



**T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
İSTATİSTİK BİLİM DALI**

NİTELİKSEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ VE BİR UYGULAMA

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Özge ACAR

BURSA - 2012



**T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
İSTATİSTİK BİLİM DALI**

NİTELİKSEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ VE BİR UYGULAMA

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)


Özge ACAR


**Danışman:
Doç.Dr. Fatma ACAR**

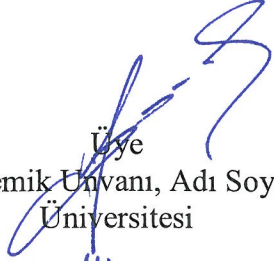
BURSA - 2012

T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

.....Ekonometri..... Anabilim/Anasanat Dalı,
.....İstatistik..... Bilim Dalı'nda ..700917005.....
numaralı ..Özge..... ..ACAR.....'nın
hazırladığı“.....Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi ve.....
.....Bir Uygulama.....” konulu ..yüksek lisans..... (Yüksek
Lisans/Doktora/Sanatta Yeterlik Tezi/Çalışması) ile ilgili tez savunma sınavı, 07/03/2012
günü 13.30. - 14.30. saatleri arasında yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda
adayın tezinin/çalışmasının ..başarılı..... (başarılı/başarısız) olduğuna
.....oy birliği..... (oybirliği/oy çokluğu) ile karar verilmiştir.


Doç. Dr. Fatma Acar
Üye (Tez Danışmanı ve Sınav Komisyonu
Başkanı)
Akademik Unvanı, Adı Soyadı
Üniversitesi


Üye
Akademik Unvanı, Adı Soyadı
Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşe ÖZÜRLAR


Üye
Akademik Unvanı, Adı Soyadı
Üniversitesi
Doç. Dr. İlknur KILKIŞ

Üye
Akademik Unvanı, Adı Soyadı
Üniversitesi

Üye
Akademik Unvanı, Adı Soyadı
Üniversitesi

05./03/2012

ÖZET

Yazar Adı ve Soyadı : Özge Acar
Üniversite : Uludağ Üniversitesi
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü
Anabilim Dalı : Ekonometri Anabilim Dalı
Bilim Dalı : İstatistik Bilim Dalı
Tezin Niteliği : Yüksek Lisans Tezi
Sayfa Sayısı : X + 87
Mezuniyet Tarihi : / / 2012
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fatma Acar

NİTELİKSEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ VE BİR UYGULAMA

Kalite Yönetim Sistemleri içerisinde kalitenin iyileştirilmesi, verimliliğin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi gibi hedeflere ulaşmak için süreçler hakkında doğru karar verilmeye çalışılmaktadır. Nihai müşteri ve devam eden süreçler içinde yanlış bir kararın etkisini, ürün ve ölçüm süreçlerini etkileyen değişkenlerin potansiyel nedenlerini anlamak gerekmektedir. Bu nedenle, herhangi bir süreç değerlendirme veya iyileştirme çalışması öncesinde elde edilen ölçüm verilerinin güvenilir olup olmadığı belirlenmeli, Ölçüm Sistemleri Analizi yapılmalıdır.

Bu çalışmada, Ölçüm Sistemleri Analizi ve uygulama konusu olan Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi hakkında teorik bilgilere, analizlerle bağlantılı olan kalite konularına yer verilmiştir. Bir işletmenin üretim süreci içinde parça ölçümlerinde go / no go masterlarından yararlanılarak operatörlerin birbirleri ile uyumu Hipotez Testi Analizi, Cohen Kappa Yöntemi ile analiz edilmiştir. Seçilen parçaların süreci ne kadar temsil ettiği Sinyal Yakalama Yaklaşımı ile tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Niteliksel Ölçüm Sistemleri Çalışması,
Ölçüm Sistemleri Analizi, ÖSA, Ölçüm R&R,
Tekrarlanabilirlik

ABSTRACT

Name and Surname : Özge Acar
University : Uludağ University
Institution : Social Science Institution
Field : Department of Econometrics
Branch : Statistical Science Branch
Degree Awarded : Master
Page Number : X + 87
Degree Date : / / 20.....
Supervisor : Doc. Dr. Fatma Acar

ATTRIBUTE MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS AND APPLICATION

We try to decide properly about our processes in order to achieve our target that means improve the quality, increase the quality and reduce the costs. This necessitate to understand to effect of wrong decision on consumers and going on processes and potential causes of variaties which effects on the product and mesaurement systems. Hence, We need to know that measurements that shows us the results of the process,are reliable and confidential, before evaluating a process SPC or improvement study KAIZEN, Measurement Systems Analysis must be done

This study involve theoretical and technical information about Measurement Systems Analysis and Case Study with Attribute Measurement Systems Analysis and analysis due to quality issues. In case study, accordance of appraisers with each other on part measurent with go/no go gauge in the production process, is analysed with hypothesis-testing analyse and Cohen Kappa Method. Representativeness of set of samples to process is analysed with Signal Detection Approach as well.

Keywords: Attribute Measurement Systems Study,
Measurement Systems Analysis, MSA, Gage R&R,
Repeatability

ÖNSÖZ

Lisans döneminde Coşkunöz A.Ş. yaptığım staj esnasında kalite ve kalitenin önemi, uygulanan yöntem ve analizler hakkında bilgi sahibi oldum. Bu yüzden uygulamalara, denetimlere katıldığım kalite süreçleri içinde Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi'ni tez konusu olarak seçtim.

Bu çalışmanın her aşamasında sürekli olarak yardımlarını ve desteğini yanımda hissettiğim değerli danışman hocam, Sayın Doç Dr. Fatma ACAR' a özellikle teşekkür ederim. Yine, tecrübe ve birikimlerini paylaşarak yol gösteren ve ilgili dokümanlara ulaşmamı sağlayan Emine BEKTAŞ ve Özge ŞAĞBANER'e katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, gösterdikleri sabır ve anlayıştan dolayı, her zaman maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan, eğitimim için hiç bir fedakarlıktan kaçınmayan aileme ve yakın çevreme teşekkürlerimi sunarım.

Özge ACAR

2012 Bursa

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAY SAYFASI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR ve SİMGELER	viii
TABLolar.....	ix
ŞEKİLLER.....	x
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM KALİTE YÖNETİMİ

1. KALİTE YÖNETİMİ.....	3
1.1. Kalite Tanımı	4
1.2. Kalite Kontrol	5
1.3. Kalite Güvence	6
1.4. ISO 9000 Kalite Yönetim Sistemleri Standartları	8
1.5. İleri Ürün Kalite Planlaması	9
1.6. Kalite ve Altı Sigma Yaklaşımı	10
1.6.1. Altı Sigma'nın tarihsel gelişimi	11
1.6.2. Altı Sigma kalite düzeyi ve istatistiksel anlamı	12
1.6.3. Altı Sigma TÖAİK döngüsü	14
1.6.3.1. Tanımlama aşaması.....	15
1.6.3.2. Ölçme aşaması.....	15
1.6.3.3. Analiz aşaması.....	16
1.6.3.4. İyileştirme aşaması.....	17
1.6.3.5. Kontrol aşaması.....	18
1.6.4. Altı Sigma Organizasyonu	18

İKİNCİ BÖLÜM ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

1. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ.....	20
1.1. Ölçüm Sistemi Varyansının Türleri	21
1.1.1. Kararlılık	21
1.1.2. Eğilim	23
1.1.2.1 Bağımsız örnek yöntemi	24
1.1.2.2 Kontrol çizelgesi yöntemi	24
1.1.3. Tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik	25
1.1.3.1 Aralık yöntemi	27
1.1.3.2 Ortalama aralık yöntemi	28
1.1.3.3 ANOVA yöntemi	33

1.1.4. Doğrusallık	36
--------------------------	----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM **NİTELİKSEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ**

3. NİTELİKSEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ	40
3.1. Risk Analizi Yöntemleri	41
3.1.1. Hipotez test analizi - Çapraz tablolar	45
3.1.2. Cohen Kappa uyum testi	45
3.1.2. Sinyal yakalama (algılama) yaklaşımı	50
3.2. Analitik Yöntem	51
3.2.1. Analitik yöntem için olasılıksal model	52
3.2.2. Ölçüm eğilimi ve tekrarlanabilirlik tahmin yöntemleri	54

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM **NİTELİKSEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ UYGULAMASI**

4. NİTELİKSEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ UYGULAMALARI.....	62
4.1. Hipotez Testi Analizi – Çapraz Tablolar Uygulaması.....	62
4.1.1. A operatörü ile B operatörü arasındaki uyum.....	62
4.1.2. A operatörü ile C operatörü arasındaki uyum.....	64
4.1.3. B operatörü ile C operatörü arasındaki uyum.....	65
4.2. Cohen Kappa Uyum Testi Uygulaması.....	66
4.2. Sinyal Yakalama Yaklaşımı Uygulaması.....	72
SONUÇ.....	75
KAYNAKLAR.....	78
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	87

KISALTMALAR ve SİMGELER

SPC: İstatistiksel Süreç Kontrol

TSE: Türk Standartları Enstitüsü

ISO: Uluslararası Standartlar Organizasyonu

FMEA: Hata Türü ve Etkileri Analizi

MSA: Ölçüm Sistemleri Analizi

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

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

FMEA: Hata Türü ve Etkileri Analizi

ANOVA: Varyans Analizi

Pp: Yeterliliğin Potansiyel Ölçüsü

Ppk: Yeterliliğin Gerçekleşen Ölçüsü

R : Aralık Değeri

μ : Ortalama Değeri

EV: Tekrarlanabilirlik.

AV: Tekrar Yapılabilirlik (Ölçümcü Değişkenliği).

PV: Parça Varyansı.

TV: Toplam Varyansı.

ncd: Kategori Sayısı.

ϵ : Hata Faktörü

DF: Serbestlik Derecesi.

SS: Kareler Toplamı.

MS: Kareler Ortalaması.

EMS: Kareler Ortalamasının Beklenen Değeri.

TABLULAR

Tablo 1 – Sigma Seviyelerine Göre Milyonda Hata Sayıları ve Kalite Düzeyleri.....	14
Tablo 2 – Bir Operatör tarafından gerçekleştirilen Ölçüm Cihazı Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Veri Sayfası	29
Tablo 3 – Ölçüm Cihazı Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Hesaplamaları	32
Tablo 4 – Varyans Tahminleri	35
Tablo 5 – Varyans Analizi	36
Tablo 6 – Niteliksel Ölçüm Çalışması Veri Seti (AIAG)	42
Tablo 7 – Gözlemciler arasında uyumu belirten Kappa Katsayısı	46
Tablo 8 – Cohen Kappa İstatistiği Hesaplanması	47
Tablo 9 – Geçerlilik Kriterleri	49
Tablo 10 – Ölçüm Sistemleri Analizi ile Kabul Edilme Olasılığı için; Devrik Fonksiyon Tahminci Özellikleri	57
Tablo 11 – Maksimum Olabilirlik Tahmincisi ile Kabul Edilme Olasılığı için; Devrik Fonksiyon Tahminci Özellikleri	58
Tablo 12 – A ve B Operatörleri Arasındaki Uyumu Gösteren Çapraz Tablo	63
Tablo 13 – A ve C Operatörleri Arasındaki Uyumu Gösteren Çapraz Tablo	65
Tablo 14 – B ve C Operatörleri Arasındaki Uyumu Gösteren Çapraz Tablo	66
Tablo 15 – Ölçümcüler Arasındaki Uyumu Gösteren Çıktı	67
Tablo 16 – Ölçümcüler ve Referans Arasındaki Uyumu Gösteren Çıktı	67
Tablo 17 - Tüm ölçümcülerin birbiri ile uyumunu gösteren Kappa Tablosu	68
Tablo 18 – Tüm operatörlerin referans ile uyumunu gösteren Kappa Tablosu	68
Tablo 19 – Geçerlilik Kriterleri	68
Tablo 20 – Geçerlilik Kriterleri Çıktı Tablosu	70
Tablo 21 – Operatörlerin Kendi Arasında ve Birbirleri Arasındaki Uyum Olasılıkları	70
Tablo 22 – Referans Değerleri ve Kodlar	73

ŞEKİLLER

Şekil 1 – Altı Sigma Yeterliliği (1,5 Sigma Değişimi)	13
Şekil 2 – Kararlılık.....	22
Şekil 3 – Eğilim.....	23
Şekil 4 – Tekrarlanabilirlik.....	24
Şekil 5 – Tekrar Yapılabilirlik.....	26
Şekil 6 – Doğrusallık.....	37
Şekil 7 – Doğrusallık Grafiği.....	38
Şekil 8 – Ölçme sistemi ile ilişkili ‘Gri’ bölgeler	42
Şekil 9 – $P_p=P_{pk}=1,33$ olma durumu.....	44
Şekil 10 – Normal Olasılık Sayfasına Çizilmiş Ölçüm Cihazı Performans Eğrisi	55
Şekil 11 – Kontrol Mastarı Performans Eğrisi	60
Şekil 12 – Uyum Olasılıkları Aralık Grafiği	71
Şekil 13 – Süreç Dağılımı	72

GİRİŞ

Günümüzde yaşanan rekabet ortamı işletmeleri, mevcut kaynakları optimal düzeyde değerlendirmek için sadece üretim ve maliyete odaklanmaya değil; aynı zamanda kaliteyi artırma ve beklentileri karşılama çalışmalarına yönlendirmiştir. Müşteriler sadece ürünün fiyatı ile ilgilenmeyerek, ürün kalitesini de önemsediklerinden kalite, üretim sürecinde en önemli yeri almaktadır. Bu yüzden işletmeler kalitelerini iyileştirmek için Kalite Yönetim Sistemleri adı altında Toplam Kalite Yönetimi, Yalın Üretim, İstatistiksel Süreç Kontrol (SPC), Ölçüm Sistemleri Analizi gibi bir takım kalite iyileştirme teknikleri uygulamaktadır.

Kalite Yönetim Sistemleri'nde süreç etkinliklerinin ölçümü, süreçler hakkında etkin analizlerin yapılabilmesi ve gerçekçi kararlar alınabilmesi açısından, ölçüm verileri sıklıkla kullanılmaktadır. Belli bir üretim sürecinde iyileştirme yapılıp yapılmayacağına kararı genellikle ölçüm verilerine dayandırılarak verilmektedir. Ölçüm verileri veya bunlardan hesaplanan bazı istatistikler, sürecin istatistiksel kontrol sınırları ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma, sürecin istatistiksel olarak kontrol dışına çıktığını gösterirse bir takım iyileştirmeler yapılmakta; sürecin kontrol içinde olduğu tespit edilirse, sürecin uygun olduğu kabul edilmekte ve yürütülmesine izin verilmektedir. Bu nedenle, sürecin gerçek değişkenliğini ortaya çıkarmak için, öncelikle ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenlik tanımlanmakta ve süreç değişkenliğinden ayrıştırılmaktadır.

Ölçüm verilerinin başka bir kullanımı da, iki değişken arasında belirli bir ilişki olup olmadığını belirlemektir. Bu sayede, parçaların ve operatörlerin birbirleri ile ilişkileri değerlendirilmektedir. Bir ölçüm sisteminin analizindeki amaç, sistemin ortaya çıkardığı sonuçları etkileyebilecek eğilimlerin nedenlerini daha iyi anlamaktır. Bu nedenle Ölçüm Sistemleri Analizi, bir süreç karakteristiğine ait verilerin etkili bir analizinin yapılabilmesi ve istatistiksel süreç kontrolü tekniklerinin uygulanabilmesi için, öncelikle elde edilen verilerin güvenilir olup olmadığının belirlenmesi ihtiyacından hareketle geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, bir kauçuk fabrikasında belli bir parça üzerinde operatörden kaynaklı değişkenliklere bağlı olarak üretim kalitesinin bozulma riski değerlendirilmiştir. Her operatörün diğer operatörlerle ve kendisinin referans değeri ile uyumunu ölçmek için Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi uygulamasına başvurulmuş ve

elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Bu amaçla ölçüm süreçlerinin değişkenlik kaynaklarının etkileri ve birbiri ile uyumu incelenmiştir.

Bu kapsamda, tezin ana konusu olan Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi'nin başlangıç noktası olan Kalite Yönetimi'nin bazı detayları birinci bölümde anlatılmıştır. Ölçüm Sistemleri Analizi'nin kavramları ve istatistiksel özellikleri ve Ölçüm Sistemleri Analizi için yapılması gereken hazırlıklar ile analizde hangi yöntemlerin kullanılabileceği ikinci bölümde anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, nitel verilerin değerlendirilmesi ile ilgili olan Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi'nde kullanılan teknikler hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, uygulamanın yapıldığı kauçuk firması hakkında kısaca bilgi verilmiş ve nitel veriler kullanılarak yapılan uygulamanın analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Uygulama aşamasında MINITAB, SPSS ve Ölçüm Sistemleri Analizi için özel olarak yazılmış ProMSA istatistiksel paket programları kullanılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE YÖNETİMİ

Günümüz koşullarında üretici ve tüketiciler satın aldıkları her türlü mal ve hizmetin kalitesini sorgulamakta, hizmet ve ürün kalite düzeyinin artırılmasını istemektedirler. Ülkeler arasında kitle iletişim araçlarının da gücüyle 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 gelişmek için yönetim anlayışlarını değiştirmişlerdir. Bu anlayış doğrultusunda kullanılan yöntemlerden biri de her geçen gün uygulama alanını genişletmekte olan kalite yönetimidir.

Kalite yönetimi kurumsallığın unsurlarını ayrı ayrı ve bir bütün olarak tanımlayan, süreç içerisindeki uygulamalarda aksaklıklara 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. (TS EN ISO 9001: 2008)

Müşteri ihtiyaçlarının ve beklentilerinin sürekli değişiyor olması, rekabetçi koşullar ve teknolojik ilerlemeler işletmeleri, ürünlerini ve süreçlerini sürekli iyileştirmeye zorlamaktadır. Müşteriler kendi ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak özelliklere sahip ürünleri şartnameler yardımıyla açıklamaktadır. Bir ürünün kabul edilebilirliği son olarak müşteri tarafından belirlenmektedir. Kalite politikası ve kalite hedefleri ile işletmenin izleyeceği yol haritası çizilmektedir. Politika ve hedefler istenen sonuçları belirlemekte ve işletmeye bu sonuçları elde etmek için kaynaklarını kullanmada yardımcı olmaktadır. Kalite politikası, kalite hedeflerinin oluşturulması ve gözden geçirilmesi için bir çerçeve sağlar. Kalite hedefleri, kalite politikası ve sürekli iyileştirme taahhüdü ile tutarlı olmalı ve bunların başarı seviyeleri ölçülebilir olmalıdır. Kalite hedeflerinin ulaşılmasının, ürün kalitesi, faaliyetlerin etkinliği, mali performans ilgili tarafların güveni ve memnuniyeti üzerinde olumlu etki bırakır. (TS EN ISO 9000:2007)

1 .1. KALİTE TANIMI

Kalitenin tarihi çok eskilere dayanmakla birlikte mükemmellik olarak kalite tanımının yapılması 18. yüzyılın ortalarında oluşmuştur. 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 (spesifik) 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 gibi, kalite ve müşteri arasındaki ilişki unsuru öne çıkmaktadır. Müşteri tatmini, kalite için önemli bir rol oynamaktadır. Bu anlamda, verimli, tedbirli ve esnek üretim, kalite için vazgeçilmez olmaktadır. Kalite kavramı altında üretim, çabuk ve etkili, bir program dahilinde, zamanında ve tek bir 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 yeteğine dayanan özelliklerinin toplamına kalite denir. (Doğan, 2000: 17)

1.2. KALİTE KONTROL

Bir üretim sistemi içinde sürecin gerçek performansının gözlemine 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) Kalite kontrolün işletme fonksiyonları, aşağıdaki gibidir;

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

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

Süreç sırasındaki kontroller: İmalat işlemlerinin başlangıcından nihai ürünün ortaya çıkışına kadar devam eden süreç içerisinde üretim kaynağında kusurlu parçaların önüne geçmek ve kalite spesifikasyonlarından sapmaları önlemek amacıyla sürdürülen kontroldür.

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

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

Kusurlu mamül üretimini önlemeye yönelik bir çalışma olarak karşımıza çıkan Kalite Kontrol'ünü, Ishikawa altı kategoride ele almaktadır. İlk olarak amaç ve hedefler belirlenlenmekte, sonra da bu amaçlara ulaşmak için yöntemler saptanmaktadır. Kalite üzerine çalışacak kişilerin yetiştirilmesi gerekmekte, iş standartlara uygun bir biçimde uygulanmaktadır. Uygulamanın sonuçları nedenleri ile denetlenip düzeltici faaliyetlerin harekete geçmesi 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. (Sanders,1993:53) Kalite güvencesi, bir ürün veya hizmetin müşterinin güvenle satın alabilmesi ve kullanabilmesi için işletme tarafından yürütülmesi gereken planlı ve sistematik faaliyetlerin bütünüdür.

İşletmeler, kalite güvencesini sağlayabilmek için öncelikle müşteri gerekliliklerini tam ve doğru olarak anlamalıdır. Etkililiğini sağlayabilmek için, üretim, montaj, ve muayene işlemlerini denetlemeli ve değerlendirmeli, kayıtlarla güven sağlama çalışmaları desteklenmelidir. (Bozkurt, 1996: 11) Zamanla makineler aşınmakta veya istenilen kalite düzeyinde çalışmamaktadırlar. Vardiya operatörleri kabul edilebilirlik konusunda değişik fikirlere sahip olabilmektedir. Kalite güvencesini bilen bir işletme tipik olarak tüm imalat hattı boyunca süreci düzenlemek üzere, veri toplamak için istatistiksel prosedürleri kullanmakta; böylelikle makina aşınması, operatör farklılıkları, hazırlık değişiklikleri, çevresel faktörler v.b. değişkenlerin etkileri azaltılmaktadır. (Sanders,1993:27)

Kalite Güvence Sistemi'ni uygulayan organizasyonlar önemli faydalar sağlayabilmektedirler. Bu faydaların başında organize edilmiş bir çalışma ortamı, memnuniyet düzeyi ve dolayısı ile tekrar satın alma eğilimi ve karlılığı arttıran müşteriler gelmektedir. Sistem, aşağıdaki temel faydaları sağlayacaktır:

Süreç iyileştirmesi; Kalite Güvence Sistemi çalışmaları süresince mevcut süreçler gözden geçirilerek tanımlanmakta, sistem gereksinimleri süreçlere ilave edilmektedir. Süreçte yer alan çalışanların görüşlerinin iyileştirme yönünde kullanılması durumunda süreçlerin iyileştirileceği beklenmektedir.

Kalite bilinci; Uygulama sürecinde verilecek eğitimler ve yönlendirme ile birlikte, çalışanların dahil oldukları süreçleri benimsemeleri ve bu süreçleri iyileştirmede sorumluluk alma isteklerini arttırmaktadır. Kalite Güvence Sistemi kapsamında oluşturulacak ya da iyileştirilecek kalite göstergeleri, süreç ölçümleri, hataların önlenmesinde çalışanlara yol gösterici olmaktadır. Kalite kültürünün oluşmasını destekleyerek çalışanların alışkın oldukları bireysel eleştirilerden çok, süreçlerdeki yapısal hatalara odaklanmalarını teşvik etmektedir.

Verimlilik artışı; Kalite Güvence Sistemi, işlerin nasıl yürütüldüğü ve izlendiği ile ilgili bir disiplin içermektedir. Bu disiplin ve sistem yeni çalışanların eğitim ve adaptasyonunu kolaylaştırmakta ve hatalarını azaltmaktadır.

Sürecin kontrolünü sağlama; Sürecin dengeli ve zaman içerisinde gelişmesinin tahmin edilebilir olması demektir. Bu aşamada, Sürecin parametreleri sürekli olarak gözden geçirilmekte ve süreçteki değişimler kaydedilmektedir. Önceden belirlenen standartlara uygun bir şekilde sürecin müşterinin istediği spesifikasyonlar içinde olması hedeflenir.

Maliyetlerin azalması; Sürecin kontrol altında tutulması İstatistiksel Süreç Kontrol yoluyla kalite güvencesi, daha az hurda, daha az yeniden işleme saati ve daha büyük müşteri tatmini demektir.

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

1.4. ISO 9000 KALİTE YÖNETİM SİSTEMLERİ STANDARTLARI

Uluslararası alanda uygulanacak standart çalışmaları ilk kez Uluslararası Standartlar Organizasyonu ISO (International Organization For Standardization) tarafından başlatılmıştır. ISO, 23 Şubat 1947 tarihinde kurulmuş olup, 135 üye ülkeden oluşmaktadır. (Atay, 1998:38) TSE Türk Standartları Enstitüsü, ISO'ya 1955 yılında üye olmuştur. TSE bu standartları, 1987 yılında bire bir çevirerek ve başına TS getirerek TS - ISO - 9000 adıyla yayınlamıştır. Çeşitli ülkelerde de TS gibi ISO'nun başına ilgili teşkilatın kodu getirilerek yayınlanmaktadır. (Akın,2001: 366)

ISO kuruluşu 1987 yılına kadar sadece ürün standardı yayınlarken, bu yıldan başlayarak sistem standardı hazırlamaya başlamıştır. Organizasyon tarafından kurulan Teknik Komite (TC 176) ISO 9000 Kalite Sistem Standartları Mart 1997'de yayınlanmıştır. Bu standartlar, Türkiye'nin de içinde bulunduğu 60 ülke tarafından kabul edilmiştir. ISO, teşkilat, madde, mamul, ürün, usul, hizmet ve deneylerle ilgili standartlar hazırlayarak yayınlamaktadır. Bugüne kadar 16.000'den fazla standart yayınlamıştır. (Akın, 2001: 386) ISO 9000 serisi değişik standartlardan meydana gelmektedir. ISO 9000; Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Standartları seçim ve kullanımı hakkında bilgi vermektedir. ISO 9001; bir kurumun ürün / hizmet kalitesini etkileyen tüm faaliyetlerle ilgili standartlarını belirlemektedir. ISO 9004; Kalite Güvence Sistem ve Yönetimi'nin geliştirilmesi ile ilgili temel kavramları ele almaktadır. ISO 9005, kalite sözlüğü olup, standartlarda kullanılan kavramlar hakkında bilgi vermektedir.

ISO 9000 Kalite Yönetim Sistemleri standardının tek başına kullanılması mümkün değildir. ISO 9001 ile ürün veya hizmetin özellikleri, üretim esnasında kaliteyi etki eden faaliyetleri, çalışanların yetki ve sorumlulukları belirlenmektedir. (Akın,2001: 242) ISO 9000 Kalite Yönetim Sistemleri işletmede bir kalite politikası ve hedefleri yönetme şeklidir. İşletmenin hedefleri belirlenir ve bu hedeflere ulaşmak için bölüm hedefleri tespit edilir ve bunlara ulaşılmaya çalışılır. Gelişen teknoloji ve rekabet koşullarıyla birlikte hızla değişen sektörlerden biri olan otomotiv sektöründe yer alan üreticiler, kendi tedarikçilerinden uygun fiyat ve kalitede belli bir standartta mal temin edebilmek için, birden fazla ana sanayi ile çalışan yan sanayi firmaları da kendi kalite güvence sistemlerini kurmakta güçlük çektikleri için üç büyükler olarak bilinen Ford, Chyresler, General Motors ortak bir sistem geliştirmeye karar vermişlerdir. ISO 9000 belgesi alan bir işletme;

üretim, kalite kontrol, satınalma, pazarlama, sevkiyat ve depolama faaliyetleri kontrol altına alınmış, faaliyetlerin nasıl yürütüldüğü, çalışanların yetki ve sorumlulukları belirlemiş demektir.

ISO 9001 temeli üzerine kurulan ve TS 16949 Kalite Yönetim Sistemleri (KYS) adı verilen sistem ise sadece otomotiv sanayiye yönelik olarak düzenlenmiştir. Hataları düzeltmek yerine hata yapmamak yaklaşımından yola çıkılarak oluşturulan TS 16949 Kalite Yönetim Sistemleri, meydana gelebilecek her tür hatanın daha önceden araştırılması, bulunması ve yok edilmesi amacını taşımaktadır. Otomotiv firmaları, TS 16949 Kalite Yönetim Sistemleri kullanılarak hataları oluşmadan önlemek, tedarik zincirindeki değişkenleri ve israfi azaltmak ve sürekli iyileştirme sağlamak istemektedir. TS 16949 Kalite Yönetim Sistemleri'nde kullanılan istatistiksel yöntemlerden biri olan Ölçüm Sistemleri Analizi'ne de atıfta bulunmaktadır.

1.5. İLERİ ÜRÜN KALİTE PLANLAMASI

Otomotiv sektöründeki işletmeler, ISO/TS 16949 standardına sahip olmak ve denetiminden geçmek için tedarikçilerin İleri Ürün Kalite Planlaması prosedürlerini ve tekniklerini izlemek zorundadır. Her ürün için kalite planlaması kendine özgü oluşmaktadır. İleri Ürün Kalite Planlaması, bir ürünün müşteri memnuniyetini sağlayabilmesi amacıyla gerekli adımların tanımlanmasını ve gerçekleştirilmesini sağlayan yapısal bir yöntemdir. Aynı zamanda problemlerin önüne geçmek ve müşterilere ulaşmalarını önlemek için kuvvetli araçlar kullanan ve sürekli iyileştirmeyi hedefleyen bir süreçtir. Gerçek zamanlama ve uygulama sırası, müşteri ihtiyaç ve beklentilerine ve/veya diğer uygulama koşullarına bağlıdır. Ürün Kalite Planlaması döngüsü içinde uygulama, yöntem ve analitik teknikler ne kadar erken tamamlanırsa o kadar iyi sonuç alınmaktadır.

Ürün Kalite Planlama Döngüsü olarak PUKÖ döngüsü (Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al) seçilmiştir. İlk adımı olan *Planla* ile sürecin hedefleri belirlenmekte ve hedeflere ulaşmak için bir takım işlemler planlanmaktadır. İkinci adım olan *Uygula*, seçilen küçük bir örneklem üzerinde uygulanır. Etkiler, üçüncü adım olan *Kontrol et* ile analiz edilir. Son adım olan *Önlem Al* ile uygulama sonuçları incelenir ve gerekli önlemler alınır. Süreç içinde gerekli görüldüğünde döngü tekrarlanabilmektedir. (Işığışık, 2005:23)

İleri Ürün Kalite Planlaması'nın bir kuruluşta uygulanmasında izlenecek faaliyet aşamaları şunlardır;

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

Ölçüm Sistemleri Analizi ise İleri Ürün Kalite Planlaması aşamalarında kullanılan istatistiksel tekniklerden biridir. Projenin tanımlanması ve planlanması aşamasında iş planları yapılmakta, müşterinin istekleri doğrultusunda süreç tanımlanmaktadır. Ürün tasarımı veya ürün geliştirme doğrulaması ile ürünün güvenilirlik ve kalite hedefleri belirlenmekte, karakteristikler saptanmaktadır. Süreç tasarımı veya süreç geliştirmesi ile ölçüm ekipmanları belirlenmekte, ürünün tekrar yapılabilirliğine bakılmaktadır. Süreç tasarımı veya süreç geliştirmesi aşamasında Ölçüm Sistemleri Analizi'nin planlanması yapılmaktadır. Planlamasının ardından Ürün ve sürecin geçerlilik kazanması için Ölçüm Sistemleri Analizi Çalışması yapılmaktadır. Geri bildirim değerlendirilmesi ve düzeltici faaliyetler ile sürecin değişkenliği azaltılmakta, müşteri memnuniyeti sağlanmakta ve teslimat gibi konular ile süreç sonuçlanmaktadır.

1.6. KALİTE ve ALTI SİGMA YAKLAŞIMI

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

Altı Sigma, herhangi bir üretim sürecine ilişkin ölçülebilir gözlem değerlerinin değişkenliğini veya birbirinden uzaklığını ortalama olarak ölçen bir istatistiksel yöntemdir. Gözlem değerlerinin değişkenliği standart sapma ile belirlenmektedir. (Işığışok, 2005: 89)

Gözlem değerleri arasındaki değişkenlik arttıkça, standart sapma büyümekte, değişkenlik azaldıkça standart sapma küçülmektedir.

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

1.6.1 Altı Sigma'nın Tarihsel Gelişimi

Altı Sigma yaklaşımı, Japon kalite düşüncesi ve kontrol sistemlerinin süreç iyileştirmede kullanılması amacıyla 1980'lerde Motorola firması tarafından geliştirilmiştir. Motorola'nın mühendislerinden Bill Smith 1986 yılında, milyonda 3,4 parça hata oranına karşılık gelen kalite düzeyine ilişkin bulduğu iyileştirme kavramına Altı Sigma adı vermiştir. (Öztürk, 2009:451) Motorola pager ve hücreli telefonlarının kalitelerinin artması ve gelişmesi umuduyla Altı Sigma tekniklerini iç eğitimlerinde kullanmaya başlamıştır. 1987 yılında Motorola CEO'su olan Bob Calvin, kalite hedeflerinin 1989'a kadar 10 kat, 1991'e kadar 100 kat iyileştirmesini ve 1992 yılında altı sigma yeterliliğine ulaşmayı hedeflemiştir. (Gürsakal, 2005:22) Hedefler için; firma içinde yaygın hata azaltma ve birim başına hata sayısı kavramlarını tanımlamıştır. 1988'de, Altı Sigma felsefesi kullanarak, Motorola, Malcolm Baldrige ulusal kalite ödülünü alan ilk şirket olmuştur. 1992 yılında ortalama 5,4 σ yeterliliğe ulaşılmıştır. Motorola ürünün nasıl tasarlanacağına ve nasıl yapılacağına odaklanarak kaliteyi iyileştirme, üretim zamanını ve maliyeti azaltma çalışmaları ile olumlu kazançlar sağlamayı başarmıştır. Motorola yürüttüğü altı sigma projeleri ile 4 yıl içerisinde 2,2 milyon dolar kar elde etmiştir. 1993 yılına gelindiğinde Motorola şirketi bir çok imalat sürecinde neredeyse altı sigma düzeyinde faaliyet gösterir duruma gelmiştir. Bu yöntem Motorola'nın bütün iş sektörlerinde düzenli olarak kusurları ölçmeyi başarabildi. (Harry vd., 2000:10)

Altı sigma teknikleri Motorola'dan sonra, Amerika'da General Electric ve Honeywell firmaları tarafından uygulanmaya başlamış ve kısa zamanda milyarlarca dolar kazanç sağlamışlardır. Avrupa'da Siemens, Nokia, Bosch, Ericsson; Uzakdoğu'da Kodak, LG, Hyundai, Honda vb. firmalar üretim ve hizmet süreçlerinde Altı Sigma'yı kullanan

dünya çapında firmalardır. Türkiye’de de Vestel, Arçelik, Çimtaş, Vitra, Ford Otosan, Bosch vb. firmalar üretim ve hizmet süreçlerinde Altı Sigma’yı kullanmaktadır.

1.6.2. Altı Sigma Kalite Düzeyi ve İstatistiksel Anlamı

Altı Sigma, ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin ne kadar iyi olduğu hakkında bilgi veren sayısal bir göstergedir. Sürecin hatasız bir üretim sürecinden ne kadar saptığını göstermektedir. Bir sürecin altı sigma seviyesinde olması elde edilen ürün veya hizmetin milyonda 3,4 hataya denk geldiğini ifade etmektedir. Süreçteki değişimlerin kök nedenleri izlenilmekte ve değişim nedenlerini ortadan kaldırarak kalite düzeyini altı sigma seviyesine getirmeye çalışılmaktadır. (Argüden, 2002:23)

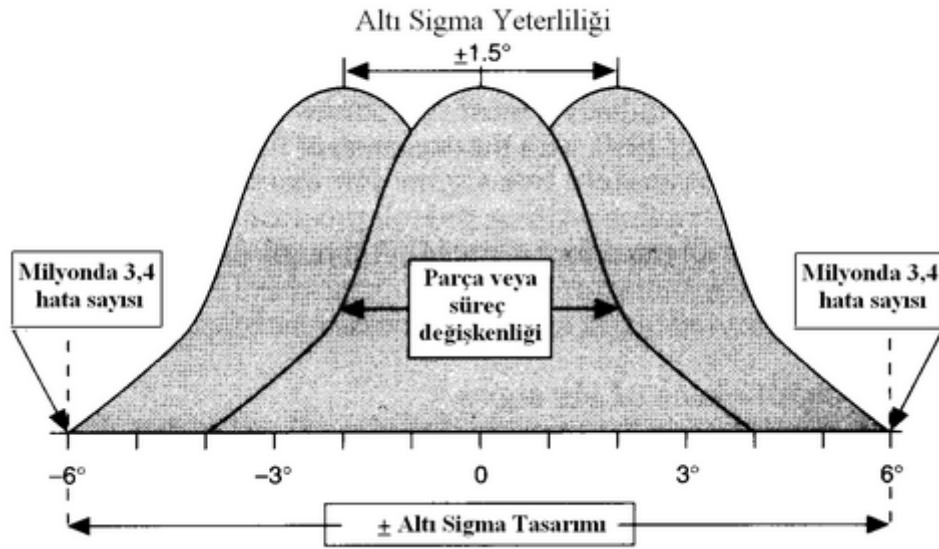
Sigma, ana kütleyle ilişkin olarak herhangi bir veri kümesinin normal dağılımının standart sapmasını gösteren bir parametredir. İstatistiksel bir dağılımda, tüm verilerin ortalama değeri ile arasındaki değişimleri gösteren bir değişkenlik ölçüsüdür. (Argüden, 2006: 15) Bir normal dağılım, ortalama (μ) ve standart sapma (σ) gibi iki parametreden oluşmaktadır. Dağılımın şekli bu parametrelerin farklı değerlerine göre sonsuz sayıda çizilmektedir. Standart normal dağılımda ise, tek bir ortalama ve standart sapma vardır. (Gürsakal, 2005:57) Veriler normal dağılıma sahipse, değerlerin % 99,73’ü ortalamadan ± 3 sigma içinde yer almaktadır.

Bir sürecin sigma seviyesi, üretim sürecinin iyi çalışıp çalışmadığını ve hatanın hangi sıklıkla ortaya çıktığını gösteren bir süreç yeterlilik ölçüsüdür. (Işığışık, 2005: 89) Altı Sigma yaklaşımında, süreçteki değişkenliği azaltmak ve standart sapmayı küçülterek alt ve üst sınırlar arasında iki yönde 6 standart sapmayı ($\pm 6 \sigma$) sığdırmak ve milyon hatalı ürün sayısını 3,4 seviyesine indirmek amaçlanmaktadır. Altı Sigma çalışmalarında, elde edilen veriler sayısal değerlerle ifade edilmekte, sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmektedir. Bulunan sigma seviyesi, hatanın ne miktarda gerçekleştiğini göstermektedir. Bulunan sigma seviyesi 6’ya doğru yaklaşması, hatanın azalmasını ifade etmektedir. (Pande vd.,2000:10)

Sigma kalite düzeyi ile milyonda hata parça sayısı arasındaki ilişki iki farklı varsayımda incelenmektedir. Birincisi; sürecin ortalamasının belirli bir hedef değere ayarlandığı varsayımdır. İkincisi; normal dağılımın ortalamasının $1,5 \sigma$ kayması varsayımı ile alt ve üst limitleri göstermektir. (Şekil-2) Amaç, süreç değişim miktarının, alt ve üst spesifikasyon limitleri arasındaki değerini $\pm 6 \sigma$ biçiminde azaltmaktır. Şekil 2’de tek

aşamalı süreç veya parça için hata düzeylerini ve ilişkin olduğu sigma düzeylerini göstermektedir.

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



Şekil 1 – Altı Sigma Yeterliliği (1,5 Sigma Değişimi)

Altı Sigma'nın temelinde müşteri odaklılık yatmaktadır. Bu yüzden işletmeler, kaliteden önce müşterilere, yatırımcılara vb. daha iyi değerler sağlamayı amaçlamaktadır. 3 σ 'dan 6 σ kalite düzeyine doğru milyonda kusur sayıları parabolik olarak azalmaktadır. Hataların azalması gelişme düzeyinde 3 σ 'dan 4 σ 'ya yaklaşık 10 kat, 4 σ 'dan 5 σ 'ya yaklaşık 30 kat, 5 σ 'dan 6 σ 'ya ulaştığında yaklaşık 70 kat olmaktadır. Altı Sigma kalite düzeyine ulaşmanın işletme yararına olduğunu göstermektedir.

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

Sigma Seviyesi	Her Bir Milyonda Hata Sayısı	Kalite Düzeyi (%)
6 σ	3,4	99,997
5 σ	233	99,98
4 σ	6,210	99,40
3 σ	66,810	93,30
2 σ	308,538	69,00
1 σ	691,462	31,00

Günümüzde çoğu şirket 3 veya 4 sigma düzeyinde çalışmaktadır. Şekil – 2 deki gibi 3 ve 4 sigma kalite düzeylerinde çalışan bir işletme bir milyon 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 sınırları içinde olur. Milyon başına üretimde 3,4'den fazla hatalı parça kabul edilmez. (Öztürk, 2009:455)

1.6 .3. Altı Sigma Töaik (Dmaic) Döngüsü

Altı sigma yaklaşımının uygulanmasında, öncelikle işletmenin stratejik ve kritik başarı faktörlerine yönelik doğru projeler oluşturulmaktadır. Bu projeleri yönetecek kişilerden oluşan bir ekip seçilmektedir. Ekipte bulunanlar yeşil kuşak veya kara kuşak eğitimlerden geçirilerek; Altı Sigma iyileştirme planı veya yol haritası olarak adlandırılan TÖAİK (DMAIC) aşamalarını uygulamaktadırlar. Bunlar, aşamalar aşağıdaki gibidir. (Sheehy vd., 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, ölçüleceği, iyileştirileceği, ne şekilde analiz ve kontrol edileceği belirlenmektedir. TÖAİK döngüsüyle 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 vd., 2003:38)

1.6.3.1 Tanımlama aşaması

Bu aşamada, projeye konu olan problem belirlenmekte ve projenin kapsamı ve amacı tanımlanmaktadır. Yeni ve varolan müşterilerin isteklerinin analiz edilmesi, gereksinimlerinin kalite değişkenlerine dönüştürülmesi ve tüm analizlerin işletme stratejileri ile bütünleşmesi gerekmektedir. Böylece müşteriye odaklanılmakta ve süreç haritaları çizilmektedir. (Gürsakal, 2005:117)

Projeye ilişkin çalışma ortamı, yapılacak faaliyetler, müşteri ihtiyaçları ve yönetim stratejileri arasında bağlantılar kurulmaktadır. Tüm bu bağlantılardan hareketle, çözümlenmesi gereken problem en iyi biçimde tanımlanmaya çalışılmaktadır. Problemin çözümünde basit tekniklerinden yararlanılarak problemi doğuran kök nedenler ortadan kaldırılabılır. Probleme neden olan hatalara ilişkin Pareto Analizi uygulanarak önemli hata türleri öncelik sırasına konulmakta ve Beyin Fırtınası ile hataların nedenleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Yapılan analizler sonunda sonuçlar Balık Kılıcı Diyagramı'na aktarılmaktadır. Bu aşamada kullanılan bir diğer problem çözme tekniği de Hata Türü ve Etkileri (FMEA) Analizi'dir. (Işığışık, 2005:98)

1.6.3.2 Ölçme aşaması

Bu aşamada, sürecin ulaşması gereken hedef belirlenmektedir. Problem oluşturan süreçler için girdi ve çıktı değişkenleri sayısal olarak ölçülmekte ve problemin çözümünü sağlayacak veriler toplanmaktadır. Ölçme aşamasında öncelikle sürecin anlaşılması ve ölçüm sisteminin geçerliliğinin doğrulanması gerekmektedir. Sürecin Akış Diyagramı

çizilerek girdiler ve çıktılar belirlenmektedir. Problemi oluşturan girdi ve çıktıların sebep – sonuç ilişkisi karşılaştırılmaktadır. Girdi ve çıktı değişkenleri için ölçüm sistemi çalışması (Ölçüm R&R ve Niteliksel R&R) yapılarak ölçüm yeterliliği hesaplanmaktadır. Süreç yeterliliği için çıktıların kontrol grafikleri, yeterlilik analizi ve grafiksel tekniklerden yararlanılabilir. (Işığışık, 2005:99)

Ölçme aşamasının amacı, varolan süreç durum ve problemlerinin gerçeklere dayanan verilerle sağlanması, problemlerin kaynağının belirlenmesi, elde edilen veriler ve belirlenen kaynaklar ile potansiyel nedenlerin sayısını azaltmak konusunda Altı Sigma'yı uygulayan ekip çalışanlarına yardımcı olmaktır. (Rath & Strong, 2001:21) Ölçme aşaması sonucunda sürecin mevcut performansı, problemin etkilerini ortaya koyan veriler, problemin verilerle detaylandırılmış tanımı hakkında bilgiler elde edilmektedir.

1.6.3.3. Analiz aşaması

Bu aşamada, süreç çıktılarını etkileyen temel süreç girdilerinin belirlenmesi için veriler kullanılarak, önemli değişkenler belirlenmektedir. Bu amaçla, ayrıntılı Süreç Haritası, Beyin Fırtınası, Sebep Sonuç Diyagramı, FMEA Analizi, girdi ve çıktılarına ilişkin İstatistiksel Süreç Kontrol (SPC), girdilere ilişkin Ölçüm Sistemi Analizi (MSA), vb. araçlardan yararlanılabilir.

Ortaya konan potansiyel nedenler analiz edilerek; grafiksel analiz, süreç parametrelerine ilişkin tahmin (güven aralıkları), parametrik ve/ veya parametrik olmayan hipotez testleri (t Testi, z Testi, F Testi, Ki-kare Testi, ANOVA), Regresyon ve Korelasyon Analizi, Çok Değişkenli Analiz, vb. araçlar kullanılmaktadır. (Işığışık, 2005:100) Böylece, süreç performansını etkileyen kritik ve potansiyel girdi değişkenler ile iyileştirme fırsatlarına ilişkin veriler ve verilerin istatistiksel analiz sonuçları elde edilmektedir.

Analiz aşaması pek çok kişi tarafından TÖAİK döngüsündeki en önemli adım olarak görülmektedir. Altı Sigma ekipleri, problemin neden var olduğunu doğrulamadan sürecin iyileştirme aşamasına atlamak isteyebilir. Problemin nedeni analiz edilmezse, iyileştirme aşaması etkin bir sonuç vermeyebilir. Bu yüzden, problem çözmede başarılı bir ekip olmak için verilerin ve süreçlerin analiz edilmesi ve Kök Neden Analizi'nin gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. (Eckes, 2005:48)

1.6.3. 4. İyileştirme aşaması

Bu aşamada, probleme neden olan değişkenleri ortadan kaldırmayı hedefleyen çözümler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. (Rath & Strong, 2001:151) Altı Sigma yaklaşımında müşteri tatmini süreçlerin iyileştirilmesi ile sağlanır. Süreçlerin iyileştirilmesi ise ölçümlerle elde edilen verilere bağlıdır. İyileştirme aşamasında Altı Sigma veri odaklı sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. (Fontenot, 1994:73)

İyileştirme aşamasında önerilen çözümlerin uygulanması için çeşitli istatistiksel tekniklerden yararlanılabilir. Çözümleri uygularken proje ekibinin çözümleri öncelik sırasına göre koyması, bunları gruplar halinde bir seferde uygulaması ve uygulamanın hemen ardından sigmanın yeniden hesaplanması tavsiye edilmektedir. Bunun nedeni çoğu zaman proje ekibinin hedef ve amaçlarına, önerilen çözümlerin tekrardan hepsini uygulamaya gerek duymayarak ulaşabilecek olmasıdır. (Eckes, 2005:65)

Hataların ve değişkenlerin ortadan kaldırılması ve çıktıların en uygun hale getirilmesi için iyileştirmeler tanımlanmaktadır. Girdi ve çıktı değişkenler arasındaki ilişkiler gibi belirlenmektedir;

Bu ilişkinin ortaya konmasında Regresyon Analizi, Deney Tasarımı vb. araçlardan yararlanılabilir. Fonksiyonel ilişkinin belirlenmesi ardından çıktı değişkenindeki minimum değişkenlik, en uygun süreç çıktıları için potansiyel değişkenlerin değerleri elde edilmektedir. N tane girdiden hangilerinin çıktı üzerinde daha etkili olduğunun belirlenmesi önemlidir.

Girdi değişkenlerine ilişkin en uygun değerler belirlenerek yeni süreç yeterliliği hesaplanmaktadır. Böylece, girdi değişkenlerinin toleranslar dahilindeki ayarları ortaya konmakta, proje planının güncelleştirilmesi yapılmakta ve gerçekleştirme planı doğruluğu sağlanmaktadır. Son olarak; elde edilen sonuçlar ve iyileştirmeler doğrulanmaktadır. Doğrulamaya ilişkin Deney Tasarımı, Süreç Haritaları, MSA, Kontrol Grafikleri, Süreç Yeterlilik Analizi, Düzeltici Faaliyetler, vb. araçlardan yararlanılabilir. (Işığışık, 2005:103)

1.6.3.5. Kontrol aşaması

Bu aşamada, iyileştirme aşaması sonucunda ulaşılan çözüm ve uygulamaları sürekli kılmak ve kontrol altında tutmak için yeni metod veya metodların geliştirilmesi sağlanmaktadır. (Rath & Strong, 2001:163) Proje ekibi, değişkenliği takip ederek ilgili süreci kontrol etmeli ve artış göstereceği düşünülen problemlerle ilgili bir önleme planı oluşturulmalıdır. (Pande vd. 2002:40)

Yürütülen planın geliştirilmesi, iyileşmenin sürekliliğinin izlenmesi, dokümantasyon ve kontrol planları, vb klasik ve istatistikler araçların kullanılmasını sağlayarak, sürecin eskiye dönmesine izin vermeden geliştirilmesini kontrol etme görevi bu aşamada gerçekleştirilmektedir. (Gürsakal, 2005:125) Kontrol planında, girdi çıktı değişkenlerine ilişkin kontrol grafiklerinden (SPC) ve Süreç Yeterlilik Analizi'nden yararlanılabilir. Bu aşamada uyum sağlanıp, hatalar azaldıktan sonra projenin tamamlanması ve kapanması sağlanmaktadır.

1.6.4. Altı Sigma Organizasyonu

Altı Sigma çalışmalarının başarıya ulaşılabilmesi için, ölçme ve iyileştirme süreçlerinde çalışacak yeterli bilgiye 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 dereceleri ve uyguladıkları istatistiksel araçlar artmaktadır.

Altı Sigma, uygulama yapacak kişilere ilgili eğitimlerin verilmesi gerekliliğini savunur. Kişilerin yetkinliklerinin doğru tanımlanması, eğitim ihtiyaçlarını belirlenmesi ve değerlendirilmesi gereklidir. Tüm başarılı sistemlerde üst yönetimlerin katılımcı desteklerinin olduğu görülmektedir. Altı Sigma üst yönetimler tarafından ortaya konmuş ve uygulanmıştır.

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 personel, aldıkları eğitimin türüne göre farklı unvanlara, yetki ve sorumluluklara sahiptirler.

Altı Sigma araçları arasında yoğun olarak ölçüm araçları üzerine çalışan ve diğer araçlar konusunda temel bilgilere sahip kişilere ise Yeşil Kuşak unvanı verilmektedir. Kara Kuşak projelerinde takım elemanı olarak çalışırlar. Takım için veri elde etme faaliyetlerini üstlenir ve beyin fırtınası vb. süreçlerde görev alır. İyileştirme faaliyetlerini gerçekleştiren gruptur. Takıma liderlik eden kilit süreçler üzerinde odaklanan, sonuçları Şampiyonlara ileten tam zamanlı kalite çalışanlarına Kara Kuşak unvanı verilmektedir. Kara Kuşak çalışanları müşteri isteklerini dikkate alır, verimliliği arttıran süreçleri tanımlar, ölçme, analiz etme, iyileştirme ve kontrol etme gibi faaliyetlerden sorumludur. (Slatter, 2000: 220)

Altı Sigma üzerine tüm bilgiye sahip, her konuda fikri olan çalışanlara verilen unvan ise Uzman Kara Kuşak'tır. Şirketin Kara Kuşakları arasından seçilmektedir. Yeşil Kuşaklara her konuda teknik destek sağlayabilirler. Kara Kuşaklara eğitim vermektedirler. Şampiyonlara proje yönetiminde yardımcı olmaktadır. Altı Sigma projelerinin verimli bir biçimde yürütülmesi için üst düzey yönetimin projeden haberdar olması ve destek vermesi gerekmektedir. Projeleri belirleyen kıdemli yöneticiler Şampiyon unvanını alırlar. Projeleri onaylar, karşılaşılan sorunlara çözüm ararlar. Projelere kaynak sağlarlar, yol gösterir, hedefleri belirler. Altı Sigma'nın finansal yönleri gibi tekniksel boyutunu dikkate alır. Proje başarısı için üst yönetimden oluşan Liderlik Konseyi oluşturulmaktadır. Liderlik Konseyi, personelin yetki ve sorumluluklarını, uygulamaların içeriğini belirlemekte; projeler için gerekli kaynakları sağlamaktadır. (Öztürk, 2009: 462)

İKİNCİ BÖLÜM

ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

İşletmeler iyi bir süreç yönetimi için Altı Sigma TÖAİK Döngüsü veya İleri Ürün Kalite Planlaması aşamaları ile gereken hedefi belirlemeyi ve doğru projeyi seçmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda sürecin girdi ve çıktı değişkenleri tanımlanmakta, sürecin anlaşılması için nicel veya nitel problemlerin çözümünü sağlayacak veriler elde edilmektedir. Girdi ve çıktı değişkenliğini belirleyen verilerin ölçümü ve analizi Altı Sigma uygulamalarında ve İleri Ürün Kalite Planlaması'nda önemli bir yer almaktadır. Bu yüzden TÖAİK Döngüsü'ndeki ölçme ve analiz aşamalarında ve İleri Ürün Kalite Planlaması'ndaki PUKÖ döngüsünde bazı tekniklerden yararlanılmaktadır. Bu tekniklerden biri olan Ölçüm Sistemleri Analizi; süreç veya ürün karakteristiğine ait verilerin analizinin yapılması ve istatistiksel süreç kontrolünün sağlanması için elde edilen verilerin güvenilirliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

İşletmeler kaliteli bir ölçme sistemi ile hatalı bir parçayı hatasız, hatasız bir parçayı hatalı olarak değerlendirmenin önüne geçmek istemektedir. Bir ölçme sisteminin amacı sürecin işleyişinde elde edilen sonuçlara neden olan değişkenlik kaynaklarını iyi anlamaktır. (Gürsakal, 2005:176) Bu nedenle yanlış analiz sonuçlarına varmamak için Ölçüm Sistemleri Analizi kullanılmaktadır.

Bir ölçüm sistemi ölçüm cihazlarını, ölçüm yapan operatörleri, ölçüm ortamını, ölçüm prosedürlerini ve ölçüm için kullanılan yardımcı ekipmanları içermektedir. Ölçüm Sistemleri Analizi; ölçüm cihazından ve ölçüm cihazının kullanımından doğan değişkenliği bulma, mühendislik toleransı ile ölçüm değişkenliğinin miktarını karşılaştırma ve ölçüm sürecini iyileştirerek toplam değişkenliği azaltmayı amaçlamaktadır.

Bir ölçüm sistemi değerlendirilirken zamana göre verilerin istatistiksel olarak istikrarlı, beklenen aralıklar içinde sapmaların değerlerindeki farklılığın kabul edilir olup olmadığına bakılmaktadır. Değişkenlikler sadece genel nedenlerden dolayı ortaya çıkmalıdır. (Gürsakal, 2005:177) Genel nedenler; üretim faktörlerinin tümünde 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 özelliğini çok kez ölçmektedir. Farklı operatörlerin ölçüm sonuçları karşılaştırılarak

tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik ve kararlılık analizleri yapılarak ölçüm sisteminin güvenilirliği ve değişkenliği incelenmektedir. Buradaki amaç, ölçümlerin aynı veya farklı kişiler tarafından yapılması durumunda ölçüm sonuçlarının farklılık gösterip göstermediğini tespit etmektir.

1.1. ÖLÇÜM SİSTEMİ VARYANSININ TÜRLERİ

Operatörler, ölçüm sisteminde kişisel ölçümleri etkileyen varyanslar olduğunun ve kararların verilere dayandırıldığına farkında olmayabilir. Bu yüzden analizinde ve sonuçlarında ölçümlerin hatasız olduğu kabul edildiği varsayılmaktadır.

Ölçüm sistemi hataları beş grupta ele alınmaktadır;

- ❖ Kararlılık,
- ❖ Eğilim,
- ❖ Tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik,
- ❖ Doğrusallık.

Ölçüm sistemi çalışmasının bir amacı da ortam şartlarıyla etkilenen ölçüm sistemlerinin, ölçüm varyansı miktarı ve çeşitleriyle ilgili bilgi elde etmektir. Tekrarlanabilirlik ve kalibrasyon eğilimini tanımak ve bunlar için kabul edilebilir limitler belirlemek uygulamanın pratikliği açısından oldukça önemlidir.

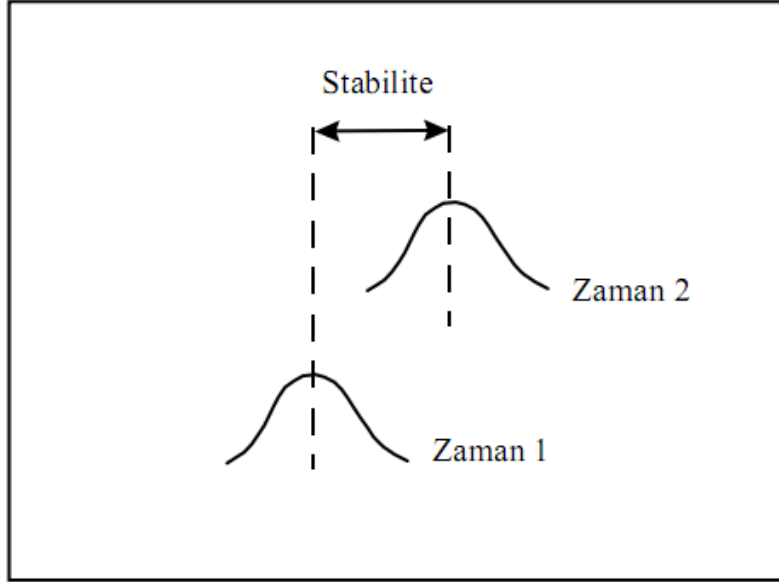
1.1.1. Kararlılık

Kararlılık, aynı numuneler üzerinde, uzun bir zaman periyodu içinde tek bir karakteristiği ölçerken, bir ölçüm sistemiyle elde edilen ölçümlerin toplam varyansını ifade etmektedir.

Ölçüm sistemi kararlılığı, sistemin belirlenen veya master parça (Parça boyutlarının, geometrik biçimlerin ve bazen parça yüzey kalitesinin kontrolünde kullanılan genel olarak modellemenin profiline uygun olarak hazırlanan kontrol aletler) üzerindeki eğiliminde zaman içindeki toplam sapma miktarı ile ölçülmektedir.

Bir ölçüm prosesinin kontrol durumunun verilere dayalı bilgisi olmadan, “tekrarlanabilirlik”, “tekrar yapılabilirlik”, vb. için yapılan analizler gelecekteki

performans için bir anlam ifade etmemektedir. Kararlılık durumu belirsizken bir ölçüm sisteminin tekrarlanabilirliğini, yeniden yapılabirliğini, vb. değerlendirmek yarar sağlamamaktadır.



Şekil 2 - Kararlılık

Ölçüm sistemindeki sıcaklık değişimleri, korozyon, yıpranmış, hasarlı ve eskimiş mastarlardan oluşan hatalar sonucunda kullanılan veriler istatistiksel olarak kararsız olabilir. Ölçüm sistemlerini, istatistiksel kararsızlığa yol açan tüm şartlara dayanıklı yapmak gerekmektedir. Ancak bazı durumlarda bu mümkün ve / veya ekonomik olmamaktadır. Bir ölçüm sisteminin istatistiksel kararlılığı değerlendirildiğinde, ölçüm sistemini ömrü boyunca etkilemesi beklenen çevre, kullanıcı yetenekleri, parça ve metodlar dikkate alınmaktadır. (AIAG MSA, 2010:52)

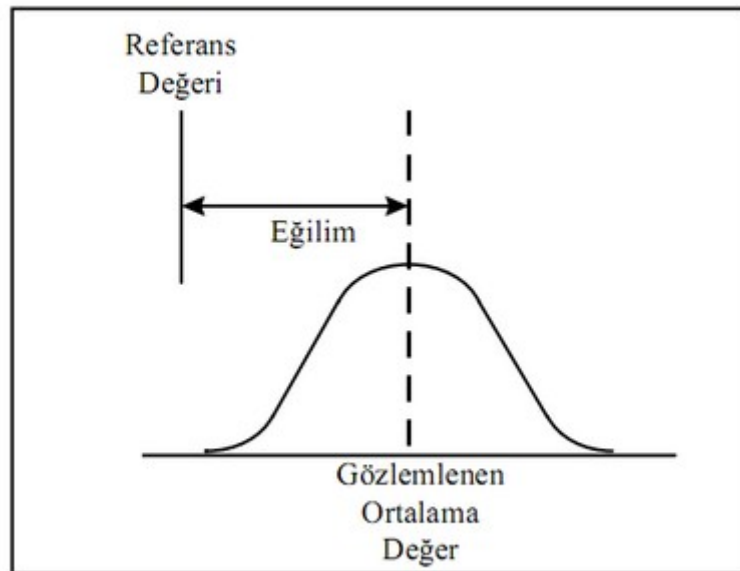
Kararlılık çalışmasında, izlenebilir standartlara göre referans değerleri belirlenmektedir. Eğer böyle bir parça elde yok ise, üretim ölçümlerinin orta-aralığına düşen bir parça seçilerek kararlılık analizi için master parça olarak kullanılmaktadır. Beklenen ölçüm değerlerinin alt noktası, üst noktası ve orta aralığından master parçalar seçmek en uygunudur. Her biri için ayrı ölçüm ve kontrol şemaları gerekmektedir. Periyodik olarak (günlük, haftalık), master parça üç - beş kez ölçülmektedir. Örneklem büyüklüğü ve frekansı ölçüm sisteminden gelen bilgiye dayandırılmaktadır. Faktörlerin,

hangi sıklıkla tekrar kalibrasyon veya onarım gerektiği, hangi frekansla ölçüm sisteminin kullanıldığı, çalışma şartlarının ne zorlukta olduğuyla ilgili bilgi vermesi gerekmektedir. Ölçüm sisteminin uygulandığı tüm zamanı temsil etmesi için, ölçümler değişen zamanlarda elde edilmektedir. Bu, ısınma, atmosfer ve gün içinde değişebilecek diğer faktörleri göz önüne almak için yapılmaktadır. Verileri, $\bar{X} - R$, veya $\bar{X} - S$ kontrol çizelgesine çizerek kontrol limitlerini tesbit edilmektedir. Her normal çizelge için kontrol dışı veya kararlı olmayan durumlar belirlenmektedir. (AIAG MSA, 2010:85)

1.1.2. Eğilim

Eğilim, ölçümlerin gözlemlenen ortalaması ve referans değeri arasındaki farktır. Kabul edilen referans değeri veya master değer olarak bilinen referans değeri, ölçülen değerler için hemfikir olunan referans olarak işe yarayan bir değeri ifade etmektedir. Referans değeri, yüksek seviyeli bir ölçüm ekipmanı (örneğin, metroloji laboratuvarı veya yerleşim ekipmanı) ile yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenebilir.

Eğilim çoğunlukla “doğruluk” kelimesi ile ifade edilmektedir. Fakat literatürde çeşitli anlamlara gelen “doğruluk” Ölçüm Sistemleri Analizi’nde eğilime alternatif olarak kullanımı tavsiye edilmemektedir.



Şekil 3 - Eğilim

Ölçüm sisteminin eğilimini belirlemek için, bir parçanın kabul edilmiş referans değerini elde etmek gerekir. Bu genellikle takım odası (tool room) veya yerleşim denetleme ekipmanları ile yapılmaktadır. Bu okumalardan elde edilen referans değerleri daha sonra ölçüm R&R çalışmalarında, ölçümü yapan kişilerin gözlemlediği ortalamalarla karşılaştırılmaktadır. Mastarda hata, aşınmış elemanlar, aletlerin yanlış ölçü birimlerine ayarlanması, yanlış özellikleri ölçmesi, doğru kalibre edilmemesi, ölçümü yapan kişinin aletleri yanlış kullanması gibi nedenlerle eğilim göreceli olarak fazla bulunabilir. (AIAG MSA, 2010:51)

1. 1. 2. 1. Bağımsız Örnek Yöntemi

Bu yöntemde, izlenebilir standartlara göre referans değerleri belirlenmektedir. Eğer böyle bir parça elde yok ise, üretim ölçümlerinin orta-aralığına düşen bir parça seçilerek eğilim analizi için master parça olarak kullanılmaktadır. Alet odasında 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)

1. 1. 2. 2. Kontrol Çizelgesi Yöntemi

Kararlılığı ölçmek için kullanılan \bar{X} - R, veya \bar{X} - S kontrol çizelgeleri 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; (AIAG MSA, 2010:92)

$$Eğilim = Gözlemlenen Ortalama - Referans Değeri \quad (2.1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Eğilim için süreç değişkenliğinin yüzdesi ise;

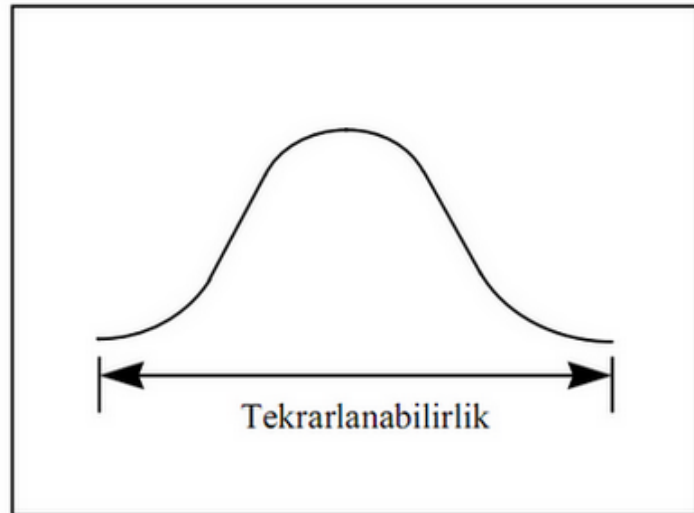
$$\%Eğilim = 100 \left(\frac{Eğilim}{Süreç Değişkenliği} \right) \quad (2.2)$$

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

1. 1. 3. Tekrarlanabilirlik & Tekrar Yapılabilirlik

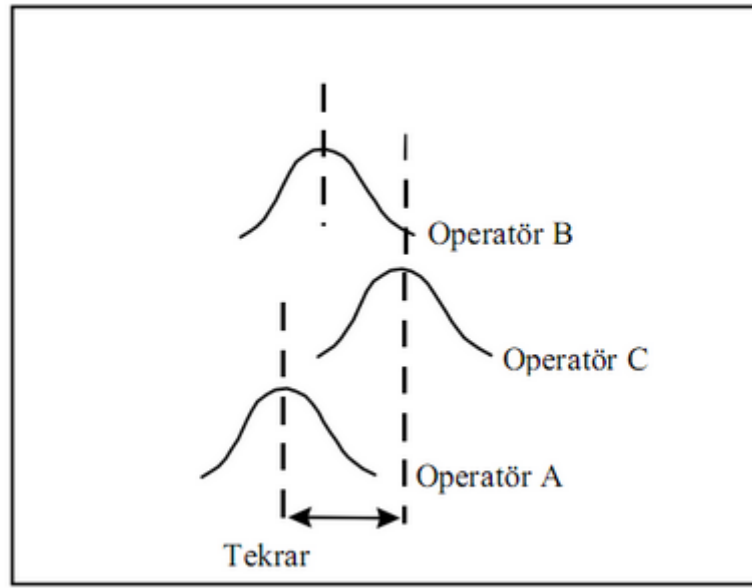
Tekrarlanabilirlik, bir ölçüm cihazı ve bir operatör tarafından bir çok kez kullanılarak, aynı numunenin aynı karakteristiğini ölçerken elde edilen ölçümlerin varyansını ifade etmektedir. (AIAG MSA, 2010:54)

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



Şekil 4- Tekrarlanabilirlik

Tekrar yapılabilirlik, değişik operatörlerin aynı ölçüm cihazını kullanarak, aynı numunenin aynı karakteristiğini ölçerken elde ettikleri ölçümlerin ortalamalarının varyansıdır. (AIAG MSA, 2010:55) Ölçüm işleminin tekrar yapılabilirliği, ölçüm yapan kişilerin değişkenliğinin tutarlılığını göstermektedir. Ölçüm yapan kişinin değişkenliği, her operatörün üzerine yüklenmiş artan eğilimi ifade etmektedir. Eğer eğilim veya operatör değişkenliği varsa, operatörlerin bireysel toplam ortalaması farklı olmaktadır. Bu, her parça için operatör ortalamaları karşılaştırılarak ortalama kontrol çizelgesinden izlenebilir.



Şekil 5- Tekrar Yapılabilirlik

Ölçüm sistemleri, geleneksel “Ölçüm Tekrarlanabilirlik ve Tekrar yapılabilirlik” (Ölçüm R&R) çalışmaları kullanılarak analiz edilmektedir. Bu çalışmalar ANOVA (Varyans Analizi) gibi yöntemler kullanılarak, tekrarlanabilirlik ve ekrar yapılabilirlik yöntemi kullanılmaktadır.

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

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

Bütün yöntemlerde parça-içi farklılıklar (yuvarlaklığın tutmaması, çapın gittikçe azalması, düzlüğün tutmaması, vb.) analiz aşamasında gözardı edilmektedir. Aralık Yöntemi dışındaki diğer yöntemler için uygulama adımları ve veri tasarımı benzer biçimde yapılmaktadır. Fakat, Aralık Yöntemi hariç, bütün çalışma tekniklerinde kullanılan temel ölçüm cihazı veri sayfası, parça-içi farklılıkların tanımı ve istatistiksel ölçümleri dahil edilerek yöntemler genişletilebilir. Ama bu, veri toplama işini ağırlaştırdığından pek tercih edilmemektedir. (AIAG MSA, 2010:101)

1. 1. 3. 1. Aralık Yöntemi

Aralık Yöntemi, ölçüm varyansını hızlı bir şekilde tahmin etmeyi sağlayan uyarlanmış bir değişken ölçüm aleti çalışmasıdır. Bu yöntem sadece, ölçüm sisteminin genel bir yapısını ortaya koymaktadır. Varyans, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik şeklinde ayrıştırılmamaktadır. Aralık Yöntemi çalışmasında basit olarak en az iki operatör ve beş parça (g) kullanılmaktadır. Operatörler her parçayı birer kere ölçmektedir. Her parçanın aralığı, Operatör A ve Operatör B'nin elde ettikleri değerlerin mutlak farkını ifade etmektedir. Aralıkların toplamından ortalama aralık (\bar{R}) değeri;

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{g} \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Toplam ölçüm varyansı, (tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik) ortalama aralık değeri;

$$R\&R = \frac{\bar{R}}{d_2^*} \quad (2.4)$$

ile hesaplanmaktadır. (d_2^* m=2 ve g = parça sayısı için Ek 1'den bulunabilir.) Süreç değişkenliğinin (veya tolerans) yüzde kaçını ölçüm varyansını oluşturduğu;

$$\% R\&R = \frac{R\&R}{\text{Sürecin Standart Sapması}} \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Ölçüm sisteminin %R&R'sı belirlenmekte ve sonuçların değerlendirilmesini yapılmaktadır. Çıkan yüzde değer, uygulamayı yapan kişiye ölçüm sisteminin geliştirilmesi gerekip gerekmediği hakkında bilgi vermektedir. (AIAG MSA, 2010:102)

1. 1. 3. 2. Ortalama ve Aralık Yöntemi

Ortalama ve Aralık Yöntemi (\bar{X} & R), bir ölçüm sistemi için tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik değerlerini tahmin etmemizi sağlayan matematiksel bir yöntemdir. Aralık Yöntemi'nden farklı olarak, ölçüm sisteminin tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik şeklinde iki ayrı bileşene ayrılmasını sağlamakta, fakat birbirleriyle olan etkileşimlerini vermemektedir.

Yönetimin uygulanmasında; operatörlerin sayısı, denemelerin ve parça türlerinin değişmesine rağmen, çalışmayı yürütmek için optimum şartları sağlamak gerekmektedir. Çalışmada, gerçek veya beklenen süreç varyansını temsil eden $n > 5$ kadar parça seçilmekte ve uygulamayı gerçekleştirecek operatörler belirlenmektedir. Çalışmanın pratik olması ve uygunluğu açısından maksimum parça sayısı 10 adet olarak alınmaktadır. Operatörler, parçaları 1'den 10'a kadar numaralandırılmakta, operatörler bu numaralandırılma işlemini görmemektedir. Her operatörün ölçtüğü parçalar başka bir gözlemci tarafından veri sayfalarına işlenmektedir. Parça ölçümü denemeleri 2 veya 3 kez tekrar edilebilir. (AIAG MSA, 2010:104)

Parça ölçümü tamamlandığında veriler için grafiksel analizler uygulanmaktadır. Bir Ölçüm Sistemleri Analizi'nin esas amacı bütün sistemi anlamak olduğu için, grafiksel araçların kullanılması çok önemlidir. Bu araçlar, varyans modelini ve karşılıklı ilişkilerini anlamamızı sağlamaktadır. Hangi grafiksel araçların kullanılacağı, veri toplamak için uygulanacak olan deneyin niteliğine bağlı olmaktadır. Ölçüm Sistemleri Analizi'nde elde edilen veriler, grafiksel olarak kontrol çizelgelerinde gösterilebilir. Bunlar, Ortalama Çizelgesi, Aralık Çizelgesi, Whiskers Çizelgesi, Hata Çizelgesi, Ortalamaların Büyüklüklerine göre X-Y Çizelgesi, Karşılaştırma X-Y Çizelgeleri, Yayılım Çizelgesi gibi çizelgelerdir.

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

Tablo – 2 Bir Operatör tarafından gerçekleştirilen Ölçüm Cihazı 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
Ortalama	X_1	X_2	X_3	...	...	X_n	$\bar{X}_{Operatör}$
Aralık	R_1	R_2	R_3	...	...	R_n	$\bar{R}_{Operatör}$

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

$$X_n = \frac{x_{1n} + x_{21} + x_{3n}}{\text{deneme sayısı } (3)} \quad (2.6)$$

$$R_n = x_{max} - x_{min} \quad (2.7)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Elde edilen ortalama ve aralık değerleri ile operatörün tüm denemeleri için ortalamaları;

$$\bar{X}_{Operatör} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + \dots + X_n}{\text{Parça Sayısı } (n)} \quad (2.8)$$

$$\bar{R}_{Operatör} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + \dots + R_n}{\text{Parça Sayısı } (n)} \quad (2.9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Her operatör için ayrı ayrı hesaplanan aralıkların ortalaması ($\bar{R}_{Operatör}$) yardımı ile bütün aralıkların ortalaması ($\bar{\bar{R}}$) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_{Operatör} A + \bar{R}_{Operatör} B + \bar{R}_{Operatör} C}{\text{Operatör Sayısı } (3)} \quad (2.10)$$

Alt ve üst kontrol limitlerini bulmak için bütün verilerin aralık ortalaması bulunmaktadır. Alt kontrol limiti $\bar{R} \times D_3$ ve Üst kontrol limiti $\bar{R} \times D_4$ şeklinde elde edilmektedir. (D_3 ve D_4 değerleri; Ek – 2’den bulunabilir.)

Hesaplanan üst kontrol limit değerinden daha büyük aralık oluşturan ölçümler, aynı operatörü ve aynı örnek parçayı kullanarak tekrarlanabilir, veya bu değerleri analizden çıkartılarak ortalama tekrar bulunabilir. Bütün aralıkların ortalaması ($\bar{\bar{R}}$) ve limit değeri düzeltilmiş yeni ölçümlere göre tekrar edilmektedir. Kontrol dışına çıkma durumu yaratan özel nedenler düzeltilmektedir. Eğer daha önce bahsedildiği gibi veriler bir kontrol çizelgesi kullanılarak çizilmiş ve analiz edilmişse, özel nedenler düzeltilmiştir.

Tüm ölçüm değerlerinin ortalaması ($\bar{\bar{X}}$) ve operatörler arası ortalamaların aralık değeri (\bar{X}_{DIFF}) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_{Operatör A} + \bar{X}_{Operatör B} + \bar{X}_{Operatör C}}{Operatör Sayısı (3)} \quad (2.11)$$

$$\bar{X}_{DIFF} = Max \bar{X}_{Operatör} - Min \bar{X}_{Operatör} \quad (2.12)$$

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

Operatörler tarafından gerçekleştirilen ölçüm cihazı tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirliği için bulunan aralık ve ortalamaların yardımı ile varyanslar hesaplanmaktadır. Analizde toplam varyansın (TV) hesaplanması için 4 farklı yol izlenmektedir. (MSA, 2010:121)

- ❖ Parça değişkenliği değerini kullanarak
- ❖ Süreç değişkenliği değerini kullanarak
- ❖ Pp değerini kullanarak
- ❖ Tolerans aralığını kullanarak hesaplanmaktadır.

Parça değişkenliği için Tablo - 3'deki Varyans formülleri kullanılarak toplam varyans;

$$TV = \sqrt{(R\&R^2 + PV^2)} \quad (2.13)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Hesaplamada tekrar yapılabilirlik değeri (AV) negatif çıkmamalıdır. Negatif değerler sıfır olarak kabul edilmektedir. Süreç değişkenliği bilindiğinde toplam varyansı bulmak için 6sigma temel alınarak hesaplanmaktadır. (Formül 2.14) Bulunan toplam varyansa göre parçanın varyansı Formül 2.15'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$TV = \frac{\text{süreç değişkenliği}}{6.00} \quad (2.14)$$

$$PV = \sqrt{TV^2 - R\&R^2} \quad (2.15)$$

Eğer sürecin değişkenliğini göstermek ve sürecin yeterli olup olmadığını anlamak amacı ile kullanılan P_p değeri biliniyorsa; toplam varyans üst limit değerinden alt limit değeri çıkartılarak $6 \times P_p$ değerine bölümü ile hesaplanmaktadır. (Formül 2.16)

$$TV = \frac{\text{Üst Limit} - \text{Alt Limit}}{6P_p} \quad (2.16)$$

P_p değeri ≥ 1 olması gerekmektedir. Birden küçük olduğu durumlarda tolerans aralığı kullanılarak hesaplanmaktadır. Verilen tolerans değerlerinin üst limitinden alt limit arasında farkın 6'ya bölümünden toplam varyans elde edilmektedir. (Formül 2.17) P_p değerini veya tolerans aralığını kullanarak yapılan analizde süreç değişkenliğinde olduğu gibi parçanın varyansını hesaplamak için Formül 2.15 kullanılmaktadır.

$$TV = \frac{\text{Üst Limit} - \text{Alt Limit}}{6} \quad (2.17)$$

Ölçüm Cihazı Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Analizi ile verilerinden elde edilen sonuçlar ölçüm sisteminin tamamı için varyans ve proses varyansı yüzdesi, tekrarlanabilirlik, tekrar yapılabilirlik, ve parça-parçaya varyansı tahmin edilebilir. Bu bilgiler grafiksel analiz sonuçları ile karşılaştırılmalı ve sonuçlarla örtüşmesi gerekmektedir. Bütün faktörlerin yüzdeleri toplamı % 100'e eşit olmayacaktır. (AIAG MSA, 2010:122)

Planlanan uygulama için ölçüm sistemlerinin kabul edilir olup olmadığını belirlemek için bu toplam varyans yüzdeleri değerlendirilmelidir. Ölçüm cihazı tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirliğini (% R&R) %10'un altında ise ölçüm sistemi kabul edilmektedir. % R&R değeri %10 ile %30 arasında ise uygulamanın önemine, ölçüm cihazının maliyetine, tamir masraflarına,vb., nedenlere bağlı olarak kabul edilmektedir. % R&R değeri %30'un üzerinde ise ölçüm sisteminin geliştirilmesine karar verilir. Problemin bulunması ve çözülmesi gerekmektedir. (AIAG MSA 2010:78)

Tablo – 3 Ölçüm Cihazı Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Hesaplamaları

<i>Ölçüm Birimleri Analizi</i>		<i>% Toplam Varyans</i>							
Tekrarlanabilirlik - Ekipman Varyansı (EV) $EV = \bar{R} \times K_1$		$\%EV = 100 \times \left(\frac{EV}{TV}\right)$							
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					
		<i>Operatör Sayısı</i>	2	3					
		K_2	0,7071	0,5231					
Parçalar	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_3	0,7071	0,5231	0,4467	0,4030	0,3742	0,3534	0,3375	0,3249	0,3146

Sayısal hesaplamamanın son adımı olarak ölçüm sisteminin güvenilirliğini ayırt etmek için kategori sayısı (ncd - ayırt edicilik) belirlenmektedir. Kategori sayısı % 97 güven aralığında olup, beklenen parça değişkenliğini ifade etmektedir. Kategori sayısı;

$$ncd = 1,41 \frac{PV}{R\&R} \quad (2.18)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bazı bilgisayar programları kategori sayısını sıfır olarak yuvarlayarak işleme katar. Veriler farklı programlar tarafından değerlendirildiğinde nihai sonuçların farklı çıkmasına neden olur. Bu yüzden kategori sayısı ölçü aletinin ayırt edilebilirliği hesaplanmalıdır. Kategori sayısı 5 ve 5' ten büyük olması gerekmektedir. Küçük olması durumunda, ölçüm cihazının çözünürlüğünün düşük olduğunu gösterir. (AIAG MSA,2010:123)

1. 1. 3. 3. ANOVA Metodu

Tsai 1988'de farklı operatörlerin aynı ölçüm aletini kullanmasına bağlı olarak oluşan değişkenliği ölçünün tekrar yapılabilirliğini ve ölçü aletinin kendi temel kesinliğini göstermesine bağlı olan değişkenliği de ölçümün tekrarlanabilirliği olarak tanımlamıştır. Ölçümün değişkenliği ölçünün tekrar yapılabilirlik ve ölçümün tekrarlanabilirliğinin birleşiminden oluşmaktadır. Göz önünde bulundurulan toplam değişkenliğin değişik bileşenleri hem parçanın değişkenliği hem de ölçüm aletinin değişkenliğini kapsamaktadır. Rastgele etkiler modeli, bir ölçüm sisteminin analizinde kullanılmakta ve şöyle ifade edilmektedir;

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + O_j + PO_{ij} + \varepsilon_{ijl} \begin{cases} i = 1,2, \dots, n \\ j = 1,2, \dots, p \\ l = 1,2, \dots, k \end{cases} \quad (2.19)$$

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

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: parçalar, operatörler, parça ile operatör arasındaki etkileşim ve rastgele hata faktörü. P_i, O_i, PO_{ij} ve ε_{ijl} normal dağılım gösteren ve ortalaması 0 kabul edilen rastgele faktörlerdir ve sürekli sapmaları sırayla $\sigma^2_p, \sigma^2_o, \sigma^2_{PO}$ ve σ^2_ε eşittir. Parçaların ve operatörlerin etkisi, parçalar ile operatörler arası etkileşim ve hata faktörleri birer katkı olarak kabul edilmektedir. Tahmini cihaz değişkenliği, tekrarlanabilirlik değişkenliği ile tekrar yapılabilirlik değişkenliğinin toplamı;

$$\hat{\sigma}^2_{\text{ölçüm}} = \hat{\sigma}^2_{\text{tekrarlanabilirlik}} + \hat{\sigma}^2_{\text{tekrar yapılabilirlik}} \quad (2.20)$$

$$\hat{\sigma}^2_{\text{tekrarlanabilirlik}} = \sigma^2_\varepsilon \quad (2.21)$$

$$\hat{\sigma}^2_{\text{tekrar yapılabilirlik}} = \sigma^2_o + \sigma^2_{PO} \quad (2.22)$$

Tsai 1988'de değişkenliğe sebep olan unsurları hesaplamak için ANOVA Yöntemi'ni geliştirmiştir. Montgomery ve Runger, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik çalışmasının değişkenlik unsurlarını kesin olarak tahmin etmede deney tasarımıyla eş değerde olduğunu vurgulamaktadır. Varyans bileşenlerinin σ^2_{PO} negatif tahmini mümkün olmaktadır. Bu problemi çözmeye kullanılan bir yöntem bu değerini 0 olarak kabul edilmesi ve ölçüm değişkenlik tahmininin yeniden hesaplanmasını ifade etmektedir. (Fang vd.,2005: 2)

Tablo - 4 Varyans Tahminleri

Ölçüm Cihazı	$\tau^2 = MS_e$
Etkileşim	$\gamma^2 = \frac{MS_{PO} - MS_e}{k}$
Operatör	$\omega^2 = \frac{MS_O - MS_{OP}}{nk}$
Parça	$\sigma^2 = \frac{MS_P - MS_{OP}}{pk}$
$\hat{\sigma}^2_{\text{tekrarlanabilirlik}} = MS_\varepsilon$	
$\hat{\sigma}^2_{\text{tekrar yapılabirlik}} = \frac{(MS_O + (n - 1)MS_{PO} - nMS_e)}{nk}$	
$\hat{\sigma}^2_{\text{ölçüm}} = \frac{(MS_O + (n - 1)MS_{PO} + n(k - 1)MS_e)}{nk}$	

Tablo 4'te görüldüğü gibi Varyans Analizi operatörleri, parçaları, operatörlerin ve parçaların etkileşimleri ve ölçüm cihazından kaynaklanan tekrarlanma hata faktörünü dikkate alarak analiz yapmaktadır. Kaynak kolunu varyansın sebebinin, DF kolunu kaynağın bağımsızlık (serbestlik) derecesini göstermektedir. SS sembolü kareler toplamını, MS sembolü kareler ortalamasını, EMS sembolü beklenen kareler ortalamasını ifade etmektedir. (Pan, 2004:674)

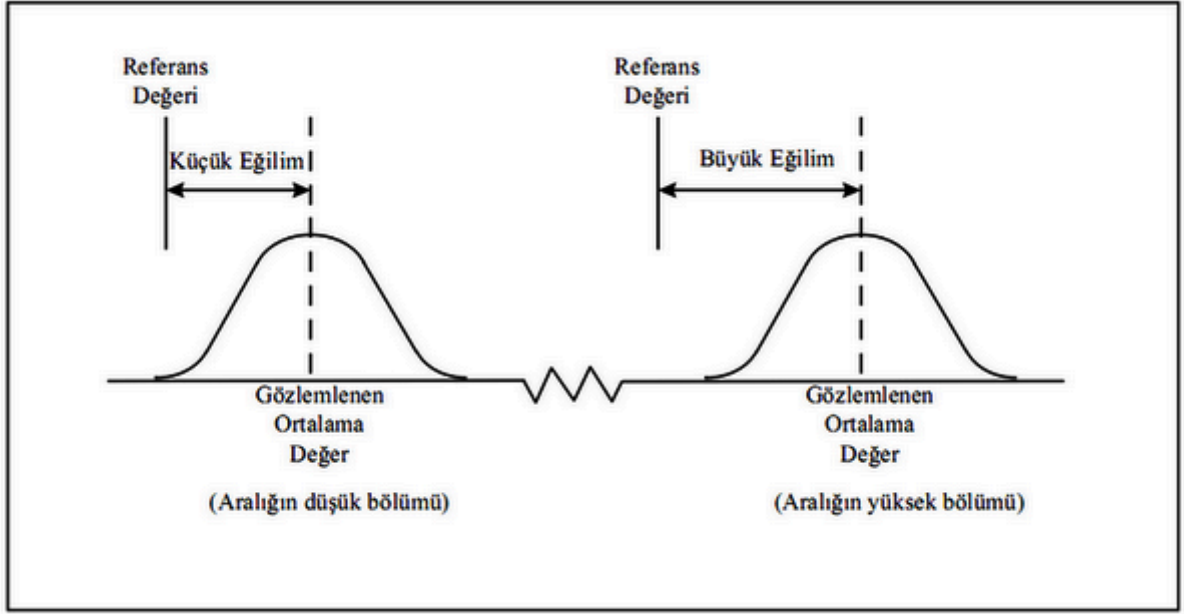
Tablo - 5 Varyans Analizi

Kaynak	DF	SS	MS	EMS
Operatör	p-1	SS_o	$MS_o = \frac{SS_o}{p-1}$	$\tau^2 + ky^2 + nk\omega^2$
Parçalar	n-1	SS_p	$MS_p = \frac{SS_p}{n-1}$	$\tau^2 + ky^2 + pk\sigma^2$
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
<p>Toplam > npk-1 | Operatör ~ N(0, ω^2) Parçalar ~ N(0, σ^2)</p> <p>F değeri = MS_{op}/MS_e | Operatör × Parçalar ~ N(0, γ^2) Ölçüm Cihazı ~ N(0, τ^2)</p>				

1. 1. 4. Doğrusallık

Doğrusallık, ölçüm cihazının beklenen çalışma aralığı boyunca eğilim değerleri arasındaki farktır. (AIAG MSA, 2010:52)

Doğrusallık Analizi için ölçüleri, ölçüm cihazının sınırları içinde olan en az beş parça seçilmektedir. Parçanın referansının belirlenmesi ve sözkonusu cihazın çalışma sınırlarının kapsadığını doğrulamak için her parça operatörler tarafından ölçülmektedir.



Şekil 6- Doğrusallık

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

$$Eğilim = Gözlemlenen Ortalama - Referans Değeri \quad (2.23)$$

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

$$y = b + ax \quad (2.24)$$

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

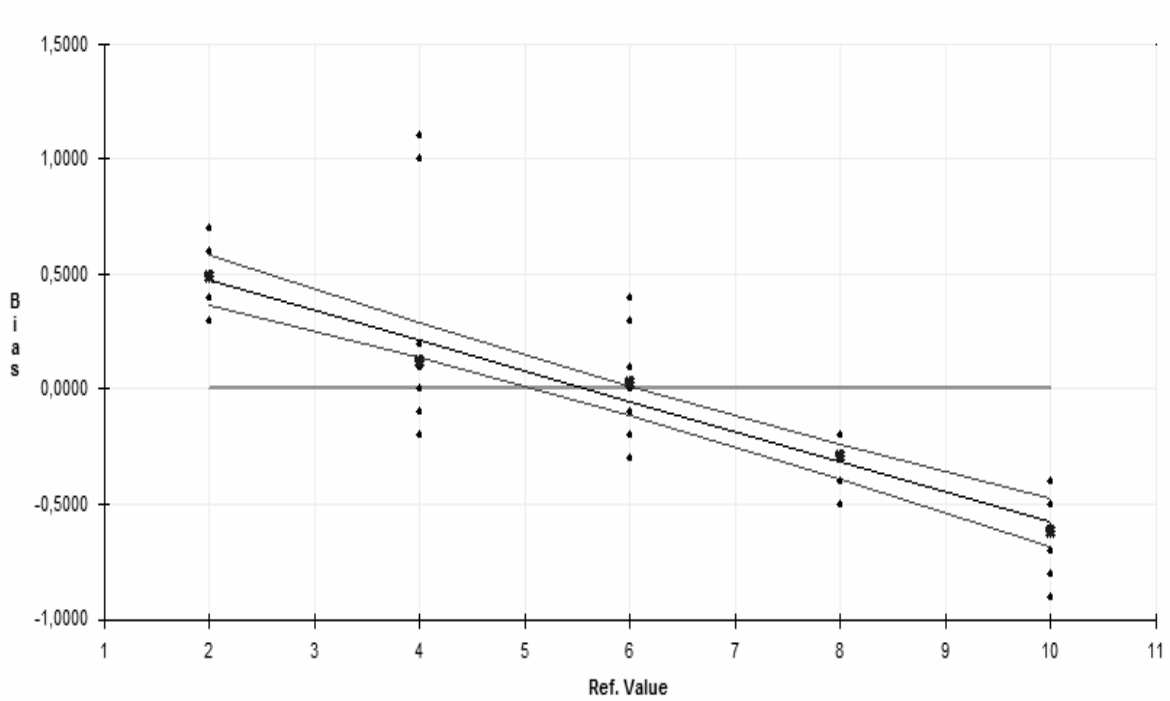
$$a = \frac{\sum xy - (\sum x \frac{\sum y}{n})}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (2.25)$$

$$b = \sum \frac{y}{n} - a \times \left(\sum \frac{x}{n} \right) \quad (2.26)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

$$R^2 = \frac{\left[\sum xy - \sum x \frac{\sum y}{n} \right]^2}{\left[\sum x^2 - \left(\frac{(\sum x)^2}{n} \right) \right] \times \left[\sum y^2 - \left(\frac{(\sum y)^2}{n} \right) \right]} \quad (2.27)$$

Eğilim ortalaması ve referans değerleri doğrusal ilişki sonucunda parametreleri en iyi şekilde tanımlayan Doğrusallık Grafiği çizilmektedir. Bu doğrunun en iyi şekilde tanımlandığı, yukarıdaki formülünden hesaplanan R^2 değeri ile anlaşılmaktadır. İkisi arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı sonucuna varılmaktadır. Doğrunun eğimi düştükçe ölçüm aletinin doğrusallığı ve tersine eğim arttıkça doğrusallık düşmektedir.



Şekil - 7 Doğrusallık Grafiği

Çalışma aralığı boyunca seçilen parçalar, bir veya daha fazla operatör tarafından ölçülür ve her parça için gözlemlenen ortalama belirlenir. Referans değerleri ve gözlemlenen ortalamalar arasındaki fark eğilimdir; seçilen her parça için hesaplanmaktadır. Doğrusallık grafiği, çalışma aralığı boyunca eğilimler ve referans değerleri kullanılarak çizilmektedir. Sistemin doğrusallığı ve doğrusallık yüzdesi, regresyon doğrusunun eğiminden ve parçaların süreç değişkenliğinden (veya tolerans) hesaplanmaktadır.

Bu bölümde Ölçüm Sistemleri Analizi'nin genel hatlarına ve nicel verilerin analiz edilme yöntemlerine değinilmiştir. Ölçüm aletleri, operatörler vb. gibi nedenlerden kaynaklanan kararlılık, doğrusallık, eğilim, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik gibi beş hata türü aktarılmıştır. Niteliksel verilerin kullanımı ile ilgili Ölçüm Sistemleri Analizi Yöntemleri üçüncü bölümde anlatılmaktadır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

NİTELİKSEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

İstatistiksel çalışmalarda toplanan veriler, ölçümlerin türüne göre nicel ve nitel veriler olarak iki grupta ele alınmaktadır. Cinsiyet ve medeni hal gibi değişkenlerin değeri sözcüklerle ifade edilebilirken; Kilo, aylık gelir, boy uzunluğu, nüfus oranı gibi değişkenlerin değeri ise sayılarla ifade edilmektedir. Sayılarla ifade edilebilen değişkenlere nicel, edilemeyenlere nitel değişken adı verilmektedir. Sayısal bir değer almayarak iki veya daha fazla sayısal olmayan kategoriye sınıflanabilen değişken; nitel değişken; böyle bir değişken için toplanan veriler ise nitel verilerdir. (Gürsakal, 2005:55)

X ve Y gibi iki kategorik değişken, sırası ile i ve j adet seviye içerdiğinde, elde edilecek iki yönlü tablo i x j adet sınıfa sahip olmaktadır. İki yönlü tabloların analiz edilmesinde, genellikle tabloda yer alan kategorik değişkenlerin birbirinden bağımsız olup olmadığı incelenmektedir. İki (kategorik) değişkenin birbirinden bağımsız olup olmadığını belirlemek amacıyla, yaygın olarak kullanılan istatistiksel araçlar arasında; X^2 , Pearson, C, Phi (ϕ), Cramer V ve Cohen Kappa gibi istatistiksel araçlar sayılabilir. (Keskin, 2004:169)

Ölçüm Sistemleri Analizi'nin bir alt dalı olan Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi, bir kalite sürecinde parçaların ölçülemediği, sayısal verilerin elde edilemediği durumlarda, sadece parçanın uygun olup olmadığını bakılarak, ölçüm sisteminin uygunluğunu kontrol eden bir tekniktir. Ölçüm sisteminde değişkenler birbiri ile kıyaslanmaktadır. Sistem içinde en yaygın olarak kullanılan araç; go / no go masterlarıdır. Diğer niteliksel sistemler ise; görsel standartlardan oluşan, 5 ile 7 arasında sınıflandırarak puanlama gibi ölçümlere dayanmaktadır. Örneğin; Çok iyi, iyi, orta, kötü, çok kötü gibi... Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi çalışmalarında; en büyük risk kategori sınırları olduğundan en uygun analiz, ölçüm performans eğrisi ile ölçüm sistemi değişkenlik miktarı ile yapılmaktadır.

3.1. RİSK ANALİZİ YÖNTEMLERİ

Süreç içinde uygulanan analiz için nitel verilerin referans değerleri değişkenliği ile yeterli derecede parça sayısı bulmak mümkün değildir. Bu gibi durumlarda, yanlış ya da tutarsız karar alma riski değerlendirilir. Bu yöntemler;

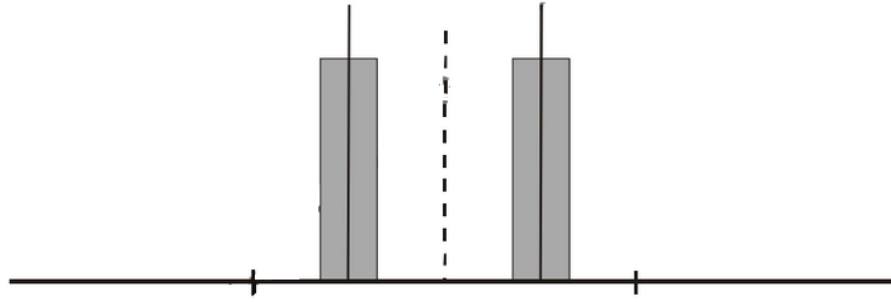
- ❖ Hipotez Testi Analizi
- ❖ Cohen Kappa Testi Analizi
- ❖ Sinyal Algılama/Yakalama Teorisi olmaktadır.

Bu yöntemlerin amacı, ölçüm sistemi değişkenliğini ölçmek değildir; müşterinin isteği ile yapılmaktadır. Bu tekniklerin kullanımı ve seçimi, uygun istatistiksel uygulamalara dayalı olmalıdır. Nihai müşteri ve devam eden süreçler içinde yanlış bir kararın etkisini, ürün ve ölçüm süreçlerini etkileyen değişkenlerin potansiyel kaynaklarını anlamak gerekmektedir.

Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi çalışmalarında değişkenlik kaynakları, ergonomik araştırma ve insan faktörü sonuçlarından çıkan hatalar minimize edilmelidir. Üretim sürecinde, uygun olmayan ürünün üretimi engellenir ve kabul edilmeyen parçalar ıskartaya çıkarılır ve sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması gerekmektedir.

Mastarlar değişken ölçüm cihazlarından farklı olarak, parçanın ne kadar iyi ya da ne kadar kötü olduğunu değil, parçanın kabul edilip edilmeyeceğini göstermektedir. Bu mastarların çoğu bir şahit numune (müşterinin kabul gördüğü parça) parça üzerinde doğrulama yapılarak kullanılmaktadır. Bu doğrulama go / no go adı verilen mastarlar sayesinde gerçekleştirilmektedir. Pek çok mastarda da olduğu gibi, go / no go mastarlarda da yanlış karar verilebilecek “gri” bölgeler mevcut olmaktadır.

Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi çalışması yapılırken parçaların yaklaşık % 25’i alt limitte veya alt limite yakın, % 25’i üst limitte veya üst limite yakın seçilmektedir. Pp, Ppk = 0,5 (beklenen proses performansında yaklaşık olarak % 13 hata) kabul edilerek, numune sayısı 50 parçadan rasgele seçim yapılmaktadır. (AIAG MSA, 2010:131)



Şekil 8 - Ölçme sistemi ile ilişkili 'Gri' bölgeler.

Risk Analizi Yöntemi'nde Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi çalışması en az 2 operatör ile yapılmakta ve her operatör her parça için en az 2 kere ölçüm yapmaktadır. Uygun ölçüm bir (1), uygun olmayan ölçüm ise sıfır (0) olarak kayıt edilmektedir. Hazırlanan tabloda seçilen parçalar daha önce ölçülmüş olduğundan, referans sütununda parçanın uygun olup olmadığı (0 veya 1) ve referans değeri sütununda da nicel olarak ölçülmüş değeri belirtilmektedir. Operatörler bu değerleri ve birbirlerinin yapmış olduğu ölçümleri görmemelidir. (AIAG MSA, 2010:132) Otomotiv sektöründe kullanılan ve AIAG tarafından hazırlanan standart referans değerlerinin ve kodların bulunduğu tablo aşağıdaki gibidir;

Tablo 6 – Niteliksel Ölçüm Çalışması Veri Seti (AIAG)

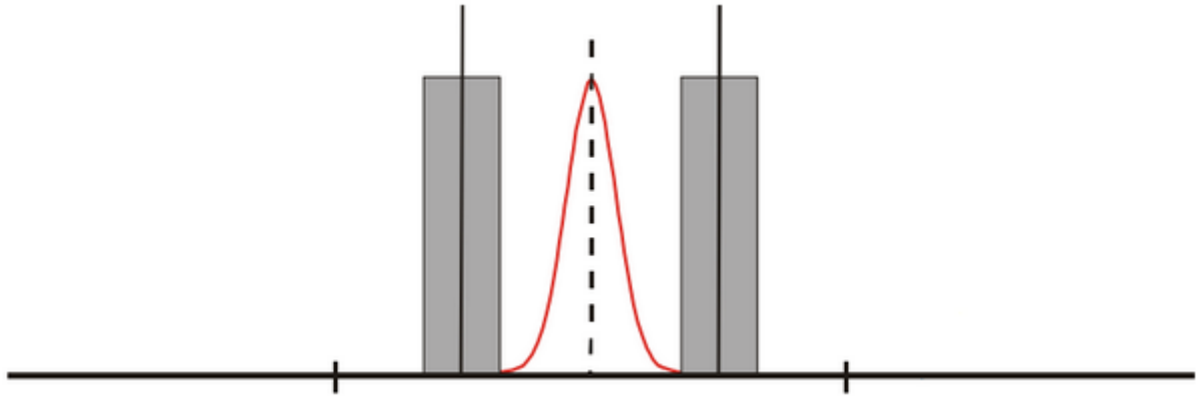
Parça	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	Referans	R. Değeri	Kod
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,476901	+
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,509015	+
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,576459	-
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,566152	-
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57036	-
6	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0,544951	×
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0,465454	×
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,502295	+
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,437817	-
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,515573	+
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,488905	+
12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,559918	×
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,542704	+
14	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0,454518	×

Parça	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	Referans	R. Değeri	Kod
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,517377	+
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,531939	+
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,519694	+
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,484167	+
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,520496	+
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,477236	+
21	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0,45231	×
22	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0,545604	×
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,529065	+
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,514192	+
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,599581	-
26	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0,547204	×
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,502436	+
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,521642	+
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,523754	+
30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,561457	×
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,503091	+
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,505850	+
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,487613	+
34	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0,449696	×
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,498698	+
36	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0,543077	×
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,409238	-
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,488184	+
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,427687	-
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,501132	+
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,513779	+
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,566575	-
43	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0,46241	×
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,470832	+
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,412453	-
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,493441	+
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,486379	+
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,587893	-
49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,483803	+
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,446697	-

Kaynak: AIAG, Measurement Systems Analysis, 4. Baskı, 2010 s.134.

AIAG'nin kullandığı standartlara uygun tablo hazırlandıktan sonra ilk olarak gözlemlenen veriler özetlenir. Kodlarda; “ - ” uygun bulunmayan gözlemleri, “+” uygun bulunan gözlemleri, “x” gözlemciler arasındaki uyumsuzluk gösteren gözlemlerini ifade etmektedir. Her bir ölçümcü çiftinin değerlendirmeleri kendi arasında karşılaştırılmaktadır. (AIAG MSA, 2010:133)

Ölçüm Sistemleri Analizi'nde çalışılacak numune sayısı oldukça önemlidir. Çalışmaya başlarken genel olarak numune sayısının yeterli olduğu varsayılmaktadır. Nitel Ölçüm Sistemleri'nin ilgilendiği bölge “gri” bölgelerdir. Gri bölgeler operatörler tarafından uygun parçanın red edildiği, uygun olmayan parçanın kabul edildiği veri gruplarıdır. Dolayısıyla proses yeterliliği (Cp, Cpk veya Pp, Ppk) iyileştikçe, gerekli numune sayısı artmaktadır. Eğer süreç için Pp, Ppk = 1,33 olarak kabul edilirse; parçaların ölçüm değerlerinin hepsi kabul edilmekte ve hiçbir parça “gri” bölgeye düşmemektedir. (AIAG MSA, 2010:141) Bu durumda yanlış değerlendirme yapılamayacağından tüm ölçümcüler kabul edilebilir olarak verileri değerlendirmektedir. Bu yüzden bir süreç içinde verilerin Pp, Ppk = 0,5 (beklenen proses performansında yaklaşık olarak %13 hata) olduğunda, numune sayısı 50 adet olarak alınmaktadır.



Şekil 9 - Pp=Ppk=1,33 olma durumu

3.1.1 Hipotez Testi Analizi – Çapraz Tablolar (Cross-Tab Metod)

Çapraz tablolar operatörler arasında uyumu (uygunluğu) ve veri dağılımını göstermektedir. A ve B operatör çiftinin tamamıyla şans eseri bir ölçümde uyum veya uyumsuzluk olasılığı beklenen dağılımlarla;

$$P (\text{operatör}) = \frac{\text{operatöre ait toplam red sayısı}}{\text{Toplam gözlem}} \quad (3. 1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. İki operatör birbirinden bağımsız olduğundan, bir parçanın uygun olmadığında uyum olasılıkları;

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B) \quad (3. 2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. A operatörü ile B operatörünün kaç adet parçada reddedilğine göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; $n \times P (A \cap B)$ şeklinde hesaplanmaktadır. n toplam ölçüm sayısını, örnekleme ifade etmektedir. Aynı yöntem ile uygun kabul edilen parçalar arasındaki uyumun olasılıkları da hesaplanmaktadır.

3.1.2. Cohen Kappa Uyum Testi

Cohen'in Kappa Katsayısı (k) iki gözlemci arasındaki karşılaştırmalı uyumun güvenilirliğini ölçen bir istatistiksel yöntemidir. (Cohen, 1960:37) İki veya daha fazla gözlem arasındaki kalitatif uyum oranını ölçmek için Cohen Kappa Uyum Testi geliştirilmiştir. (Baker vd.,1996:775) Bu test yapılan gözlemlerin birbiri ile ne kadar benzerlik gösterdiği araştırılmaktadır.

İki yönlü tablolarda bağımlılığın özel bir hali olan uyumun belirlenmesinde ise en yaygın kullanılan istatistik Kappa (k) istatistiğidir. Kappa istatistiği, iki yönlü tablolarda satır ve sütunda yer alan değişkenlerin seviyelerinin sayısı eşit olduğu durumda, yani 2×2 , 3×3 ,..., $k \times k$ olduğu durumlarda, iki değişken arasında uyum ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bu istatistik, aynı nesnelere (deney ünitelerinin) bazı özellik veya özellikleri dikkate alınarak iki farklı gözlemci tarafından değerlendirilerek sınıflandırılması sonucunda; gözlemci arasındaki uyumu belirlemede veya aynı hakemin ya da eksperin farklı zamanlarda veya farklı yerlerde aynı nesnelere için yapmış olduğu sınıflandırmalarda uyum ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, gerçek sınıfları belli olan nesnelere

bazı özellikleri dikkate alınarak; hakem, metot ya da eksper tarafından sınıflandırılması sonucunda güvenilirlik ölçüsü olarak da kullanılmaktadır. (Keskin, 2004:169).

Kappa katsayısı -1 ile +1 arasında değişmektedir. Tam bir uyum olması için kappa katsayısının 1 olması gerekmektedir. Kappa katsayısı 0 olduğunda beklenen uyum şansa bağlı olmaktadır. Kappa katsayısı negatif olduğunda beklenen uyum şans ihtimalinden bile düşüktür. Negatif olması ters yönde bir uyumun olduğunu göstermektedir. (Siegel vd., 1988:399)

Cohen Kappa Uyum Testi'nde ortaya çıkan kategorik değişken olduğu için parametrik olmayan bir istatistik türüdür. Cohen Kappa Uyum Testi bu uyuşmanın bir şans eseri olabileceğini de ele aldığı için basit yüzde orantı olarak bulunan uyuşmadan daha güçlü bir sonuç verdiği kabul edilmektedir. Ancak Kappa katsayısı sadece iki tane ölçümcüyü ele almaktadır. Eğer ölçümcü sayısı ikiden çoksa Fleiss'in Cohen Kappa'ya benzer Fleiss'in Kappa Katsayısı kullanılmaktadır. (Fleiss, 1971:378)

Tablo 7 - Gözlemciler arasında uyumu belirten Kappa Katsayısı;

<i>k</i>	<i>Yorumu</i>
$k < 0$	Ters yönde bir uyum. Hiç uyum yok.
$0,0 < k < 0,2$	Önemsiz derecede uyum.
$0,2 < k < 0,4$	Az derecede uyum.
$0,4 < k < 0,6$	Orta derecede uyum.
$0,6 < k < 0,8$	Önemli derecede uyum.
$0,8 < k < 1$	Mükemmele yakın derecede uyum.
$k = 1$	Tam/Mükemmel uyum.

Ancak Tablo-7'de verilen yorumlar ve hatta verilen aralıklar hakkında istatistikçiler arasında anlaşmazlık vardır. Landis ve Koch yazılarında verdikleri aralıklar ve yorumlar için teorik delil vermemişlerdir ve bu ifadeler ancak birer şahsi inanç olarak kabul edilmektedir. Bazı istatistikçilere göre bu aralıklar ve yorumlar araştırmacılara zararlı olabilmektedir. Bu aralıklar ve yorumlar, araştırmacılara *Kappa* değerinin değişken kategori

sayısından da etkilendiği gerçeğini unutturabilmektedir. Kategori sayısı ne kadar küçük olursa kappa değeri de büyük olmaktadır.

Niteliksel ölçüm çalışmasında bir karakteristiğin red veya kabulünü belirlemek için nitel ölçekte uyumluluğun değerlendirilmesinde kappa istatistiği sık kullanılmaktadır. İki gözlemcinin yaptığı ölçümde aynı inceleme aracını kullandığı veya değişik araçları kullandığı durumlarda uyumluluk belirlenmektedir.

İki gözlemci arasındaki uyumluluğu ölçmede uyumluluğun genel yüzdesi (bütün eşlenmiş değerlendirmeleri hesaplayarak) veya etkin yüzdesi (en az bir gözlemin varlığını tespit ettiği eşlenmiş değerlendirmeler üzerinden hesaplama) kullanılmaktadır. Bu değerler uyumluluğun ölçütlerini vermesine rağmen tesadüfen ortaya çıkan uyumluluğu hesaba katmamaktadır. Eğer gözlemciler tesadüfen uyumlu oluyorlar ise, hiçbir şekilde gerçekten uyumlu değillerdir; sadece tesadüfen beklenenin dışındaki uyumluluğun ‘gerçek’ uyumluluk olduğu düşünülebilir. Kappa, ‘gerçek’ uyumluluk ölçütüdür. Kappa tesadüfen beklenenin dışındaki uyumluluğun oranını göstermektedir. (Sim vd., 2005:258)

Cohen'in kappa katsayısı;

$$k = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (3.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Test İstatistiği;

Tablo 8 – Cohen Kappa İstatistiği Hesaplanması

1. Gözlemci 2. Gözlemci	Kabul	Red	Toplam
Kabul	G_{11}	G_{12}	$R_1 = (G_{11}+G_{12})$
Red	G_{21}	G_{22}	$R_2 = (G_{21}+G_{22})$
Toplam	$C_1 = (G_{11}+ G_{21})$	$C_2 = (G_{12}+G_{22})$	N

$$P_o = \frac{G_{11} + G_{22}}{N} \quad (3.4)$$

$$P_e = \frac{((C_1)(R_1) + (C_2)(R_2))}{N^2} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

P_o =Değişkenler arasında gözlenen uyumluluk oranı,

P_e = Değişkenler arasında beklenen uyumluluk oranı ve

G = Gözlem değerleri, N = Örneklem hacmidir.

Birinci ve ikinci gözlemler için indisleri olmak üzere kappaya ait varyans aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır; (Agresti, 2002:434).

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N} \left\{ \frac{P_o(1 - P_o)}{(1 - P_e)^2} + \frac{2(1 - P_o)[2P_oP_e - \sum P_{ij} + (P_{i+} + P_{+i})]}{(1 - P_e)^3} \right. \\ \left. + \frac{(1 - P_o) \left[\sum \sum P_{ij} (P_{j+} + P_{+j})^2 - 4P_e^2 \right]}{(1 - P_e)^3} \right\} \quad (3.6)$$

İki gözlemci arasındaki uyumun şansa bağlı kısmını düzelten bir uyum ölçüsü olarak tanıtılan k katsayısının iki sorunu vardır. (Lantz, 1996: 431) Birinci sorun; basit uyum olasılığının (P_o) yüksek olmasına rağmen, satır – sütun toplamlarındaki büyük dengesizlikler nedeniyle küçük bir k katsayısının elde edilmesidir. İkinci sorun ise; satır-sütun toplamlarında asimetric dengesizlik olduğunda k katsayısının, simetrik dengesizlik olması durumuna göre daha yüksek bulunabilmesidir.

C_1 ile C_2 ve R_1 ile R_2 toplamlarının eşit ya da birbirine yakın olması durumunda satır-sütun toplamlarının dengeli olduğu söylenmektedir. Bu toplamlar birbirinden uzaklaştıkça satır-sütun toplamları dengesizleşmeye başlamaktadır. C_1 ile C_2 ve R_1 ile R_2

toplamlarının eşit ya da birbirine yakın olması durumunda ise satır - sütun toplamlarının simetrik olduğu söylenmektedir. Yine bu toplamların birbirinden uzaklaşması satır - sütun toplamlarının asimetrik olmasına yol açmaktadır.

Analize göre ölçümcüler arasındaki uyum belirlenmekte, fakat ölçüm sisteminin iyi parçayı kötü parçadan ayırıp ayırmadığını belirtmemektedir. Tüm ölçümcülerin birbiri ile uyumunu gösteren kappa tablosu oluşturulmakta ve A ölçümcüsü ile B ölçümcüsü arasındaki uyum olasılığı tabloya işlenmektedir. Ayrıca veri tablosundaki referans değerleri kullanılarak, her ölçümcünün referansa göre değerlendirilmesi yeni çapraz tablolar ile yapılmaktadır.

Kappa ölçümü ile her operatörün parça referansı ile uyumu hesaplanmaktadır. Bu değerler her operatörün standart ile uyumlu olup olmadığını göstermektedir. Operatörlerin kendi arasında ve diğer operatörlerle olan uyum olasılıkları hesaplanmaktadır. Gözlemlerden operatörler için ayrı ayrı gerekli görülen anlamlık seviyesi seçilerek alt ve üst limitler hesaplanmaktadır. Tüm ölçümcülerin birbiri ile uyumu gösterilmekte ve daha sonra ölçüm sisteminin etkinliği(effectiveness) hesaplanmaktadır.

Tablo – 9 Geçerlilik Kriterleri

Karar Ölçüm sistemi	Etkinlik	Kaçırma Oranı	Yanlış Alarm Oranı
Uygun Parçalar	$\geq 90 \%$	$\leq 2 \%$	$\leq 5 \%$
İyileştirme Yapılabilir.	$\geq 80 \%$	$\leq 5 \%$	$\leq 10 \%$
Uygun Olmayan Parçalar İyileştirme Gerekli	$< 80 \%$	$> 5 \%$	$> 10 \%$

Etkinlik: Doğru verilen kararların oranını ifade etmektedir.

Kaçırma Oranı: Gözlemcilerin hatalı parçayı kaçırmamasını, görmemesini ifade etmektedir.

Yanlış Alarm Oranı: Gözlemcilerin doğru parçayı yanlış olarak değerlendirmesini ifade etmektedir.

3.1.3. Sinyal Algılama/ Yakalama Yaklaşımı

Sinyal Algılama Yaklaşımı, seçilen parçaların ölçüm değerleri süreci ne kadar temsil ettiğini göstermektedir. Yüksek yeterlilik sağlayan süreçler için bazı parçaların, spesifikasyonları dışında ve tolerans limitlerine yakın ölçüm sistemi analizi yapılmaktadır. Bu yüzden, parçalar veya sürecin aralığını temsil eden örnekler toplanmakta ve Referans Değerleri yardımıyla elde edilen sonuçlar kıyaslanmaktadır.

İki veya daha fazla operatör ile her parça belirlenen ölçüm sistemi ile en az 3 kez ölçülmektedir. Ölçülen parçalar iyi veya kötü, doğru veya yanlış parçalar olarak tanımlanmaktadır. Referans değerleri hesaplanan parçaların azalan bir şekilde sıralanması yapılarak ayarlanmaktadır. Üç bölgeden oluşan dağılımda, her parça bir yere atanmaktadır. Birinci bölge, kötü parçalar ölçümcü tarafından kötü olarak tanımlanmaktadır. İkinci bölge, 'gri bölge' olarak adlandırılmakta ve kötü parçalar bazen iyi, iyi parçalarda bazen kötü olarak tanımlanmakta olduğundan bu bölgeye düşmektedir. Üçüncü bölgede de iyi parçalar ölçümcü tarafından iyi olarak tanımlanmaktadır. Ortalamanın tolerans değeri %25 civarında olmalıdır. Ölçüm sistemini karşılaştırmak için örneklem büyüklüğü ne kadar büyükse o kadar iyi temsil etmektedir.

İkinci bölge için ortalama hesaplanmaktadır. d_i olarak ifade edilmektedir.

$$d_i = \frac{d_{alt\ limit} + d_{üst\ limit}}{2} \quad (3.7)$$

$d_{üst\ limit}$ kötü olarak tanımlanan tüm parçaların en yüksek spesifikasyon değeri dışında son referans değeri ile iyi olarak tanımlanan tüm parçaların en yüksek spesifikasyon değeri içinde ilk referans değeri arasındaki fark ile hesaplanmaktadır.

$d_{alt\ limit}$ iyi olarak tanımlanan tüm parçaların en düşük spesifikasyon değeri içinde son referans değeri ile kötü olarak tanımlanan tüm parçaların en düşük spesifikasyon değeri dışında ilk referans değeri arasındaki fark ile hesaplanmaktadır. ¹

3. 2 ANALİTİK YÖNTEM

Her ölçüm sisteminde olduğu gibi, prosesin kararlılığı doğrulanmakta ve gerekiyorsa izlenmektedir. Niteliksel ölçüm sistemleri için, sabit bir örnek grubunun belli bir zaman aralığında niteliksel kontrol çizelgelerinin hazırlanması, kararlılığın doğrulanması açısından sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Niteliksel ölçüm cihazları için, cihazın tekrarlanabilirlik ve eğilim miktarlarını belirlemede Kontrol Mastarı Performans Eğrileri kullanılmaktadır. Analiz hem tek taraflı hem de çift taraflı kontrol mastarları için yapılabilmektedir. Çift taraflı kontrol mastarlarında, hatanın doğrusal ve benzer olduğu varsayılarak, tek limitin kontrol edilmesi yeterli olmaktadır. Kolaylık açısından alt limitler kullanılmaktadır.

Genelde, niteliksel ölçüm çalışması, seçilen parçaların referans değerlerinin bulunmasını kapsamaktadır. (m) kez değerlendirilen ve (a) kez kabul gören bu parçaların her biri kaydedilmektedir. Bu sonuçlardan tekrarlanabilirlik ve eğilimi değerlendirilmektedir.

Niteliksel ölçüm çalışmasının ilk adımı parça seçimidir. Çalışmada kullanılan her parçanın referans değerinin bilinmesi gerekmektedir. Sekiz parça yaklaşık eşit aralıklarda pratik olarak seçilmektedir. Maksimum ve minimum değerleri proses aralığını temsil etmesi gerekmektedir. Bu seçim sonuçların güvenilirliğini etkilemese de, ölçüm çalışmasını tamamlamak için gerekecek olan toplam parça sayısını etkilemektedir. Bu sekiz parça $m = 20$ kez ölçülmekte ve her parça için toplam kabul sayısı (a), kaydedilmektedir. Tüm çalışma için en küçük parçanın $a = 0$, en büyük parçanın $a = 20$, diğer altı parçanın $1 \leq a \leq 19$ değerleri arasında olması gerekmektedir. Bu şartlar sağlanmadığı takdirde, X referans değerli daha fazla parça şartlar sağlanana kadar ölçüm cihazından geçirilmektedir.

¹ Quality Training Portal Resource Engineering, Inc,
http://www.qualitytrainingportal.com/resources/msa/attribute_measurements.htm, Erişim Tarihi [11.10.2011]

Eğer en küçük değer için $a \neq 0$ ise, $a = 0$ olana kadar küçük ve daha küçük parçalar alınmakta ve değerlendirilmektedir. Eğer en büyük değer için $a \neq 20$ ise, $a = 20$ olana kadar büyük ve daha büyük parçalar alınmaktadır. Eğer kalan altı parça $1 \leq a \leq 19$ değerine sahip değilse, aralık boyunca seçilmiş noktalarda ek parçalar alınmaktadır. Bu noktalar, çalışmada daha önceden alınmış parça ölçümlerinin orta noktalarından alınabilir. $a = 0$ ucundaki birinci aralık, $a = 0$ olduğu en büyük ölçümden; $a = 20$ ucu için birinci aralık, $a = 20$ olduğu en küçük ölçümden başlamaktadır. En iyi sonuç için, $a = 0$ ve $a = 20$ uçlarının her ikisinden de örnekler alınmakta ve parça aralığının ortalarına doğru çalışılmaktadır. Eğer şartlar sağlanmazsa, sağlanana kadar yöntem tekrar edilmektedir. (AIAG MSA, 2010:145)

3.2.1 Analitik Yöntem İçin Olasılıksal Model

Tek bir limit ölçümü dikkate alınmaktadır. Bir parça ölçümünde; L gibi spesifik alt limit değeri ve X gibi bir kritik ölçüm kullanılmaktadır. Eğer $X > L$ ise parça kabul edilir olarak dikkate alınmaktadır. “ i .” parçanın kritik ölçümü X_i ise,

$$X_i = L + Y_i \quad (3.8)$$

olarak hesaplanmaktadır. Y_i “ i .” parçanın alt limit değeri ile arasındaki sapmayı ifade etmektedir.

Etkin ölçüm aralığı olan L_g ise;

$$L_g = L + b + \varepsilon_{ij} \quad (3.9)$$

$$i = 1,2,3, \dots, 8;$$

$$j = 1,2,3, \dots, 20.$$

şeklinde ifade edilmektedir. “ b ” ölçüm aralığındaki sapmayı, ε_{ij} bağımsız ve normal dağılmış rassal değişkenlerden oluşan bir diziyi ifade etmektedir. Rassal değişkenler “ i .” parçanın “ j .” kez ölçümünden elde edilmektedir. Beklenen rassal hatanın,

$$E [\varepsilon_{ij}] = 0 \quad (3.10)$$

olduğu varsayılmaktadır. Varyansı ise;

$$VAR[\varepsilon_{ij}] = \sigma^2 \quad (3.11)$$

$$i = 1,2,3, \dots, 8;$$

$$j = 1,2,3, \dots, 20.$$

varsayılmaktadır. “ i .” parçanın kabul edilen “ j .” gözlemindeki ölçüm eğer $L + y_i > L + b + \varepsilon_{ij}$ ise sekiz parçanın, tekrarlanan yirmi gözlemi ile elde edilen dizi dikkate alınmaktadır.

$$p_{ij} = P \{ \text{Parça } i \text{ 'nin } j \text{.' ölçümü kabul edilir.} \}$$

$$p_{ij} = \{ \varepsilon_{ij} \leq y_i - b \} \quad (3.12)$$

“ y_i ” dizisi referans değerlerini göstermektedir. Referans değerleri, ölçüm çalışmalarında kullanılmak üzere parçaların ölçümleri yapılmış belirli, hassas ölçülerdir. Eğer parçalar eşit aralıklara (d) ayrılmışsa hesaplamaları yeniden düzenleyerek aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür.

$$y_i = d(i - 4,5) \quad i = 1,2,3, \dots, 8 \quad (3.13)$$

$$p_{ij} = P \{ \varepsilon_{ij} \leq d(i - 4,5) - b \} \quad (3.14)$$

Normallik varsayımı altında,

$$p_{ij} = P \left\{ Z \leq \frac{d(i - 4,5) - b}{\sigma} \right\} \quad (3.15)$$

olacaktır. Z normal dağılan rassal değişkenleri ifade etmektedir.

$$h = \frac{\sigma}{d} \quad (3.16)$$

Standart sapma oranının ölçüm değişkenliğine oranı Formül 3.16 ile tanımlanmaktadır. 3.16. formülü 3.15. formülde yerini yazarak yeni bir düzenleme yapılmaktadır.

$$p_i = P \left\{ Z \leq \frac{(i - 4,5)}{h} - \frac{b}{hd} \right\} \quad (3.17)$$

$$i = 1,2,3, \dots, 8$$

olasılığı elde edilmektedir. S_i “ i.” parçanın $m=20$ kez ölçümü ile elde edilen toplam kabul edilenlerin sayısını (a) gösteren bir rassal değişkendir. (Sweet vd., 2005:220)

Modelde kullanılan varsayımlar altında S_i rassal değişkeni, Bernoulli Dağılımı ile hesaplanmaktadır. (Montgomery vd., 2003:74)

$$P \{ S_i = k \} = C_k^{20} p_i^k (1 - p_i)^{20-k} \quad (3.18)$$

$$k = 0,1,2, \dots, 20.$$

C_k^{20} binomial biçimde bir katsayıdır.

3.2.2 Ölçüm Eğilimi Ve Tekrarlanabilirlik Tahmin Yöntemleri

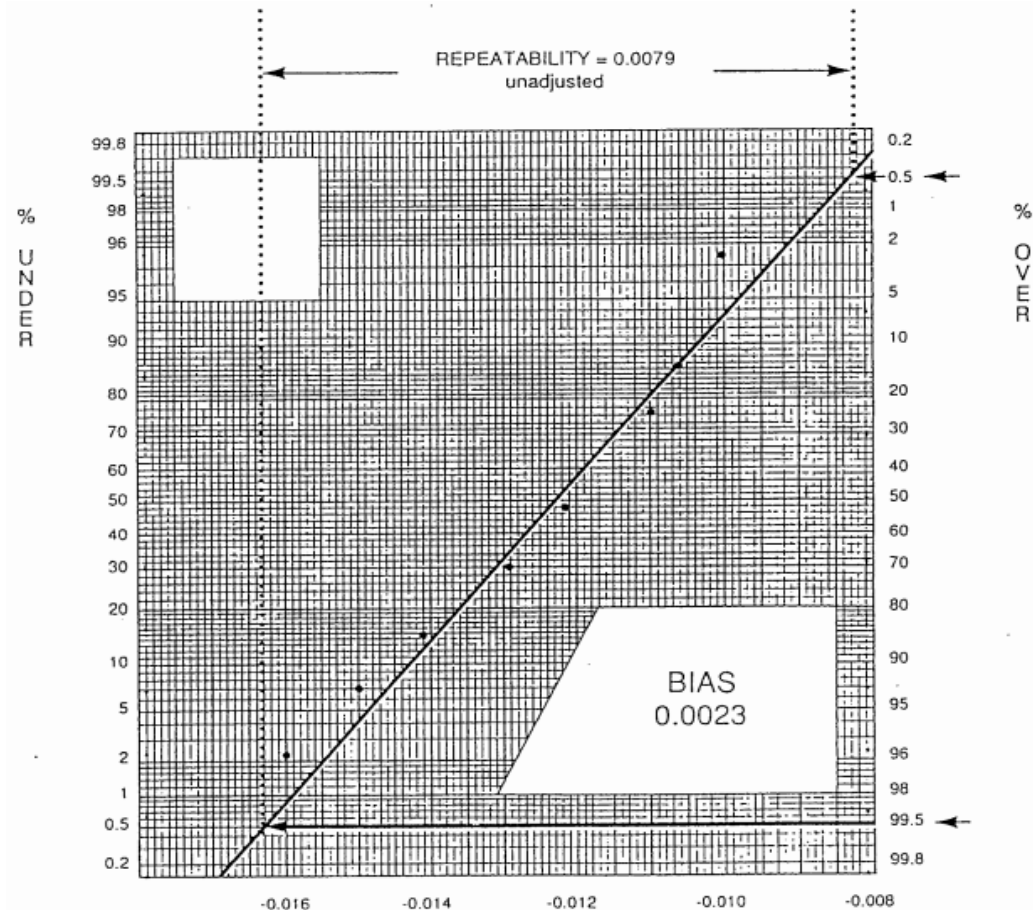
Tekrarlanabilirlik ölçüsü σ ; eğilim ölçüsü b olarak ifade edilmektedir. Tahminlerin elde edilmesi 12. formül ile açıklanacak olursa,

$$p_i = \Phi \left(\frac{(y_i - b)}{\sigma} \right) \equiv \Phi (z_i) \quad (3.19)$$

elde edilmektedir. Buradan,

$$z_i = \frac{(y_i - b)}{\sigma} \equiv \Phi^{-1}(p_i) \quad (3.20)$$

olarak ifade edilmektedir. Φ^{-1} normal fonksiyonun tersini göstermektedir. Eğer olasılıkların (p_i) kesin değerleri bilinirse b ve σ değerlerini bulmak mümkün olabilmektedir. Yapılan denemelerden elde edilen verilerle kabul edilme olasılıkları (p_i) tahmin edilmektedir. Hesaplanan olasılıklar normal dağılım kağıdına işlemekte ve Şekil-3’deki gibi best-fit doğrusu çizilmektedir.



Şekil 10 - Normal Olasılık Sayfasına Çizilmiş Ölçüm Cihazı Performans Eğrisi

Veri toplama kriterleri sağlandıktan sonra her parça için kabul edilme olasılıkları (p_i):

$$\hat{p}_i = \begin{cases} \frac{(S_i + 0,5)}{m} & \text{eğer } \frac{S_i}{m} < 0,5 \\ \frac{(S_i - 0,5)}{m} & \text{eğer } \frac{S_i}{m} > 0,5 \\ 0,5 & \text{eğer } \frac{S_i}{m} = 0,5 \end{cases} \quad (3.21)$$

denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır. $m = 20$ kez ölçülmekte böylece olasılık standartlaştırılarak $S_i = 0$ durumunda parçanın en büyük değeri \hat{p}_i olasılığı 0,025; $S_i = 20$ durumunda parçanın en küçük değeri \hat{p}_i olasılığı 0,975 hesaplanmaktadır.

$$\hat{p}_i = \frac{S_i}{m} \quad (3.22)$$

Kabul edilme olasılıkları (p_i) maksimum olabilirlik tahmincisi kullanılarak hesaplanmaktadır. Çalışmadaki amaç, 3.20 nolu denklemde kullanılan $\phi^{-1}(\hat{p}_i)$ fonksiyonu ile doğrusal bir best-fit doğrusu hesaplamaktır. Devrik fonksiyonun bekleneni;

$$E [\phi^{-1}(\hat{P}_i)] = \sum_{k=0}^m \phi^{-1}(k/m) P\{S_i = k\}. \quad (3.23)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Ancak, $\phi^{-1}(0)$ ve $\phi^{-1}(1)$ sonlu değildir. Bu sorunu aşmak amacıyla, Ölçüm Sistemleri Analizi kullanılmaktadır. $k = 0$ olduğunda $\phi^{-1}(0,025)$; $k = 20$ olduğunda $\phi^{-1}(0,925)$ olarak hesaplanmaktadır. Bu değerler kullanılarak $\phi^{-1}(\hat{p}_i)$ fonksiyonunun varyansı hesaplanmaktadır. İkinci moment yöntemiyle fonksiyon;

$$E \left[\left(\phi^{-1}(\hat{P}_i) \right)^2 \right] = \sum_{k=0}^m [\phi^{-1}(k/m)]^2 P\{S_i = k\} \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Tahminci yardımıyla eğilimi hesaplamak mümkündür.

Kabul edilme olasılığı ile eğilim fonksiyonu;

$$Eğilim(p) = \phi^{-1}(p) - E \left(\phi^{-1}(\hat{P}) \right) \quad (3.25)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Hata yüzdesi fonksiyonu ise;

$$\% Hata = \frac{100 \cdot Eğilim(p)}{\phi^{-1}(p)} \quad (3.26)$$

şeklinde ifade edilmekte ve standart sapma eğilim oranını (SNR) vermektedir. Eğilim sonuçları Tablo-10 ve Tablo-11'de hesaplanmıştır.

Tablo 10 – Ölçüm Sistemleri Analizi ile Kabul Edilme Olasılığı için; Devrik
Fonksiyon Tahminci Özellikleri

Kabul edilme Olasılığı, p	Ters Fonk. Tahmincisinin Eğilimi	% Hata	Tahminci Standart Sapması	Tahminci Standart Sapma Eğilim Oranı
0,05	- 0,115	6,99	0,36	-0,321
0,10	-0,057	4,45	0,37	-0,155
0,15	-0,047	4,53	0,35	-0,135
0,20	-0,046	5,47	0,33	-0,141
0,25	-0,046	6,82	0,31	-0,150
0,30	-0,046	8,77	0,29	-0,155
0,35	-0,041	10,64	0,28	-0,149
0,40	-0,032	12,63	0,26	-0,123
0,45	-0,018	14,32	0,25	-0,072
0,50	0,00	Sonsuz	0,24	0,000
0,50-0,90	Asimetrik	Simetrik	Simetrik	Asimetrik

Kaynak: SWEET, A. L. vd., Quality Engineering , 2005, **An Investigation of the Measurements Systems Analysis “Analytic Method” for Attribute Gages**, 17: 2 ,s 221.

Tablo 11 – Maksimum Olabilirlik Tahmircisi ile Kabul Edilme Olasılığı için;
Devrik Fonksiyon Tahmirci Özellikleri

Kabul edilme Olasılığı, p	Devrik Fonk. Tahmircisini n Eğilimi	% Hata	Tahmirci Standart Sapması	Tahmirci Standart Sapması Eğilim Oranı
0,05	- 0,005	0,30	0,31	-0,017
0,10	-0,066	-5,15	0,37	0,180
0,15	0,064	-6,18	0,37	0,173
0,20	0,050	-5,94	0,35	0,142
0,25	0,037	-5,49	0,33	0,111
0,30	0,027	-5,15	0,32	0,840
0,35	0,018	4,67	0,31	0,060
0,40	0,012	4,74	0,30	0,039
0,45	0,006	4,78	0,29	0,019
0,50	0,000	Sonsuz	0,29	0,000
0,50-0,90	Asimetrik	Simetrik	Simetrik	Asimetrik

Kaynak: SWEET, A. L. vd., Quality Engineering , 2005, **An Investigation of the Measurements Systems Analysis “Analytic Method” for Attribute Gages**, 17: 2 ,s 222.

Kabul edilme olasılığı p ; $0,25 < p < 0,75$ arasında olması gerekmektedir. Kabul edilme olasılığının maksimum olabilirlik tahmircisi ile bulunan eğilim değeri ölçüm sistemleri analizi ile bulunan eğilim değerinden daha büyük değildir. Değerlerden b ve σ bulunmasıyla elde edilen sapma kareler toplamı;

$$SS = \sum_{i=1}^8 [\alpha + \beta X_i - \phi^{-1}(\hat{p}_i)]^2 \quad (3.27)$$

regresyon analizi ile eğilim ve tekrarlanabilirlik,

$$\hat{b} = \left(\frac{-\hat{\alpha}}{-\hat{\beta}} \right) - L \quad (3.28)$$

$$\hat{\sigma} = \hat{\beta}^{-1} \quad (3.29)$$

olarak hesaplanmaktadır. b ve σ maksimum olabilirlik yöntemi ile tahmin edilmektedir.

Olabilirlik fonksiyonu,

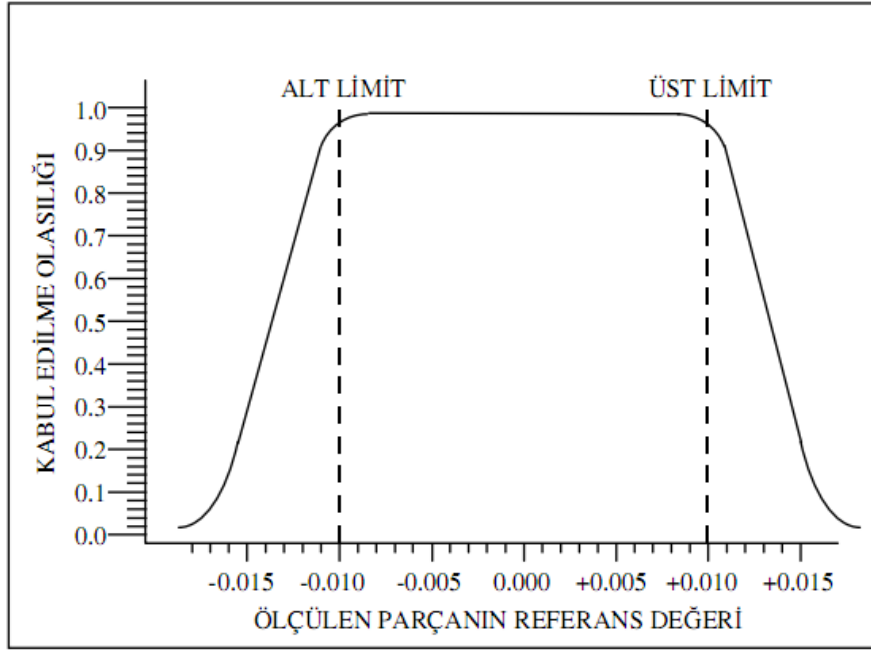
$$l = \prod_{i=1}^8 P \{S_i = s_i\} \quad (3.30)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. $P \{S_i = s_i\}$ ifade ettiği 3.18 nolu denklem ve p_i 3.19 nolu denklemlerle elde edilmektedir. Böylece, logaritmik olabilirlik fonksiyonu,

$$\ln l = \text{sabit} + \sum_{i=1}^8 [s_i \ln \phi \left(\frac{(y_i - b)}{\sigma} \right) + (m - s_i) \ln(1 - \phi \left(\frac{(y_i - b)}{\sigma} \right))] \quad (3.31)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. (Sweet vd., 2005:222) Kabul edilme olasılıklarını hesaplarken her parça için kullanılan basit modele göre (Formül 3.21) denklemler $1 \leq a \leq 19$ şartlarını sağlayan parçalar için geçerlidir. $a = 0$ durumunda referans değeri en büyük parça dışında (\hat{p}_i değeri 0.025) $\hat{p}_i = 0$ kabul edilmekte, $a = 20$ durumunda referans değeri en küçük parça dışında (\hat{p}_i değeri 0.975) $\hat{p}_i = 1$ kabul edilmektedir.

Her X_i için \hat{p}_i değerleri hesaplandıktan sonra Ölçüm Cihazı Performans Eğrisi çizilebilir. Şekil - 4'teki gibi Ölçüm Cihazı Performans Eğrisi grafiksel olarak gösterilebilmesine rağmen tekrarlanabilirlik ve eğilimin daha kesin tahmini için çizelgenin Şekil - 3'deki normal dağılım kağıdına çizilmesi gerekmektedir.



Şekil 11 - Kontrol Mastarı Performans Eğrisi

Hesaplanan olasılık değerleri normal dağılım kağıdına işlenmekte ve best-fit doğrusu çizilmektedir. Burada eğilim alt limit eksi $\hat{p}_i = 0.5$ değerine denk gelen referans değerine eşittir.

$$Eğilim = Alt Limit - X_i (\hat{p}_i = 0.5) \quad (3.32)$$

Tekrarlanabilirlik, $\hat{p}_i = 0.995$ ve $\hat{p}_i = 0.005$ değerlerine denk gelen referans değerlerinin farkının 1.08 düzeltme faktörüne bölünmesiyle bulunmaktadır. Düzeltme faktörü, parça ölçümlerinin deneme sayısı 20 olduğunda % 99 tekrarlanabilirlik aralığı göz önüne alınarak simülasyon yoluyla belirlenmiş bir değerdir. Tekrarlanabilirlik değeri ile birlikte $\sigma_{Tekrarlanabilirlik}$ ve Analitik Yöntem'de kontrol mastarlarının performans eğrileri için R&R hesaplanmaktadır. Bu değerler 6 Sigma dağılımına uygun olması için düzenlenir;

$$Tekrarlanabilirlik = \frac{X_i(\hat{p}_i = 0,995) - X_i(\hat{p}_i = 0,005)}{1,08} \quad (3.33)$$

$$\sigma_{Tekrarlanabilirlik} = \frac{Tekrarlanabilirlik}{5.15} \quad (3.34)$$

$$R\&R = \sigma_{Tekrarlanabilirlik} \times 6 \quad (3.35)$$

$$H_0 \text{ eğilim} = 0$$

$$H_1 \text{ eğilim} \neq 0$$

Eğilimin sıfırdan kayda değer şekilde farklı olup olmadığını belirlemek için aşağıdaki istatistik kullanılır;

$$t = \frac{6,078 \times |Eğilim|}{\sigma_{\text{Tekrarlanabilirlik}}} \quad (3.36)$$

Hesaplanan bu değer $t(0.025, 19) = 2.093$ 'ten büyük ise, eğilim sıfırdan belirgin bir şekilde farklıdır. Eğilim değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmektedir. Ölçüm aletinin tekrarlanabilirlik ve eğilimden etkilenip etkilenmediği değer kabul edilmesine bağlıdır. (AIAG MSA, 2010:146)

Özetle, Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi'nde sıklıkla kullanılan yöntemler arasında Risk Analizi Yöntemleri içinde bulunan Hipotez Testi Analizi ve Cohen Kappa Testi Analizi'dir. Operatörlerin birbirleri ve kendi içinde uyumları analiz edilmektedir. Analitik Yöntem ise niteliksel kontrol çizelgelerinin kararlılığının doğrulanmasında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Genellikle Risk Analizi Yöntemleri'nin örneklem sayısı, Analitik Yöntem'den daha fazladır. Hipotez Testi'nde Çapraz Tablolar Yöntemi kullanılmakta ve operatörler arasındaki parça uyumuna göre yorum yapılmaktadır. Cohen Kappa Yöntemi'nde *kappa katsayısına* göre yorum yapılmakta ve bu katsayılar teorik delil sayılmayıp, şahsi inançlara göre kabul edilmektedir. Analitik Yöntem'de ise *t* dağılımı değerinden yararlanılarak eğilim hakkında yorum yapılmaktadır. Ölçüm cihazı tekrarlanabilirlik ve eğilimden etkilenip etkilenmediğini araştırılmaktadır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

NİTELİKSEL ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ UYGULAMASI

Otomotiv yan sanayisinde ve beyaz eşya sektöründe ihtiyacı olan nitelikli kauçuk parça ihtiyacını karşılamak üzere faaliyet gösteren; gerek yurt içinde ve gerekse yurt dışında müşterilerinin pres, profil, hortum ve plastik profil ihtiyacına cevap veren bir sanayi kuruluşunun, üretim sürecinde birçok parça için Ölçüm Sistemleri Analizi uygulamaları yapılmaktadır. Bu parçalardan biri olan ayarlı ayak civatasının iç çapı ve et kalınlığının homojen dağılıp dağılmadığı M10 x 1,25 6h Halka Mastarı'nın geçmez tarafı ile 3 farklı kalite kontrol operatörü tarafından ölçümü yapılmaktadır. (Ek - 2) Farklı vardiyalarda farklı kalite kontrol operatörleri tarafından ölçümü yapılan 50 parçanın, ölçüm sisteminin ve buna bağlı olarak üretimde yapılan değerlendirmelerin kabul edilebilirliğini ölçmek amacıyla Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmayla operatörden kaynaklı değişkenliklere bağlı olarak üretim kalitesinin bozulma riski değerlendirilmiştir.

4.1 HİPOTEZ TESTİ ANALİZİ – ÇAPRAZ TABLOLAR UYGULAMASI

Çapraz tablolar operatörler arasında uyumu (uygunluğu) ve veri dağılımını göstermekte ve tablolarda beklenen dağılımlar hesaplanmaktadır. Her operatörün birbiri ile uyumu ayrı ayrı hesaplanmıştır. Aynı zaman Ölçüm Sistemleri Analizi için geliştirilmiş ProMSA programının deneme sürümü yardımıyla sonuçlar kıyaslanmış, aynı sonuçlar elde edilmiştir. (Ek - 3)

4.1.1. A Operatörü ile B Operatörü Arasındaki Uyum

Tablo 12'ye göre A ve B operatörleri arasında uyum toplamda 150 denemede 119 defa tespit edilmiştir. 150 ölçümden, A operatörü 28 adet parçayı, B operatörü ise 27 adet ölçümü reddeder.

A ve B operatör çiftinin tamamıyla şans eseri bir ölçümde uyum veya uyuşmama olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P(\text{operatör}) = \frac{\text{operatöre ait toplam red sayısı}}{\text{Toplam gözlem}}$$

$$P(A) = 28/150 = 0,187$$

$$P(B) = 27/150 = 0,180$$

İki operatör birbirinden bağımsız olduğundan, bir parçanın reddediğinde uyum olasılıkları; $P(A \cap B) = P(A) \times P(B) = 0,0336$ bulunur. A operatörü ile B operatörünün kaç adet parçada reddine göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; $150 \times P(A \cap B) = 150 \times 0,0336 = 5,04$ olarak hesaplanmaktadır.

Uygun kabul edilen parçalar arasındaki uyumun olasılıkları ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$P(A) = 122/150 = 0,813$$

$$P(B) = 123/150 = 0,820$$

İki operatör birbirinden bağımsız olduğundan, bir parçanın kabul edildiğinde uyum olasılıkları; $P(A \cap B) = P(A) \times P(B) = 0,667$ bulunur. A operatörü ile B operatörünün kaç adet parçada kabulüne göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; $150 \times P(A \cap B) = 150 \times 0,667 = 100,05$ olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 12 – A ve B Operatörleri Arasındaki Uyumu Gösteren Çapraz Tablo

A * B Crosstabulation

			B		Total
			0	1	
A	0	Count	24	4	28
		Expected Count	5,0	23,0	28,0
	1	Count	3	119	122
		Expected Count	22,0	100,0	122,0
Total	Count	27	123	150	
	Expected Count	27,0	123,0	150,0	

4.1.2 A Operatörü ile C Operatörü Arasındaki Uyum

Tablo 13'ye göre A ve C operatörleri arasında uyum toplamda 150 denemede 121 defa tespit edilmiştir. 150 ölçümden, A operatörü 28 adet parçayı, C operatörü ise 26 adet ölçümü reddeder.

A ve C operatör çiftinin tamamıyla şans eseri bir ölçümde uyum veya uyuşmama olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P(\text{operatör}) = \frac{\text{operatöre ait toplam red sayısı}}{\text{Toplam gözlem}}$$

$$P(A) = 28/150 = 0,187$$

$$P(C) = 26/150 = 0,173$$

İki operatör birbirinden bağımsız olduğundan, bir parçanın reddedildiğinde uyum olasılıkları; $P(A \cap C) = P(A) \times P(C) = 0,0323$ bulunur. A operatörü ile C operatörünün kaç adet parçada reddine göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; $150 \times P(A \cap C) = 150 \times 0,0323 = 4,85$ olarak hesaplanmaktadır.

Uygun kabul edilen parçalar arasındaki uyumun olasılıkları ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$P(A) = 122/150 = 0,813$$

$$P(C) = 124/150 = 0,827$$

İki operatör birbirinden bağımsız olduğundan, bir parçanın kabul edildiğinde uyum olasılıkları; $P(A \cap C) = P(A) \times P(C) = 0,672$ bulunur. A operatörü ile C operatörünün kaç adet parçada kabulüne göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; $150 \times P(A \cap C) = 150 \times 0,667 = 100,85$ olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 13 – A ve C Operatörleri Arasındaki Uyumu Gösteren Çapraz Tablo

A * C Crosstabulation

			C		Total
			0	1	
A	0	Count	25	3	28
		Expected Count	4,9	23,1	28,0
	1	Count	1	121	122
		Expected Count	21,1	100,9	122,0
Total	Count	26	124	150	
	Expected Count	26,0	124,0	150,0	

4.1.3 B Operatörü ile C Operatörü Arasındaki Uyum

Tablo 14'e göre B ve C operatörleri arasında uyum toplamda 150 denemede 121 defa tespit edilmiştir. 150 ölçümden, B operatörü 27 adet parçayı, C operatörü ise 26 adet ölçümü reddeder.

B ve C operatör çiftinin tamamıyla şans eseri bir ölçümde uyum veya uyuşmama olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P(\text{operatör}) = \frac{\text{operatöre ait toplam red sayısı}}{\text{Toplam gözlem}}$$

$$P(B) = 27/150 = 0,180$$

$$P(C) = 26/150 = 0,173$$

İki operatör birbirinden bağımsız olduğundan, bir parçanın reddedildiğinde uyum olasılıkları; $P(B \cap C) = P(B) \times P(C) = 0,0311$ bulunur. B operatörü ile C operatörünün kaç adet parçada reddine göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; $150 \times P(B \cap C) = 150 \times 0,0311 = 4,67$ olarak hesaplanmaktadır.

Uygun kabul edilen parçalar arasındaki uyumun olasılıkları ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$P(B) = 123/150 = 0,820$$

$$P(C) = 124/150 = 0,827$$

İki operatör birbirinden bağımsız olduğundan, bir parçanın kabul edildiğinde uyum olasılıkları; $P(B \cap C) = P(B) \times P(C) = 0,678$ bulunur. B operatörü ile C operatörünün kaç adet parçada kabulüne göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; $150 \times P(B \cap C) = 150 \times 0,678 = 101,72$ olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 14 – B ve C Operatörleri Arasındaki Uyumu Gösteren Çapraz Tablo

B * C Crosstabulation

			C		Total
			0	1	
B	0	Count	24	3	27
		Expected Count	4,7	22,3	27,0
	1	Count	2	121	123
		Expected Count	21,3	101,7	123,0
Total		Count	26	124	150
		Expected Count	26,0	124,0	150,0

4.2 COHEN KAPPA UYUM TESTİ UYGULAMASI

Cohen'in Kappa Uyum Testi ile iki gözlemci arasındaki karşılaştırmalı uyumun güvenilirliğini ölçülerek yapılan gözlemlerin birbiri ile ne kadar benzerlik gösterdiği hesaplanmaktadır. Operatörlerin yaptığı deneme ölçümleri sonucunda elde ettikleri veriler özetlenerek referansları elde edilmektedir. Üç operatörün yaptığı deneme sonucunda parça çoğunlukla kabul edilmişse referansı 1, reddedilmişse 0 yazılmaktadır. 50 parça için ayrı ayrı not edilmektedir.

Tablo 15 – Ölçümcüler Arasındaki Uyumu Gösteren Çıktı

Ölçümcüler Arasında Uyum											
Tabulated statistics: A; B				Tabulated statistics: A; C				Tabulated statistics: B; C			
Rows: A Columns: B				Rows: A Columns: C				Rows: B Columns: C			
	0	1	All		0	1	All		0	1	All
0	24	4	28	0	25	3	28	0	24	3	27
1	3	119	122	1	1	121	122	1	2	121	123
All	27	123	150	All	26	124	150	All	26	124	150
Cell Contents:			Count	Cell Contents:			Count	Cell Contents:			Count
Kappa			0,844167	Kappa			0,909693	Kappa			0,885426

Tablo 16 – Ölçümcüler ve Referans Arasındaki Uyumu Gösteren Çıktı

Ölçümcüler ile Referans Arasında Uyum											
Tabulated statistics: A; REF				Tabulated statistics: B; REF				Tabulated statistics: C; REF			
Rows: A Columns: REF				Rows: B Columns: REF				Rows: C Columns: REF			
	0	1	All		0	1	All		0	1	All
0	24	4	28	0	24	3	27	0	24	2	26
1	0	122	122	1	0	123	123	1	0	124	124
All	24	126	150	All	24	126	150	All	24	126	150
Cell Contents:			Count	Cell Contents:			Count	Cell Contents:			Count
Kappa			0,907063	Kappa			0,929178	Kappa			0,952015

Tablo 17 - Tüm ölçümcülerin birbiri ile uyumunu gösteren Kappa Tablosu

<i>Kappa</i>	A	B	C
A	-	0,84	0,91
B	0,84	-	0,89
C	0,91	0,89	-

A operatörü ile B operatörü arasındaki uyum olasılığı 0,84; A operatörü ile C operatörü arasındaki uyum olasılığı 0,91; B operatörü ile C operatörü arasındaki uyum olasılığı 0,89 olarak gözlemlenmektedir. Kappa Katsayısı $0,8 < k < 1$ arasında olduğu için mükemmele yakın bir uyum olduğu söylenmektedir. Ayrıca veri tablosundaki referans değerleri kullanılarak, her operatörü referansa göre değerlendirilmesi yeni çapraz tablolar ile yapılır.

Kappa ölçümü ile her operatörün parça referansı ile uyumu hesaplanır. Bu değerler her operatörün standart ile uyumlu olup olmadığını göstermektedir.

Tablo 18 – Tüm operatörlerin referans ile uyumunu gösteren Kappa Tablosu

	A	B	C
Kappa	0,91	0,93	0,95

Tablo – 19 Geçerlilik Kriterleri

Karar Ölçüm sistemi	Etkinlik	Kaçırma Oranı	Yanlış Alarm Oranı
Uygun Parçalar	$\geq 90 \%$	$\leq 2 \%$	$\leq 5 \%$
İyileştirme Yapılabilir.	$\geq 80 \%$	$\leq 5 \%$	$\leq 10 \%$
Uygun Olmayan Parçalar İyileştirme Gerekli	$< 80 \%$	$> 5 \%$	$> 10 \%$

Etkinlik Oranı; Kappa Katsayısının yüzde oranı cinsinden hesabıdır. A operatörünün Etkinlik Oranı % 91, B operatörünün Etkinlik Oranı % 93, C operatörünün Etkinlik Oranı % 95 hesaplanmaktadır.

Kaçırma Oranı; Operatörlerin hatalı parçaları kaçırması ile elde edilmektedir.

$$\text{Kaçırma Oranı} = \frac{\text{Hatalı Parçanın Kabul Edilmesi}}{\text{Reddedilen Parçaların Referans Toplamı}} \times 100$$

Tablo - 16 'da görüldüğü gibi A operatörü için hatalı olan parçayı kabul etmesi durumu hiç gözlenmediği için %0 (sıfır) olarak hesaplanmaktadır. B ve C operatörleri de hatalı olan parçanın kabul edilmesi durumu hiç gözlenmediği için %0 (sıfır) olarak hesaplanmaktadır.

Yanlış Alarm Oranı: Kaçırma Oranı'nın tam tersi olan doğru parçayı yanlış olarak değerlendirmesi durumunu ifade eder.

$$\text{Yanlış Alarm Oranı} = \frac{\text{Doğru Parçanın Reddedilmesi}}{\text{Kabul edilenlerin Parçaların Referans Toplamı}} \times 100$$

Tablo - 16 'da görüldüğü gibi A operatörü için Yanlış Alarm Oranı;

$$\left(\frac{4}{126} \right) \times 100 = 3,17$$

şeklinde hesaplanmaktadır. B operatörü için Yanlış Alarm Oranı;

$$\left(\frac{3}{126} \right) \times 100 = 2,38$$

şeklinde hesaplanmaktadır. C operatörü için Yanlış Alarm Oranı;

$$\left(\frac{2}{126} \right) \times 100 = 1,59$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Tablo - 20'de görüldüğü gibi Etkinlik, Kaçırma ve Yanlış Alarm Oranlarını hesaplanmış, geçerlilik kriterlerine göre yorumu yapılmıştır. Her operatör ayrı ayrı %90 üzerinde Etkinlik Oranı, %0 Kaçırma Oranı ve %5'in altında Yanlış Alarm Oranı ile parçalar uygun bulunmuştur. Ölçüm sisteminin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Tablo – 20 Geçerlilik Kriterleri Çıktı Tablosu

Karar Ölçüm Sistemi	A Operatörü	B Operatörü	C Operatörü
Etkinlik Oranı	% 91 olduğu için Kabul Edilir. Parçalar uygundur.	% 93 olduğu için Kabul Edilir. Parçalar uygundur.	% 95 olduğu için Kabul Edilir. Parçalar uygundur.
Kaçırma Oranı	% 0 olduğu için Kabul Edilir. Parçalar uygundur.	% 0 olduğu için Kabul Edilir. Parçalar uygundur.	% 0 olduğu için Kabul Edilir. Parçalar uygundur.
Yanlış Alarm Oranı	% 3,17 olduğu için Kabul Edilir. Parçalar uygundur.	% 2,38 olduğu için Kabul Edilir. Parçalar uygundur.	% 1,59 olduğu için Kabul Edilir. Parçalar uygundur.

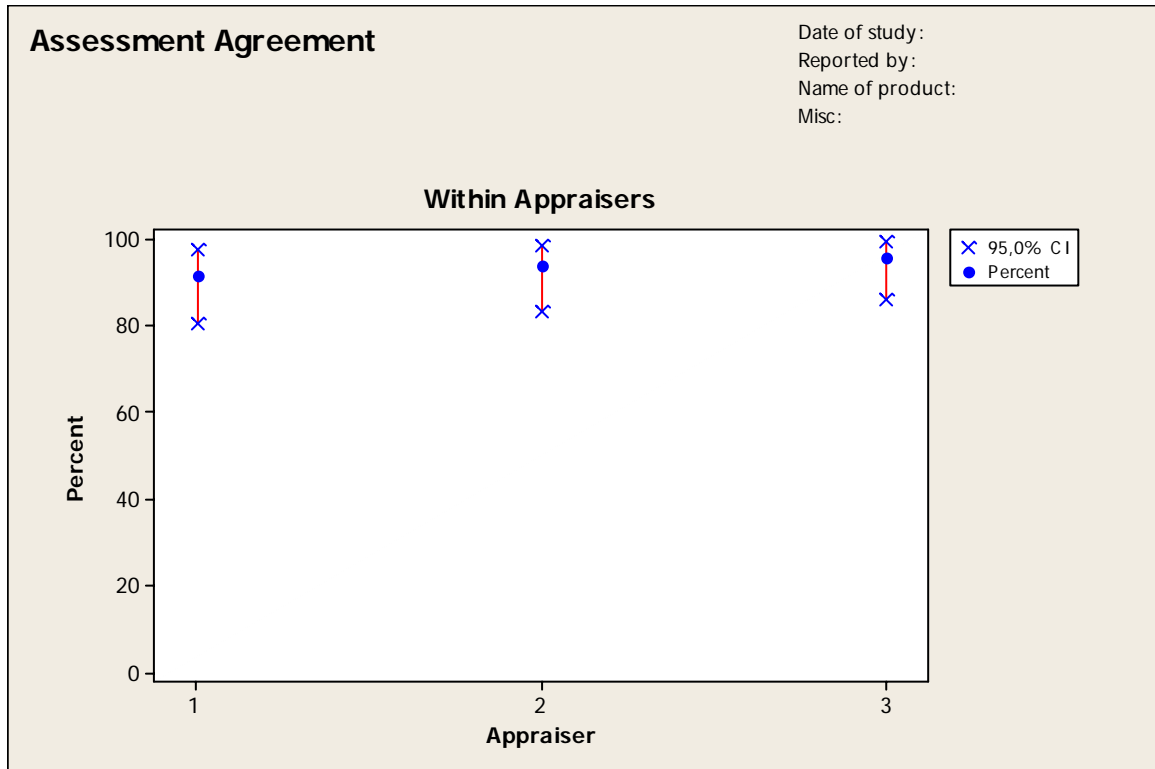
Tablo - 21 Operatörlerin Kendi Arasında ve Birbirleri Arasındaki Uyum Olasılıkları

Within Appraisers				
Assessment Agreement				
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
1	50	46	92,00	(80,77; 97,78)
2	50	47	94,00	(83,45; 98,75)
3	50	48	96,00	(86,29; 99,51)
# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.				
Between Appraisers				
Assessment Agreement				
# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI	
50	44	88,00	(75,69; 95,47)	
# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.				

Tablo - 21’de görüldüğü gibi operatörlerin yaptıkları denemeler sonucunda etkinlikleri hesaplanmış; kendileri ve birbirleri arasındaki uyum olasılıklarının alt ve üst limitleri verilmiştir. A operatörünün kendi arasındaki alt limiti % 80,77 ve üst limiti %97,78, B operatörünün kendi arasındaki alt limiti % 83,45 ve üst limiti %98,75, C operatörünün kendi arasındaki alt limiti % 86,29 ve üst limiti %99,51 olarak hesaplanmıştır. A operatörü 50 parçada 46, B operatörü 50 parçada 47 ve C operatörü 50 parçada 48 ölçüm sistemi etkinliğe ulaşmıştır.

Operatörlerin birbirleri arasındaki uyum olasılıklarının alt limiti %75,69 ve üst limiti %95,47 olarak hesaplanmıştır. Operatörler birbirleri arasında 50 parçada 44 ölçüm sistemi etkinliğe ulaşmıştır.

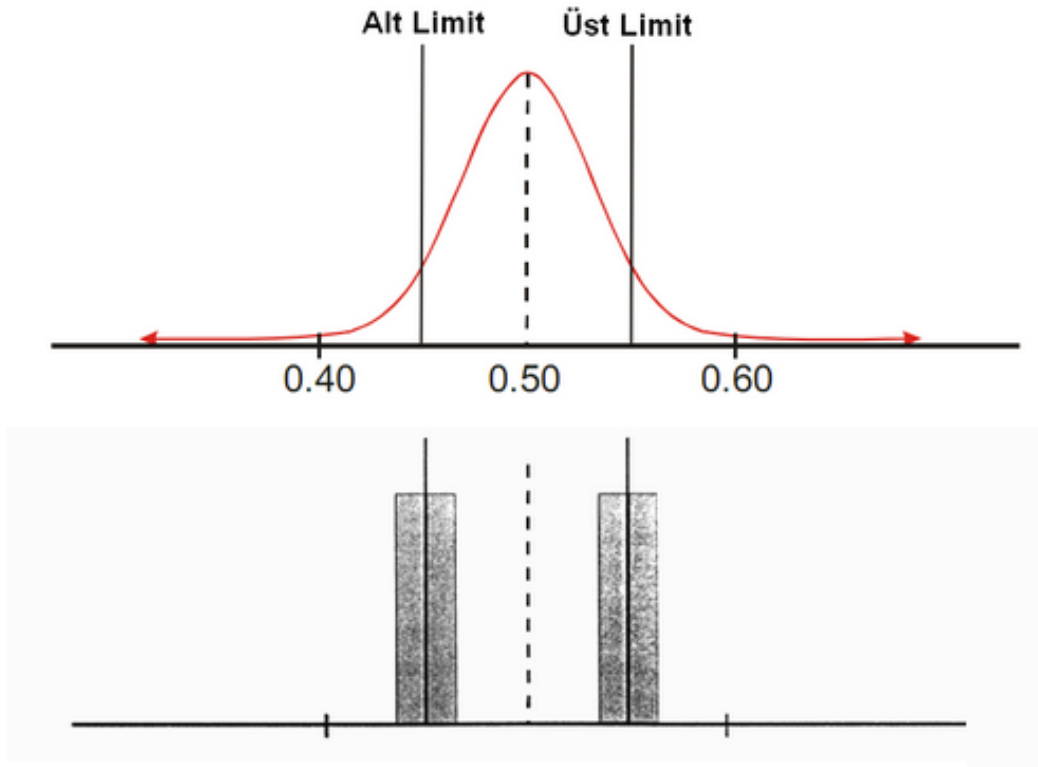
Hipotez Testi Analizi’nde olduğu gibi ProMSA programının deneme sürümü yardımıyla aynı sonuçlara bir kez daha ulaşılmıştır. (Ek - 4)



Şekil - 12 Uyum Olasılıkları Aralık Grafiği

4.3 SİNYAL YAKALAMA UYGULAMASI

50 parça, üç operatör ile M10 x 1,25 6h Halka Mastarı kullanılarak 3 kez ölçülmektedir. Ölçülen parçalar uygun ve uygun değil olarak tanımlanmıştır. Referans değerleri hesaplanan parçaların azalan bir şekilde sıralanması yapılarak ayarlanmaktadır. Üç bölgeden oluşan dağılımda, her parça bir yere atanmaktadır.



Şekil - 13 Süreç Dağılımı

Birinci bölge, Tablo 22' de eksi işareti (-) olarak kodlanan kötü parçaların operatörler tarafından kötü olarak, ikinci bölge (gri bölge) Tablo 22'de çarpı (×) olarak kodlanan kötü parçaların bazen iyi, iyi parçalarında bazen kötü olarak, üçüncü bölgede de Tablo 22'de artı işareti (+) olarak kodlanan iyi parçalar operatörler tarafından iyi olarak tanımlandığını gösteren bölgelerdir. İkinci bölge için ortalama d_i olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Tablo - 22 Referans Değerleri ve Kodlar

Referans Değer	Kod	Referans Değer	Kod
0,409238	-	0,505850	+
0,412453	-	0,509015	+
0,427687	-	0,513779	+
0,437817	-	0,514192	+
0,446697	x	0,515573	+
0,449696	x	0,517377	+
0,452310	x	0,519694	+
0,454518	+	0,520496	+
0,462410	+	0,521642	+
0,465454	+	0,523754	+
0,470832	+	0,529065	+
0,476901	+	0,531939	+
0,477236	+	0,542704	+
0,483803	+	0,543077	+
0,484167	+	0,544951	+
0,486379	+	0,545604	+
0,487613	+	0,547204	+
0,488184	+	0,559918	+
0,488905	+	0,561457	x
0,493441	+	0,566152	x
0,498698	+	0,566575	x
0,501132	+	0,570360	-
0,502295	+	0,576459	-
0,502436	+	0,587893	-
0,503091	+	0,599581	-

$d_{üst\ limit} = (\text{kötü olarak tanımlanan tüm parçaların en yüksek spesifikasyon değeri dışında son referans değeri}) - (\text{iyi olarak tanımlanan tüm parçaların en yüksek spesifikasyon değeri içinde ilk referans değeri})$

$$d_{üst\ limit} = 0,570360 - 0,559918 = 0,020442$$

$d_{alt\ limit} = (\text{iyi olarak tanımlanan tüm parçaların en düşük spesifikasyon değeri içinde son referans değeri}) - (\text{kötü olarak tanımlanan tüm parçaların en düşük spesifikasyon değeri dışında ilk referans değeri})$

$$d_{alt\ limit} = 0,454518 - 0,437817 = 0,016701$$

$$d_i = \frac{d_{alt\ limit} + d_{üstlimit}}{2}$$

$$d_i = \frac{0,016701 + 0,020442}{2} = 0,0185715$$

Ortalamanın tolerans değeri %25 civarında olmalıdır. Tahmini olarak ortalama değeri %18 hesaplanan tolerans değeri reddedilen bölgeyi göstermektedir. Uygulamadaki parçaların süreci iyi düzeyde temsil ettiğini göstermiştir. Tolerans değeri %25'i geçtiği durumda, gerekirse ölçüm sistemini daha iyi karşılaştırmak için örneklem büyüklüğü artırılabilir.

SONUÇ

İşletmeler, küreselleşmenin neden olduğu rekabet koşullarının artışıyla ayakta kalabilmek için üretim faaliyetlerini gözden geçirmek zorunda kalmaktadır. Rekabet ortamı, ürünleri ve üretim süreçlerini sürekli olarak geliştirmeye, işletmeleri daha kaliteli mal ve hizmet üretmeye sevk etmektedir. Uygulanan faaliyetler zamanla değişime uğrayarak kalitenin ön plana çıktığı bir sistem halini almakta ve standart hale gelmektedir.

Uluslar arası alanda uygulanan standart çalışmaları ilk kez Uluslar arası Standartlar Organizasyonu ISO tarafından yapılmıştır. ISO, teşkilat, madde, mamul, ürün, usul, hizmet ve deneylerle ilgili standartlar hazırlayarak yayınlamaktadır. Bir işletmede kalite politikası ve hedefleri yönetme şekli olarak ISO 9000 Kalite Yönetim Sistemleri seçilmektedir. ISO 9000'de üretim, kalite kontrol, satınalma, pazarlama, sevkiyat ve depolama faaliyetlerinin işleyişi, çalışanların yetki ve sorumlulukları hakkında bilgi vermektedir. Hataları düzeltmek yerine hata yapmamak yaklaşımından yola çıkılarak oluşturulan TS 16949 Kalite Yönetim Sistemleri ise hataları oluşmadan önlemek, tedarik zincirindeki değişkenleri ve israfı azaltmak ve sürekli iyileştirme hedeflenmektedir. Ana sanayi ile yan sanayi firmaları arasındaki ürün akışlarında bir alt yapının oluşmasını sağlamaktadır.

Otomotiv sektöründeki işletmeler için artık bir zorunluluk haline gelmeye başlayan ve gün geçtikçe kalitenin geliştirilmesi amacıyla diğer sektörlerde de yaygınlaşan kalite ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi konusunda birçok yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşımlar Kalite Yönetim Sistemleri adı altında Toplam Kalite Yönetimi, Yalın Üretim, İleri Ürün Kalite Planlaması (APQP), İstatistiksel Süreç Kontrol (SPC), Altı Sigma gibi bir takım kalite iyileştirme teknikleridir.

Süreçler hakkında etkin analizlerin yapılabilmesi ve gerçekçi kararlar alınabilmesi için ölçüm verileri kullanılmaktadır. Belli bir üretim sürecinde iyileştirme yapıp yapılmayacağını kararı genellikle ölçüm verilerine dayandırılarak verilir. Ölçüm verileri bazı istatistiksel yöntemlerle sürecin kontrol içinde olup olmadığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmadaki yaklaşım, ölçüm verilerinin iki değişken arasında belirli bir ilişki olup olmadığını belirlemektir. Bu sayede, parçaların ve operatörlerin birbirleri ile ilişkileri değerlendirilmektedir. Bir ölçüm sisteminin analizindeki amaç, sistemin ortaya çıkardığı sonuçları etkileyebilecek eğilimlerin nedenlerini daha iyi anlamaktır. Bu nedenle Ölçüm

Sistemleri Analizi, bir süreç karakteristiğine ait verilerin etkili bir analizinin yapılabilmesi ve istatistiksel süreç kontrolü tekniklerinin uygulanabilmesi için, öncelikle elde edilen verilerin güvenilir olup olmadığının belirlenmesi ihtiyacından hareketle geliştirilmiştir.

Üretim sürecinin kararlı bir şekilde devam etmesi için parçaların kalite karakteristiklerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bunun için bazı istatistiksel analizlere başvurulur. Parça ölçümlerinden, elde edilen veriler ile sürecin hedef edilen özellikleri sağlama derecesi, süreç yeterlilik değerleri ile belirlenmektedir. Bu değerlerin güvenilir sonuçlar vermesi için, ölçümlerden elde edilen verilerin de güvenilir olması gerekmektedir. Ölçüm sonuçlarının güvenilir olmasının başlangıç noktası ölçüm aletleri ve ölçümü yapan operatörlerdir.

Bir sürecin Ölçüm Sistemleri Analizi için belirli bir zaman aralığı parçanın özelliklerine göre belirlenmektedir. Eğer, ölçüm sistemi ile elde edilen sonuçlardan ciddi bir kuşku söz konusu ise analiz planlanan zaman aralığından bağımsız olarak mutlaka gözden geçirilmelidir. Ölçüm sistemlerinin değerlendirilmesi, mutlaka söz konusu ölçüm sisteminin kullandığı parçanın ölçülecek kalite karakteristiğine bağlı olarak yapılmalıdır. Çünkü, bir parçanın herhangi bir kalite karakteristiği için yeterli olabilen bir ölçüm sistemi, bir başka parçanın farklı bir kalite karakteristiği için uygun olmayabilir.

Bu tez çalışmasında, müşteri özel isteklerinden hareketle öncelik verilmesi gereken kalite karakteristikleri belirlenmiştir. Uygulamayı yapacak olan operatörler gerekli olan istatistiksel eğitimleri almıştır. Kauçuk parça üretimi yapan işletmenin, farklı vardiyaların da farklı kalite kontrol operatörleri tarafından yapılan ölçümler değerlendirilmiştir. Analiz için M10 x 1,25 6h Halka Mastarı'nın geçmez tarafı kullanılmıştır. Operatörler, birbirlerinin ölçümlerini görmeden uygun parçaları 1, uygun olmayan parçaları 0 olarak değerlendirilerek kayıt altına almışlardır. Analize katılan üç operatör arasında uyum olasılıkları hesaplanarak birbirleri ile uyumlarının yüksek olduğu gözlenmiştir.

Yapılan Hipotez Testi ile iki operatör birbirinden bağımsız olduğunda, bir parça reddedildiğinde uyum olasılıkları; A ile B için 0,034, A ile C için 0,032, B ile C için 0,031 bulunmuştur. Buna karşılık bir parça kabul edildiğinde uyum olasılıkları; A ile B için 0,67, A ile C için 0,67, B ile C için 0,68 bulunmuştur.

A operatörü ile B operatörünün kaç adet parçada reddedildiğine göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; 5,04 hesaplanmıştır. A operatörü ile B operatörünün kaç adet parçada kabulüne göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; 100,05 olarak hesaplanmıştır.

A operatörü ile C operatörünün kaç adet parçada reddedildiğine göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; 4,85 olarak hesaplanmıştır. A operatörü ile C operatörünün kaç adet parçada kabulüne göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; 100,85 olarak hesaplanmıştır.

B operatörü ile C operatörünün kaç adet parçada reddedildiğine göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; 4,67 olarak hesaplanmıştır. B operatörü ile C operatörünün kaç adet parçada kabulüne göre aralarındaki uyum olasılıkları ise; 101,72 olarak hesaplanmıştır.

Cohen Kappa Analizi ile etkinlik oranları ortalama % 93, red edilecek parçaların kaçırma oranları % 0, uygun olan parçanın red edildiğini gösteren yanlış alarm oranı % 2,38 hesaplanmış ve geçerlilik kriterlerine göre parçalar uygun bulunmuştur. A operatörünün kendi arasındaki uyum olasılıklarının alt limiti % 80,77 ve üst limiti %97,78, B operatörünün kendi arasındaki uyum olasılıklarının alt limiti % 83,45 ve üst limiti %98,75, C operatörünün kendi arasındaki uyum olasılıklarının alt limiti % 86,29 ve üst limiti %99,51 olarak hesaplanmıştır. A operatörü 50 parçada 46, B operatörü 50 parçada 47 ve C operatörü 50 parçada 48 ölçüm sistemi etkinliğe ulaşmıştır. Operatörlerin birbirleri arasındaki uyum olasılıklarının alt limiti %75,69 ve üst limiti %95,47 olarak hesaplanmıştır. Operatörler birbirleri arasında 50 parçada 44 ölçüm sistemi etkinliğe ulaşmıştır.

Sinyal Yakalama Yaklaşımı ile hesaplanan ortalama değer alt ve üst limitleri temsilen %25 olması gerekmekte, bulunan tahmini değer %18'dir. Seçilen parçaların limit aralıklarını iyi bir şekilde temsil etmektedir.

KAYNAKÇA

- AGRESTİ A. (2002), **Categorical Data Analysis**, A John Wiley & Sons Inc. Publication, Gainesville, Florida.
- AIAG Editing Group, (2010) **Measurement Systems Analysis-Reference Manual (MSA)**, Automotive Industries Action Group.
- AKIN, Besim, Çetin C., ve Erol V., (2001) **Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi**, Beta Basım Yayın, İstanbul.
- ARGÜDEN, Yılmaz (2002), “Altı Sigma ve Toplam Kalite Yöntemi, “ İş, Güç, Bakış””, **İş Yaşamı Dergisi**, Sayı 6, Aralık, s 23.
- ATAY, Osman, (1998) **ISO 9000, Toplam Kalite ve Ahilik**, Standart Dergisi, Ekim, s.38
- BAKER J.A., Kornguth P.J, vd. (1996), **Breast imaging reporting and data system standardized mammography lexicon: observer variability in lesion description**, AJR; 166:773-778.
- BOZKURT Rıdvan, Odaman Aynur, (1996) **ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri**, , Ankara, Milli Prodüktivite Merkezi. 549, 2.bs.
- CAPLEN Rowland, (1978) **Practical Approach to Quality Control**, Lincoln, Random House Publish, s. 31
- COHEN J. (1960), **A coefficient of agreement for nominal scales**, Educational and Psychological Measurement Vol.20, No.1, s.37-46.
- DESPHANDE, B. Pradeep – Sohan L. MARKER – Mark GOLDSTEİN (1999), **Boost Competitiveness via Six Sigma**, Chemical Engineering Progress, Sayı 11, s 65-70.
- DOĞAN Özlem İ., (2000) **Kalite uygulamalarının İşletmelerin Rekabet Gücü Üzerine Etkisi**, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, C.II, No:1, Ocak-Şubat-Mart, s. 17.
- ECKES George (2005), Herkes İçin Altı Sigma, MediaCat Kitapları, İstanbul.
- FANG, Jeng-Jung, Wang Peng-Sen (2009) **The Analysis Of Gauge Repeatability And Reproducibility With Interaction Between Operators And Parts** eshare.stut.edu.tw/EshareFile/2009_12/2009_12_4aa17606.doc 10.04.2011
- FEİGENBAUM, A. V. (1991). **Total quality control**, (3. ed.). New York: McGraw-Hill.
- FLEİSS, J. L. (1971) **Measuring nominal scale agreement among many raters**, Psychological Bulletin, Vol. 76, No. 5 pp. 378—382,

- FONTENOT Gwen, Gresham Alicia, Behara Ravi. (1994), **Six Sigma in Customer Satisfaction**, Quality Progress, Aralık.
- GOH, N.Thong (2002), A Strategic Assessment of Six Sigma, Quality and Reliability Engineering International, Vol.18, No 2, s 403-410.
- GÜRSAKAL, Necmi (2005), **Altı Sigma Müşteri Odaklı Yönetim**, Nobel Yayınevi, Ankara.
- GWET, Kilem. (2001) **Statistical Tables for Inter-Rater Agreement**, StatAxis Publishing, Gaithersburg.
- HARRY Mikel, - Schroeder, Richard (2000), **Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations**, Doubleday, Random House Inc.
- ISHIKAWA Kaoru, (1995) **Toplam Kalite Kontrol**, İstanbul, Kal-Der Yayınları, s. 61.
- İŞİĞİÇOK, Erkan (2005), **Altı Sigma Kara Kuşaklar İçin Hipotez Testleri Yol Haritası**, Sigma Center, Bursa.
- JURAN, Joseph. M., Gryna F. M. ve Bingham R.S.(1979), **Quality Control Handbook**. McGraw Hill: New York.
- KASA, Halit (2003), Altı Sigma Gerçeği, **Kalite Forum Dergisi**, s.33.
- KESKİN, S. (2004), **2 X 2 Tabloları nda Bazı Örnek Genişlikleri ve I. Tip Hata Seviyeleri (α) için Kappa (K) İstatistiğine ait Ampirik Olarak Gerçekleşen Kritik Değerler**, Tarım Bilimleri Dergisi, 10 (2) 169 - 173.
- LANDİS JR, Koch GG. (1977) **The measurement of observer agreement for categorical data**, Biometrics; 33:159-174.
- LANTZ AC, Nebenzahl E. (1996) **Behavior and interpretation of the κ statistic: Resolution of the two paradoxes**, J Clin Epidemiol Vol 46: s.431–434.
- LOUKA Georgia A., Besseris George J. (2010) **Gauge R&R For An Optical Micrometer Industrial Type Machine**, International Journal for Quality research, Vol 4 , No 4.
- LOVE, Fred, (1999), **Six Sigma : What Does It Really Mean?**, Informed Outlook.
- LYNCH, Donald P., Bertolino S., Cloutier E. T. (2003), How To Scope DMAIC Projects: The Importance Of The Right Objective Cannot Be Overestimated, Quality Progress, Ocak, s 38-39.
- MONTGOMERY, D. C., Runger,G. C. (2003). **Applied Statistics and Probability for Engineers**, 3. B. Wiley, Newyork.
- ÖZTÜRK, Ahmet (2009), **Kalite Yönetimi ve Planlaması**, Ekin Yayınevi, Bursa.
- PAN, Jeh-Nan (2004) **Determination Of The Optimal Allocation Of Parameters For Gauge Repeatability And Reproducibility Study**, International Journal of Quality& Reliability Management, Vol.21, No.6, 672-682

- PANDE Peter, Holpp Larry (2002), **What is Six Sigma?**, Mc Grow – Hill Inc., Newyork.
- PANDE, Peter Neuman Robert, (2003), **Six Sigma Yolu**, Çev. Nafiz Güder ve Güneş Tokcan, Klan yayınları, İstanbul.
- Rath & Strong Management Consultants (2001), **Six Sigma Pocket Guide**, 2. Baskı, Massachusetts.
- SANDERS Donald A., Sanders J. A., Johnson R. H., (1993) **ISO 9000 Nedir? Niçin? Nasıl?**, Ed.by C.F.Scott, Çev. Gönül Yenersoy, İstanbul, Rota Yayınları, s.53.
- SHEEHY Paul, 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.
- SİEGEL, S., Castellan,N.J. (1988), **Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences**, McGraw-Hill book Company, United States of America.
- SİM J, Wright C C. (2005) **The Kappa Statistic in Reliability Studies: Use, Interpretation, and Sample Size Requirements**, Physical Therapy, 85(3):257-268.
- SLATTER, Robert (2000), **Jack Welch ve General Electric'in Yolu**, Çev: Türkan Arıkan ve Saadet Özkal, Literatür Yayınları, s. 220.
- SWEET, A. L. , Tjokrodjojo, S. vd. (2005), **An Investigation of the Measurements Systems Analysis “Analytic Method” for Attribute Gages**, Quality Engineering, 17: 2, 219 – 226s.
- Quality Training Portal Resource Engineering, Inc,**
http://www.qualitytrainingportal.com/resources/msa/attribute_measurements.htm,
Erişim Tarihi (11. 10.2011).

EKLER

EK 1 – Ortalama Ağırlığının Dağılımı İçin 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 Çizelgesi 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 Veri Tablosu

PARÇA	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	Referans	Referans Değer	Kod
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,476901	+
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,599581	-
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,486379	+
4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,566575	x
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,503091	+
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,544951	+
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,437817	-
8	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0,566152	x
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,519694	+
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,515573	+
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,488905	+
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,559918	+
13	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0,449696	x
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,454518	+
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,517377	+
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,531939	+
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,576459	-
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,484167	+
19	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0,561457	x
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,477236	+
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,46241	+
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,545604	+
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,529065	+
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,514192	+
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,483803	+
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,547204	+
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,502436	+
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,427687	-
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,523754	+
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,412453	-
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57036	-
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,50585	+

33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,487613	+
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,502295	+
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,498698	+
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,543077	+
37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,509015	+
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,488184	+
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,465454	+
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,501132	+
41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,513779	+
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,409238	-
43	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0,45231	x
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,470832	+
45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,520496	+
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,493441	+
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,587893	-
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,542704	+
49	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0,446697	x
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,521642	+

Ek 3 - ProMSA Programı Hipotez Testi Uygulama Sonuçları

Operatör1 * Operatör2 CrossTab					
			Operatör2	Operatör2	
			0	1	Total
Operatör1	0	Count	24	4	28
		Expected	5,00	23,00	28,00
	1	Count	3	119	122
		Expected	22,00	100,00	122,00
Total		Count	27	123	150
		Expected	27,00	123,00	150,00
Operatör1 * Operatör3 CrossTab					
			Operatör3	Operatör3	
			0	1	Total
Operatör1	0	Count	25	3	28
		Expected	4,90	23,10	28,00
	1	Count	1	121	122
		Expected	21,10	100,90	122,00
Total		Count	26	124	150
		Expected	26,00	124,00	150,00

Operatör2 * Operatör3 CrossTab					
			Operatör3	Operatör3	
			0	1	Total
Operatör2	0	Count	24	3	27
		Expected	4,70	22,30	27,00
	1	Count	2	121	123
		Expected	21,30	101,70	123,00
Total		Count	26	124	150
		Expected	26,00	124,00	150,00

Operatör1 * REF CrossTab					
			REF	REF	
			0	1	Total
Operatör1	0	Count	24	4	28
		Expected	4,50	23,50	28,00
	1	Count	0	122	122
		Expected	19,50	102,50	122,00
Total		Count	24	126	150
		Expected	24,00	126,00	150,00

Operatör2 * REF CrossTab					
			REF	REF	
			0	1	Total
Operatör2	0	Count	24	3	27
		Expected	4,30	22,70	27,00
	1	Count	0	123	123
		Expected	19,70	103,30	123,00
Total		Count	24	126	150
		Expected	24,00	126,00	150,00

Operatör3 * REF CrossTab					
			REF	REF	
			0	1	Total
Operatör3	0	Count	24	2	26
		Expected	4,20	21,80	26,00
	1	Count	0	124	124
		Expected	19,80	104,20	124,00
Total		Count	24	126	150
		Expected	24,00	126,00	150,00

Ek 4 - ProMSA Programı Cohen Kappa Testi Uygulama Sonuçları

	kappa	Operatör1	Operatör2	Operatör3		
Operatör1	—	0,844	0,910			
Operatör2	0,844	—	0,885			
Operatör3	0,910	0,885	—			
Ref	0,907	0,929	0,952			
Effectiveness	% Appraiser			% Score Vs Attribute		
Source	Operatör1	Operatör2	Operatör3	Operatör1	Operatör2	Operatör3
Total Inspected	50	50	50	50	50	50
# Matched	46	47	48	46	47	48
False Negative				0	0	0
False Positive				0	0	0
Mixed				4	3	2
95% UCI	97,78%	98,75%	99,51%	97,78%	98,75%	99,51%
Calculated Score	92,00%	94,00%	96,00%	92,00%	94,00%	96,00%
95% LCI	80,77%	83,45%	86,29%	80,77%	83,45%	86,29%

	System% Effective Score		System% Effective Score Vs Ref.	
Total Inspected	50		50	
# in Agreement	44		44	
95% UCI	95,47%		95,47%	
Calculated Score	88,00%		88,00%	
95% LCI	75,69%		75,69%	
	Effectiveness	Miss Rate	False Alarm Rate	
Operatör1	92,00%	0%	3,17%	
Operatör2	94,00%	0%	2,38%	
Operatör3	96,00%	0%	1,59%	

ÖZGEÇMİŞ			
Adı, Soyadı	Özge		ACAR
Doğum Yeri ve Yılı	Bilecik		1986
Bildiği Yabancı Diller	İngilizce		
ve Düzeyi	İyi		
Eğitim Durumu	Başlama - Bitirme Yılı		Kurum Adı
Lise	2000	2004	İnegöl Turgutalp Anadolu Lisesi
Lisans	2005	2009	Uludağ Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü
Yüksek Lisans	2009	2012	Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Bölümü
Doktora			
Çalıştığı Kurum (lar)	Başlama - Ayrılma Yılı		Çalışılan Kurumun Adı
1.	2007	2009	Coşkunöz Holding A.Ş (stajyer)
2.			
3.			
Üye Olduğu Bilimsel ve Mesleki Kuruluşlar			
Katıldığı Proje ve Toplantılar			
Yayımlar:			
Diğer:			
İletişim (e-posta):	zge.acar@gmail.com		
	Tarih		
	İmza		
	Adı Soyadı		