelen değişkenliktir. Ölçüm işleminin tekrar yapılabilirliği, ölçümü yapan kişilerin değişkenliğinin tutarlılığını belirtmektedir. Ölçüm yapan kişinin değişkenliği, her bir operatörün üzerine yüklenmiş artan eğilimi ifade etmektedir. Eğer operatör değişkenliği varsa, operatörlerin bireysel toplam ortalaması farklı olmaktadır. Bu, her parça için operatör ortalamaları karşılaştırılarak ortalama kontrol kartlarından izlenebilir.

Şekil 12: Tekrar Yapılabilirlik



Ölçüm sistemleri, geleneksel “Ölçüm Tekrarlanabilirlik ve Tekrar yapılabilirlik” çalışmaları kullanılarak analiz edilmekte olup, bu çalışmalarda ANOVA gibi yöntemler kullanılarak, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik yöntemleri kullanılmaktadır.

Ölçüm sisteminin güvenilirliğini belirlemede, aşağıdaki konular ele alınmalıdır (Belanger, 1984: 14);

- Ölçüm aracının tekrarlanabilirliğinin belirlenmesi,
- Ölçüm aracının tekrar yapılabilirliğinin belirlenmesi,

- Ölçümler arasında olan zaman farkının, ölçüm sonuçlarına etkisinin belirlenmesi,
- Farklı ölçüm ekipmanları ile yapılan ölçümleme sonuçlarının karşılaştırılması,
- Ölçümleme planının oluşturulması,
- Ölçümlere etki edebilecek çevre faktörlerinin belirlenmesi.

Değişken ölçüm cihazı çalışması, çok sayıda farklı teknikler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu tekniklerden en geçerli olan üç tanesi ise;

- Aralık Yöntemi,
- Ortalama ve Aralık Yöntemi,
- ANOVA Yöntemi'dir.

1. Aralık Yöntemi

Aralık Yöntemi, ölçüm varyansının hızlı bir şekilde tahmin edilmesini sağlayan, uyarlanmış bir değişken ölçüm aleti çalışmasıdır. Aralık Yöntemi çalışmalarında temel olarak en az iki operatör ve beş parça (g) kullanılmaktadır. Operatörler her bir parçayı birer kere ölçmektedir. Her parçanın aralığı, Operatör A ve Operatör B'den elde edilen değerlerin mutlak farkını ifade etmektedir. Aralıkların toplamından ortalama aralık ($\bar{R}$) değeri;

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{g}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Toplam ölçüm varyansı ortalama aralık değeri;

$$R\&R = \frac{\bar{R}}{d_2^*}$$

ile hesaplanmaktadır. Süreç değişkenliğinin yüzde kaçının ölçüm varyansını oluşturduğu;

$$\%R\&R = \frac{R\&R}{\text{Sürecin Standart Sapması}}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Ölçüm sisteminin %R&R'si belirlenmekte ve sonuçların değerlendirmesini yapılmaktadır. Çıkan yüzde değer, uygulamayı yapan kişiye ölçüm sisteminin geliştirilmesi gerekip gerekmediği hakkında bilgi vermektedir

2. Ortalama ve Aralık Yöntemi

Ortalama ve Aralık Yöntemi ($\bar{X}$ -R), bir ölçüm sistemi için tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik değerlerinin tahmin edebilmesini sağlayan bir yöntemdir. Aralık Yöntemi'nden farklı olarak, ölçüm sisteminin tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik şeklinde ayrılmasını sağlamakta, fakat birbirleriyle olan etkileşimlerini vermemektedir.

Yöntemin uygulanmasında; operatörlerin sayısı, denemelerin ve parça türlerinin değişmesine rağmen, çalışmayı yürütmek için ideal şartları sağlamak gerekmektedir. Uygulamada, gerçek veya beklenen süreç varyansını temsil eden beşten fazla parça seçilmekte ve uygulamayı gerçekleştirecek operatörler belirlenmektedir. Çalışmanın pratik olması açısından en fazla 10 adet parça sayısı alınmaktadır. Operatörler, parçaları 1'den 10'a kadar numaralandırılmakta, operatörler bu numaralandırılma işlemini görmemektedir. Her operatörün ölçtüğü parçalar başka bir gözlemci tarafından kaydedilmektedir. Parça ölçümü denemeleri 2 veya 3 kez tekrar edilebilir (AIAG MSA, 2010: 104).

Parça ölçümü tamamlandığında verilerin yorumlanması için grafiksel analizler uygulanmaktadır. Bir Ölçüm Sistemleri Analizi'nin esas amacı bütün sistemi anlamak olduğu için, grafiksel araçların kullanılması çok önemlidir. Bu grafiksel araçlar, varyans modelini ve karşılıklı ilişkilerini anlamamızı sağlamaktadır. Veri toplamak için uygulanacak olan deneyin niteliğine bağlı olarak hangi grafiksel araçların kullanılacağı belirlenmektedir. Ölçüm Sistemleri Analizi'nde elde edilen veriler, kontrol kartlarında gösterilebilir. Bunlar, Ortalama Kartı, Aralık Kartı, Hata Kartı, Ortalamaların Büyüklüklerine göre X-Y Kartı, Karşılaştırma X-Y Kartları, Yayılım Kartı gibi kartlardır.

Ölçüm cihazı, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik analizinde, elde edilen veriler her operatör için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Yapılan denemeler arasından ölçülen her bir parça için aralık ve ortalama bulunması gerekmektedir.

Tablo 5: Bir Operatör Tarafından Gerçekleştirilen Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Veri Sayfası

DENEME (r)	PARÇA (n)						ORTALAMA
	1	2	3	...	...	n	
1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	...	...	X _{1n}	$\bar{X}_1$
2	X ₂₁	...	...	...	...	X _{2n}	$\bar{X}_2$
3	X ₃₁	...	...	...	...	X _{3n}	$\bar{X}_3$
...	...	...	...	...	...	...	...
r	X _{r1}	...	...	...	...	...	$\bar{X}_r$
Ortalama	X ₁	X ₂	X ₃	...	...	X _n	$\bar{X}_{\text{Operatör}}$
Aralık	R ₁	R ₂	R ₃	...	...	R _n	$\bar{R}_{\text{Operatör}}$

Operatörün her bir parça için yaptığı denemelerin ortalaması (X_n) ve en büyük veri değerinden en küçük veri değeri çıkartılarak bulunan aralık (R_n) değerleri;

$$X_n = \frac{X_{1n} + X_{2n} + X_{3n} + \dots + X_{rn}}{\text{Deneme Sayısı}}$$

$$R_n = X_{\max} - X_{\min}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Elde edilen ortalama ve aralık değerleri ile bir operatörün tüm denemelerinin ortalamaları;

$$\bar{X}_{\text{Operatör}} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{\text{Parça Sayısı (n)}}$$

$$\bar{R}_{\text{Operatör}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{\text{Parça Sayısı (n)}}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Her bir operatör için ayrı ayrı hesaplanan aralıkların ortalamasının ($\bar{R}_{\text{Operatör}}$) yardımı ile tüm operatörlerin toplam aralıklarının ortalaması ($\bar{\bar{R}}$);

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_{\text{Operatör A}} + \bar{R}_{\text{Operatör B}} + \dots + \bar{R}_{\text{Operatör X}}}{\text{Operatör Sayısı}}$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Alt ve üst kontrol limitlerini bulmak için tüm verilerin aralık ortalaması bulunmalıdır. Alt kontrol limiti $\bar{\bar{R}} \times D_3$, üst kontrol limiti ise $\bar{\bar{R}} \times D_4$ şeklinde elde edilmektedir.

Üst kontrol limit değerinden daha büyük aralık oluşturan hesaplanan ölçümler, aynı operatör ve aynı örnek parça kullanarak tekrarlanabilir, veya bu değerler analizden çıkartılarak ortalama tekrar bulunabilir. Kontrol dışına çıkma durumu oluşturan özel nedenler düzeltilmektedir.

Tüm ölçüm değerlerinin ortalaması ($\bar{\bar{X}}$) ve operatörler arası ortalamaların aralık değeri ($\bar{X}_{\text{DIFF}}$);

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_{\text{Operatör A}} + \bar{X}_{\text{Operatör B}} + \bar{X}_{\text{Operatör C}}}{\text{Operatör Sayısı}}$$

$$\bar{X}_{\text{DIFF}} = \text{Max} \bar{X}_{\text{Operatör}} - \text{Min} \bar{X}_{\text{Operatör}}$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Operatörlerin, n parça için yaptığı bütün deneme sonuçlarının parça ortalaması hesaplanmaktadır. Böylece, en küçük parça ortalamasını en büyük parça ortalamasından çıkarılarak parça ortalamaları aralık değeri bulunmaktadır (Loukas vd., 2010: 251).

Ölçüm cihazının tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirliği için bulunan aralık ve ortalamaların yardımı ile varyanslar hesaplanmaktadır. Analizde toplam varyansın (TV) hesaplanması için 4 farklı yol izlenmektedir (AIAG MSA, 2010: 121):

- Parça değişkenliği değerini kullanarak

- Süreç değişkenliği değerini kullanarak
- P_p değerini kullanarak
- Tolerans aralığını kullanarak hesaplanmaktadır.

Parça değişkenliği için toplam varyans;

$$TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Hesaplamada tekrar yapılabilirlik değeri (AV) negatif çıkmamalıdır, çıkması durumunda negatif değerler sıfır olarak kabul edilmelidir. Süreç değişkenliği bilindiğinde toplam varyansı bulmak için 6 sigma hesaplamaları temel alınmalıdır. Bulunan toplam varyansa göre parçanın varyansı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$TV = \frac{\text{Süreç Değişkenliği}}{6.00}$$

$$PV = \sqrt{TV^2 - R\&R^2}$$

Sürecin değişkenliğini göstermek ve sürecin yeterli olup olmadığını anlamak amacıyla kullanılan P_p değeri biliniyor ise; toplam varyans üst limit değerinden alt limit değeri çıkartılarak $6 \times P_p$ değerine bölümü ile hesaplanmaktadır.

$$TV = \frac{\text{Üst Limit} - \text{Alt Limit}}{6P_p}$$

P_p değerinin 1'den büyük olması gerekmektedir. 1'den küçük olduğu takdirde tolerans aralığı kullanılarak hesaplanmaktadır. Verilen tolerans değerlerinin üst limiti ile alt limit arasındaki farkın 6'ya bölümünden toplam varyans elde edilmektedir. P_p değerini veya tolerans aralığı kullanılarak yapılan analizde süreç değişkenliğinde olduğu gibi parçanın varyansını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$TV = \frac{\text{Üst Limit} - \text{Alt Limit}}{6}$$

Planlanan uygulamada ölçüm sistemlerinin kabul edilebilir olup olmadığını anlayabilmek için toplam varyans yüzdeleri değerlendirilmelidir. Ölçüm cihazının tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirliği (%R&R) %10'un altında ise ölçüm sistemi kabul edilmektedir. % R&R değeri %10 ile %30 arasında ise uygulamanın önemi, tamir masrafları, ölçüm cihazının maliyeti gibi nedenlere bağlı olarak kabul edilmektedir. %R&R değerinin %30'un üzerinde olduğu durumlarda ise ölçüm sisteminin geliştirilmesine karar verilir. Sorunun bulunması ve çözülmesi gerekmektedir (AIAG MSA 2010: 78).

Tablo 6: Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Hesaplamaları
Ölçüm Birimleri Analizi % Toplam Varyans

Tekrarlanabilirlik – Ekipman Varyansı (EV) $EV = \bar{\bar{R}} \times K_1$	$\%EV = 100 \times \left(\frac{EV}{TV}\right)$		
Tekrar Yapılabilirlik – Operatör Varyansı (AV) $AV = \sqrt{[(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)]}$	$\%AV = 100 \times \left(\frac{AV}{TV}\right)$		
Tekrarlanabilirlik & Tekrar Yapılabilirlik (R&R) $R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	$\%R\&R = 100 \times \left(\frac{R\&R}{TV}\right)$		
Parça Varyansı (PV) $PV = R_p \times K_3$	$\%PV = 100 \times \left(\frac{PV}{TV}\right)$		
Toplam Varyans (TV) $TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2}$	Deneme	2	3
	K ₁	0,8862	0,5908
	Operatör Sayısı	2	3
	K ₂	0,7071	0,5231

Parçalar	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K ₃	0,7071	0,5231	0,4476	0,4030	0,3742	0,3534	0,3375	0,3249	0,3146

Sayısal hesaplamanın son adımı olarak ölçüm sisteminin güvenilirliğini ayırt etmek amacıyla kategori sayısı belirlenmektedir. Kategori sayısı %97 güven aralığında olup, beklenen parça varyansını ifade etmektedir. Süreç varyasyonu boyunca ölçüm sisteminin tutarlı olarak ölçebildiği güven aralığı sayısıdır (GHSP, 2012). Kategori sayısı;

$$ndc = 1,41 \frac{PV}{R\&R}$$

şeklinde hesaplanmakta ve bulunan sonucun 4'ten büyük olması beklenmektedir.

3. ANOVA Metodu

Tsai 1988'de farklı operatörlerin aynı ölçüm aletini kullanmasından oluşan değişkenliği, tekrar yapılabilirliğini ve ölçü aletinin kendi temel kesinliğini göstermesine bağlı olan değişkenliği de ölçümün tekrarlanabilirliği olarak tanımlamıştır. Ölçümün değişkenliği, tekrar yapılabilirlik ve ölçümün tekrarlanabilirliğinden oluşmaktadır. Toplam değişkenliğin bileşenleri hem parçanın değişkenliği hem de ölçüm aletinin değişkenliğini kapsamaktadır. Rastgele etkiler modeli, bir ölçüm sisteminin analizinde kullanılmakta ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + O_j + PO_{ij} + \epsilon_{ijl} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, n \\ l = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Y_{ijl} : i. parçanın j. operatör tarafından l. kez tekrarlanan ölçümü,

μ : süreç ortalamasını,

P_i : i. parça etkisini, O_j j. operatör etkisini

PO_{ij} : i. parça ile j. operatör arasındaki etkileşimi,

ϵ_{ijl} : hata faktörünü ifade etmektedir.

Değişkenliğin kaynağı 4 bileşenden oluşmaktadır: parça, operatör, parça ile operatör arasındaki etkileşim ve rastgele hata faktörü. P_i , O_j , PO_{ij} ve ϵ_{ijl} normal dağılım gösteren ve ortalaması 0 kabul edilen rastgele faktörler olup sapmaları

sırasıyla σ_p^2 , σ_0^2 , σ_{p0}^2 ve σ_ϵ^2 eşittir. Parçalar ile operatörler arasındaki etkileşim, parçaların ve operatörlerin etkisi ve hata faktörleri birer katkı olarak kabul edilmektedir. Tahmini cihaz değişkenliği, tekrarlanabilirlik değişkenliği ile tekrar yapılabilirlik değişkenliğinin toplamı aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_{\text{Ölçüm}}^2 = \sigma_{\text{Tekrarlanabilirlik}}^2 + \sigma_{\text{Tekrar Yapılabilirlik}}^2$$

$$\sigma_{\text{Tekrarlanabilirlik}}^2 = \sigma_\epsilon^2$$

$$\sigma_{\text{Tekrar Yapılabilirlik}}^2 = \sigma_0^2 + \sigma_{p0}^2$$

Tablo 7: Varyans Tahminleri

Ölçüm Cihazı	$\tau^2 = MS_e$
Etkileşim	$\gamma^2 = \frac{MS_{p0} - MS_e}{k}$
Operatör	$\omega^2 = \frac{MS_0 - MS_{0p}}{nk}$
Parça	$\sigma^2 = \frac{MS_p - MS_{0p}}{pk}$
$\sigma_{\text{Tekrarlanabilirlik}}^2 = MS_e$	
$\sigma_{\text{Tekrar Yapılabilirlik}}^2 = \frac{(MS_0 + (n-1)MS_{p0} - nMS_e)}{nk}$	
$\sigma_{\text{Ölçüm}}^2 = \frac{(MS_0 + (n-1)MS_{p0} - n(k-1)MS_e)}{nk}$	

Tsai 1988’de değişkenliğe neden olan unsurları hesaplayabilmek için ANOVA Yöntemi’ni geliştirmiştir. Montgomery ve Runger, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik çalışmalarının değişkenlik unsurlarını kesin olarak tahmin etmede deney tasarımıyla eş değerde olduğunu vurgulamaktadır. Varyans bileşenlerinin tahmini σ_{p0}^2 tahmini negatif olmaktadır. Bu problemi çözmede kullanılan bir yöntem bu değer 0 olarak kabul edilmesi ve ölçüm değişkenlik tahmininin yeniden hesaplanmasıdır (Fang ve diğerleri, 2005: 2).

Tablo 8: Varyans Analizi

Kaynak	DF	SS	MS	EMS
Operatör	p -1	SS ₀	$MS_0 = \frac{SS_0}{p-1}$	$\tau^2 + ky^2 + nk\omega^2$
Parçalar	n - 1	SS _p	$MS_p = \frac{SS_p}{n-1}$	$\tau^2 + ky^2 + nk\sigma^2$
Operatör × Parçalar	(n-1)×(p-1)	SS _{OP}	$MS_{OP} = \frac{SS_{OP}}{(n-1)(p-1)}$	$\tau^2 + ky^2$
Operatör Cihazı (Hata)	np(k-1)	SS _e	$MS_e = \frac{SS_e}{np(k-1)}$	τ^2
Toplam > nk-1 Operatör~N(0,ω ²) Parçalar~N(0, σ ²) F değeri = MS _{OP} /MS _e Operatör×Parçalar~N(0,Y ²) Ölçüm Cihazı~ N(0,τ ²)				

Tablo 8’de görüldüğü gibi Varyans Analizi operatörlerini, parçalarını, operatörlerin ve parçaların etkileşimlerini ve ölçüm cihazından kaynaklanan tekrarlar hata faktörünü dikkate alarak analiz yapmaktadır. Kaynak kolonu değişkenliğin sebebini, DF kolonu ise kaynağın serbestlik derecesini göstermektedir. SS sembolü kareler toplamını, MS sembolü kareler ortalamasını, EMS sembolü beklenen kareler ortalamasını göstermektedir (Pan, 2004: 674).

3.4.8. Yetenek

Kısa dönemli bir değerlendirmeye dayalı ölçüm hatalarının (tesadüfi veya sistematik) birleştirilmiş değişkenliğinin bir tahminidir. Yetenek aşağıdaki bileşenleri içerir;

- Doğrusallık,
- Kısa dönem tutarlılığı içeren tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik. (AIAG MSA, 2010:58).

Ölçüm yeteneğinin tahmini, ölçüm sisteminin tanımlanmış aralığı, çalışma alanı ve şartları için beklenen hatanın bir ifadesidir. Ölçüm sisteminin yeteneği:

$$\sigma_{\text{Yetenek}}^2 = \sigma_{\text{Sapma}}^2 + \sigma_{\text{GRR}}^2$$

Ölçüm sistemleri yetenek çalışmalarını tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik olmak üzere iki ölçüm hatası bileşenleri ile tasarlamak mümkündür. Tekrar yapılabilirlik, farklı operatörlerin ölçüm varyansı (ya da farklı zaman periyotları, farklı çevre, farklı şartlar) gösterirken tekrarlanabilirlik, ölçümün hassasiyetini göstermektedir (Montgomery, 2001: 373).

$$\sigma_{\text{Ölçüm Hatası}}^2 = \sigma_{\text{Ölçü}}^2 + \sigma_{\text{Tekrarlanabilirlik}}^2 + \sigma_{\text{Tekrar Yapılabilirlik}}^2$$

3.4.9. Performans

Ölçüm sistemi performansı, zaman boyunca değişkenliğin tüm belirlenebilir ve önemli kaynaklarının net etkisidir. Ölçüm hatalarının uzun dönem değerlendirmelerini nitelendirir. Bu nedenle performans aşağıdakilerin uzun dönem hata bileşenlerini içerir:

- Yetenek (kısa dönem hatalar)
- Durağanlık ve tutarlılık

Durağanlık, zaman serisi verilerinin belirli bir zaman boyunca sürekli artma veya azalmanın olmadığı, verilerin zaman boyunca bir yatay ekseninde saçılım göstermesi biçiminde tanımlanır.

Ölçüm performansının tahmini, ölçüm sisteminin tanımlanmış aralığı, çalışma alanı ve şartları için beklenen hataların bir ifadesidir. Ölçüm sistemi performansı;

$$\sigma_{\text{Performans}}^2 = \sigma_{\text{Yetenek}}^2 + \sigma_{\text{Durağanlık}}^2 + \sigma_{\text{Tutarlılık}}^2$$

şeklinde gösterilir (AIAG MSA, 2010: 58).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. FİRMA TANITIMI

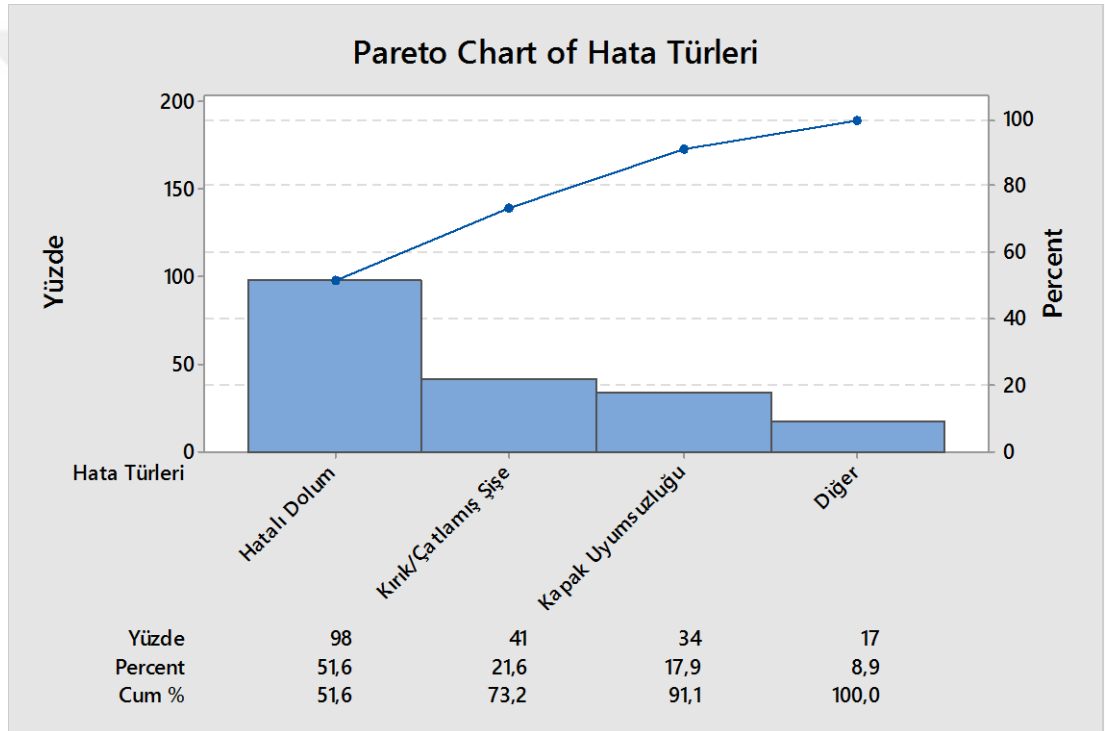
Çalışma yapılan firma, 1981 yılında parfüm ve esans üretimi üzerine kurulmuştur. 1984 yılında Isparta'da gül ve diğer esans yağlarının damıtılması için fabrika açılmış, yeni teknolojileri kullanarak Türkiye'de öncü bir firma olmuştur. Türkiye'de ilk ve en eski GC-MS (Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi) kullanıcısıdır. 2005 yılında Kemerburgaz / İstanbul'da komple otomasyonlu robot kompozisyon sistemli yeni bir fabrika açmış ve birden fazla kıtada faaliyet göstermeye başlamıştır. ISO 9001: 2008 ve ISO 22716: 2007 sertifikalı, Parfüm Geliştirme Ekibi, QC departmanı, Satış & Pazarlama departmanı olmak üzere tüm departmanlarda müşteri odaklı bir hizmet anlayışı sürdürmektedir. Firmanın misyonu, parfüm, kozmetik, ev bakım ürünleri gibi çeşitli kategorilere yüksek performanslı, farklılık yaratan esans ve parfümler sunmaktır.

Çalışmada firma, maliyetlerinin fazlalığından dolayı parfüm sürecini incelemek istemiştir. Süreçte oluşan hatalar bulunmuş ve pareto analizi ile hataların türleri ve sayıları belirlenmiştir. En fazla hatanın parfüm dolum işleminde ortaya çıktığı görülmüştür. İlk olarak süreçten elde ettiğimiz verilere normallik testi yapılmış daha sonra İstatistiksel Kalite Kontrol araçlarından olan kontrol kartları ve süreç yetenek indisleri yardımı ile parfüm doldurma sürecinin spesifikasyonları karşılayabilme yeteneği incelenmiştir. Çalışmanın devamında ise farklı vardiyalarda farklı operatörler tarafından ölçümü yapılan 50 ml ve 100 ml parfüm şişelerinin her birinden 10'ar adet olmak üzere 20 adet şişeye, ölçüm sisteminin ve buna bağlı olarak üretimde yapılan değerlendirmelerin kabul edilebilirliğini ölçmek amacıyla Ölçüm Sistemleri Analizi uygulanmış ve yapılan iyileştirme sonrası sürecin ölçüm sistemi ve yetenek analizi tekrar incelenmiştir.

4.2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL UYGULAMA

Parfüm üretimi gerçekleştiren firma, maliyetlerinden kaynaklı parfüm dolum sürecini iyileştirmek istemiştir. Bu hedef doğrultusunda süreçte oluşan sorunların nedenleri belirlenmek istenmiş ve bu amaç ile İstatistiksel Kalite Kontrol araçları ile iyileştirmelere başlanmıştır. Bu nedenle ilk olarak süreçte oluşan hataları görmek için Ocak ayında üretilen 10000 birimden elde edilen hata türleri ve sayıları pareto diyagramı ile gösterilmiştir.

Şekil 13 : Pareto Analizi



Grafikte 10000 birimden ortaya çıkan hata türlerinin yaklaşık %51,6'sı hatalı şişe doldurulmalarından kaynaklanmaktadır. Elde edilen verilerden yola çıkarak hata oranı yüksek olan dolum bölümündeki işlemlere odaklanmak anlamlı olacaktır.

Ocak ayında üretilen 10000 parfüm şişesinde ortaya çıkan dört tür hatanın sayıları ile firmanın sigma seviyesini belirlenmiştir:

$$\text{Toplam Hata Sayısı} = 98 + 41 + 34 + 17 = 190$$

$$\text{Ürün Başına Hata} = \frac{\text{Toplam Hata Sayısı}}{\text{Toplam Birim Sayısı}} * 1000000 = 19000$$

$$\text{Milyonda Hata Sayısı} = \frac{\text{Ürün Başına Hata}}{\text{Toplam Hata Çeşidi Sayısı}} = 4750$$

Tablo 9: Firma Sigma Seviyesi

No	Adım	
1	Toplam Hata Sayısı	190
2	Toplam Birim Sayısı	10000
3	Ürün Başına Hata (DPU)	19000
4	Toplam Hata Çeşidi Sayısı	4
5	Milyonda Hata Sayısı (DPMO)	4750
6	Sigma Hesaplama Tablosundan sigma Seviyesini Bulma	4,1

Milyonda Hata Sayısı 4750 bulunmuş ve sigma hesaplama tablosu değerinden firmanın 4,1 sigma seviyesi ile çalıştığı görülmüştür. Bir parfüm şişesinin süreç içerisindeki maliyeti yaklaşık 7 TL'dir. Bu firma, milyonluk, yani yaklaşık bir yıllık üretiminde 33250 TL zarar etmektedir.

4.2.1. Dolum Sürecinde İstatistiksel Kalite Kontrol Uygulamaları

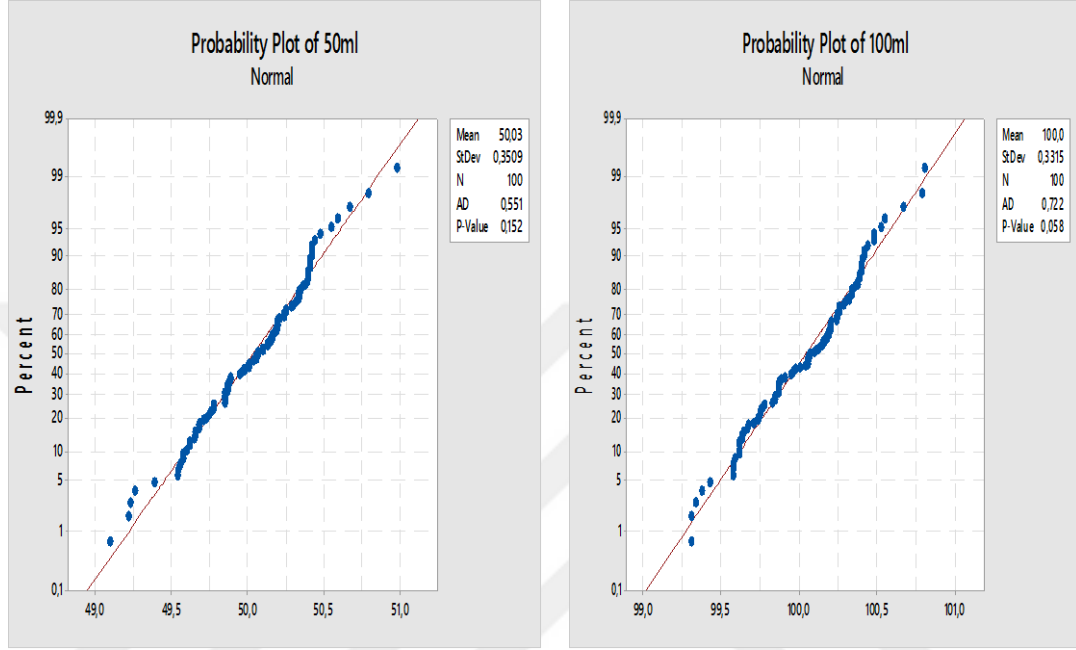
Bu aşamada, kontrol kartları yardımıyla sürecin kontrol altında olup olmadığı ve süreç yetenek analizleri ile de gözlenen değerlerin kabul edilebilir limitler dahilinde olup olmadığı incelenmiştir.

4.2.1.1. Kalite Kontrol Kartları Ve Süreç Yetenek Analizleri

Kontrol kartlarında ölçülen değerlerin süreç içerisinde kontrol altında olup olmadığı, süreç yeteneğinde ise ölçülen değerlerin belirlenen spesifikasyonlara göre üretilip üretilmediği konusundaki yeteneğini incelemek için 50 ml ve 100 ml'lik parfümlerin her bir türünden seçilen 100 gözlem "Minitab" programında

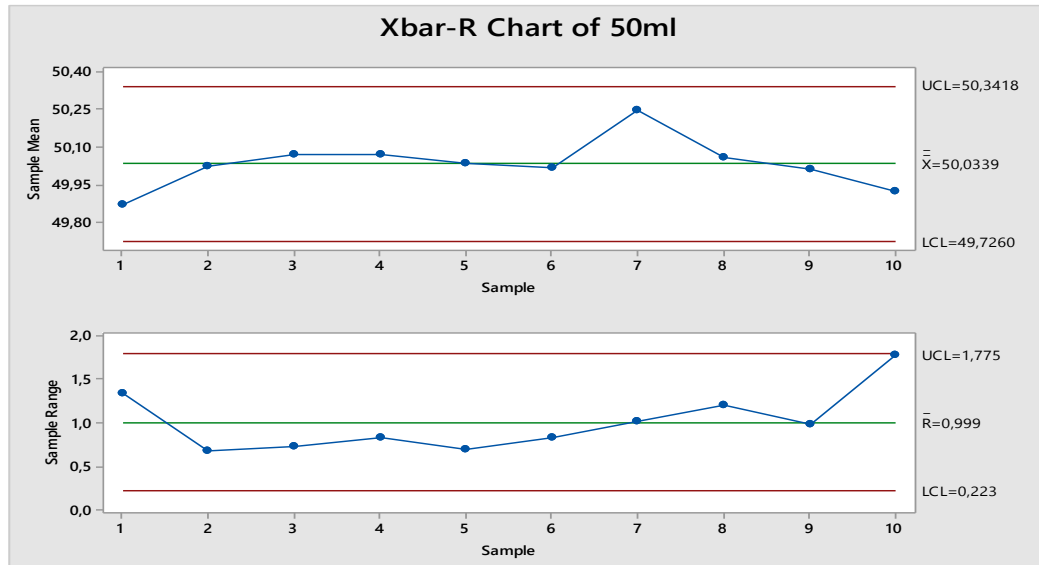
incelenmiştir. Süreçten alınan bu ölçümler 10'arlı alt grup oluşturularak kontrol kartlarına yerleştirilmiştir. Öncelikle analizin yapılabilmesi için gerekli olan verilerin normal dağılıp dağılmadığı incelenmiştir.

Şekil 14: 50 ml ve 100 ml için Normallik Testleri

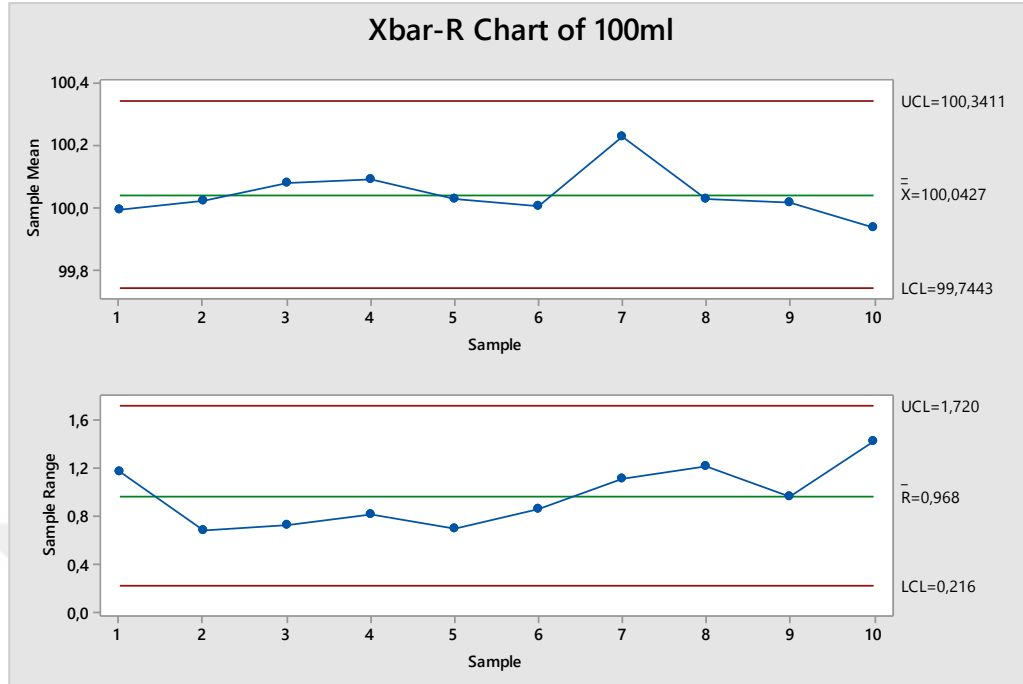


Her iki parfüm türünde de p değeri 0,05'ten büyük çıktığından veriler normal dağılmaktadır. Bu nedenle veriler üzerinde analiz yapılabilir.

Şekil 15: 50 ml için $\bar{X}$ -R Kartları

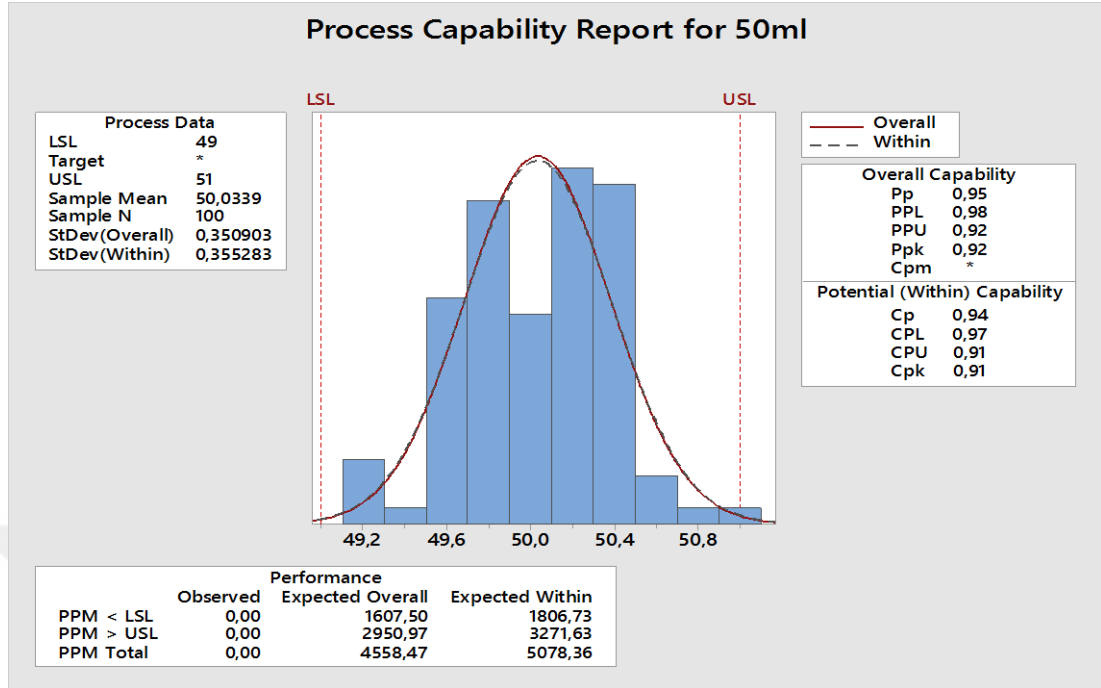


Şekil 16: 100 ml için $\bar{X}$ -R Kartları

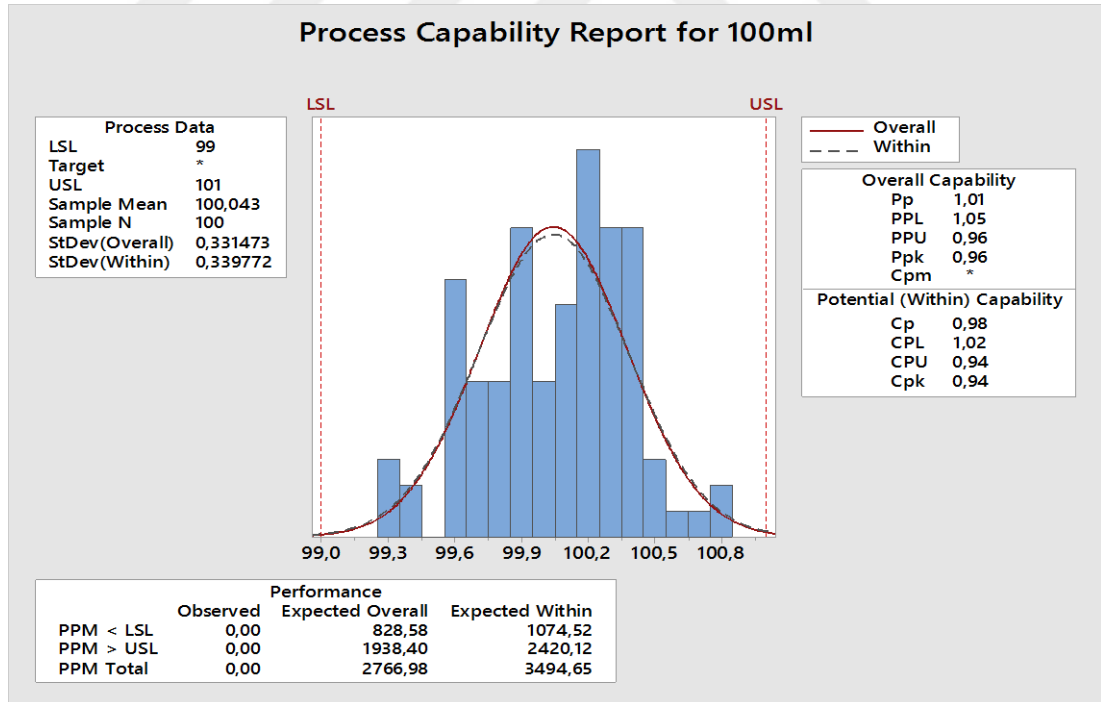


Shewhart Kontrol kartlarında görüldüğü üzere süreç kontrol altında görünmektedir. Bunun üzerine ürünün ilgili karakteristiğinin gerektirdiği spesifikasyonları sağlamak için yeteneğinin olup olmasına bakma adına süreç yetenek indeksleri incelenmiştir. Firmanın müşterilerle anlaşarak belirlediği 50 ml'lik şişeler için 50 ± 1 , 100 ml'lik şişeler için ise 100 ± 1 spesifikasyon limitlerine göre süreç yetenek analizi sonuçları aşağıdaki gibidir:

Şekil 17: 50 ml için Süreç Yetenek Analizi



Şekil 18: 100 ml için Süreç Yetenek Analizi



50 ml ve 100 ml şişelerin yetenek indeksleri incelendiğinde değerlerin kabul edilebilir limitlerin dahilinde olmadığı görülmektedir. Hedef değer ve örneklemelerin

ortalamaları birbirine eşit olmadığından C_p değerine bakmak anlamsız olacaktır. C_{pk} değerine bakıldığında ise süreç spesifikasyonlar için yeterli değildir.

4.2.1.2. Ölçüm Sistemleri Analizi

Parfüm dolumu süreci kontrol kartlarında limitler dahilinde olmasına rağmen spesifikasyonları sağlayamadığı görülmüş ve bunun nedeni araştırılmak istenmiştir. Toplam varyansa bakıldığında ürün varyansının etkisi fazla görülmemiş, bunun üzerine toplam varyansı etkileyen diğer bir faktör olan ölçüm varyansı incelenmek istenmiştir. Ölçüm sürecinde meydana gelen varyansların operatörlerden mi ya da ölçü aletlerinden mi kaynaklandığı Ölçüm Sistemleri Analizi yardımıyla belirlenmek istenmiştir. Bu nedenle farklı vardiyalarda bulunan üç operatörün, üç tekrar ile 50 ml ve 100 ml parfüm şişelerinin her birinden 10'ar adet olmak üzere 20 adet şişeye yaptığı ölçümler, ölçüm sisteminin ve buna bağlı olarak üretimde yapılan değerlendirmelerin kabul edilebilirliğini ölçmek amacıyla "Ölçüm Sistemleri Analizi" Minitab programı ile uygulanmıştır.

Tablo 10: 50 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi

ÖLÇÜM SİSTEMİ ANALİZİ - GR&R													
		UYGULAMA : 50 ml Parfüm Şişesi					TOLERANS : ± 1 ml						
		KARAKTERİSTİK : Parfüm ml (50 ml)											
ÖLÇÜMCÜ		3		DENEME		3		ŞİŞE ADET		10			
ÖLÇÜMCÜ DENEME		ŞİŞE										ORTALAMA	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. A	1	50,35	50,30	50,32	50,35	50,26	50,33	50,30	50,29	50,31	50,25	50,306	
2.	2	50,33	50,31	50,32	50,35	50,30	50,32	50,36	50,30	50,31	50,23	50,313	
3.	3	50,35	50,30	50,33	50,35	50,32	50,32	50,35	50,21	50,30	50,25	50,308	
4.	Ortalama	50,343	50,303	50,323	50,350	50,293	50,323	50,337	50,267	50,307	50,243	X _{ort} = 50,3090	
5.	Aralık	0,02	0,01	0,01	0,00	0,06	0,01	0,06	0,09	0,01	0,02	R _{ort} = 0,029	
6. B	1	50,24	50,30	50,23	50,25	50,28	49,76	49,76	49,69	49,80	50,34	50,065	
7.	2	50,25	50,32	50,24	50,25	50,28	50,22	50,27	49,71	49,81	50,33	50,168	
8.	3	50,35	50,30	50,32	50,27	49,77	49,62	49,68	49,71	49,82	50,32	50,016	
9.	Ortalama	50,280	50,307	50,263	50,257	50,110	49,867	49,903	49,703	49,810	50,330	X _{ort} = 50,0830	
10.	Aralık	0,11	0,02	0,09	0,02	0,51	0,60	0,59	0,02	0,02	0,02	R _{ort} = 0,200	
11. C	1	50,24	50,30	50,33	50,35	50,26	49,73	50,28	49,61	50,22	49,67	50,099	
12.	2	50,25	49,71	50,23	49,75	50,27	50,23	49,69	50,29	49,62	49,65	49,969	
13.	3	49,63	50,30	50,33	50,26	49,67	49,72	49,98	49,68	49,71	49,64	49,892	
14.	Ortalama	50,040	50,103	50,297	50,120	50,067	49,893	49,983	49,860	49,850	49,653	X _{ort} = 49,9867	
15.	Aralık	0,62	0,59	0,10	0,60	0,60	0,51	0,59	0,68	0,60	0,03	R _{ort} = 0,492	
16. Parça Ortalaması (X _p)		50,221	50,238	50,294	50,242	50,157	50,028	50,074	49,943	49,989	50,076	X _{ort} = 50,1262 R _p = 0,351	
17.		(R _{ort} = 0,029 + R _{ort} = 0,200 + R _{ort} = 0,492) / Ölçümcü = 3										R _{ort} = 0,2403	
18.		(Max X _{ort} = 50,3090) - (Min X _{ort} = 49,9867) = X _{diff}					Deneme	D ₄	D ₃ = 0				0,3223
19.		(R _{ort} = 0,2403) x (D ₄ = 2,58) = ÜKL _R					2	3,27					0,6201
20.		(R _{ort} = 0,2403) x (D ₃ = 0,00) = AKL _R					3	2,58					0,000
Ölçüm Cihazı Analizi							Tolerans : 1,0000 % Toplam Varyasyon TOLERANSA GÖRE (TA)						
Tekrarlanabilirlik - Cihaz varyasyonu (EV)													
EV = R _{ort} x K ₁							% EV = 100 (EV / TA) 100 (EV/TV)						
= 0,2403 0,5908							= 85,19 % 57,91 %						
= 0,14199													
Tekrar Yapılabilirlik - Ölçümcü Varyasyonu (AV)													
AV = √ (X _{diff} x K ₂) ² - (EV ² / nr)							% AV = 100 (AV / TA) 100 (AV/TV)						
= √ 0,028 - 0,00067							= 99,96 % 67,95 %						
= 0,16661													
Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (R&R)													
GRR= √ (EV) ² + (AV) ²							% GRR = 100 (GRR / TA) 100 (GRR/TV)						
= √ 0,0201609 + 0,0277582							= 131,34 % 89,28 %						
= 0,21890							KARAR : KABUL DEĞİL.ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ GEREKLİDİR.						
Parça Varyasyonu (PV)													
PV = R _p x K ₃							% PV = 100 (PV / TA) 100 (PV/TV)						
= 0,351 x 0,31							= 66,28 % 45,05 %						
= 0,11046													
Toplam Varyasyon (TV)							ndc= 1.41* (PV / GRR)						
TV = √ GRR ² + PV ²							= 0,71						
= √ 0,048 + 0,012							KARAR : PARÇA VARYASYONU, ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONUNA GÖRE DÜŞÜK SEVİYEDEDİR.						
= 0,24519													
% GRR : % 10 hatanın altında							Ölçüm sistemi kabul edilebilir.						
% 10 ile % 30 hata arasında							Uygulamanın önemine, ölçüm cihazının maliyetine, tamir masraflarına v.b. bağlı olarak kabul edilebilir.						
% 30 hatanın üzerinde							Kabul değil.Ölçüm sisteminin geliştirilmesi gerekir.						
ndc PARÇA VARYASYONU/ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONU							>5 KABUL. EĞER <5 İŞE PARÇA VARYASYONU/ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONUNA GÖRE DÜŞÜK SEVİYEDE.						

Tablo 11: 50 ml için Gage R&R - $\bar{X}$ -R Metodu

Gage R&R Study - XBar/R Method		
Source	VarComp	%Contribution(of VarComp)
Total Gage R&R	0,0479241	79,71
Repeatability	0,0201621	33,54
Reproducibility	0,027762	46,18
Part-To-Part	0,0121982	20,29
Total Variation	0,0601222	100.00

Source	StdDev(SD)	5.15*SD	%SV
Total Gage R&R	0,218916	1,31349	89,28
Repeatability	0,141993	0,85196	57,91
Reproducibility	0,166619	0,99972	67,95
Part-To-Part	0,110445	0,66267	45,04
Total Variation	0,245198	1,47119	100.00

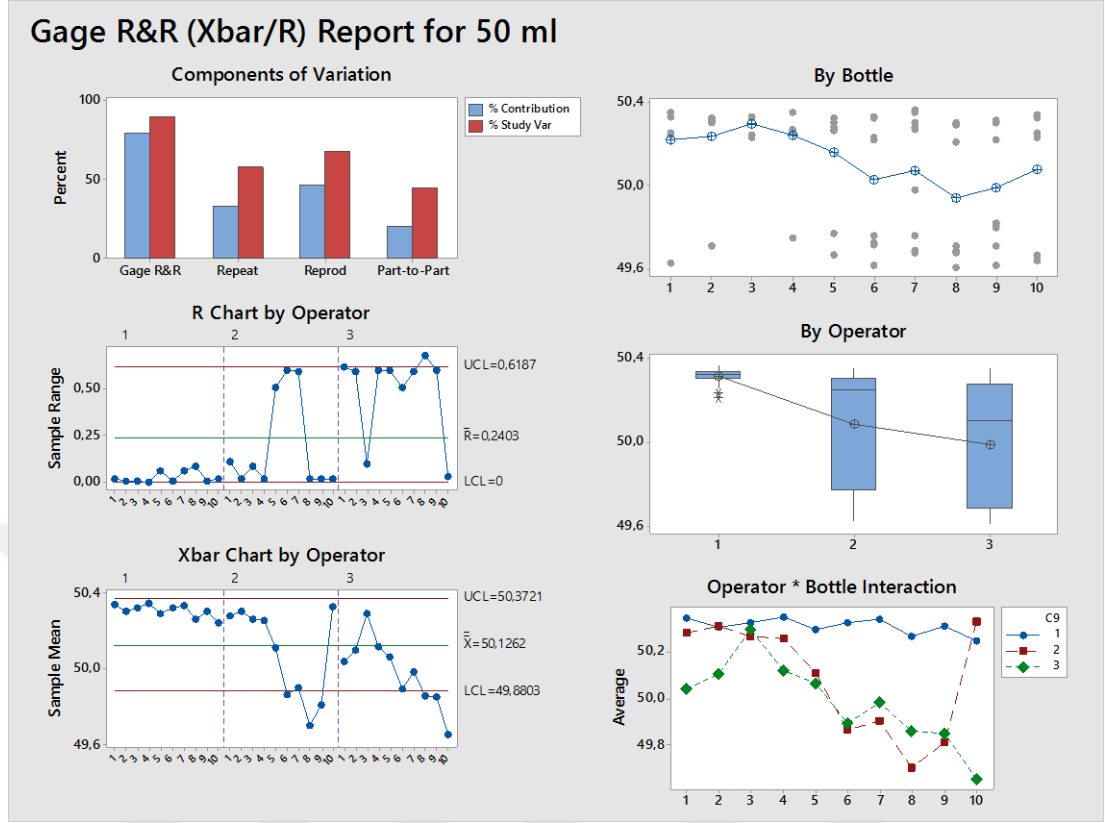
Number of Distinct Categories = 1

Analizde "Tekrarlanabilirlik", "Tekrar Yapılabilirlik" değerinden küçük çıktığından (0,166619 > 0,141993) sorunun en büyük kaynağı ölçüm elemanları olarak belirlenmiştir. Mevcut ölçüm sisteminin Gage R&R değeri varyans yüzdesi %89,28 yani %30'dan büyük çıktığından sistem ölçüm sürecinin kontrolü için uygun değildir. Sistemin süreç kontrolü için yeterli olup olmadığı, "Farklı Veri Kategorileri Sayısı" hesaplanarak da kontrol edilebilir:

$$ndc = 1,41 * \frac{PV}{R\&R} = 1,41 * \frac{0,110445}{0,218916} \approx 1$$

Analizde, %R&R = %89,28 ve farklı kategori sayısı = 1 olduğundan ölçüm sistemi süreç değişkenliğini ölçmek için kabul edilebilir seviyede değildir.

Şekil 19: 50 ml için Ölçüm Sistemleri Analiz Raporu



"Components of Variaton" grafiğinde Gage R&R = % 89,28 olarak bulunmuştur. Sonuç > %30 olduğu için ölçüm sistemi kabul edilebilir seviyede değildir.

"R Chart by Operator" grafiği operatörlerin üç ölçüm arasındaki farkı göstermektedir. Birinci operatörün tüm ölçümleri arasındaki farklar alt limite yakın çıkmıştır. İkinci operatörün 5,6,7 numaralı ölçümleri üst limit değerine yaklaşmışken, diğer ölçümleri alt limite yakındır. Üçüncü operatörde ise 1 ve 8 numaralı gözlemler limit dışına çıkmış, geriye kalan ölçüm farkları ise limit değerlerine çok yakın çıkmıştır. Tekrarlanabilirlik düzgün gerçekleştirilememektedir.

"Xbar Chart by Operator" grafiği, operatörlerin aynı şişeyi üç kez ölçümünün ortalamalarını göstermektedir. Her bir operatörün ölçüm değerlerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Gözlenen değerlerin %50'sinden fazlasının limitlerin içerisinde olması, operatörlerin süreçte yapılan işlemlere hakim olmadığını göstermektedir.

"By Bottle" grafiğinde, her bir şişe için alınan ölçümlerin dağılımlarını göstermektedir. Tüm şişelerin ölçümleri dağınık görünmektedir.

"By Operator" grafiğinde, operatörlerin toplamda yaptıkları ölçümlerin ortalamalarını ve dağılımlarını göstermektedir. Birinci operatörün ölçüm ortalaması diğer operatörlere göre daha yüksek çıkmaktadır. İkinci ve üçüncü operatörün ortalamaları daha az, ölçümleri ise daha dağınıktır.

"Operator * Bottle Interaction" grafiğinde operatör ile şişelerin etkileşimi gösterilmektedir. Operatörlerin üçüncü ölçümleri hariç ölçüm ortalaması arasında fark vardır. Bu farkların ölçüm sisteminin yetersiz bulunmasında önemli bir rolü vardır.



Tablo 12: 100 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi

ÖLÇÜM SİSTEMİ ANALİZİ - GR&R													
		UYGULAMA		: 100 ml Parfüm Şişesi				TOLERANS		: ± 1 ml			
		KARAKTERİSTİK		Parfüm ml (100 ml)									
ÖLÇÜMCÜ		3		DENEME		3		ŞİŞE ADET		10			
ÖLÇÜMCÜ		ŞİŞE									ORTALAMA		
DENEME		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. A	1	100,26	100,25	99,68	100,24	100,23	100,34	100,34	99,77	100,06	100,26	100,140	
2.	2	100,55	100,25	99,66	100,24	100,23	100,33	99,76	100,07	100,35	100,24	100,167	
3.	3	100,25	99,63	100,24	100,24	100,22	100,33	99,76	100,06	100,24	100,25	100,121	
4.	Ortalama	100,351	100,043	99,860	100,237	100,225	100,333	99,953	99,963	100,217	100,245	X _{ort} = 100,1427	
5.	Aralık	0,30	0,63	0,57	0,00	0,00	0,01	0,57	0,30	0,29	0,02	R _{ort} = 0,269	
6. B	1	99,67	100,12	100,12	100,34	100,13	99,98	99,77	99,85	100,23	100,29	100,048	
7.	2	99,67	100,13	100,24	100,14	99,63	99,77	100,33	99,85	100,23	100,30	100,028	
8.	3	99,67	100,12	100,24	100,14	99,76	99,79	99,65	100,25	100,29	99,95	99,985	
9.	Ortalama	99,666	100,120	100,201	100,203	99,840	99,847	99,917	99,982	100,248	100,178	X _{ort} = 100,0203	
10.	Aralık	0,00	0,01	0,13	0,20	0,49	0,21	0,67	0,41	0,07	0,35	R _{ort} = 0,254	
11. C	1	99,95	100,17	100,30	100,05	100,20	99,76	99,58	100,16	99,88	99,78	99,983	
12.	2	99,94	100,12	100,27	100,08	100,20	99,70	99,64	100,14	99,73	99,65	99,947	
13.	3	100,27	100,24	100,10	100,20	99,77	99,68	100,34	100,15	99,89	99,65	100,027	
14.	Ortalama	100,051	100,173	100,220	100,110	100,058	99,714	99,854	100,149	99,831	99,695	X _{ort} = 99,9855	
15.	Aralık	0,33	0,12	0,20	0,15	0,43	0,08	0,75	0,02	0,16	0,13	R _{ort} = 0,237	
16.	Parça											X _{ort} = 100,0495	
Ortalaması (X _p)		100,023	100,112	100,094	100,183	100,041	99,965	99,908	100,031	100,099	100,040	R _p = 0,275	
17.	(R _{ort} = 0,269		+ R _{ort} = 0,254		+ R _{ort} = 0,237		) / Ölçümcü = 3		R _{ort} = 0,2534				
18.	(Max X _{ort} = 100,1427		) -		(Min X _{ort} = 99,9855		) = X _{diffort}		Deneme	D ₄	D ₃ = 0	0,1572	
19.	(R _{ort} = 0,2534		) x (D ₄ = 2,58		) = ÜKL _R				2	3,27		0,6539	
20.	(R _{ort} = 0,2534		) x (D ₃ = 0,00		) = AKL _R				3	2,58		0,000	
Ölçüm Cihazı Analizi							Tolerans : 0,1000		% Toplam Varyasyon TOLERANSA GÖRE (TA)				
Tekrarlanabilirlik - Cihaz varyasyonu (EV)													
EV = R _{ort} x K ₁							Deneme		K ₁		% EV = 100 (EV / TA) 100 (EV/TV)		
= 0,2534 0,5908							2		0,8862		= 898,37 % 78,99 %		
= 0,14973							3		0,5908				
Tekrar Yapılabilirlik - Ölçümcü Varyasyonu (AV)													
AV = √ (X _{diffort} x K ₂) ² - (EV ² / nr)							Ölçümcü		K ₂		% AV = 100 (AV / TA) 100 (AV/TV)		
= √ 0,007 - 0,00075							2		0,7071		= 465,30 % 40,91 %		
= 0,07755							3		0,5231				
Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (R&R)													
GRR= √ (EV) ² + (AV) ²									% GRR = 100 (GRR / TA) 100 (GRR/TV)				
= √ 0,0224186 + 0,0060140									= 1011,72 % 88,96 %				
= 0,16862							Parça		K ₃		KARAR : KABUL DEĞİL.ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ GEREKLİDİR.		
Parça Varyasyonu (PV)							2		0,7071				
PV = R _p x K ₃							3		0,5231		% PV = 100 (PV / TA) 100 (PV/TV)		
= 0,275 x 0,31							4		0,4467		= 519,51 % 45,68 %		
= 0,08658							5		0,4030				
							6		0,3742				
							7		0,3534				
Toplam Varyasyon (TV)							8		0,3375		ndc= 1.41* (PV / GRR)		
TV = √ GRR ² + PV ²							9		0,3249		= 0,72		
= √ 0,028 + 0,007							10		0,3146		KARAR : PARÇA VARYASYONU, ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONUNA GÖRE DÜŞÜK SEVİYEDEDİR.		
= 0,18955													
% GRR : % 10 hatanın altında							Ölçüm sistemi kabul edilebilir.						
% 10 ile % 30 hata arasında							Uygulamanın önemine, ölçüm cihazının maliyetine, tamir masraflarına v.b. bağlı olarak kabul edilebilir.						
% 30 hatanın üzerinde							Kabul değil.Ölçüm sisteminin geliştirilmesi gerekir.						
ndc	PARÇA VARYASYONU/ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONU						>5 KABUL.EĞER <5 İŞE PARÇA VARYASYONU/ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONUNA GÖRE DÜŞÜK SEVİYEDE.						

Tablo 13: 100 ml için Gage R&R - $\bar{X}$ -R Metodu

Gage R&R Study - XBar/R Method		
Source	VarComp	%Contribution(of VarComp)
Total Gage R&R	0,0284355	79,14
Repeatability	0,0224199	62,4
Reproducibility	0,0060156	16,74
Part-To-Part	0,007495	20,86
Total Variation	0,0359305	100.00

Source	StdDev(SD)	5.15*SD	%SV
Total Gage R&R	0,168628	1,01177	88,96
Repeatability	0,149733	0,8984	78,99
Reproducibility	0,07756	0,46536	40,92
Part-To-Part	0,086574	0,51944	45,67
Total Variation	0,189553	1,13732	100.00

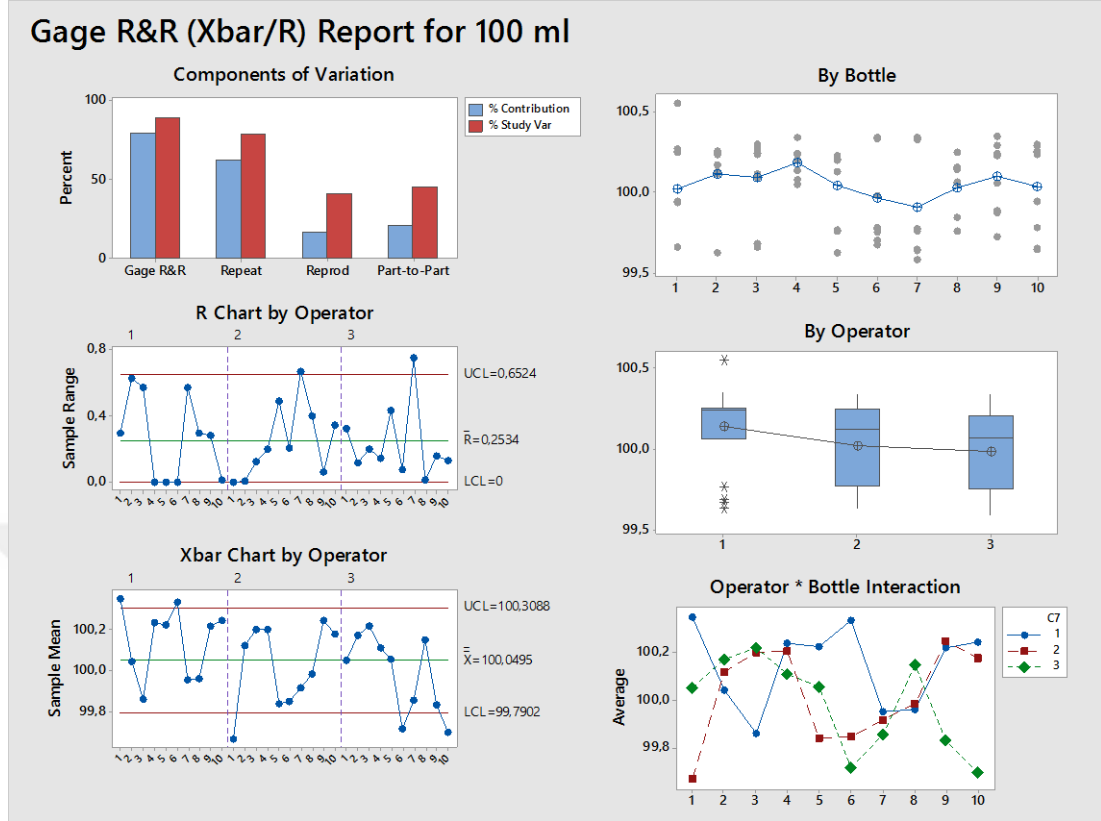
Number of Distinct Categories = 1

Analizde "Tekrarlanabilirlik", "Tekrar Yapılabilirlik" değerinden büyük çıktığından (0,149733 > 0,07756) sorunun en büyük kaynağı ölçüm ekipmanları olarak belirlenmiştir. Mevcut ölçüm sisteminin Gage R&R değeri varyans yüzdesi %88,96 yani %30'dan büyük çıktığından sistem ölçüm sürecinin kontrolü için uygun değildir. Sistemin süreç kontrolü için yeterli olup olmadığı, "Farklı Veri Kategorileri Sayısı" hesaplanarak da kontrol edilebilir:

$$ndc = 1,41 * \frac{PV}{R\&R} = 1,41 * \frac{0,086574}{0,168628} \approx 1$$

Analizde, %R&R = %88,96 ve farklı kategori sayısı = 1 olduğundan ölçüm sistemi süreç değişkenliğini ölçmek için kabul edilebilir seviyede değildir.

Şekil 20: 100 ml için Ölçüm Sistemleri Analiz Raporu



"Components of Variaton" grafiğinde Gage R&R = % 88,96 olarak bulunmuştur. Sonuç > %30 olduğu için ölçüm sistemi kabul edilebilir seviyede değildir.

"R Chart by Operator" grafiğinde, birinci operatörün ölçümleri arasındaki farklar 2,4,5,6 ve 10 numaralı gözlemler kontrol limitlerine yaklaşmıştır. İkinci operatörde ilk iki ölçüm alt kontrol limitinde olup 7 numaralı gözlem üst kontrol limitinin dışına çıkmıştır. Üçüncü operatörde ise 7 numaralı gözlem limit değerinin üzerine çıkmış olup, 8 numaralı gözlem alt limit üzerindedir. Tekrarlanabilirlik düzgün gerçekleştirilememektedir.

"Xbar Chart by Operator" grafiğinde, birinci operatörün 1 ve 6 numaralı gözlemleri limit dışına çıkmıştır. İkinci operatörün 1 numaralı, üçüncü operatörün 10 ve 6 numaralı ölçümlerinin ortalaması diğer şişelerin ortalamasına göre daha düşük çıkmıştır. Her bir operatörün ölçüm değerlerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Gözlenen değerlerin %50'sinden fazlasının limitlerin içerisinde olması, operatörlerin süreçte yapılan işlemlere hakim olamadığını göstermektedir.

"By Parca" grafiğinde, tüm şişelerin ölçümleri dağınık görünmektedir.

"By Operator" grafiğinde birinci operatörün ölçüm ortalaması diğer operatörlere göre daha yüksek çıkmıştır. İkinci ve üçüncü operatörün ortalamaları daha az, ölçümleri ise daha dağınıktır.

"Operator * Parca Interaction" grafiğinde operatörlerin ölçüm ortalamaları arasında fark vardır. Bu farkların ölçüm sisteminin yetersiz bulunmasında önemli bir rolü vardır.

4.2.1.3. Sebep-Sonuç Diyagramı (Balık Kılçığı Diyagramı)

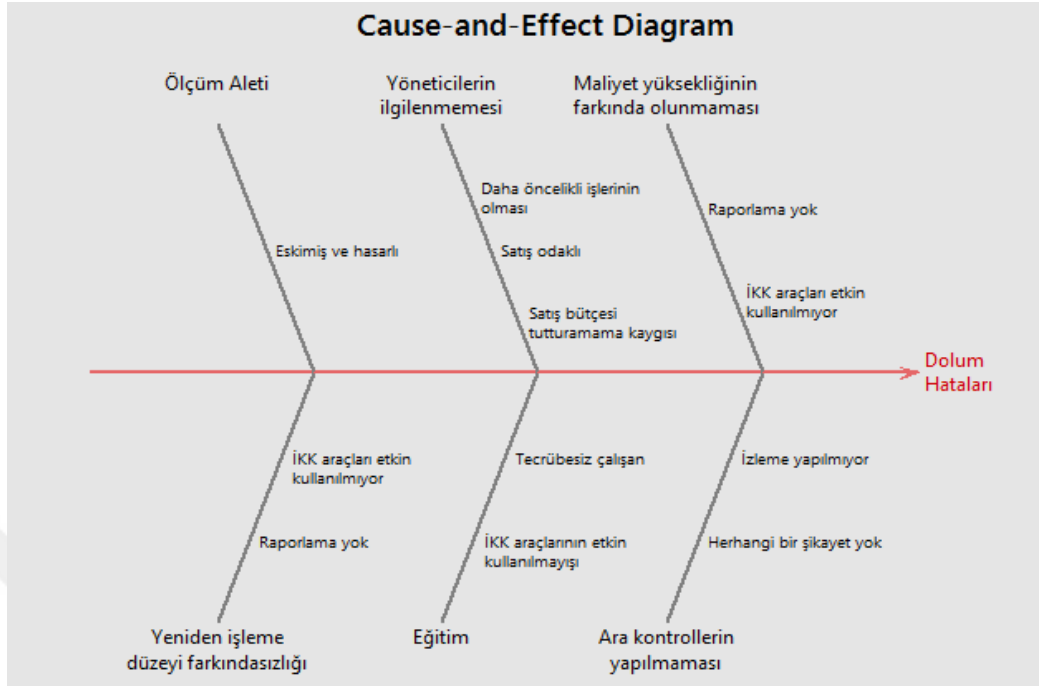
Yönetimin de katılımıyla üretim hattında çalışan kontrolörlerin ve çalışanların fikirleri alınarak öncelikle "Kök Neden Analizi" uygulanmıştır. Beyin fırtınasından ortaya çıkan nedenler ve alt nedenleri ortaya konulmuş ve farkındalık yaratılmıştır.

Tablo 14: Kök Neden Analizi

SEBEP - SONUÇ ANALİZİ KAYIT FORMU						
Sıra no	Ana Neden	Alt Neden 1	Alt Neden 2	Alt Neden 3	Alt Neden 4	Alt Neden 5
1	Maliyetin yüksekliğinin farkında olunmaması	Raporlama yok	İKK araçları etkin kullanılmıyor			
2	Ara kontrollerin yapılmıyor olması	Herhangi bir şikayet yok	İzleme yapılmıyor			
3	Yöneticilerin bu konu üzerinde durmaması	Daha öncelikli işlerinin olması	Satış odaklı	Satış bütçesi tutturamama kaygısı		
4	Dolum bölümü yeniden işleme yapılan adedin bu seviyede olduğunun farkında olmaması	Raporlama yok	İKK araçları etkin kullanılmıyor			
5	Eğitim	İKK araçlarının etkin kullanılmayışı	Tecrübesiz Çalışan			
6	Ölçüm aleti	Eskimiş ve hasarlı				

Kök Neden Analizi yardımıyla kök nedene ulaşmak için alt kollar çıkarılmış ve bu öneriler balık kılçığı olarak da bilinen diyagrama yerleştirilmiştir.

Şekil 21: Balık Kılıcı Diyagramı



Edinilen bilgilere göre sorunların oluşmasında altı ana faktör vardır. Bu hatanın oluşmasının en büyük nedenleri İKK araçlarının etkin kullanılmayışı, tecrübesiz çalışanlar ve eski bir ölçüm aletinin kullanılmasıdır. Süreç içerisinde raporlama bulunmamakla beraber ara kontroller yapılmamaktadır. Şirket, nihai ürün ile ilgilenmekte ve süreci satış odaklı görmektedir. Çalışanların tecrübesiz olması ve İKK araçlarını etkin kullanamaması sorunların oluşmasında önemli bir etkidir. Süreçte kullanılan ölçü aletinin eski olması da süreçte sorunların oluşmasına ve sürecin düzgün yürümemesine neden olmaktadır.

Yapılan aksiyon planının ilk aşamasında "şirket içi iletişim" / "raporlama" üzerine çalışmalar, ikinci aşamada sürecin kontrol altında olup olmadığı, son aşamada ise sürecin içerisinde var olduğu düşünülen ölçüm aleti ve operatörlerden kaynaklı özel nedenin ortadan kaldırılması planlanmıştır.

4.2.1.4. İyileştirme Çalışmaları

Analizlerden elde edilen sonuçlara göre ölçüm sistemi yeterli değildir. Operatörlerin yaptığı ölçümler ve operatörler arası ölçüm ortalamaları arasında önemli farklar mevcuttur. Bu nedenden dolayı ve ilk aşamada yapılan beyin fırtınası

ve neden-sonuç analizlerinden faydalanıp, ortadaki genel ve özel nedenlerin kaldırılması hedeflenmiştir.

Tablo 15: 5N1K Analizi

No	Ne	Nasıl	Niçin	Ne zaman	Nerede	Kim
1	Bütün bölümlerde kalite performans panoları oluşturulacak ve yeniden işleme maliyetleri asılacak	Takip listesi oluşturulacak	Neden-Sonuç Analizi Madde 1, 4	13.2.2017	Bütün bölümler	Kalite Müdürü
2	Ölçüm aletlerinin kalibrasyonları tekrar kontrol edilecek / Yeni ölçüm aletleri alınacak	TÜRKAK verileri	Hatasız ölçüm	13.2.2017	Üretim Bölümü	Kalite Müdürü
3	Yeniden işleme işlemlerinde geri bildirim için eğitim verilecek	Eğitim	Neden-Sonuç Analizi Madde 1, 2, 3	14.2.2017	Toplantı Salonu	Kalite Müdürü
4	Ara kontrolü yapılmayan dolum yerinde X-R / X-S kontrol grafiği oluşturularak sürecin kontrol altında olup olmadığı takip edilecek	X-R / X-S Kontrol Grafiği	Neden-Sonuç Analizi Madde 2	20.2.2017	Üretim Bölümü	Operatörler

İlk aksiyonun gerçekleşmesi ile bölümlere kalite performansları ile ilgili veriler asılmış ve çalışanlarda farkındalık artmaya başlamıştır. Çalışanlar diğer hata türleri ile ilgili de iyileştirme önerileri sunmaya başlamışlardır. Bu iyileştirme

projelerini sürekli kılmak için çalışanları motive edici unsurların üst yönetim tarafından sunulması verimliliği arttıracaktır.

İkinci aksiyon, şirketin elde edeceği verilerin tutarlılığını arttırmak adına yapılmış, daha doğru sonuçlar ile daha doğru aksiyon alınmasını sağlamıştır. Şirket, eskimiş ölçüm aletinin sağlıklı sonuç veremeyeceğine ve yeni ölçüm aletleri almaya karar vermiştir.

Üçüncü aksiyon, çalışanlara üst yönetimin beklentisi açık bir şekilde ifade edildiğinde çalışanların süreci iyileştirmek için verdikleri önerilerdeki artışlar net bir şekilde görülmüştür.

Dördüncü aksiyon olarak oluşturulan kontrol kartları, süreçte yapılan iyileştirmelerin sürekliliğini sağlayabilmek için kurulmuştur. Süreç içerisinde oluşan hata nedenlerini zamanında görebilmeyi ve müdahale edebilmeyi sağlamıştır.

5N1K analizinden yola çıkılarak gerekli aksiyonlar alınmıştır. Süreçte özel nedenlerin varlığından ve bu nedenler operatörlerden ve ölçüm aletlerinden kaynaklandığından, yeni ölçüm aletinin edinilmesi ve operatörlerin eğitimleri üzerinde durulmuştur. 5N1K aksiyonunda her aksiyonun uygulanması tamamlandığında ise yeni elde edilen süreç verileri Minitab'da tekrar incelenmiştir.

Tablo 16: İyileştirme Sonrası 50 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi

ÖLÇÜM SİSTEMİ ANALİZİ - GR&R																										
		UYGULAMA		: 50 ml Parfüm Şişesi																						
		KARAKTERİSTİK		: Parfüm (50 ml)																						
		TOLERANS		: ± 1 ml																						
ÖLÇÜMCÜ		3		DENEME		3		ŞİŞE ADET		10																
ÖLÇÜMCÜ DENEME		ŞİŞE										ORTALAMA														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10															
1. A	1	50,35	50,60	50,42	50,35	50,36	50,43	50,48	50,49	50,51	50,45	50,444														
2.	2	50,33	50,61	50,42	50,35	50,37	50,42	50,46	50,50	50,51	50,43	50,440														
3.	3	50,35	50,60	50,43	50,35	50,38	50,42	50,46	50,51	50,50	50,45	50,445														
4.	Ortalama	50,343	50,603	50,423	50,350	50,370	50,423	50,467	50,500	50,507	50,443	X _{ort} = 50,4430														
5.	Aralık	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	R _{ort} = 0,014														
6. B	1	50,34	50,60	50,43	50,35	50,38	50,41	50,46	50,49	50,50	50,44	50,440														
7.	2	50,35	50,62	50,43	50,35	50,38	50,43	50,47	50,51	50,51	50,43	50,448														
8.	3	50,35	50,60	50,42	50,35	50,37	50,42	50,48	50,51	50,52	50,42	50,444														
9.	Ortalama	50,347	50,607	50,427	50,350	50,377	50,420	50,470	50,503	50,510	50,430	X _{bort} = 50,4440														
10.	Aralık	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	R _{bort} = 0,015														
11. C	1	50,34	50,60	50,43	50,35	50,36	50,43	50,48	50,51	50,52	50,46	50,448														
12.	2	50,35	50,61	50,43	50,35	50,37	50,43	50,49	50,49	50,52	50,45	50,449														
13.	3	50,33	50,60	50,43	50,36	50,37	50,42	50,48	50,48	50,52	50,44	50,443														
14.	Ortalama	50,340	50,603	50,430	50,353	50,367	50,427	50,483	50,493	50,520	50,450	X _{cort} = 50,4467														
15.	Aralık	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,02	R _{cort} = 0,012														
16.	Parça											X _{ort} = 50,4446														
Ortalaması (X _p)		50,343	50,604	50,427	50,351	50,371	50,423	50,473	50,499	50,512	50,441	R _p = 0,261														
17. (R _{ort} = 0,014 + R _{bort} = 0,015 + R _{cort} = 0,012) / Ölçümcü = 3												R _{ortort} = 0,0137														
18. (Max X _{ort} = 50,4467) - (Min X _{ort} = 50,4430) = X _{diffort}								Deneme	D ₄	D ₃ = 0		0,0037														
19. (R _{ortort} = 0,0137) x (D ₄ = 2,58) = ÜKL _R								2	3,27			0,0353														
20. (R _{ortort} = 0,0137) x (D ₃ = 0,00) = AKL _R								3	2,58			0,000														
Ölçüm Cihazı Analizi						Tolerans : 0,1000		% Toplam Varyasyon TOLERANSA GÖRE (TA)																		
Tekrarlanabilirlik - Cihaz varyasyonu (EV)						<table><tr><td>Deneme</td><td>K₁</td></tr><tr><td>2</td><td>0,8862</td></tr><tr><td>3</td><td>0,5908</td></tr></table>		Deneme	K ₁	2	0,8862	3	0,5908	% EV = 100 (EV / TA) 100 (EV/TV)												
Deneme	K ₁																									
2	0,8862																									
3	0,5908																									
EV = R _{ortort} x K ₁																										
= 0,0137 0,5908								= 48,45 % 9,78 %																		
= 0,00807																										
Tekrar Yapılabilirlik - Ölçümcü Varyasyonu (AV)						<table><tr><td>Ölçümcü</td><td>K₂</td></tr><tr><td>2</td><td>0,7071</td></tr><tr><td>3</td><td>0,5231</td></tr></table>		Ölçümcü	K ₂	2	0,7071	3	0,5231	% AV = 100 (AV / TA) 100 (AV/TV)												
Ölçümcü	K ₂																									
2	0,7071																									
3	0,5231																									
AV = √ (X _{diffort} x K ₂) ² - (EV ² / nr)																										
= √ 0,000 - 0,00000								= 7,36 % 1,49 %																		
= 0,00123																										
Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (R&R)						GRR= √ (EV) ² + (AV) ²		% GRR = 100 (GRR / TA) 100 (GRR/TV)																		
= √ 0,0000652 + 0,0000015								= 49,00 % 9,89 %																		
= 0,00817						<table><tr><td>Parça</td><td>K₃</td></tr><tr><td>2</td><td>0,7071</td></tr><tr><td>3</td><td>0,5231</td></tr><tr><td>4</td><td>0,4467</td></tr><tr><td>5</td><td>0,4030</td></tr><tr><td>6</td><td>0,3742</td></tr><tr><td>7</td><td>0,3534</td></tr></table>		Parça	K ₃	2	0,7071	3	0,5231	4	0,4467	5	0,4030	6	0,3742	7	0,3534	KARAR : ÖLÇÜM SİSTEMİ KABUL SEVİYESİNDE.				
Parça	K ₃																									
2	0,7071																									
3	0,5231																									
4	0,4467																									
5	0,4030																									
6	0,3742																									
7	0,3534																									
Parça Varyasyonu (PV)								% PV = 100 (PV / TA) 100 (PV/TV)																		
PV = R _p x K ₃								= 492,87 % 99,51 %																		
= 0,261 x 0,31																										
= 0,08215																										
Toplam Varyasyon (TV)						<table><tr><td>8</td><td>0,3375</td></tr><tr><td>9</td><td>0,3249</td></tr><tr><td>10</td><td>0,3146</td></tr></table>		8	0,3375	9	0,3249	10	0,3146	ndc= 1.41* (PV / GRR)												
8	0,3375																									
9	0,3249																									
10	0,3146																									
TV = √ GRR ² + PV ²								= 14,18																		
= √ 0,000 + 0,007								KARAR : PARÇA VARYASYONU/ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONU KABUL SEVİYESİNDE.																		
= 0,08255																										

Tablo 17: İyileştirme Sonrası 50 ml için Gage R&R - $\bar{X}$ -R Metodu

Gage R&R Study - XBar/R Method		
Source	VarComp	%Contribution(of VarComp)
Total Gage R&R	0,000067	0,98
Repeatability	0,0000652	0,96
Reproducibility	0,0000015	0,02
Part-To-Part	0,0067461	99,02
Total Variation	0,0068129	100.00

Source	StdDev(SD)	5.15*SD	%SV
Total Gage R&R	0,0081672	0,049003	9,89
Repeatability	0,0080745	0,048447	9,78
Reproducibility	0,0012272	0,007363	1,49
Part-To-Part	0,0821349	0,49281	99,51
Total Variation	0,08254	0,49524	100.00

Number of Distinct Categories = 14

İyileştirmelerden sonra yapılan bu analizde %R&R = %9,89 ve farklı kategori sayısı;

$$ndc = 1,41 * \frac{PV}{R\&R} = 1,41 * \frac{0,0821349}{0,0081672} \approx 14$$

çıkmiştir.

Analizde, %R&R = %9,89 ve farklı kategori sayısı = 14 olması ölçüm sisteminin süreç değişkenliğini ölçmek için kabul edilebilir seviyede olduğunu gösterir.

Gage R&R (Xbar/R) Report for 50 ml

81

"Operator * Parca Interaction" grafiğinde ise operatörlerin ölçüm ortalamaları arasında önemli fark yoktur.



Tablo 18: İyileştirme Sonrası 100 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi

ÖLÇÜM SİSTEMİ ANALİZİ - GR&R													
	UYGULAMA		: 100 ml Parfüm Şişesi										
	KARAKTERİSTİK		: Parfüm (100 ml)										
	TOLERANS		: ± 1 ml										
ÖLÇÜMCÜ	3		DENEME	3		ŞİŞE ADET	10						
ÖLÇÜMCÜ	ŞİŞE										ORTALAMA		
DENEME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1. A	1	100,47	100,43	100,55	100,44	100,43	100,44	100,46	100,46	100,45	100,46	100,456	
2.	2	100,47	100,43	100,55	100,44	100,43	100,43	100,45	100,46	100,45	100,44	100,454	
3.	3	100,47	100,43	100,55	100,44	100,42	100,43	100,45	100,46	100,44	100,45	100,454	
4.	Ortalama	100,466	100,427	100,553	100,437	100,425	100,434	100,453	100,457	100,446	100,445	X _{ort} = 100,4544	
5.	Aralık	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	R _{ort} = 0,005	
6. B	1	100,47	100,43	100,55	100,44	100,43	100,43	100,45	100,46	100,45	100,47	100,456	
7.	2	100,47	100,43	100,55	100,44	100,43	100,44	100,45	100,46	100,43	100,45	100,453	
8.	3	100,47	100,43	100,55	100,44	100,43	100,43	100,45	100,45	100,42	100,45	100,451	
9.	Ortalama	100,466	100,428	100,554	100,436	100,425	100,433	100,450	100,456	100,431	100,453	X _{ort} = 100,4532	
10.	Aralık	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	R _{ort} = 0,006	
11. C	1	100,47	100,43	100,55	100,44	100,43	100,44	100,44	100,46	100,43	100,44	100,451	
12.	2	100,47	100,43	100,55	100,44	100,42	100,44	100,43	100,46	100,43	100,44	100,449	
13.	3	100,47	100,43	100,55	100,44	100,43	100,44	100,44	100,45	100,44	100,45	100,452	
14.	Ortalama	100,466	100,428	100,553	100,438	100,424	100,437	100,436	100,454	100,430	100,441	X _{ort} = 100,4506	
15.	Aralık	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	R _{ort} = 0,005	
16. Parça												X _{ort} = 100,4527	
Ortalaması (X _p)		100,466	100,428	100,553	100,437	100,425	100,435	100,446	100,456	100,436	100,446	R _p = 0,128	
(R _{ort} = 0,005 + R _{ort} = 0,006 + R _{ort} = 0,005) / Ölçümcü = 3												R _{ort} = 0,0054	
(Max X _{ort} = 100,4544) - (Min X _{ort} = 100,4506) = X _{diffort}												Deneme D ₄ D ₃ = 0 0,0038	
(R _{ort} = 0,0054) x (D ₄ = 2,58) = ÜKL _R												2 3,27 0,0139	
(R _{ort} = 0,0054) x (D ₃ = 0,00) = AKL _R												3 2,58 0,000	
Ölçüm Cihazı Analizi							Tolerans : 0,1000						% Toplam Varyasyon TOLERANSA GÖRE (TA)
Tekrarlanabilirlik - Cihaz varyasyonu (EV)													
EV = R _{ort} x K ₁							Deneme		K ₁		% EV = 100 (EV / TA) 100 (EV/TV)		
= 0,0054 0,5908							2		0,8862		= 19,14 % 7,88 %		
= 0,00319							3		0,5908				
Tekrar Yapılabilirlik - Ölçümcü Varyasyonu (AV)							Ölçümcü		K ₂		% AV = 100 (AV / TA) 100 (AV/TV)		
AV = √ (X _{diffort} x K ₂) ² - (EV ² / nr)							2		0,7071		= 11,29 % 4,65 %		
= √ 0,000 - 0,00000							3		0,5231				
= 0,00188													
Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (R&R)							Parça		K ₃		% GRR = 100 (GRR / TA) 100 (GRR/TV)		
GRR= √ (EV) ² + (AV) ²							2		0,7071		= 22,23 % 9,14 %		
= √ 0,0000102 + 0,0000035							3		0,5231		KARAR : ÖLÇÜM SİSTEMİ KABUL SEVİYESİNDE.		
= 0,00370							4		0,4467				
Parça Varyasyonu (PV)							5		0,4030				
PV = R _p x K ₃							6		0,3742				
= 0,128 x 0,31							7		0,3534				
= 0,04034							8		0,3375		% PV = 100 (PV / TA) 100 (PV/TV)		
Toplam Varyasyon (TV)							9		0,3249		= 242,03 % 99,58 %		
TV = √ GRR ² + PV ²							10		0,3146		ndc= 1.41* (PV / GRR)		
= √ 0,000 + 0,002											= 15,35		
= 0,04051											KARAR : PARÇA VARYASYONU/ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONU KABUL SEVİYESİNDE.		

Tablo 19: İyileştirme Sonrası 100 ml için Gage R&R - $\bar{X}$ -R Metodu

Gage R&R Study - XBar/R Method		
Source	VarComp	%Contribution(of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000137	0,84
Repeatability	0,0000102	0,62
Reproducibility	0,0000035	0,22
Part-To-Part	0,0016268	99,16
Total Variation	0,0016405	100.00

Source	StdDev(SD)	5.15*SD	%SV
Total Gage R&R	0,0037044	0,022226	9,15
Repeatability	0,0031904	0,019142	7,88
Reproducibility	0,0018824	0,011294	4,65
Part-To-Part	0,0403335	0,242001	99,58
Total Variation	0,0405033	0,24302	100.00

Number of Distinct Categories = 15

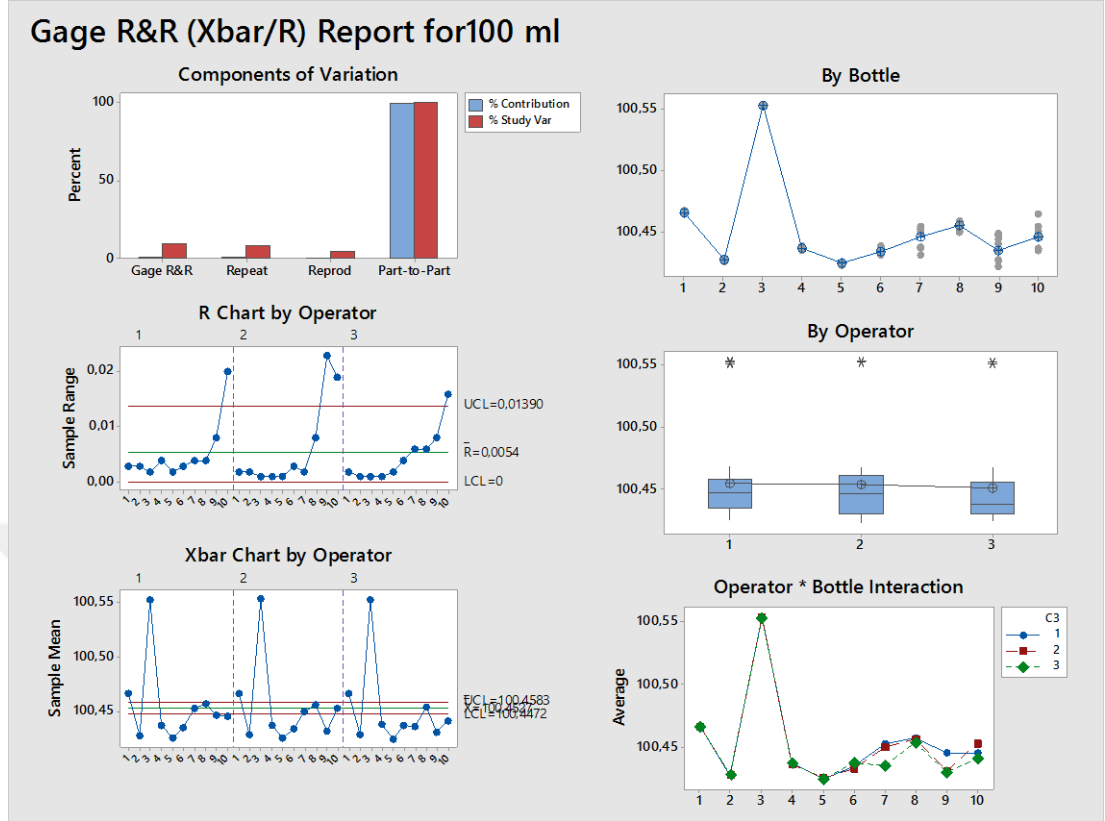
İyileştirmeden sonra yapılan bu analizde %R&R = %9,15 ve farklı kategori sayısı;

$$ndc = 1,41 * \frac{PV}{R\&R} = 1,41 * \frac{0,0403335}{0,0037044} \approx 15$$

çıkıştır.

Analizde, %R&R = %9,15 ve farklı kategori sayısı = 15 olması ölçüm sisteminin süreç değişkenliğini ölçmek için kabul edilebilir seviyede olduğunu gösterir.

Şekil 23: İyileştirme Sonrası 100 ml için Ölçüm Sistemleri Analizi Raporu



"Components of Variation" grafiğinde Gage R&R = % 9,14 olarak bulunmuştur. Bulunan değer % 30 dan küçük olduğu için ölçüm sistemi kabul edilebilir yeterliliktedir.

"R Chart by Operator" grafiğinde 10, 19, 20 ve 30. değerler kabul edilebilir limitlerin üzerine çıkmıştır. Kontrol dışına çıkan değerler tekrarlanabilirliğin düzgün gerçekleştirilemediğini gösterir. Grafikler daha detaylı incelendiğinde 3.operatörün diğerlerinden biraz daha farklı olduğu görülmektedir.

"Xbar Chart by Operator" grafiğinde operatörlerin aynı şişeyi üç kez ölçümlerinden çıkan değerlerinin kabul edilebilir limit değerlerin dışına çıktığı ve operatör grafiklerinin benzer yapıda olduğu görülmektedir. Değerlerin %50'sinden fazlasının dışarı çıkması, operatörün düzgün işlem ve düzgün olmayan işlemler arasındaki farkı anlayabildiğini yani tutarlı olduklarını gösterir.

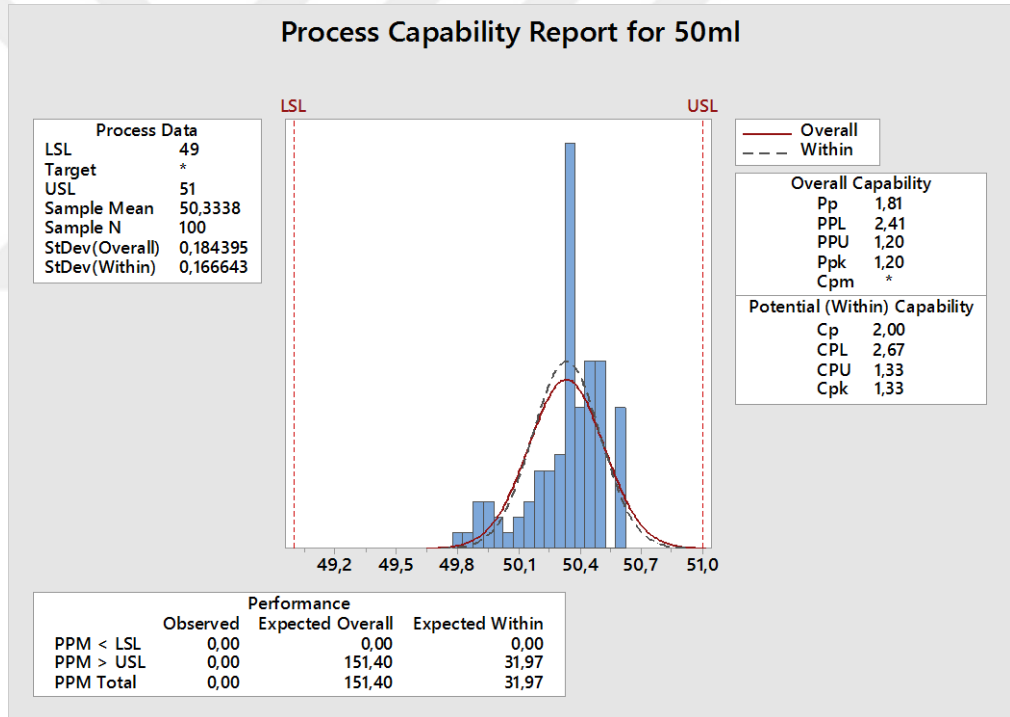
"By Bottle" grafiğinde 7, 9 ve 10. parçaların ölçümleri diğer ölçümlere göre daha dağınıktır.

"By Operator" grafiğinde operatörlerin toplamda yaptıkları ölçümlerin ortalamaları ve dağılımları birbirine benzerdir.

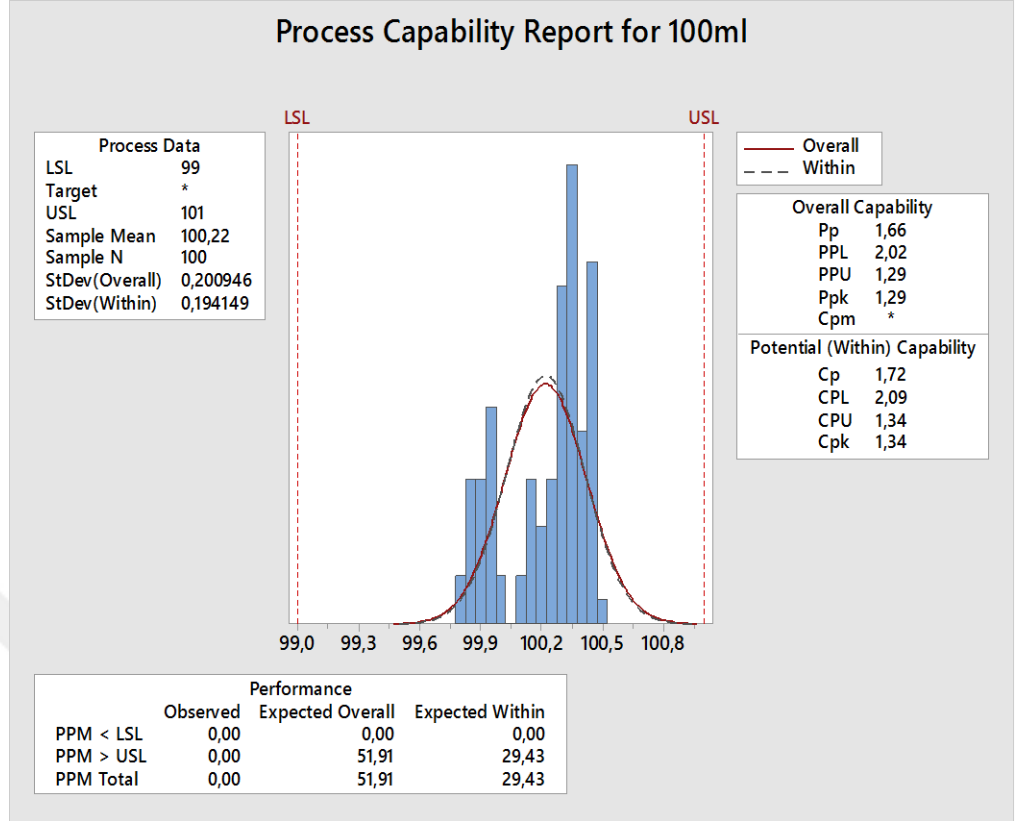
"Operator * Bottle Interaction" grafiğinde ise üçüncü operatörün 7. şişedeki ölçümünün birinci ve ikinci operatörün ölçüm ortalamasından, 9.şişede ise birinci operatörün ölçümünün diğer iki operatörün ölçümlerinin ortalamasından farklı olduğu görülmektedir.

Uygulanan iyileştirme çalışmalarından sonra şirket sürecin spesifikasyon limitlerini ne kadar karşılayabildiğini görmek amacıyla süreç yetenek analizlerini tekrar incelemek istemiştir. Bu amaç ile 50 ml ve 100 ml şişe doldurma süreçlerinin her birisinden 100'er örneklem seçilmiş ve analizi yapılmıştır.

Şekil 24: İyileştirme Sonrası 50 ml için Süreç Yetenek Analizi



Şekil 25: İyileştirme Sonrası 100 ml için Süreç Yetenek Analizi



Ölçüm sisteminde yapılan iyileştirmeler sonrası 50 ml ve 100 ml şişelerin süreç yetenek ve yetenek indeksleri incelendiğinde değerlerin kabul edilebilir limitlerin dahilinde olduğu görülmektedir. Süreç ürünün ilgili karakteristiğinin gerektirdiği spesifikasyonları sağlayabilmektedir. Bu analizde de hedef değer ve örneklemelerin ortalamaları birbirine eşit olmadığından C_p değerine bakmak anlamsız olacaktır. C_{pk} değerlerine baktığımızda ise $C_{pk} \geq 1,33$ çıktığından sürecin spesifikasyonları karşılayabildiği görülmektedir.

Yapılan iyileştirmeler sonucunda firmanın Ağustos ayında üretilen 10000 parfüm şişesinde ortaya çıkan 4 tür hatanın sayıları ile firmanın sigma seviyesi tekrar belirlenmiştir.

$$\text{Toplam Hata Sayısı} = 79$$

$$\text{Ürün Başına Hata} = \frac{\text{Toplam Hata Sayısı}}{\text{Toplam Birim Sayısı}} * 1000000 = 7900$$

$$\text{Milyonda Hata Sayısı} = \frac{\text{Ürün Başına Hata}}{\text{Toplam Hata Çeşidi Sayısı}} = 1975$$

Tablo 20: İyileştirme Sonrası Firma Sigma Seviyesi

No	Adım	
1	Toplam Hata Sayısı	79
2	Toplam Birim Sayısı	10000
3	Ürün Başına Hata (DPU)	7900
4	Toplam Hata Çeşidi Sayısı	4
5	Milyonda Hata Sayısı (DPMO)	1975
6	Sigma Hesaplama Tablosundan sigma Seviyesini Bulma	4,4

Ürün Başına Maliyet = 7 TL

Kar = (4750 - 1975) * 7 TL = 19425 TL

İyileştirme öncesi ve sonrası sigma seviyeleri arasındaki farka bakıldığında şirkette yapılan çalışmalar sonucu bir milyon üründe elde ettiği kar 19425 TL olarak bulunmuştur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmeler, küreselleşmenin neden olduğu rekabet koşullarının karşısında ayakta kalabilmek için üretim faaliyetlerini dikkatli bir şekilde gözden geçirmek zorunda kalmaktadır. Rekabet koşulları, ürünleri ve üretim süreçlerini sürekli olarak geliştirmeye, işletmeleri daha kaliteli mal ve hizmet üretmeye yönlendirmektedir. Uygulanan faaliyetler zamanla değişime uğrayarak kalitenin ön plana çıktığı bir sistem halini alır ve bir standart haline gelir.

İşletmeler için artık bir zorunluluk haline gelmeye başlayan ve yaygınlaşan kalite ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi konusunda birçok yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşımlar; Kalite Yönetim Sistemleri adı altında Toplam Kalite Yönetimi, İstatistiksel Kalite Kontrol, Yalın Üretim, İleri Ürün Kalite Planlaması, Altı Sigma gibi bir takım kalite iyileştirme teknikleridir.

Süreçler üzerinde gerçekçi kararların alınabilmesi ve etkin analizlerin yapılabilmesi için ölçüm verileri kullanılmaktadır. Belirli bir üretim sürecinde iyileştirme yapılıp yapılmayacağı genellikle ölçüm verilerine dayandırılarak verilir. Ölçüm verilerinin bazı istatistiksel yöntemlerle sürecin kontrol içerisinde olup olmadığı anlaşılmaktadır. Bu sayede, operatörlerin ve parçaların birbirleri ile ilişkileri değerlendirilmektedir. Bir ölçüm sistemi analizinin amacı, sistemin ortaya çıkardığı sonuçları etkileyebilen eğilimlerin nedenlerini anlamaktır. Bu nedenden dolayı Ölçüm Sistemleri Analizi, bir süreç karakteristiğine ait verilerin etkili bir analizini yapabilmek ve istatistiksel kalite kontrol tekniklerini uygulayabilmek için elde edilen verilerin güvenilir olup olmadığının belirlenmesi ihtiyacından geliştirilmiştir.

Üretim sürecinin kararlı bir şekilde devam edebilmesi için parçaların kalite karakteristiklerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu nedenle bazı istatistiksel analizlere başvurulur. Parça ölçümlerinden elde edilen veriler ile sürecin hedeflenen özellikleri karşılayabilme derecesi, süreç yetenek değerleri ile belirlenmektedir. Bu değerlerin güvenilir sonuçlar verebilmesi için, elde edilen ölçüm verilerinin de güvenilir olması gerekmektedir. Ölçüm sonuçlarının güvenilir olmasının en önemli noktası ölçümü yapan operatörler ve ölçüm aletleridir.

Çalışmada, parfüm dolum sürecinde pareto diyagramı yardımı ile öncelik verilmesi gereken sorunlar belirlenmiştir. Şirket buradan yola çıkarak parfüm doldurma sürecini incelemek istemiştir. İlk olarak şişe doldurma sürecinden elde ettiğimiz veriler, normallik testinden geçirildikten sonra "Shewhart Kontrol Kartları" ve "Süreç Yetenek İndeksleri" yardımıyla incelenmiştir. "Kontrol Kartları" üzerindeki değerler kontrol limit değerlerinin dışına çıkmamış fakat süreç yetenek indekslerinde sürecin istenilen spesifikasyonlar için yeterli olmadığı görülmüştür.

Alınan sonuçlar ile birlikte ürün varyansının, toplam varyansa etkisinin fazla olmadığı görülmüş ve ölçü varyanslarını incelemek için sürece "Ölçüm Sistemleri Analizi" uygulanmasına karar verilmiştir. Analizde dolum süreci ile ilgilenen üç operatör, 10'ar adet 50 ml ve 100 ml şişenin her birini üçer defa ölçmüştür. Analizi yapılan ölçü süreçlerindeki en büyük hatalar 50 ml şişelerde ölçüm elemanlarından ($EV < AV$); 100 ml şişelerde ise ölçüm ekipmanlarından kaynaklandığı ($EV > AV$), operatörler arası ortalama ölçümler arasındaki farkın fazla olduğu yani yapılan ölçümlerin düzgün bir şekilde yapılamadığı görülmüştür.

Sorunların genel ve özel nedenleri belirlendikten sonra gereken iyileştirme çalışmaları belirlenmiştir. En önemli problemlerden biri eğitim olduğundan bir sonraki "Ölçüm Sistemleri Analizi" çalışmasının 6 ay sonra yapılması kararı alınmış ve ölçü aletleri eski ve hasarlı olduğundan ölçüm aletlerinin yenilenmesine karar verilmiştir. Grafiklerden çıkan sonuçlara göre her üç operatörün aynı şişe ölçümleri arasında tutarlılık vardır ve her bir şişe ölçümleri için bulunan değerlerin grafikteki görünümü dağınık değildir. Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Edilebilirlik değerlerinin düşük çıkmasının yanında %R&R değerinin %30'dan küçük çıkması ve farklı kategori sayılarının dörtten büyük olması; 50 ml ve 100 ml parfüm şişelerin dolumu için oluşturulan ölçüm sisteminin kabul seviyesinde olduğunu göstermektedir.

R Kontrol Kartı dışına çıkan değerler tekrarlanabilirliğin düzgün yapılamadığını, $\bar{X}$ Kontrol Kartındaki değerlerin %50'sinin limitlerin dışına çıkması ise operatörlerin uygulanan işlemlerin iyi ya da kötü sonuç verdiğini söyleyebildiğini yani tutarlı ve sürece hakim olduklarını göstermektedir.

Çalışmalar sonucu Süreç Yetenek Analizleri ölçüm sürecine tekrar uygulanmış ve sürecin spesifikasyon değerlerini karşılayabildiği görülmüştür. Şirketin sigma seviyesi 4,1'den 4,4'e çıkmış ve bu yapılan iyileştirme çalışmaları

şirkete 19425 TL gibi bir kar sağlamıştır. Süreçlerde oluşan hata sayısı iyileştirme öncesi hata sayısının yarısından fazla azalmıştır.

Yapılan bu çalışmada ele alınan şirket gibi daha önce ölçüm sistemleri analizi uygulamamış bir yerde yapılmış ise bir sonraki adım, kalite yönetim sistemi içerisindeki çalışmaların hangi aşamalarda yapılacağını anlatan dokümanları ve formları oluşturmak ve uygulamanın srekliiliğini sağlamak olmalıdır. Ayrıca işletme tedarikçilerini de benzer bir ölçüm sistemleri analizi uygulamaya teşvik etmelidir.



KAYNAKÇA

Acuner, T., Akın, Ş. (1999). Toplam Hizmet Yönetimi ve Müşteri Memnuniyeti Sağlamadaki Rolü, Pazarlama Dünyası.

AIAG Editing Group, (2010). Measurement Systems Analysis-Reference Manual (MSA), Automotive Industries Action Group: 51-123.

Akın B., Çetin C., ve Erol V, (2001). Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi, Beta Basım Yayın, İstanbul: 418-427.

Anadol, K. (1998). “Uygulamada Kalite veya Kaliteli Uygulama”, Uluslar Arası X. Yapı ve Yaşam Fuar Ve Kongresi, Bursa: 178-180.

Argüden, Y. (2002). “Altı Sigma ve Toplam Kalite Yöntemi, “ İş, Güç, Bakış”, İş Yaşamı Dergisi, Sayı 6, Aralık: 15-23.

Bagdoniene, L. ve Jakstaite, R. (2006). Customer loyalty programmes: purpose, means and development, Organizacijø Vadyba: Sisteminiai Tyrimai.

Belanger, B. (1984). Measurement Assurance Programs, Part 1: General Introduction, MBS Special Pub., USA.

Besterfield, D., H. (2004). Quality Control, Upper Saddle River, NJ : Pearson Prentice Hall: 195.

Bircan, H., Özcan, S. (2003). Excel Uygulamalı Kalite Kontrol, Sivas: Yargı Yayınevi: 136-142.

Bissell, F. (1990). How Reliable is Your Capability Index, Applied Statistics, 39(3).

Bozkurt, R., Odaman A. (1996). ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri, , Ankara, Milli Prodüktivite Merkezi: 11.

Caplen, R. (1978). Practical Approach to Quality Control, Lincoln, Random House Publish: 31-39.

Desphande, B., Pradeep – Sohan L., Marker –Goldstein M. (1999). Boost Competitiveness via Six Sigma, Chemical Engineering Progress, Sayı 11: 65.

Doğan, Ö. (2000). Kalite uygulamalarının İşletmelerin Rekabet Gücü Üzerine Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2(1): 17.

Evans, James R., Lindsay William M. (1999) The Management and Control of Quality, 4: 605.

Erginel N. (2010). Production Engineering and Management Under Fuzziness.

FANG, Jeng-Jung, Wang Peng-Sen (2009). The Analysis Of Gauge Repeatability And Reproducibility With Interaction Between Operators And Parts: 2.

Feigenbaum, A. V. (1991). Total quality control, (3. ed.). New York: McGraw-Hill: 7-9.

Gabor, A. (1990). “The Man Who Discovered Quality” In The United States of America: 37.

Garrity Susan M. (1990). Basic Quality Improvement, Regent/Printice Hall., New Jersey.

GHSP (2012). Measurement System Analysis - Components And Acceptance Criteria. http://www.ghsp.com/uploads/Attachments/GHSP_MSA_Training.pdf, (18.12.2017).

Goh, T. N. (2002). A Strategic Assessment of Six Sigma, Quality and Reliability Engineering International, 18(2): 403-410.

Gunter, B.H. (1989). The Use and Abuse of Cpk, Quality Progress, 22(1).

Gümüşoğlu, Ş. (2000). İstatiksel Kalite Kontrolü ve TKY Araçları, s, Betaş, İstanbul: 118-144.

Gürsakar, N. (2005). Altı Sigma Müşteri Odaklı Yönetim, Nobel Yayınevi, Ankara: 57-177.

Ishikawa, K. (1995). Toplam Kalite Kontrol, İstanbul, Kal-Der Yayınları: 61.

Işığışok, E. (2005). Altı Sigma Kara Kuşaklar İçin Hipotez Testleri Yol Haritası, Sigma Center, Bursa: 23-103.

İşçil, N. (1971). İstatistiksel Kalite Kontrolü Ders Notları, Ankara: Ankara İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları: 16.

Juran, J., Gryna, F. M. ve Bingham, R.S.(1979). Quality Control Handbook. McGraw Hill: New York: 6-7.

Juran, J., Gryna F. M. (1980). Quality Planning and Analysis, Mc-Graw Hill Inc., USA.

Juran, J., Godfrey A. B. (1999). Juran's Quality Handbook. New York: McGraw Hill.

Kahraman C., Kaya İ., 2009. Süreç Doğruluk İndeksi ve Bulanık Karar Ortamında Kullanılması. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/200850>, (12.12.2017).

Kane, V. E. (1986). Process Capability Indices Journal of Quality Technology 18(1), 41-52.

Kanıt, R. (2005). İnşaat Sektöründe Kalite Yönetimi Sistemi Uygulamaları, ISO 9001:2000.

Karcıoğlu, R. (2000). Stratejik Maliyet Yönetimi, Erzurum.

Kasa, H. (2003). Altı Sigma Gerçeği, Kalite Forum Dergisi: 33.

Kısaoglu, Ö. (2002). Orta Büyüklükte Bir Dokuma işletmesinde istatistiksel Kalite Kontrol Sisteminin Kurulması: 18.

Loukas, G. A., Besseris, G. J. (2010). Gauge R&R For An Optical Micrometer Industrial Type Machine, International Journal for Quality research, 4(4): 251.

Lynch, D. P., Bertolino S., Cloutier, E. T. (2003). How To Scope DMAIC Projects: The Importance Of The Right Objective Cannot Be Overestimated, Quality Progress, Ocak: 38-39.

Mccoy, P. F. (1991). Using Performance Indexes to Monitor Prdocution Process, Quality Progress.

Melloy, B. J., Chandra, M.J. (1992). Consequences of Using the Cpk Index to Estimate the Proportion of Non-conforming Items, 30(10).

Montgomery, D. (2001). Design Analyzes Experiments, Arizona State University: 170.

Montgomery, D. C., Runger, G. C. (2003). Applied Statistics and Probability for Engineers, 3. B. Wiley, Newyork: 170-409.

Noori, H., Padford, R. (1995). Production and Operations Management, Mcgraw-Hill Inc.

Öztürk, A. (2009). Kalite Yönetimi ve Planlaması, Ekin Yayınevi, Bursa: 6-455.

Pan, J. (2004). Determination Of The Optimal Allocation Of Parameters For Gauge Repeatability And Reproducibility Study, International Journal of Quality& Reliability Management, 21(6): 672-682.

Pande, P., Holpp, L. (2002). What is Six Sigma?, Mc Grow – Hill Inc., Newyork: 10-40.

Persijn, M., Nuland, Y. V. (1996). Realtion Between Measurement System Capability and Process Capability, Quality Enginnering, 9(1).

Sanders, D. A., Sanders, J. A., Johnson, R. H. (1993). ISO 9000 Nedir? Niçin? Nasıl?, Ed.by C.F.Scott, Çev. Gönül Yenersoy, İstanbul, Rota Yayınları: 27-53.

Sheehy, P., Navarro, D., Silvers, R. vd.(2002). The Black Belt Memory Jogger: A Pocket Guide for Six Sigma Success, Goal/QPC and Six Sigma Academy, First Edition: 1-6.

Sinha, M. N., Willborn, W. O. (1985). The Management of Quality Assurance, USA.

Smith, G. (1991). Statistical Process Control and Quality Improvement, Macmillon Publishing Corn, USA.

Tannock, J. D. T. (1995). Choise of Inspection Strategy Using Quality Simulation, International Journal of Quality and Reliability Managemenet, 12(5).

Taylor, W. A. (1991). Optimization and Variation Reduction in Quality, Mcgraw-Hill, Inc., USA.

TSE, (1996). “İstatistiksel Proses Kontrol Eğitim Notları”, İstanbul Bölge Müdürlüğü, İstanbul: 140-143.

Ünver, Ö. (2011). İstatistiksel Kalite Kontrolüne Giriş, Ankara: Ankara İktisadi ve Ticari Bilimler Akademisi Yayınları: 35.

Walsh, L., Wuster, R., Kimber, R. j. (1986). Quality Management Hand Book, HitchcockPub. Com., USA.



EKLER

EK 1: $\bar{X}$ -R Kartları için d_2 değerleri

	m														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
g	1	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18	3.27	3.35	3.42	3.49	3.55
	2	1.28	1.81	2.15	2.40	2.60	2.77	2.91	3.02	3.13	3.22	3.30	3.38	3.45	3.51
	3	1.23	1.77	2.12	2.38	2.58	2.75	2.89	3.01	3.11	3.21	3.29	3.37	3.43	3.50
	4	1.21	1.75	2.11	2.37	2.57	2.74	2.88	3.00	3.10	3.20	3.28	3.36	3.43	3.49
	5	1.19	1.74	2.10	2.36	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.28	3.35	3.42	3.49
	6	1.18	1.73	2.09	2.35	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42	3.49
	7	1.17	1.73	2.09	2.35	2.55	2.72	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
	8	1.17	1.72	2.08	2.35	2.55	2.72	2.87	2.98	3.09	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
	9	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.35	3.42	3.48
	10	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.42	3.48
	11	1.16	1.71	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	12	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.72	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	13	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.71	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	14	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	15	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.26	3.34	3.41	3.48
>15	1.128		2.059		2.534		2.847		3.078		3.258		3.407		
		1.693		2.326		2.704		2.970		3.173		3.336		3.472	

EK 2: Kontrol Kartları Sabitleri

Altgruptaki Gözlemlerin Sayısı	A ₂	D ₃	D ₄
2	1.880	0.000	3.267
3	1.023	0.000	2.575
4	0.729	0.000	2.282
5	0.577	0.000	2.115
6	0.483	0.000	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777
11	0.286	0.256	1.744
12	0.266	0.284	1.716
13	0.249	0.308	1.692
14	0.235	0.329	1.671
15	0.223	0.348	1.652

EK 3: Sigma Hesaplama Tablosu

Yield	DPMO	Sigma	Yield	DPMO	Sigma	Yield	DPMO	Sigma
6.6%	934,000	0	69.2%	308,000	2	99.4%	6,210	4
8.0%	920,000	0.1	72.6%	274,000	2.1	99.5%	4,660	4.1
10.0%	900,000	0.2	75.8%	242,000	2.2	99.7%	3,460	4.2
12.0%	880,000	0.3	78.8%	212,000	2.3	99.75%	2,550	4.3
14.0%	860,000	0.4	81.6%	184,000	2.4	99.81%	1,860	4.4
16.0%	840,000	0.5	84.2%	158,000	2.5	99.87%	1,350	4.5
19.0%	810,000	0.6	86.5%	135,000	2.6	99.90%	960	4.6
22.0%	780,000	0.7	88.5%	115,000	2.7	99.93%	680	4.7
25.0%	750,000	0.8	90.3%	96,800	2.8	99.95%	480	4.8
28.0%	720,000	0.9	91.9%	80,800	2.9	99.97%	330	4.9
31.0%	690,000	1	93.3%	66,800	3	99.977%	230	5
35.0%	650,000	1.1	94.5%	54,800	3.1	99.985%	150	5.1
39.0%	610,000	1.2	95.5%	44,600	3.2	99.990%	100	5.2
43.0%	570,000	1.3	96.4%	35,900	3.3	99.993%	70	5.3
46.0%	540,000	1.4	97.1%	28,700	3.4	99.996%	40	5.4
50.0%	500,000	1.5	97.7%	22,700	3.5	99.997%	30	5.5
54.0%	460,000	1.6	98.2%	17,800	3.6	99.9980%	20	5.6
58.0%	420,000	1.7	98.6%	13,900	3.7	99.9990%	10	5.7
61.8%	382,000	1.8	98.9%	10,700	3.8	99.9992%	8	5.8
65.6%	344,000	1.9	99.2%	8,190	3.9	99.9995%	5	5.9
						99.99966%	3.4	6