

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
EKONOMETRİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜRETİCİ VE TÜKETİCİ RİSKLERİNİ DİKKATE
ALARAK OLUŞTURULAN ÖLÇÜM SİSTEMLERİ
ANALİZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet Burak BARTAN

Danışman
Prof. Dr. Ali Kemal ŞEHİRLİOĞLU

İZMİR-2019

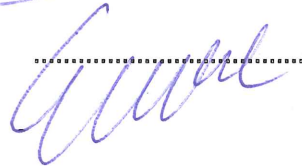
YÜKSEK LİSANS
TEZ ONAY SAYFASI

Üniversite : Dokuz Eylül Üniversitesi
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü
Adı ve Soyadı : Mehmet Burak BARTAN
Öğrenci No : 2017800771
Tez Başlığı : Üretici ve Tüketici Risklerini Dikkate Alarak Oluşturulan Ölçüm Sistemleri Analizinin Değerlendirilmesi

Savunma Tarihi : 25/07/2019

Danışmanı : Prof.Dr.Ali Kemal ŞEHİRLİOĞLU

JÜRİ ÜYELERİ

<u>Ünvanı, Adı, Soyadı</u>	<u>Üniversitesi</u>	<u>İmza</u>
Prof.Dr.Ali Kemal ŞEHİRLİOĞLU	- Dokuz Eylül Üniversitesi	
Prof.Dr.Cenk ÖZLER	- Dokuz Eylül Üniversitesi	
Prof.Dr.Mehmet Emre GÜLER	- İzmir Katip Çelebi Üniversitesi	

Mehmet Burak BARTAN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş olan bu tez savunmada başarılı bulunarak oy birliği (X) / oy çokluğu () ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Metin ARIKAN
Müdür

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Üretici Ve Tüketici Risklerini Dikkate Alarak Oluşturulan Ölçüm Sistemleri Analizinin Değerlendirilmesi” adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

....../....../.....

Adı SOYADI

Mehmet Burak BARTAN

İmza

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Üretici Ve Tüketici Risklerini Dikkate Alarak Oluşturulan Ölçüm Sistemleri Analizinin Değerlendirilmesi

Mehmet Burak BARTAN

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Ekonometri Anabilim Dalı

Ekonometri Programı

Dünyanın küreselleşmesi, teknolojinin gelişmesi ve internetin yaygınlaşmasıyla birlikte daha bilinçli tüketici profili oluşmaya başlamıştır. Önceleri müşteriler bir ürün ya da hizmeti fiyatıyla değerlendirirken, günümüzde kalite, güvenilirlik, kolay ulaşım gibi değişkenler öncelik kazanmıştır. Artan bu rekabet ortamında firmalar ayakta kalabilmek adına minimum maliyet, yüksek kalite ile müşterilerin istek ve beklentilerini karşılamaya çalışmaktadır. Bu yüzden işletmeler kalitelerini iyileştirmek için Kalite Yönetim Sistemleri adı altında Toplam Kalite Yönetimi, Yalın Üretim, İstatistiksel Süreç Kontrol, Ölçüm Sistemleri Analizi gibi bir takım kalite iyileştirme teknikleri uygulamaya başlamışlardır.

Kalite yönetim sistemlerinde kalitenin oluşturulması, iyileştirilmesi, verimliliğin arttırılması, sürekliliğin sağlanması ve tüm bunların en az maliyetle etkin kararlar doğrultusunda yapılabilmesi için üretim sürecinin ele alınması gerekir. Bir üretim prosesinde oluşan ya da oluşabilecek hataların önceden tespit edilmesi oluşabilecek birçok kaybın (zaman, maliyet vb.) önüne geçmesi firmalar açısından oldukça önemlidir. Süreçlerin kontrolü istatistiksel teknikler ve kontrol grafikleri ile sağlanmaktadır. Bir süreç ya da ürün değişkenlerine ait verilerin etkili bir analizinin yapılabilmesi ve istatistiksel süreç kontrolünün uygulanabilmesi için ilk olarak verilerin güvenilirliği ölçüm sistemleri analizi ile belirlenmelidir.

Bu çalışma ile plastik masa örtüsü üreten bir işletmenin üretim sürecinden alınan belirli sayıdaki parçanın genişlik ölçümleri üzerine ölçüm sistemleri analizi ve kontrol grafikleri teknikleri uygulanarak değişkenlerin etkisinin incelenmesi, sürecin kontrol altında olup olmadığı ve kabul edilen örneklem sayısının doğruluğunun test edilmesi amaçlanmıştır. Ölçüm analizlerinin sonuçları MINITAB 17 istatistiksel paket programı ile değerlendirilerek karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ölçüm sistemleri analizi, Varyans Analizi, R&R, Kalite.



ABSTRACT

Master's Thesis

Evaluation Of The Analysis Of Measurement Systems Analysis Considered By Manufacturer And Consumer Risks

Mehmet Burak BARTAN

Dokuz Eylül University

Graduate School of Social Sciences

Department of Econometrics

Econometrics Program

With the globalization of the world, the development of technology and the spread of the internet, a more conscious consumer profile has started to be formed. In the past, when customers evaluated the price of a product or service, the variables such as quality, reliability and easy transportation have gained priority. In this competitive environment, companies are trying to meet the demands and expectations of customers with minimum cost and high quality in order to survive. Therefore, in order to improve their quality, enterprises have started to implement some quality improvement techniques such as Total Quality Management, Lean Production, Statistical Process Control, Measurement Systems Analysis under the name of Quality Management Systems.

Quality management systems need to be developed in order to improve the quality, to improve efficiency, to ensure continuity and to make all these decisions in line with effective decisions with minimum cost. It is very important for the firms to be able to detect any mistakes that may occur in a production process or that may occur before the loss (time, cost, etc.) that may occur. Control of processes is provided by statistical techniques and control graphics. In order to perform an effective analysis of the data of a process or product variables and to apply statistical process control, the reliability of the data must first be determined by measurement systems analysis.

In this study, it is aimed to examine the effect of the variables by applying measurement systems analysis and control graphics techniques on the width measurements of a certain number of pieces taken from the production process of an enterprise producing plastic tablecloths, to test whether the process is under control and the accuracy of the accepted sample number. The results of the measurement analyzes were evaluated with the MINITAB 17 statistical package program and compared.

Keywords: Measurement Systems Analysis, Analysis of Variance, R&R, Quality.



**ÜRETİCİ VE TÜKETİCİ RİSKLERİNİ DİKKATE ALARAK
OLUŞTURULAN ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ
İÇİNDEKİLER**

TEZ ONAY FORMU	İİ
YEMİN METNİ	İİİ
ÖZET	İV
ABSTRACT	VI
İÇİNDEKİLER	Vİİİ
KISALTMALAR	Xİ
TABLolar LİSTESİ	Xİİ
ŞEKİLLER LİSTESİ	Xİİİ
EKLER LİSTESİ	XIV
GİRİŞ	1

**BİRİNCİ BÖLÜM
KALİTE YÖNETİM SİSTEMLERİ**

1.1. KALİTE KAVRAMI	3
1.1.1. Kalitenin Tarihsel Gelişimi	4
1.1.2. Kaliteyi Oluşturan Temel Unsurlar	6
1.2. KALİTE YÖNETİMİ	7
1.2.1. Kalite Kontrol	7
1.2.2. Kalite Güvence	8
1.2.3. Toplam Kalite Kontrol	8
1.2.4. Toplam Kalite Yönetimi	9

İKİNCİ BÖLÜM

İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL

2.1. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ (PROSES) KONTROL	12
2.2. İSTATİSTİKSEL KONTROL TEKNİKLERİ	14
2.2.1. Kontrol Grafikleri	15
2.2.2. Süreç Yeterlilik Analizi	19
2.2.3. 6 Sigma Yaklaşımı	20

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

3.1. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VARYASYON ÇEŞİTLERİ	25
3.1.1. Doğruluk	26
3.1.2. Kararlılık	26
3.1.3. Eğilim	27
3.1.4. Doğrusallık	29
3.1.5. Kesinlik	30
3.1.5.1. Tekrarlanabilirlik	30
3.1.5.2. Tekrar Yapılabilirlik	31
3.1.6. Parça Değişkenliği	32
3.2. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ METOTLARI	33
3.2.1. Aralık Metodu	34
3.2.2. Ortalama-Aralık Metodu	34
3.2.3. Varyans Analiz Metodu (ANOVA)	40
3.3. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZ BASAMAKLARI	43
3.3.1. Ölçüm Planının Hazırlanması	43
3.3.2. Örnek Büyüklüğünün Belirlenmesi	44
3.3.3. Kabul Örnekleme	45
3.3.3.1. İşlem Karakteristiği Eğrisi (OC)	47
3.3.4. Değişkenlerin Belirlenmesi	49
3.3.5. Ölçüm Sistemi Yeterlilik Analizi	49
3.3.6. Ölçüm Sistemleri Analizinin Değerlendirilmesi	51

3.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	51
----------------------------	----

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. FİRMA TANITIMI	56
---------------------	----

4.2. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	56
--------------------------------------	----

4.2.1 Varyans Analiz Metodu Örnek Yeterlilik Testi Sonuçları	63
--	----

SONUÇ VE ÖNERİLER	72
-------------------	----

KAYNAKÇA	75
----------	----

EKLER	
-------	--

KISALTMALAR

AKL	Alt Kontrol Limiti
AV	Ölçümcü Değişkenliği
AQL	Kabul Edilebilir Kalite Seviyesi
ASQC	Amerikan Kalite Kontrol Derneği
DIN	Alman Standart Enstitüsü
DPMO	Bir Milyon Fırsattaki Hata Sayısı
EOQC	Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu
EV	Ekipman Değişkenliği
FMEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi
İSK	İstatistiksel Süreç Kontrol
JIS	Japon Sanayi Standartları Komitesi
KYS	Kalite Yönetim Sistemi
LTPD	Parti Toleransı
ÖSA	Ölçüm Sistemleri Analizi
PUKÖ	Planla, Uygula, Kontrol, Önlem
PV	Parça Değişkenliği
R&R	Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik
TKK	Toplam Kalite Kontrol
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
TÖAİK (DMAIC)	Tanımla, Ölç, Analiz, İyileştir, Kontrol
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TV	Toplam Değişkenlik
ÜKL	Üst Kontrol Limiti

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1: Sigma Seviyelerine Göre % Doğruluk Oranları	s. 20
Tablo 2: Ölçüm Cihazı Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (% R&R)	
Kabul Şartları	s. 35
Tablo 3: Varyans Tahminleri	s. 41
Tablo 4: Varyans Analiz Tablosu	s. 42
Tablo 5: Değişkenlik Bileşenleri 6 Sigma Dağılımı	s. 43
Tablo 6: Kabul Örneklemesinde Risk	s. 46
Tablo 7: Genişlik Ölçümleri	s. 58
Tablo 8: Genişlik Ölçümü Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Analiz	
Raporu	s. 59
Tablo 9: Varyans Analiz Metodu Sonuçları	s. 61
Tablo 10: Genişlik Ölçüm Sistemi MINITAB Ortalama-Aralık Metodu	
Sonuçları	s. 62
Tablo 11: Varyans Analiz Metodu ve Ortalama–Aralık Metodu Sonuçlarının	
Karşılaştırılması	s. 62
Tablo 12: Genişlik Ölçüm Verileri (n=16)	s. 66
Tablo 13: Genişlik Ölçümü Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Raporu	
(n=16)	s. 67
Tablo 14: Genişlik Ölçüm Sistemi MINITAB Varyans Analiz Metodu	
Sonuçları (n=16)	s. 68
Tablo 15: Parça Sayılarına Göre Varyans Analiz Metodu Sonuçlarının	
Karşılaştırılması	s. 70
Tablo 16: Genişlik Ölçüm Sistemi MINITAB Ortalama-Aralık Metodu	
Sonuçları (n=16)	s. 71
Tablo 17: Varyans Analiz Metodu ve Ortalama–Aralık Metodu Sonuçlarının	
Karşılaştırılması (n=16)	s. 71

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Kalite Kavramının Tarihsel Gelişimi	s. 4
Şekil 2: İstatistiksel Süreç Kontrolünün Şematik Gösterimi	s.13
Şekil 3: Süreçteki Varyasyon ve Kontrol Limitleri Arasındaki İlişki	s.17
Şekil 4: X-R Kontrol Çizelgesi Gösterimi	s.19
Şekil 5: Normal Dağılımların Parametrelerine Bağlı Farklılıklar	s.21
Şekil 6: Normal Dağılım Gösteren Bir Prosesin Sigma Seviyeleri	s.22
Şekil 7: Doğruluk ve Kesinlik Arasındaki İlişki	s.25
Şekil 8: Kararlılık	s.26
Şekil 9: Eğilim	s.28
Şekil 10: Doğrusallık	s.29
Şekil 11: Tekrarlanabilirlik	s.30
Şekil 12: Tekrar Yapılabilirlik	s.31
Şekil 13: Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (R&R) Veri İşleme Çizelgesi	s.37
Şekil 14: Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (R&R) Analizi Formu	s.39
Şekil 15: Kabul Örnekleme Prosedürü	s.46
Şekil 16: İdeal OC Eğrisi	s.47
Şekil 17: Üretici ve Tüketici Risklerinin OC Eğrisinde Gösterilmesi	s.48
Şekil 18: Genişlik Ölçüm Sonuçlarının Grafikselsel Analizi	s.60
Şekil 19: Genişlik Ölçüm Sonuçlarının Grafikselsel Analizi (n=16)	s.69

EKLER LİSTESİ

EK 1: X-R Kontrol Kartları İçin d_2 Değerleri	ek s. 1
EK 2: Kontrol Kartları Sabitleri	ek s.2
EK 3: z Dağılım Tablosu	ek s.3
EK 4: Üretici ve Tüketici Riskleri ve Ölçüm Hataları Tablosu	ek s.4
EK 5: F Dağılım Tablosu ($\alpha=0,05$)	ek s.8



GİRİŞ

Günümüzde giderek artan rekabet ortamı, firmaların mevcut küresel pazarda yerlerini korumak ve gelişmek için yönetim anlayışlarını değiştirmelerine neden olmuştur. Ne istediğini bilen tüketici profiline oluşmasıyla birlikte ürün ya da hizmetin sadece fiyatı değil, beraberinde kalitesi, güvenilirliği, kolay ulaşımı da önem kazanmıştır. Firmalar mevcut kaynaklarını en uygun düzeyde değerlendirmek için sadece üretim ve maliyete odaklanmaya değil; aynı zamanda kaliteyi artırma ve müşteri beklentilerini karşılama çalışmalarına da yönelmiştir. Bu anlayış doğrultusunda kullanılan yöntemlerden biri de her geçen gün uygulama alanını genişletmekte olan kalite yönetimidir. İşletmeler kalite sistemlerini oluşturmak, verimliliği arttırmak ve iyileştirmek için Kalite Yönetim Sistemleri adı altında yalnız üretim, 6 sigma, istatistiksel süreç kontrol, kaizen gibi iyileştirme tekniklerini kullanmaktadır.

Kalite Yönetim Sistemleri'nde sürecin takip edilmesi, süreç için etkili analiz yapılması, doğru iyileştirme yapabilmesi ve sürecin kontrol altında tutulabilmesi açısından, ölçüm verileri sıklıkla kullanılmaktadır. Bir sürecin değerlendirilmesi ya da iyileştirilmesi çalışmalarından önce sonuçlarının güvenilirliğinin test edilmesi amacıyla ölçüm sistemleri analizi yapılmalıdır. Ölçüm sistemleri analizinde süreçten ve ölçümden gelen değişkenler tespit edilerek istatistiksel olarak hesaplanır ve sisteme müdahale edilip edilemeyeceğine karar verilir. Bundan dolayı, sürecin gerçek değişkenliğini belirlemek için, ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenlik tanımlanmalı, sürecin değişkenlikle ayrılmalıdır.

Ölçüm sistemi ve süreçten meydana gelen varyasyonu tespit etmek, mühendislik toleransı ile ölçüm değişkenliğini karşılaştırmak, ölçüm sürecini iyileştirerek toplam değişkenliği düşürmeyi hedefler. Bu sayede üretim sırasında oluşan ya da oluşabilecek hatalara müdahale edilerek düzeltici faaliyetler uygulanabilecektir. Hataların önlenmesiyle birlikte kusurlu ürün üretimi azaltılarak üretimde verimlilik ve ürün kalitesi artırılır, maliyet azaltılır, müşteri memnuniyeti artırılarak belirli bir müşteri potansiyeli oluşturulur. Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğunda sürecin kontrol altında tutulması şirketler için oldukça önemlidir.

Bu çalışmada plastik masa örtüsü üretimi yapan bir firmada üretici ve tüketicici riskleri göz önünde bulundurularak üretim prosesine ölçüm sistemleri analizi uygulanmıştır. lm sistemleri analizinin adımlarından biri olan örneklem kabulünün doğruluğu test edilmiş, sonuçlar Varyans Analiz Metodu ve Ortalama-Aralık Metodu ile karşılaştırılmıştır. Üretim sürecinden alınan 10 parça da ölçüm sistemleri analizi yapıldıktan sonra örnek yeterlilik analiz sonucunun yetersiz bulunmasıyla parça sayısı arttırılmıştır. Yeni kabul örnekleminde parça sayısı 16 alınarak sistem iyileştirilmesi yapılmış, X-R kontrol grafikleriyle üretim sürecinin kontrol altında olup olmadığı tespit edilmiştir. Sonuçlar MINITAB 17 paket programı ile değerlendirilmiştir.



BİRİNCİ BÖLÜM

KALİTE YÖNETİM SİSTEMLERİ

1.1. KALİTE KAVRAMI

Deming’e göre “kalite pazara uygunluk, düşük maliyet ile üretim, güvenilirlik ve sürekliliği sağlayabilmenin derecesidir”.

Juran’a göre “ürün performansını mükemmelliğe ulaştırmak ve kapsamlı bir kullanıma uygunluk elde etmektir.”

Feingenbaum için, “işletmedeki tüm birimlerin tüketici ihtiyaçlarını minimum ekonomik seviyede karşılayabilmeyi amaçlayan mühendislik, üretim, sürdürülebilirlik ve pazarlama özelliklerinin toplam bileşimidir.”

Ishikawa kaliteyi, “sürekli müşteri memnuniyeti sağlayan, en ekonomik ve kullanışlı tasarımı geliştirerek üretim yapmak, satış ve sonrası hizmetlerini gerçekleştirmek olarak tanımlamıştır.”

Taguchi “kaliteyi üretilen malın dağıtımından sonra toplumda meydana getirdiği en az zarar” şeklinde tanımlamıştır.

ISO 9000 “kalite sistemlerinde ise, müşterilerin ifade ettiği ve gizli ihtiyaçlarının tatmin edebilme konusunda yeteneği olan mal veya hizmetin niteliklerinin toplamı şeklinde tanımlanmıştır”

Birden fazla kalite tanımı olduğu için, çeşitli kuruluşlar kalite kavramını standart bir kavram haline getirmeye çalışmışlardır. Amerikan Kalite Kontrol Derneği’ne göre “kalite, mal veya hizmetin belirli gerekliliği karşılayabilme yeteneklerini çıkartan karakteristiklerin tümüne denir.” Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu’na göre, “belirli malın veya hizmetin, müşterinin isteklerine uygunluk derecesidir. Alman standart Enstitüsü’ne göre, ürünün ön görülen ve şart koşulan gereklere uyum yeteneğidir.” Japon Sanayi Standartları Komitesi’ne göre, “ürün veya hizmeti, ekonomik bir yoldan üreten ve tüketici isteklerine cevap veren üretim sistemidir.” Türk Standartları Enstitüsü’ne göre de “ürün veya hizmetin, belirlenen ya da olabilecek gereksinimleri karşılama yeteneğine dayanan özelliklerinin toplamıdır.” (Acar, 2012:4).

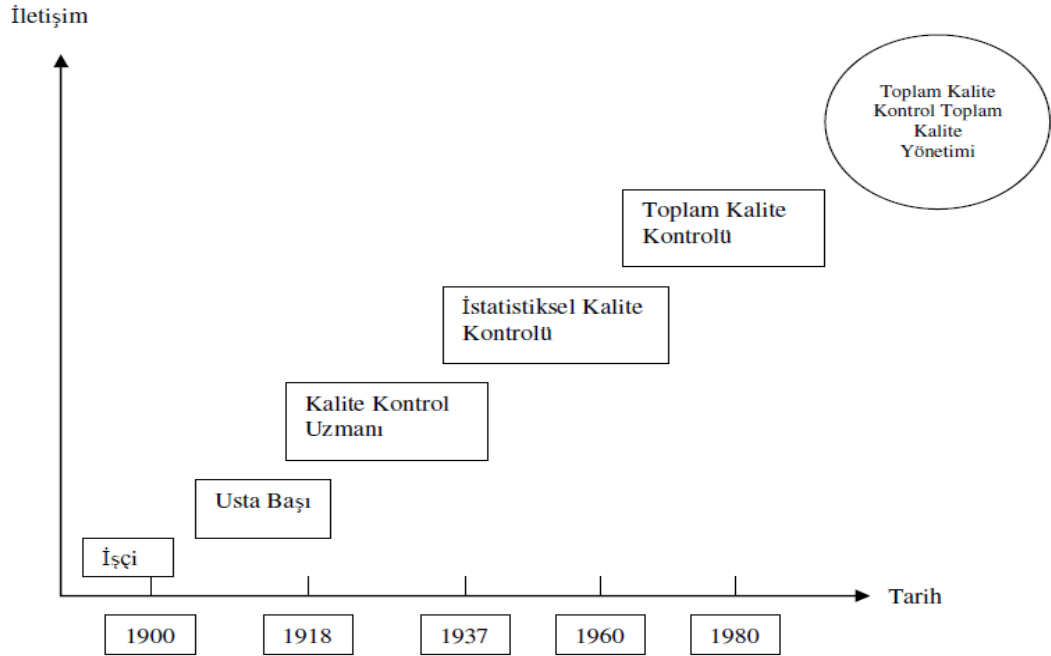
Kalite konusunda yapılmış olan pek çok tanımdan çıkarılan ortak kanı kalite, sistemin sunduğu hizmet veya ürünün kullanıcı talep, isteklerini karşılama ve sıfır hata ile üretilmesini belirleyen bir metot olmasıdır (Gürel, 2006:19).

1.1.1. Kalitenin Tarihsel Gelişimi

Kalitenin ortaya çıkışı çok eski zamanlara dayanmakla birlikte mükemmellik olarak kalite tanımı 18. yüzyılın ortalarında ortaya çıkmıştır. 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 ABD’de olmuştur (Acar, 2012:4).

Şekil 1’de kalitenin tarihsel gelişimi gösterilmiştir (Demir, 2006:13).

Şekil 1: Kalite Kavramının Tarihsel Gelişimi



Kaynak: Demirel, 2006:13.

Kalitenin tarihsel gelişimini 4 adımda inceleyebiliriz;

1. Muayene
2. İstatistiksel Kalite Kontrol
3. Toplam Kalite Kontrol
4. Toplam Kalite Yönetimi

Muayene: II. Dünya savaşının başlaması ile birlikte yüksek miktarda seri üretim ihtiyacının ortaya çıkması muayene (kontrol) faaliyetlerinin gelişmesine neden olmuştur. Muayene yönteminde üretilen ürünler tek tek veya örnekleme yöntemi ile kontrol edilmektedir. Bu kontrolün neticesinde ürünler uygun ve kötü olarak ayrılarak, belirli bir kalite düzeyi sağlanmaya çalışılmıştır (Özkale, 2004:2).

İstatistiksel Kalite Kontrol: Giderek artan tüketici ihtiyacına paralel olarak artan üretim hacmi, muayeneye dayalı kontrol sisteminin hem maliyetini arttırmış hem de kullanım olanağını azaltmıştır. Bununla birlikte yeni arayışlar başlamış ve istatistiksel teknikler gündeme gelmiştir. İlk olarak Shewart'ın geliştirdiği kontrol grafikleri ile Dodge ve Romig'in geliştirdiği örnekleme muayene sistemleri kullanılmıştır (Özkale, 2004:2).

Toplam Kalite Kontrolü: Kalite kontrol çalışmalarının bir alana daraltılması mümkün olmadığından bütün alanlar kalite kontrole göre şekillendirilmiştir. Fiegenbaum toplam kalite kontrolü, “bir organizasyondaki değişik grupların kalite geliştirme, kaliteyi koruma ve kalite iyileştirme çabalarını müşteri memnuniyetini de göz önünde bulundurarak üretim ve hizmeti en düşük maliyet ile gerçekleştirebilme hizmeti olarak tanımlamıştır.” (Özkale, 2004:2).

Toplam Kalite Yönetimi: Giderek karmaşık hal alan kalite yapısı hepsini içine alan toplam kalite yönetimi ile son bulmuştur. Çalışmaların sonucu olarak savaştan sonra teknolojinin ilerlemesi ve üretim sürecinin daha kompleks bir hal alması, firma yetkilileri arasında bir ilişki oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Bunun sonucunda “Toplam Kalite Yönetimi (TKY)” anlayışı hayata geçmiştir (Demir, 2006:16).

1.1.2. Kaliteyi Oluşturan Temel Unsurlar

Bir ürünün kalitesinin belirlenmesinde; tüketici istekleri, rekabet durumu, satış politikaları, ürün, pazar, fiyat, malzeme, strateji, muayene işlemleri vb. birçok faktörün etkisi vardır. Bir ürünün kalitesi tasarım kalitesi, üretim kalitesi ve performans kalitesi olmak üzere 3 kısımdan oluşur (Çavuşoğlu, 2006:5; Demir, 2006:22).

1. Tasarım Kalitesi

Ürünün hedeflenmiş görüntüsüne sahip olma yeteneğidir. Ürünün fiziksel özelliklerini gösteren, boyut, ağırlık, hacim vb. ölçüler aynı zamanda tasarım kalitesini de belirler. Ürünün piyasada zahmetsizce tutunabilmesi, rekabetin lideri olabilmesini sağlayabilmesi, müşterinin memnuniyetinin sağlanabilmesi ayrıca karı maximize edebilmesi için esaslardan birisi de tasarım kalitesidir. Tasarım kalitesinin belirlenmesinde diğer ekten olan maliyet ise, kalite artışına zıt olarak gelişme gösterir. Kalite düzeyi arttıkça maliyet önce yavaş sonra büyük bir hızla artış gösterir. Bunun sebebi, teknolojinin son aşamasına kadar zorlanması ve imkansız bir hal almasıdır bu yüzden maliyet yüksek kalitede artış gösterir. Tasarım kalitesinin optimal noktası; tüketicilerin kalite için belirlemiş oldukları değerle kalitenin maliyeti arasındaki olumlu farkın en yüksek olduğu kalite seviyesidir. (Çavuşoğlu, 2006:5; Demir, 2006:23).

2. Üretim Kalitesi

Tasarım kalitesinin ürüne ulaşma emeğinin bir göstergesidir. Üretim kalitesi gerçekleştirilirken, türlü maliyetlerin dengelenmesi için uğraşılır. Şayet tasarım kalitesiyle uygunluk kalitesi arasında fark var ise ıskarta üretim ve yeniden işleme düzeltilebilen üretim gerçekleşmiştir. Kalite kontrolün faaliyeti arttıkça, yani kalite spesifikasyonlarına uygunluk seviyesi arttıkça, ıskarta ürün adeti azaltılarak üretimde verimlilik artırılır (Çavuşoğlu, 2006:5; Demir, 2006:23).

3. Performans Kalitesi

Performans kalitesi, üretilen ürünlerin veya hizmetin performans seviyelerinin, müşteri araştırması ve satış analizleriyle belirlenmesidir. Bu çalışmaların amacı, satış sonrası hizmet, bakım, güvenilirlik ve lojistik destek analiziyle müşterilerin üretilen malların satın alma potansiyelinin incelenmesidir. Performans kalitesi çalışmalarında kalite kaybı, ürünün karakteristiklerinin piyasanın ihtiyaçlarından farklı şekilde üretildiği proseste ve kalite karakteristikleri değişiminin aşırı olduğu ürün üreten proseslerde meydana gelir. (Çavuşoğlu, 2006:6).

Bir sürecin performansı, belirli zaman sonucundaki çalışma sonucudur. Bu sonuç, işletme amaçlarının veya görevinin yerine getirilme seviyedir. Dolayısıyla işletme performansı, işletme hedeflerinin gerçekleştirilmesi için gösterilen tüm emeğin değerlendirilmesi denilebilir. (Zerenler, 2005:2).

1.2. KALİTE YÖNETİMİ

Kalitenin yönetimi, bütün yönetim işlevlerinin kalite politikasıyla saptayarak hedeflerin, sorumlulukların; kalite kontrol, kalite güvence, kalite geliştirme ve kalite sisteminde belirlenmesidir. Alışılmış yönetimde, işletmenin yönetimini maddi gücü elinde bulunduran kişiyken, kalite yönetiminde müşteriler, çalışanlar ve satıcılar arasındaki birleşme esastır. Bu durum firmanın pazarda tutunmasının sermayeye değil müşteri memnuniyetine bağlı olduğunu göstermektedir (Mutlu, 2018:7).

1.2.1. Kalite Kontrol

Kalite kontrol, işletmelerin üretim sistemlerini gözden geçirip varsa hatalı üretimin nedenlerinin ortaya çıkarılması ve olası sorunların giderilmesini kolaylaştırır. Bu anlamda kalite kontrol, tüketicilerin maliyet, tasarım ve kullanım yönünden istek ve ihtiyaçlarını karşılayacak mal ve hizmetleri tasarlayıp üretmek, geliştirmek ve satış sonrası hizmetlerle tüketicileri memnun etme faaliyetlerinin tümüdür (Kara, 2018:4).

1.2.2. Kalite Güvence

Bir ürün veya hizmetin, gereksinim duyduğu belirlenmiş kalite gereklerini tam anlamıyla karşılayabilmesi için kalite sisteminde yapılması gereken planlı, düzenli etkinliklerin tamamını kapsar (Mutlu, 2018:10).

Kalite güvence sadece ürün ve hizmetin güvenini sağlamakla kalmaz, üretici ve tüketici arasında ilişkinin belirgin bir istikrara dayanarak işletmelerin geleceğini garanti altına almasının temelini de oluşturmaktadır. Kalitenin sağlanmasında en üst yöneticiden en alttaki çalışana kadar herkesin varlığı ve bağlılığı gerekmektedir. Bu anlamda kalite güvencesi üreticilerin, tedarikçilerin, dağıtıcıların ve tüketicilerin kaliteye ilişkin tüm karar ve faaliyetlerini kapsayan çalışmalar bütünü olduğundan “Toplam Kalite Güvencesi” olarak da adlandırılır. (Demir, 2006:26).

Kalite güvence sistemi hakkında birçok ülkede sistem modelleri üzerinde analizler yapılmıştır. Kalite güvence sistemlerinden ISO 9000 serisi olarak anılan, kalite güvence sistemlerinin yerleşmesine yönelik standartları 1987 yılında yayınlanmıştır. ISO 9000 serisi standartlar 1991 yılında da Türkçe haline getirilerek TS-ISO 9000 serisi olarak kullanıma sunulmuştur (Demir, 2006:31).

1.2.3. Toplam Kalite Kontrol

Bu kavramda yer alan “toplam” sözcüğü kalitenin “tüm süreçlerde”, “tüm işlerde” ve “tüm çalışanların katılımı” ile sağlanabileceğini ifade etmektedir (Sözer ve diğerleri, 2002:53).

Kalite kontrolden sonraki aşama, Toplam Kalite Kontrol (TKK) aşamasıdır. Bu aşamada şirketteki tüm bölümlerin iş birliği yaparak kalite çalışmalarına katılımı sağlanır. Yönetim kadrosunun üretim kontrol kadrosuna katılma konusundaki ilk atılımları TKK anlayışı ile sağlanmıştır. Bu anlayışla, kalitenin sadece üretenlerin değil, aynı zamanda yönetenlerin de sorumluluğunda olduğu gösterilmiştir. TKK, bir firmanın tüm faaliyetlerinde kaliteyi yükselterek her aşamada oluşabilecek hataları önlemeyi hedefler. Böylece fire, ikinci kalite ürün, gereksiz stoklar, zaman kayıpları, teslimattaki gecikmeler gibi olumsuzluklar ortadan kaldırılır. Bütün bunların özetinde, düşük maliyetle müşteri memnuniyeti sağlanır (Çavuşoğlu, 2006:7).

1.2.4. Toplam Kalite Yönetimi

Teknolojik değişimin günlük izlenmesinin dahi zorlaştığı günümüzde, firmalar ancak farklı yönetim anlayışları ve uygulamalarıyla ayakta kalabilmektedirler. Bu kıyasıya faal bu işletmeler icraatta bulundukları sektörün dışındaki sektörlerle de yarış eder vaziyete gelmişlerdir. İşte bu yoğun rekabet koşulları altında işletmelere büyük umut veren en önemli gelişmelerden biri toplam Kalite Yönetimi (TKY) felsefesinin ortaya çıkması olmuştur. TKY, küresel rekabet ortamında şirketlerin ulusal ve uluslararası pazarlardaki büyümesi ve başarısı için önemli faktörlerden biridir (Bolatan ve diğerleri, 2016:747; Kaya, 2009:90).

Toplam Kalite Kontrol anlayışının, işletme genelinde kalite sistemi olarak geliştirilip, tüm şirket ve kurum kültürüne yansıtılarak, yönetimde dâhil olmak üzere tüm çalışanların paylaşılan vizyonu haline getirilmesiyle TKY oluşturulmuştur. Modern kalite anlayışının TKK'den, TKY'ne geçişinde en önemli etkiler yönetimin tanımında meydana getirdiği etkilerdir. Bu noktada, yönetimin tanımından gelen süreç ve müşteri odaklılık ön plana çıkmış, yönetim fonksiyonlarının bu yönde geliştirilmesi sağlanmıştır. Bilhassa üzerinde durulması gereken değişim ise, amacın “müşteri mutluluğu”, ”müşteri tatmini” üzerine kurulmasıdır (Sözer, 2002:52).

TKY şirketlere pazar payında ve yatırımların kârlılığında artışı sağlayarak küresel rekabet üstünlüğü kazandıran, stratejik yararlar sağlayan, üretim maliyetlerinin azalmasına katkıda bulunan ve üretimde verimliliği arttıran bir dizi süreç değişikliğini içermektedir (Gülsen, 2012:113; Özutku, 2006:212).

TKY'nin uygulama sürecinde ilk aşama üst yöneticilerin kalite hakkında bilgilendirilmesi, üst yönetimin bağlılığının sağlanmasıdır. İkinci aşamada, toplam kalite konusunda organizasyonda “kalite vizyonu” ve “kalite felsefesi” oluşturulmalı. Üçüncü aşamada toplam kalite hususunda firmanın üst yönetimde Kalite Konseyi oluşturulmalı. Dahasında organizasyonda tüketici gereksinimlerinin belirlenmesi, akılcı kalite planlamasının hazırlanması, kalitenin uygulanacağı alanların belirlenmesi gereklidir. Toplam kalite yönetiminde benchmarking sürekli iyileştirme ve sürekli kalite geliştirme analizlerinin yapılması oldukça önemlidir (Aktan, 2012:256).

Deming, geliştirmiş olduğu yönetim ilkeleri ile TKY’nin çatısını oluşturmuş ve TKY’nin kurucusu olarak kabul edilmiştir (Szer, 2002:53).

Kalite yönetim sistemleri 8 ilkeden oluşmaktadır. Bu ilkelerin bir işletme tarafından başarılı şekilde kullanılması işletmelere değer artışı, parasal dönüşler ve krlılığın arttırılması gibi faydalar sağlar. Bu ilkeler aşağıdaki gibidir (Kara, 2018:11; Mutlu, 2018:27).

- *Müşteri Odaklılık*: Müşteriler işletmelerin teminatıdır. Bu nedenle kr sağlamak isteyen işletmeler müşterilerinin beklenti ve isteklerini gözönünde bulundurarak müşteri memnuniyetini sağlamalıdır. Müşterilerin şu anki talepleri kadar gelecekteki taleplerinin de belirlenip, gerçekleştirilmesini merkeze alır.
- *Liderlik*: Kalite st yönetimin liderliğinde gerçekleştirilir. Liderlik; paylaşım, takdir etme, karşılıklı saygı ve takım çalışmasına önem vermedir. Burada amaç örgüt içinde çalışanların mevcut bilgi ve yeteneğini ortaya çıkararak herkesin tek bir ortak değer etrafında toplanmasını ve hedeflere yönelmesini sağlamaktır.
- *Sürekli İyileştirme*: Kalite iyileştirme projeleri genellikle değişkenliği azaltma ve sıfır hata üretimine ulaşma hedefleriyle karakterize edilir (Peruchi ve diğerleri, 2013:301). TKY’nin en önemli adımı olan sürekli iyileştirme, st yönetimin liderliğinde çalışanların takım halinde organize olduğu müşteri odaklı, sıfır hata hedefine ulaşmaya çalışan süreçler bütünüdür.
- *Çalışanların Katılımı*: İşletmede müşteri memnuniyeti kadar çalışanların memnuniyeti de önemlidir. Bu yüzden işletmeler personelin bilgi ve birikimlerini geliştirmeli, işletme amacına yarar sağlayacak şekilde değerlendirmeyi ngren bireyler yetiştirmelidir.
- *Süreç (Proses) Yaklaşımı*: Süreç, müşteri için girdileri çıktı haline dönüştüren, tekrarlanabilen, ölçülebilen, bir sorumlusu olan, birbirine bağlı değer yaratan faaliyetler bütünüdür. İşletmelerde istenilen sonuçları verimli bir şekilde elde etmek için faaliyetleri ve kaynakları belirli bir süreç dhilinde yönetmek gerekir. Bu şekilde hata oranı azaltılır ve maliyet düşer.
- *Yönetimde Sistem Yaklaşımı*: Süreç yaklaşımının devamı olan sistem yaklaşımı, bir işletmeyi belirli alt birimlerden oluşan, bu birimler arasında

birbirleriyle ve dış çevreyle ilişkisi olan bir bütün olarak tanımlar. KYS uygulayıcılarının "sistem" ögesi üzerinde durmalarının çok önemli sebepleri vardır. Bunların başında ölçülebilirlik, izlenebilirlik, tutarlılık, kararlılık, gelişme ve iyileştirme özelliklerinin sağlanabilmesi gelir.

- *Verilere Dayalı Karar Verme:* İşletmede etkin kararlar verilmesi için verilerin ve bilgilerin analiz edilmesi gerekir. Bunun için ölçümlerin alınması, veri ve bilgilerin toplanması, bunların geçerli metotlarla analiz edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun sonucunda, veri üzerine kurulu stratejilerin daha gerçekçi ve kolay uygulanabilir olması sağlanır.
- *Tedarikçilerle Karşılıklı Yarara Dayanan İlişkiler:* İşletme ve tedarikçiler birbirine bağlıdır ve karşılıklı ilişkiler her iki tarafında yararlıdır. Bu nedenle işbirliğine yönelik, karşılıklı güven ve ortak çıkarlara dayalı uzun vadeli çalışmalar geliştirilmelidir.

Hizmet ve ürün kalitesinin sürekliliği kalite yönetim sistemleriyle sağlanmaktadır. Söz konusu kalite yönetimini işletmenin esas yollarından biri prosesle ve verilerle yönetimidir. Tüketici için önem yaratan süreçlerin belirlenmesi, firmanın bu süreçler bazında yapılanması ve her süreç ile ilgili performans kriterlerinin belirlenerek düzenli olarak ölçülüp analiz edilmesi, performansı artırmak için esas bir kaynaktır (Kökbıyık, 2011:29).

İşletmeler kalitelerini iyileştirmek için Kalite Yönetim Sistemleri adı altında Toplam Kalite Yönetimi, İstatistiksel Süreç Kontrol, Yalın Üretim, Ölçüm Sistemleri Analizi gibi kalite iyileştirme teknikleri uygulamaktadır. KYS’de süreç etkinliklerinin ölçümü, süreçler üzerinde analiz yapılabilme ve gerçekçi kararlar alabilmek için ölçüm verileri sıklıkla kullanılmaktadır. Ölçüm verilerinden hesaplanan bazı istatistiksel değerler, sürecin istatistiksel kontrol limitleri ile karşılaştırılarak süreç hakkında karar verilir (Cebenoyan, 2018:1).

İKİNCİ BÖLÜM

İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL

Kalite iyileştirme ve geliştirme sürecinde istatistiksel teknikler yaygın bir kullanım alanına sahiptir. İstatistiğin kalite kontrolde geniş uygulama olanağı bulması, minimum malzeme ve işçilikle yüksek kalite düzeyinde ve büyük miktarlarda üretimi zorunlu kılan II. Dünya Savaşı'nda gerçekleşmiştir (Zeyveli ve Selalmaz, 2008:36).

Kalitenin kontrolünde, ölçüm sonuçları ile standartlar arasındaki farkın tespit edilmesi ve elde edilen farkın nedeninin tesadüfi ya da gerçek olup olmadığının belirlenmesi için ölçme işlemi yapılır. Buradan elde edilen ölçüm sonuçları ve değerlendirmeler istatistik bilimi ile gerçekleştirilir. En genel anlamda istatistik tesadüfi değişmelerle ilgili problemleri çözümleyen bilim dalıdır. Buna göre üretimin doğasında var olan, örneğin bir proseste aynı şartlar altında ve benzer spesifikasyonlarla üretildiği halde ürünlerin birbirinden farklı olmasına neden olan ve ölçüm duyarlılığının yükselmesi ile belirlenebilen tesadüfi değişkenler sadece istatistiksel metotlarla tespit edilir (Şahin, 2000:9).

Kalite kontrolde istatistiksel tekniklerin kullanılmasıyla hem çalışmalar bilimsel temellere hem de verilerin analizi ve yorumlanmasına dayandırılarak ürünün üretim prosesi kontrol altına alınmış olur (Eygü, 2014:14).

İstatistiksel proses kontrolü sadece ürünlerin kontrol edilmesi değil, aynı zamanda prosesin sürekli olarak kontrol edilmesi, ölçülmesi ve iyileştirilmesini sağlar. İstatistiksel kalite kontrol ise, daha genel ve geniş olarak istatistiksel proses kontrol, kabul örnekleme ve diğer istatistiksel teknikleri n tümünü kapsar. Sonuç olarak istatistiksel kalite kontrolü, istatistiksel proses kontrolünü de içeren daha geniş kapsamlı bir alandır (Eygü, 2014:15).

2.1. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ (PROSES) KONTROL

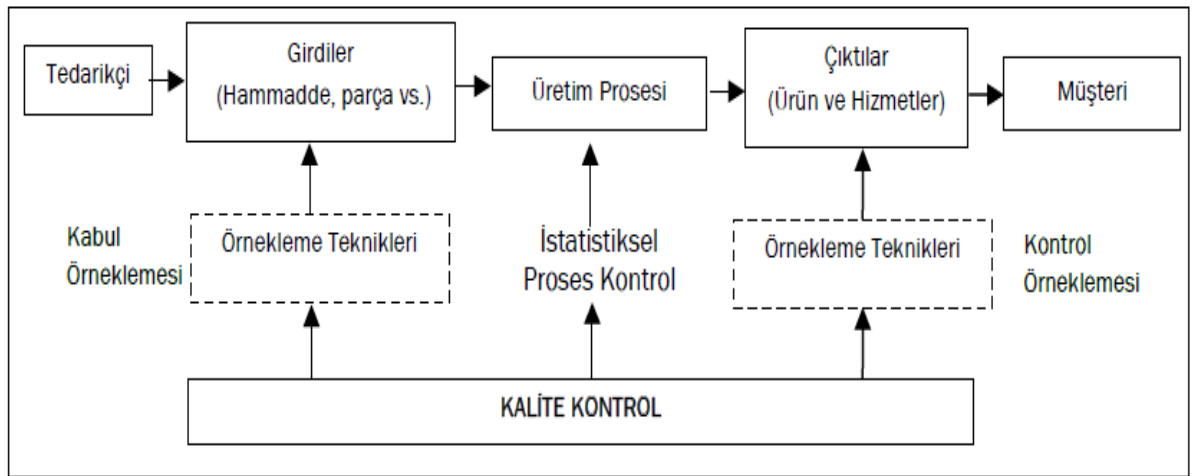
İstatistiksel süreç kontrolü (ISK), sürecin her aşamasında (ölçme, analiz etme ve değerlendirme) istatistik bilim ve tekniklerinin uygulanmasıdır. İstatistiksel süreç kontrolleri genel olarak izlenen bir süreçten alınmış ölçümlere ve elde edilen ölçüm

değerlerinin analiz edilmesi için geliştirilmiş grafiksel yöntemlere dayanmaktadır. Burada süreç kontrolünün en önemli amacı, üretim sırasında oluşan ya da oluşabilecek hatalara en kısa sürede müdahale etmek ve düzeltici önlemlerin zamanında alınmasını sağlamaktır (Aydın ve Kargı, 2018:42; Çelik, 2015:16; Kısaoğlu, 2010:292).

İSK, değişimin özel nedenlerini ortadan kaldırarak sürecin kontrol altında tutulmasını ve şirketlerin üretim aşamasındaki ürünlerinin istatistiksel ölçümleri için toplanan verilerin yine istatistiksel açıdan analizlerini yaparak daha kaliteli ürünler üretilmesini sağlar. (Şen, 2012:11).

İSK, kalitenin muayene yoluyla kontrolünün tamamen sağlanamamasından dolayı ürün yerine, ürünü üreten sistemi yani prosesi kontrol etmek için meydana gelmiştir. Üretilen ürünün özellikleri onu üreten sürecin bir ürünüdür. Şayet tüm proses değişkenleri kontrol altına alınabilirse ürünün özellikleri de kontrol altına alınabilecektir. (Yıldırım ve Karaca, 2013:77). Şekil 2’de üretimde süreç kontrolü şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 2: İstatistiksel Süreç Kontrolünün Şematik Gösterimi



Kaynak: Eleveli, 2018:3.

İSK amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Prosesin kontrol altında olup olmadığının istatistiksel tekniklerle kontrolü, istenmeyen bir durum varsa bunun tespit edilmesi ve nedenlerinin belirlenerek önlem alınması.

- Proses karakteristiklerindeki değişkenliğin sistematik olarak azaltılması ve proses performansının arttırılması (Öztürk, 2007:30).

Başarılı bir proses kontrolü için veri toplama, düzenleme ve veri analizi konularında iyi bir sistem geliştirilmelidir. İSK, ürün spesifikasyonlar veya toleranslar ile karşılaştırılmasından çok alınan ölçümlerin toleranslar içinde kalabilmesi için yapılacak çalışmalar üzerinde durmaktadır (Ülen, 2010:14).

Bir proseste değişkenliği oluşturan sebepler iki gruba ayrılır. Bunlar tesadüfî nedenler ve özel nedenlerdir (Şahin, 2013:254).

a. Tesadüfî (Genel) Nedenler

Herhangi bir kurala bağlı olmadan, tamamen tesadüfî olarak ortaya çıkan faktörlerdir. Bu belirsizlikten dolayı varlıkların tespiti ve etkilerinin ölçülmesi çok güç hatta imkânsızdır. Üretimin kalıcı bir parçasıdır ve tüm süreç bileşenlerini etkiler. Kalite programının niteliği, hammadde özellikleri, işletme şartları, makinelerin durumu, işçilerin fabrikadaki sosyal durumları gibi nedenlerdir (Gejdoş, 2015:566; Ülen, 2010:17).

b. Özel Nedenler

Sürecin kalıcı bir parçası olmayan nedenlerdir, tüm süreç bileşenlerini etkilemezler, ancak belirli koşulların bir sonucu olarak ortaya çıkarlar. Etkileri nispeten büyük ölçüde değişmeler meydana getirir. Bu özel faktörler üretim prosesini belirli bir yöne iten, kontrol dışına çıkaran ve nedeni tespit edilebilen değişimlerdir (Gejdoş, 2015:566).

2.2. İSTATİSTİKSEL KONTROL TEKNİKLERİ

İSK analizlerinin %95'i temel istatistiksel teknikler yardımıyla gerçekleştirilmektedir (Ala, 2015:283). Çelik ve cam gibi endüstriyel proseslerde ise daha çok orta ve ileri düzey istatistiksel süreç kontrol teknikleri kullanılmaktadır (Eygü, 2014:18).

1.Temel İstatistiksel Teknikler

İSK’de kullanılan temel araçlar yaygın olarak “Yedi Kalite Aracı” olarak bilinir. Bu araçlar, verilerin düzgün biçimde belirlenebilmesini kolaylaştırmak ve bu verilerin sistematik bir yaklaşımla değerlendirilmesini sağlamak amacı ile tasarlanmıştır (Yıldırım ve Karaca, 2013:78).

- ✓ Pareto Diagramı
- ✓ Neden – Sonuç Diyagramı
- ✓ Verilerin gruplandırılması
- ✓ Kontrol tablosu
- ✓ Histogram
- ✓ Dağılım Diyagramı
- ✓ Grafik ve Kontrol çizelgesi (Shewhart Kontrol Çizelgesi)

2.Orta Düzey İstatistiksel Teknikler

- ✓ Örneklem Araştırmaları Teorisi
- ✓ İstatistiksel Örneklem Muayenesi
- ✓ İstatistiksel Tahmin ve Testlerin Çeşitli Yöntemleri
- ✓ Duyarlılık Testi Kullanım Yöntemleri
- ✓ Tasarlanmış Deney Yöntemleri

3.İleri İstatistiksel Teknikler

- ✓ Tasarlanmış Deneyin Gelişmiş Yöntemleri
- ✓ Çok Değişkenli Analiz
- ✓ Çeşitli Yöneylem Araştırması Yöntemleri

Yukarıdaki yöntemler genel olarak mühendisler, kalite kontrol geliştirme bölümü tarafından uygulanmaktadır. Bunların içinde sık kullanılan örneklemeye ilgili istatistiksel yöntemlerdir (Ülen, 2010:9).

2.2.1.Kontrol Grafikleri

Üretimden belirli zaman aralıklarında alınan parçalardan elde edilen ölçüm sonuçlarının zaman içerisinde gösterdikleri değişimlerin izlendiği grafiklerdir.

Kontrol grafikleri ile sürecin gerçekleştirdiği üretimin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup olmadığı tespit edilip, bu sınırların dışına çıkması halinde uyarı vererek sürece düzeltici faaliyetlerin uygulanması sağlanır. Böylece sürecin istatistiksel olarak kontrol altında tutulması sağlanır (Çelik, 2015:16; Firuzan ve Ayvaz, 2005:1).

Kontrol çizelgeleri oluşmuş hataları ayıklamaktan ziyade, hataların oluşmasını önlemeyi ve süreci kontrol altına almayı hedefler (Çolak, 2007:58). Kontrol edilecek süreç, karakteristik sayılarına göre tek değişkenli kontrol grafiği ve çok değişkenli kontrol grafiği şeklinde ikiye ayrılır. Tek değişkenli kontrol grafiği sadece bir kalite karakteristiğinin gösterildiği grafik iken çok değişkenli kontrol grafiği ise birden fazla kalite karakteristiğinin gösterildiği grafikdir. Tek değişkenli kontrol grafikleri de kendi içerisinde nitel ve nicel kontrol grafikleri olarak ikiye ayrılır (Çelik, 2015:16).

1. Nicel Kontrol Grafikleri

İlgilenilen kalite özelliği ölçülebilir özellikte ise, bu grafiklere “Nicel Kontrol Grafikleri” denir.

- Shewhart Kontrol Grafikleri,
- Birikimli Toplam (CUSUM) Kontrol Grafikleri,
- Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) Kontrol Grafikleri,
- Hareketli Ortalama (MA) Kontrol Grafikleridir.

2. Nitel Kontrol Grafikleri

Kalite özelliğinin sürekli ve sayısal olarak ölçülememesi, yani hata sayısı gibi belli bir olayın gözlem sayısına dayanması durumunda kullanılan kontrol grafiklerine ise “Nitel Kontrol Grafikleri” denir.

- Hatalı Oranı (p) Kontrol Grafiği,
- Hatalı Sayısı (np) Kontrol Grafiği,
- Örnek Başına Kusur Sayısı (c) Kontrol Grafiği,
- Birim Başına Kusur Sayısı (u) Kontrol Grafiğidir

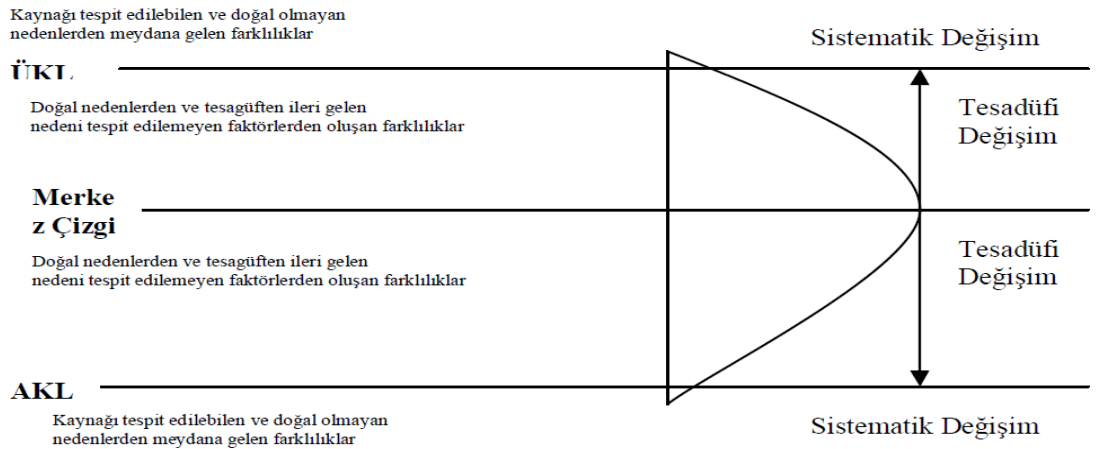
(Çelik, 2015:17).

Çok değişkenli kontrol grafikleri ise Hotelling T^2 , çok değişkenli EWMA ve çok değişkenli CUSUM grafikleridir (Özkale, 2004:41).

Ölçülebilen kalite özellikleri (uzunluk, ağırlık, hacim vb.) için ortalama (X) , standart sapma ve değişim aralığı çizelgeleri kullanılmaktadır. Ölçülemeyen kalite özellikleri (kırık, çatlak, bozuk, lekeli, pürüzlü vb.) ise duyu organlarıyla değerlendirilebilen özelliklerdir (Şen, 2012:43).

Bir süreç kontrol grafiği, genel olarak merkez çizgi ile bunun altına (AKL) ve üstüne (ÜKL) simetrik olarak çizilen kontrol limitlerinden oluşur. Merkez çizgisi kontrolün hedef değerini, limitlerle sınırlanmış alan ise kontrol alanını gösterir. Süreç boyunca elde edilen değerler grafiğe işlenir. Kontrol limitlerinin dışında kalan noktalar, süreçte normal olmayan bir durum olduğunu gösterir. Önlem alınmazsa kusurlu ürün üretilebileceğinin göstergesidir. Kontrol alanı genişliği olarak 3σ genişliği seçilir. 3σ kontrol çizelgelerinde genel değişkenliğe bağlı olarak kontrol dışına çıkma olasılığı %0,3 tür. Şekil 3'te bir kontrol çizelgesi örneği gösterilmiştir (Şen, 2012:38).

Şekil 3: Süreçteki Varyasyon ve Kontrol Limitleri Arasındaki İlişki



Kaynak: Şahin, 2013:59.

Kontrol sınırları ile hipotez testi arasında yakın bir ilişki vardır. Kontrol sınırları içerisindeki bir nokta istatistiksel kontrol hipotezinin red edilmemesi ve bir noktanın kontrol sınırları dışında olması ise istatistiksel kontrol hipotezinin red edilmesine neden olur. Ancak bazen hipotez testi ile kontrol grafikleri arasında farklılıklarda oluşabilir. Hipotez testi aynı zamanda kontrol grafiğinin performansının analizinde de kullanılır. Kontrol grafiğinin performansı için I. Tip ve II. Tip hata olasılıklarını göz önünde bulundurursak, I. Tip hata kontrol altında olan prosesin kontrol dışı kabul edilmesi, II. Tip hata kontrol dışında olan bir prosesin kontrol altında kabul edilmesidir. Bu iki hatayı tamamen yok etmek mümkün olmamakla birlikte, örneklem büyüklüğü genişletilerek hata azaltılabilir (Özkale, 2004:44).

➤ *Shewhart Kontrol Grafikleri*

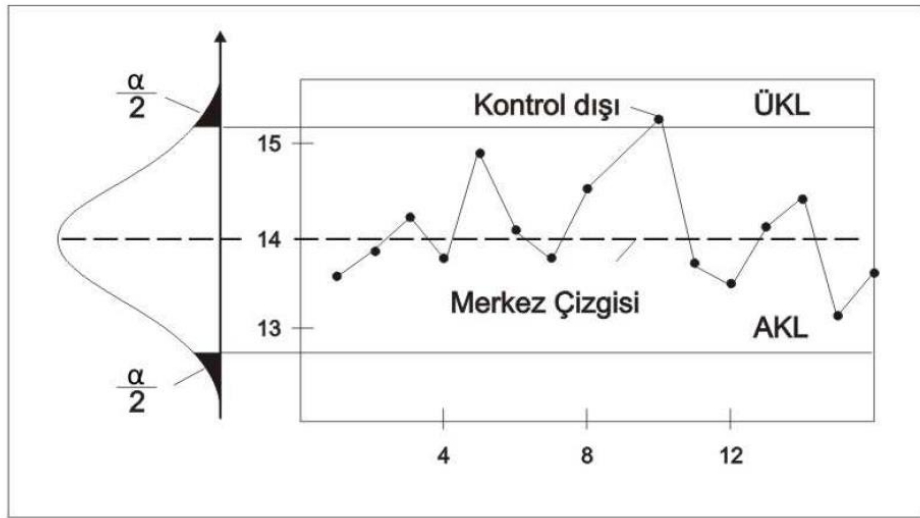
Shewhart kontrol grafiği örneklem sayısına karşı örneklem ortalaması ($\bar{X}$), örneklem değişim aralığı (R) veya standart sapmanın (S) gösterildiği grafiklerdir. Grafikler $\bar{X} - R$ veya $\bar{X} - S$ olarak kullanılır. Çünkü $\bar{X}$ grafiği genel ortalamaya göre durumu incelerken, R ya da S grafiği sürecin değişkenliğini inceler. Eğer yalnızca $\bar{X}$ grafiği kullanılırsa, süreç değişkenliğinde meydana gelen bir hatanın varlığı anlaşılmaz. Sadece R ya da S grafikleri kullanılırsa bu defa da ortalama meydana gelen bir değişiklik anlaşılamayacağından prosesin kontrol dışı olması göz ardı edilecektir (Özkale, 2004:48).

Süreçten alınan örnek büyüklükleri $n > 10$ olduğunda genellikle $\bar{X}$ -S grafiği, $n < 10$ olduğu durumlarda ise $\bar{X}$ -R grafiklerinin kullanılması önerilmektedir (Çelik, 2015:23).

$n \geq 10$ olduğunda değişim aralığının (R) etkinliği düşmektedir. Bunun sebebi, değişim aralığı sadece örneklem içerisindeki maksimum ve minimum değerleri ele alırken, ara değerleri hesaba katmamaktadır. Örneklem büyüklüğünün artmasıyla birlikte hesaba katılmayan ara değer sayısı da artacağından R'nin etkinliği azalır. Uygulamalarda genelde $n \leq 6$ durumlarında R grafiği, $n > 6$ durumu için S grafiği kullanılır (Özkale, 2004:51).

Bir sürecin, grubun ortalama değeri ve aralıkların (minimum ve maksimum) kayıt altına alındığı tabloya “X-R Kontrol Çizelgesi” olarak isimlendirilir. X-R çizelgesinde ürün kalitesine ait parametre devamlı ölçülerek, grupların ortalama değeri ve aralıkları kaydedilir, standart sapma (s) hesaplanarak alt ve üst limitler belirlenir. Daha sonra sürecin kontrol altında olup olmadığı saptanır. Şekil 4’te X-R kontrol çizelgelerine örnek gösterilmiştir (Ülen, 2010:21).

Şekil 4: X-R Kontrol Çizelgesi Gösterimi



Kaynak: Ülen, 2010:15.

2.2.2. Süreç Yeterlilik Analizi

Süreç yeterliliği, istatistiksel yetenek olup tüketici isteklerine göre prosesin ne kadar değişkenlik gösterdiğini özetlemektedir. Süreç yeterlik analizi bir süreci etkileyen doğal sebeplerin meydana getirdiği değişkenlik düzeyinin belirlenmesidir. Bahsedilen değişkenlik iki farklı şekilde özetlenebilir (Şen, 2012:22).

- Belirli bir anda olan değişiklik
- Zaman içinde ortaya çıkan değişiklik

Normal dağılımlar için süreç yeteneğinin belirlenmesinde Cp, Cpk, Pp, Ppk süreç yeterlilik indeksleri kullanılır. Bu indeksler, ürün için tasarlanan spesifikasyonlara (tolerans limitleri) ne kadar uygun üretim yapılabildiğini gösteren sayısal bir ölçümdür. ‘Cp’ prosesin yayılımını ve sınırları belirlenmiş ürünü üretme yeteneğini gösterirken, ‘Cpk’ prosesin hem yayılımını hem de ortalamasının hedef değerden sapmasını gösterir. Bu kontrolün çift yönlü yapılması gerekmektedir. Ayrıca sürecin kusurlu ürün üretme olasılığını hesaplamasından dolayı Cp indeksinden daha üstündür (Şen, 2012:24; Simanova ve Gejdos, 2015:277).

2.2.3.6 Sigma Yaklaşımı

Altı Sigma yaklaşımı, süreçlerin kalitesinin ölçümü ve iyileştirilmesinde kullanılabilen metodolojidir. Altı Sigma araçları, TKY’nin esas kavramlarından süreç yönetimine, devamlı iyileştirme bir çözüm önerisi getirmektedir. Üst düzey bir hedef, sıfır hatalı süreçtir. Bununla birlikte kalitede “sıfır kusur” veya “sıfır tolerans” kavramlarını meydana gelir. (Konak ve diğerleri, 2004:2).

Sigma, istatistikte standart sapmayı ifade ederken, iş hayatında firmaların sürecin değişkenliğinin miktarını, hata miktarını ya da ıskarta ürünlerin miktarını belirler. Farklılaşma büyüdükçe standart sapma büyür, farklılaşma azaldıkça küçülür (Çağlar ve Kurt, 2016:14; Özveri ve Çakır, 2012:18). Sigma düzeyleri ve doğrulukları Tablo 1 ‘de gösterilmiştir.

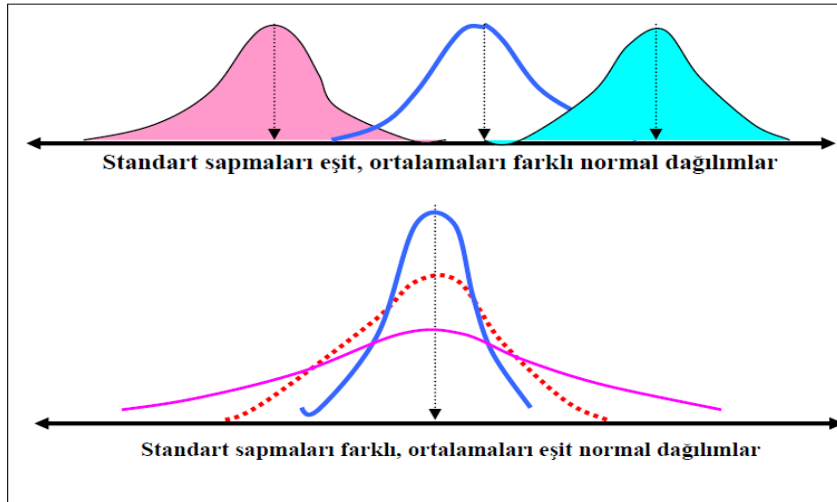
Tablo 1: Sigma Seviyelerine Göre % Doğruluk Oranları

Alt Süreçleri Sayısı	3 Sigma	4 Sigma	5 Sigma	6 Sigma
1	93.32	99.379	99.9767	99.99966
10	50.08	93.96	99.768	99.9966
100	0.01	53.64	97.7	99.966
1000	0	0.2	79.24	99.661

Kaynak: Ergün, 2003:37.

Değişkenliğin neden olduğu belirsizliği yok edebilmek için bir sistemde ortaya çıkabilecek tüm değerlerin, maksimum ile minimum arasında nasıl dağılım gösterdiği, hangi değer kaç olasılıkla ortaya çıkabileceğini gösteren dağılımlara ihtiyaç vardır. Bu olasılık dağılımında sıkça başvurulanan normal dağılımdır. Normal dağılım, sistemlerin normal koşullarda nadir olarak ya da özel olarak ortaya çıkan koşullar dışında ürettikleri değerlerin çan eğrisi gibi bir dağılım şekli gösterdiği dağılımlardır. Kuramsal olarak sonsuz sayıda normal dağılım vardır ve bütün normal dağılımlar ortalama ve standart sapmadan oluşan iki parametrelidir. Normal dağılımlar bu parametre değerlerine göre farklılık gösterirler; ya merkezleri sayı ekseninde farklı yerdedir ya da yayılışları farklıdır. Şekil 5’te bu durumun örneği gösterilmiştir (Ergün, 2003:31).

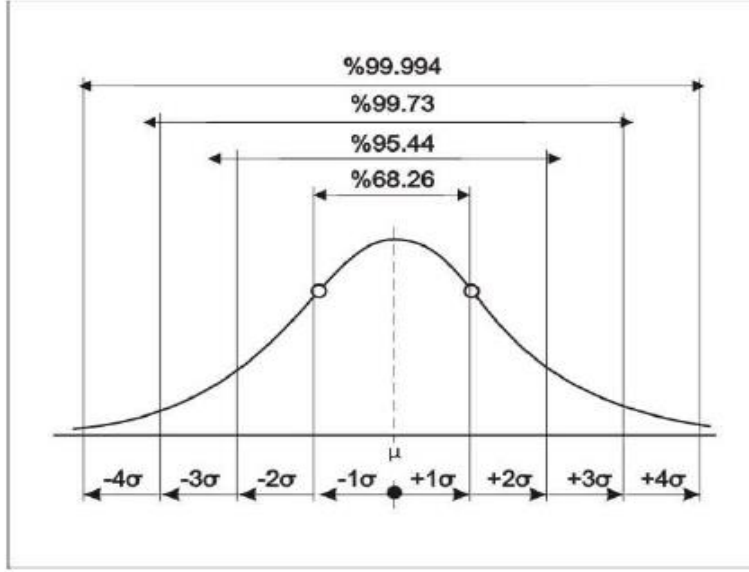
Şekil 5: Normal Dağılımların Parametrelerine Bağlı Farklılıklar



Kaynak: Ergün, 2003:32.

Bir işte yalnızca rassal etmenler etkense rasgele değişken normal dağılır. Normal dağılım eğrisinde %99,73’ü $\pm 3 \sigma$ içinde, %95,45’i $\pm 2 \sigma$, %68,26’sı $\pm 1 \sigma$ aralığında yer alır (Acar, 2012:12, Şahin, 2013:54). Şekil 6’da normal dağılım gösteren bir prosesin sigma seviyeleri gösterilmiştir.

Şekil 6: Normal Dağılım Gösteren Bir Prosesin Sigma Seviyeleri



Kaynak: Ülen, 2010:16.

- ✓ Tek tepeli ortalama ($\bar{X}$) için maksimum değeri alır. Bahsedilen değer standart sapmayla ters ilişkilidir.
- ✓ Eğri altında kalan toplam alan 1'e eşittir.
- ✓ Verilerin %68.27'si ($\mu \pm \sigma$) içinde yer alır.
- ✓ Değerlerin %95.44'ü ($\mu \pm 2\sigma$) içinde yer alır.
- ✓ Değerlerin %99.73'ü ($\mu \pm 3\sigma$) içinde yer alır.
- ✓ Değerlerin %99.9 'u ($\mu \pm 4\sigma$) aralığında bulunur (Ergün, 2003:32).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

Kalite kontrol sistemlerinde dizayn ve uyum kalitesi sadece ölçüm analizleri nihayetinde anlaşırlar. Ölçüm sonuçlarının kalitesi ise, ölçülü şartlarda işleyen ölçüm sisteminden alınan çoğul ölçümlerin istatistiksel özelliklerine bağlıdır (Kavi ve Elevli, 2008:206).

İşletmeler iyi bir süreç yönetimi için Altı Sigma TÖAİK Döngüsü veya İleri Ürün Kalite Planlaması aşamalarını uygulamaktadırlar. Bu amaç doğrultusunda sürecin girdi ve çıktı değişkenleri tanımlanmakta, sürecin anlaşılması için nicel veya nitel problemlerin çözümünü sağlayacak veriler elde edilmektedir. Bu yüzden TÖAİK Döngüsündeki ölçme ve analiz aşamalarında ve İleri Ürün Kalite Planlamasındaki 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 kullanılan bir yöntemdir (Acar, 2012:20).

İleri ürün kalite planlaması sürecinde kullanılan ve proses tasarımı kapsamında faydalanan bütün ölçme sistemlerinin güvenilirliğini adım adım doğrulamaya yönelik yöntemleri içeren çalışmalar ve bunların sonuçlarının değerlendirildiği yönteme Ölçüm Sistemleri Analizi (ÖSA) denir.

ÖSA, değişkenlerin ve bunların etkileşimlerinin ölçüm sistemi performansı üzerindeki etkilerini araştıran istatistiksel bir yaklaşımdır. Üretim sürecindeki varyasyonların belirlenmesinde ve nasıl oluştuklarının tespit edilmesinde kullanılır. Gage R&R tekniği en yaygın ÖSA metotlarından biridir. Değişkenlerin analizinde ise ANOVA ve Xbar-R teknikleri kullanılır. Değişkenlerin kaynağının belirlenmesinde R ya da S grafikler kullanılır (Alizadeh, 2014:4561; Araujo ve diğerleri, 2019:557).

ÖSA'nın amacı değişken bileşenlerini değerlendirmek ve ölçüm sisteminden gelen değişkenliği belirlemektir. Ölçüm sistemi yeterlilik analizi Gage R&R (Repeatability & Reproducibility) olarak da bilinir. (İlerler, 2015:31).ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Ölçüm cihazlarını, ölçüm yapan operatörleri, ölçüm ortamını, ölçüm prosedürlerini ve ölçüm için kullanılan yardımcı ekipmanları içeren, bazı kalite karakteristiklerinin tespit edilmesi için kullanılan metotlara ölçüm sistemi denir (Acar, 2012:20; Saikaew, 2018).

“Ölçme işlemi, herhangi bir varlığın veya olayın ölçülmek istenen özelliğinin, bu özelliğin ölçülmesine yarayan bir ölçek ile aslına uygun olarak betimlenmesidir. Değerlendirme işlemi ise bir karar verme işlemi olup, ölçmeden ayrılır. Değerlendirme işleminde ölçme sonuçları alınır, ölçütle karşılaştırılır ve sonuçların belirlenen koşulu karşılayıp karşılamadığına bakılır.” (Işığık, 2008:2).

İdeal bir ölçüm sistemi her kullanımında, ölçülen her ürün için sıfır değişkenlik, sıfır tolerans ve yeterli ayırım gibi istatistiksel özelliklere sahip olmalıdır. Ancak, uygulamada böyle istatistiksel özelliklere sahip olan ölçüm sistemleri nadir bulunur, bu nedenle daha az istenen istatistiksel özelliklere sahip ölçüm sistemlerini kullanma zorunluluğu ortaya çıkar (Kavi, 2008:6).

Ölçüm sisteminin uygunluğu çoğunlukla ölçülen verilerin istatistiksel özellikleriyle belirlenmektedir. Bir uygulama için en önemli olan istatistiksel özellikler, diğer bir uygulama içinde en önemli olmak zorunda değildir (Kavi, 2008:6). Her ölçüm sistemi farklı istatistiksel özelliklere taşır. Bunun dışında, tüm ölçüm sistemlerinin sahip olması gereken bir kaç esas özellikleri vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Ölçüm sistemi istatistiksel olarak kontrol altında bulunmalıdır yani ölçüm sistemindeki değişkenlik sadece genel nedenlerden kaynaklanmalıdır.
- Üretim sürecinin değişkenliği, ölçüm sistemi değişkenliğinden küçük olmalıdır.
- Spesifikasyon limiti ile karşılaştırıldığında varyans küçük olmalıdır.
- Ölçülen parçalar değiştikçe, ölçüm sisteminin istatistiksel özellikleri değişiklik gösterebilir. Bu durumlarda, ölçüm sisteminin en büyük değişkenliği, süreç değişkenliği veya toleranstan en küçük olanına göre küçük olmalıdır (Kavi, 2008:7).

3.1. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VARYASYON ÇEŞİTLERİ

Ölçüm sistemi değişkenliği, doğruluk ve kesinlik gibi iki ana temele bağlıdır (Kavi, 2008:7).

➤ Doğruluk

- Kararlılık
- Eğilim
- Doğrusallık

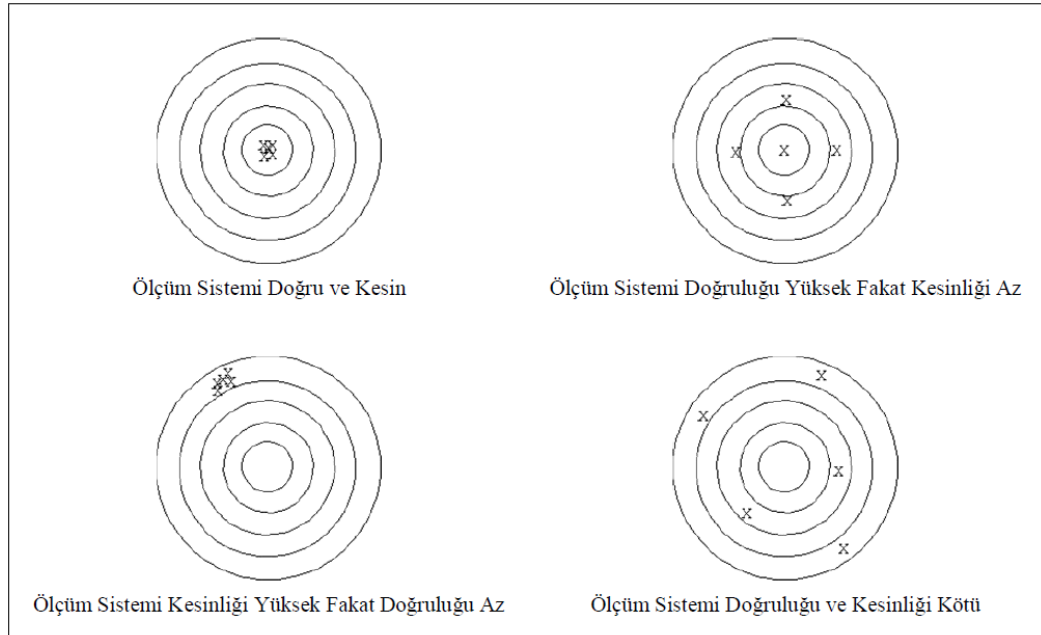
➤ Kesinlik

- Tekrarlanabilirlik
- Tekrar üretilebilirlik (tekrar yapılabilirlik)

Ölçüm sonucunun uygunluğu, doğruluk ve kesinlik olmak üzere iki etkene bağlıdır. Doğruluk, reel değerlerin doğru şekilde ölçülebilmesi iken, kesinlik ölçüm sonuçlarının birbirlerine yakınlıklarıdır. (İlerler, 2015:24).

Doğruluk ve kesinlik arasındaki ilişki Şekil 7’dir. Şekilde tüm işaretler ölçüm sonucunu göstermektedir. Ortadaki alan reel değer olduğu alandır. Ölçüm sonuçları ortadaki alanda toplandığında doğru ve kesin bir ölçümü gösterirken, merkezden uzaklaşıp, dağıldığında ölçümde sıkıntı olduğunu göstermektedir.

Şekil 7: Doğruluk ve Kesinlik Arasındaki İlişki



Kaynak: Kavi, 2008:8.

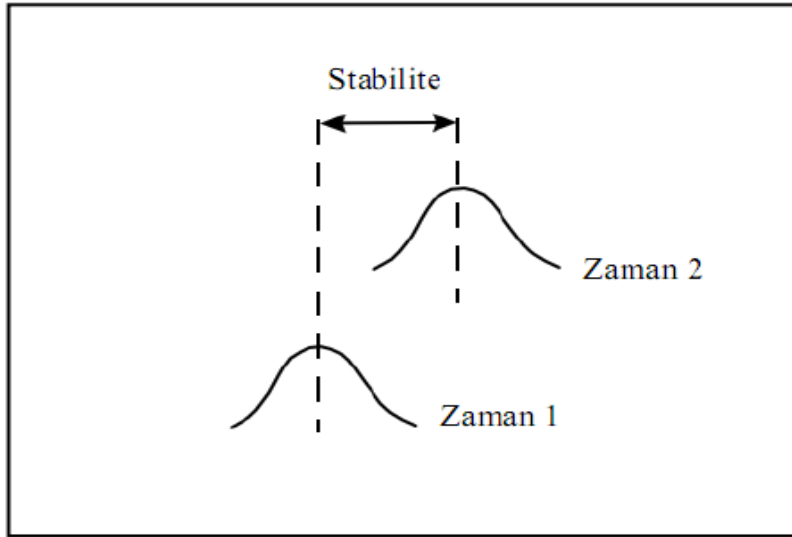
3.1.1. Doğruluk

Ölçüm sonucu ile ilgili parçanın gerçek değeri arasındaki farktır. Sonuçların gerçek değere yakınlığını gösterir (Kavi, 2008:8).

3.1.2. Kararlılık

Kararlılık (stabilite), ölçüm sisteminin belirli bir cihazla aynı parçanın tek bir özelliğini zamana bağlı olarak ne kadar doğru ölçtüğünün bir göstergesidir. Bu durum Şekil 8’de gösterilmiştir (Kavi, 2008:9).

Şekil 8: Kararlılık



Kaynak: Acar, 2012:22.

Ölçüm sistemi kararlılığı, sistemin belirlenen veya master parça (parça boyutlarının, geometrik biçimlerin ve bazen parça yüzey kalitesinin kontrolünde kullanılan kontrol aletleri) üzerindeki eğiliminde zaman içindeki toplam sapma miktarı ile ölçülmektedir (Acar, 2012:21).

Kararlılık çalışmasında, izlenebilir standartlara göre referans değerler belirlenir. Eğer böyle bir parça mevcut değilse, 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 şemalarının oluşturulması gerekmektedir (Acar, 2012:22).

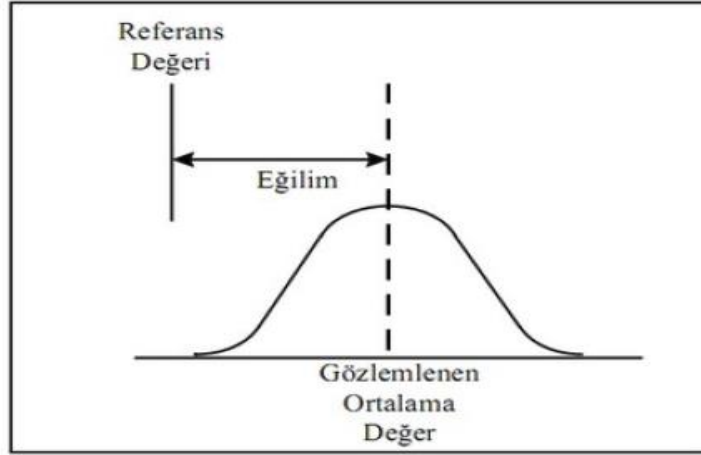
Ölçüm sistemi kararlılığı ile daha genel bir terim olan istatistiksel kararlılığı birbirinden ayırt etmek çok önemlidir. Yani, aynı master parçayı ölçen iki ölçüm sistemi olabilir. Her ikisinin de istatistiksel kararlılığı kanıtlansa bile, sistemlerden birinin zaman içindeki eğiliminde diğerinden daha fazla sapma görülebilir. İstatistiksel olarak, iki sistem de “aynı düzeyde” kararlıdır fakat ölçüm sistemi analizi açısından bakıldığında, ölçüm cihazı kararlılığı açısından zaman içinde daha büyük eğilim sapması olan bir sistem diğerinden daha az “kararlı” diye söylenebilir (Kavi, 2008:10).

Ölçüm sisteminin istatistiksel kararlılığında en önemli nokta sistemin kararlı kaldığı sürenin uzunluğudur. “Kısa Dönemli Kararlılık” ve “Uzun Dönemli Kararlılık” gibi kavramlar bazen ölçüm sistemi analiz metotları için varsayım olarak görülmektedir. Ancak herhangi bir sürecin istatistiksel kararlılığının analizinde zaman önemli bir faktörken, sistemin kararlılık analizi sırasında maruz kaldığı şartlar daha da önemlidir. İstatistiksel kararlılık, kontrol grafikleri kullanılarak belirlenir. Kontrol grafiği kullanılarak yapılan bir ölçüm sistemi kararlılık çalışmasında, tekrarlanan master veya master parça ölçümlerinin ortalama ve aralıklarını esas alan Ortalama ve Aralık (X-R) grafikleri oluşturulur (Kavi, 2008:11).

3.1.3. Eğilim

Ölçümlerin gözlemlenen ortalaması ve referans değeri arasındaki farka eğilim denir. Referans değeri, yüksek seviyeli bir ölçüm ekipmanı ile yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak saptanabilir. Şekil 9’da eğilim gösterilmiştir (Acar, 2012:23).

Şekil 9: Eğilim



Kaynak: Acar, 2012:23.

Ölçüm sisteminin eğilimini belirlemek için, bir parçanın kabul edilmiş referans değerini elde etmek gerekir. Bu genellikle takım odası ya da yerleşim denetleme ekipmanları ile yapılır. 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. Eğilim 2 metot ile belirlenir (Acar, 2012:23).

1. Bağımsız Örnek Metodu

Bu metotta, izlenebilir standartlara göre referans değerler belirlenmektedir. Eğer böyle bir parça elde yok ise, üretim ölçümlerinin orta-aralığına düşen bir parça seçilerek eğilim analizi için master parça olarak kullanılmaktadır. Parça 10 kez ölçülür ve bu 10 okumanın ortalaması hesaplanır. Bu ortalama “referans değeri” olarak kullanılır. Beklenen ölçümlerin alt noktası, üst noktası ve orta aralığında master parçalar alınabilir, ancak her biri için ayrı analiz gereklidir (Acar, 2012:24).

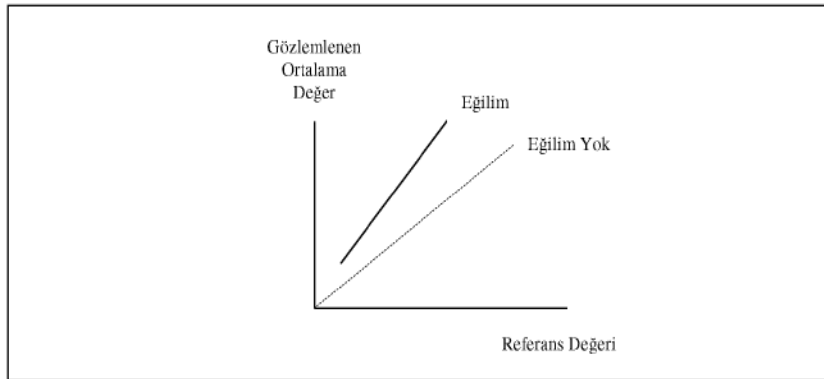
2. Kontrol Grafiği Metodu

Kararlılığı ölçmek için kullanılan X-R veya X-S kontrol çizelgeleri eğilim içinde kullanılmaktadır. Çalışmada belli bir sebebe bağlı standartlara göre referans değerleri belirlenebilir. Bağımsız örnek yönteminde olduğu gibi operatörler tarafından parça 10 veya daha fazla ölçülerek, ölçüm değerlerinin ortalaması hesaplanır. Bu ortalama referans değeri verir (Kavi, 2008:14).

3.1.4. Doğrusallık

Ölçüm cihazının beklenen çalışma aralığı boyunca eğilim değerleri farkı doğrusallığı verir. Çalışma aralığı boyunca seçilen parçalar bir veya daha fazla ölçümcü tarafından ölçülür ve her parça için gözlenen ortalama belirlenir. Referans değerleri ve gözlemlenen ortalamalar arasındaki fark eğilimdir; seçilen her parça için hesaplanır. Doğrusallık grafiği çalışma aralığı boyunca eğilimler ve referans değerleri kullanılarak çizilir. Sistemin doğrusallığı ve doğrusallık yüzdesi, regresyon doğrusunun eğiminden ve parçaların süreç değişkenliğinden hesaplanır (Kavi, 2008:16). Şekil 10' da doğrusallık ilişkisi gösterilmiştir.

Şekil 10: Doğrusallık



Kaynak: Kavi, 2008:15.

3.1.5. Kesinlik

Ölçüm sonuçlarının birbirine yakınlığının ölçüsüdür. Eğer ölçüm sonuçları çarpıcı değişkenlik içermiyorsa, oldukça keskindir (İlerler, 2015:29).

Bir ölçüm sisteminin performansı, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik çalışması ile ölçümlerde oluşan varyasyonlar bulunarak değerlendirilebilir. Tekrarlanabilirlik, aynı üniteyi ölçmek için kullanıldığında ölçüm cihazındaki değişkenliği temsil eder. Tekrar üretilebilirlik, farklı operatörlerden kaynaklanan değişkenliği yansıtır (Kuo ve Huang, 2013:3489).

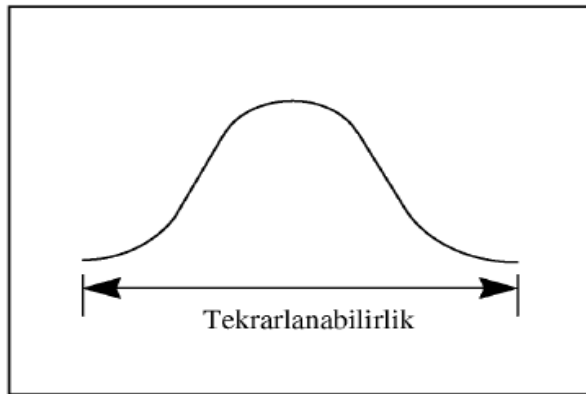
Kesinliğin tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik olmak üzere iki varyasyonu vardır. Tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik çalışması, aynı zamanda ölçüm yeterlilik çalışması olarak adlandırılır. Ölçüm prosedürünün yeterliliğini belirlemede kullanılır (Yaman, 2009:26).

Kesinliğin tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik olmak üzere 2 varyasyonu vardır.

3.1.5.1. Tekrarlanabilirlik

Ölçüm cihazının esas ve doğal kesinliğine denir. Bir ölçüm cihazıyla aynı ölçüde, aynı operatör ile ardışık ölçümler alındığında ölçüm sonuçları arasındaki değişken olarak tanımlanır. (İlerler, 2015:29; Zanobini ve diğerleri, 2016:125). Şekil 11’de tekrarlanabilirlik çizelgesi gösterilmiştir.

Şekil 11: Tekrarlanabilirlik



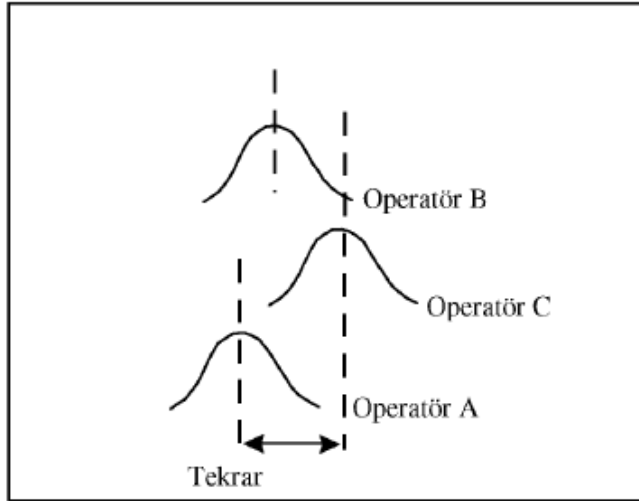
Kaynak: Acar, 2012:25.

Ölçüm işleminin tekrarlanabilirliği, ölçüm sisteminin değişkenliğinin tutarlılığını göstermektedir. Cihazın kendisinden kaynaklanan ölçüm farklılıkları ve parçanın cihaz içindeki pozisyon farklılıkları, genel tekrarlanabilirlik hatalarının nedenleridir. Bu farklar tekrarlanmış ölçümlerin alt grup aralığıyla (R) temsil edildiği için, aralık grafiği ölçüm işleminin tutarlılığını göstermektedir. Eğer “Kontrol dışı” olarak belirlenmiş ise bu noktalarda tutarsızlığın özel sebepleri araştırılmalı ve düzeltilmelidir (Acar, 2012:25).

3.1.5.2. Tekrar Yapılabilirlik

Ölçümleri arasında ilişki olmayan ölçümlerin aynı ölçüm yöntemiyle farklı operatörler ve aynı cihaz kullanılarak alınmasıyla elde edilen kesinlik değişkenidir. Aynı ölçüm cihazı ile aynı ölçümün farklı operatörler tarafından ölçüldüğünde meydana gelen değişkenliktir. Operatörlerin farklılıklarından kaynaklanan etkiyi içerdiği gibi, operatör ve parça etkileşiminden kaynaklanan etkileri de içerir. Hata; operatör, çevre/zaman veya metottan kaynaklı olabilir. Şekil 12’de tekrar yapılabilirlik gösterilmiştir (İlerler, 2015:29; Subulan, 2019:19).

Şekil 12: Tekrar Yapılabilirlik



Kaynak: Acar, 2012:26.

Ölçüm işleminin tekrar yapılabilirliği, ölçüm yapan kişilerin değişkenliğinin tutarlılığını gösterir. Ölçüm yapan kişinin değişkenliği, her ölçümcüye mal edilebilecek artan eğilimi gösterir. Eğer bu eğilim ya da ölçümcü değişkenliği mevcutsa, ölçümcülerin bireysel toplam ortalaması farklı olacağından, her parça için ölçümcü ortalamaları karşılaştırılarak Ortalama Kontrol Grafiğinden izlenebilir (Kavi, 2008:19).

3.1.6. Parça Değişkenliği

Ölçümü yapılan parçalar arasındaki değişkenliktir ve genellikle ortalama kontrol grafiğinde gözlenebilir. Her ölçümcü için, alt grup ortalamaları (1. Ölçüm ortalaması, 2. ölçüm ortalaması vb.) parçalar arasındaki farkları yansıtır. Ortalama grafiğinde her ölçümcü açısından alt grup ortalamalarının %50'den fazlasının kontrol sınırlarının dışında olması istenir. Bu durum parça değişkenliğinin ölçüm cihazından kaynaklanan değişkenlikten daha büyük olduğu anlamına gelir. Ancak böyle bir durumda ölçüm sistemi süreç kontrolü ve analiz için kabul edilebilir. Aksi durumda parça değişkenliği tekrar yapılabilirlik değeri içinde saklıdır ve ölçüm değişkenliği süreç değişkenliğine baskındır. Eğer bu parçalar beklenen süreç değişkenliğini temsil etmesi için seçilmişse ölçüm sistemi süreci analiz etme amacı için kabul edilemez. Ölçüm sistemi yeterli (aralık grafiği kontrol altında) ve parça değişkenliği belirlenebiliyorsa (ortalama grafiğinde noktaların büyük kısmı kontrol sınırlarının dışında ise), ölçüm sisteminden kaynaklanan süreç değişkenliği yüzdesi de belirlenebilir (Kavi, 2008:19).

$$Parça\ değişkenliği\ (PV) = \frac{R_p}{d_2} \times 6$$

Ölçüm sistemiyle ilgili, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik süreç değişkenliği yüzdesi;

$$R\&R = \frac{\sigma_m}{\sigma_t} \times 100$$

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_0^2}$$

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_m^2}$$

σ_m : Ölçüm sistemi standart sapması

σ_e : Ölçüm aleti standart sapması

σ_0 : Ölçümcü standart sapması

σ_p : Parça standart sapması

σ_t : Toplam süreç değişkenliği standart sapması

Ölçüm sistemiyle ilgili, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik Tolerans Yüzdesi;

$$\%T = \left(\frac{\sigma_m}{tolerans} \right) \times 6 \times 100$$

Ölçüm verilerinden yararlanılarak Farklı Veri Kategorileri Sayısı;

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

3.2. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ METOTLARI

Ölçüm analizleri birkaç farklı metot ile yapılabilir. Tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirlik ile ölçülen değişken ölçüm sisteminin performansı, temel olarak, Aralık Metodu, Ortalama-Aralık Metodu ($\bar{X}$ ve R) ve Varyans Analizi Metodu olmak üzere üç farklı teknik ile değerlendirilir. (Alizadeh, 2014:4561; Saikaew, 2018).

Aralık metodu dışında, bu metotlar kullanılarak analiz edilen veriler birbirine çok benzemektedir. Varyans analiz metodu operatör-parça etkileşiminden gelen cihaz hatasını verdiği için sık tercih edilir. (İlerler, 2015:31).

Bütün yöntemlerde parça-içi farklılıklar (yuvarlaklığın tutmaması, çapın gittikçe azalması, düzlüğün tutmaması, vb.) analiz aşamasında göz ardı edilmektedir.

Bundan dolayı, burada bahsedilen tekniklerin herhangi birinde kullanılan örnek parçalar ölçüm cihazı çalışmasından önce, maksimum parça-içi farklılıklar açısından kontrol edilerek örneklenebilirler. Eğer maksimum parça-içi farklılıklar, kontrol edilen özellik için göz ardı edilemeyecek kadar fazla ise, parçaların ölçülecek nokta/konum/pozisyonu açık şekilde işaretlenmelidir. Bu işlem parça-içi değişkenliğini ölçüm cihazı tekrarlanabilirlik değişkenliğinden ayırır. Aksi takdirde ölçüm cihazı değişkenliği içinde bir kısım parça-içi değişkenliğinin bulunduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Kavi, 2008:27).

3.2.1. Aralık Metodu

Ölçüm değişkenliğini pratik şekilde kestirim etmeyi sağlayan metottur. Bu yöntem sadece, ölçüm sisteminin genel bir yapısını ortaya koymaktadır. Varyans, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik şeklinde ayrılmamaktadır. Çalışmada basit olarak en az iki operatör ve beş parça kullanılmaktadır. Operatörler her parçayı bir kere ölçmektedir. Her parçanın aralığı, Operatör A ve Operatör B'nin elde ettikleri değerlerin mutlak farkı ile bulunur. Aralıkların toplamından ortalama aralık (R) bulunur (Acar, 2012:27; Kavi, 2008:27).

3.2.2. Ortalama-Aralık Metodu

Ortalama ve Aralık metodu, tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılan matematiksel bir metottur. Aralık metodundan farklı olarak bu yöntem ölçüm sistemi varyasyonunu tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik olarak iki parça halinde verir. Ancak operatör ve parça/cihaz etkileşimi bu yöntemde analizinde yer vermez. (İlerler, 2015:32; Kavi, 2008:27).

Çalışmada, gerçek veya beklenen süreç varyansını temsil eden $n > 5$ kadar parça seçilir ve uygulamayı gerçekleştirecek operatörler belirlenir. Çalışmanın pratik olması ve uygunluğu açısından maksimum parça sayısı 10 adet seçilmelidir. Parçalar 1'den 10'a kadar numaralandırılır ancak 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.

Parça ölçümü tamamlandığında veriler için grafiksel analizler uygulanmaktadır. Hangi grafiksel araçların kullanılacağı, veri toplamak için uygulanacak olan deneyin niteliğine bağlı olmaktadır (Acar, 2012:29).

Analizler ölçüm sisteminin tamamı için varyans ve süreç varyans yüzdesi, tekrarlanabilirlik, tekrar yapılabilirlik değişkenliği ve parça değişkenliğini tahmin eder. Bu bilgiler grafiksel analiz sonuçları ile karşılaştırılmalı ve sonuçlarla örtüşmelidir (Acar, 2012:30).

Planlanan uygulama için ölçüm sistemlerinin kabul edilir olup olmadığını belirlemek için bu toplam varyans yüzdeleri değerlendirilmelidir. Ölçüm cihazı tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirliği (% R&R) kabul şartları Tablo 2’de verilmiştir.

$$\%R\&R = \frac{\sigma_{ölçüm\ sistemi}}{\sigma_{toplam}} \times 100$$

Tablo 2: Ölçüm Cihazı Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (% R&R) Kabul Şartları

%10’un altında ise	Ölçüm sistemi kabul edilmektedir.
%10 ile %30 arasında ise	Uygulamanın önemine, ölçüm cihazının maliyetine, vb. nedenlere bağlı olarak kabul edilmektedir.
%30’un üzerinde ise	Ölçüm sisteminin geliştirilmesine karar verilir. Problemin bulunması ve çözülmesi gerekmektedir

Kaynak: Kavi, 2008:35.

Ölçüm sisteminin güvenilirliğini ayırt etmek için belirlenen kategori sayısı (ncd-ayirt edicilik) %97 güven aralığında olup, beklenen parça değişkenliğini ifade etmektedir. 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 ölçüm aletinin ayırt edilebilirliği hesaplanmalıdır.

- Eğer Farklı Veri Kategorileri Sayısı ikiden küçükse, ölçüm sistemi süreci kontrol etmek için yeterli değildir.

- Eğer Farklı Veri Kategorileri Sayısı iki ise, verilerin iki gruba ayrılabilceğı anlamına gelir ki bu da veriler sadece nitelik verisi olarak kullanılabilir demektir.
- Ölçüm sistemi süreci analizinde yeterli olabilmesi için, Farklı Veri Kategorileri Sayısı beş ve tercihen daha fazla olması gerekir.

Tolerans yüzdesi, süreç değışkenliğı yüzdesi ve farklı veri kategorileri sayısı ölçüm sisteminin kabul edilebilirliğinin hesaplanmasında kullanılan farklı ölçütlerdir (Acar, 2012:33; Kavi, 2008:21).

➤ *Ortalama-Aralık Metodu İşlem Basamakları*

1. Gerçek veya beklenen süreç değışkenliğini temsil eden 10 parça seçilir. Parçalar 1'den 10' a kadar numaralandırılır.
2. 3 operatör belirlenir. Ölçümcüler 1. Operatör, 2. Operatör ve 3. Operatör olarak isimlendirilir.
3. Ölçüm cihazının kalibrasyonu gerekli ise yapılır.
4. Numaralandırılan parçaları operatörlerin görmemesi gereklidir. 1. Operatör rastgele 10 parça için ölçüm alır ve sonuçlar çizelgeye işlenir. Diğer operatörlerde aynı şekilde ölçüm aldıktan sonra sonuçlar çizelgeye işlenir.
5. Parçalar büyükse veya parçalar aynı anda uygun değilse her operatör aynı parçayı sırayla okur ve çizelgeye işlenir.
6. Eğer operatörler farklı vardiyalarda çalışıyor ise alternatif bir metot belirlenerek ölçüm alınır (Kavi, 2008:28).
7. Çizelge hazırlandıktan sonra sayısal analize geçilir, sonuçlar çizelgeye işlenir. Şekil 13'de çizelge örneğı verilmiştir.

Şekil 13: Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (R&R) Veri İşleme Çizelgesi

Ölçüm	Seçilen Parçalar										Ortalama
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. Operatör											
1.											
2.											
Ort.											$\overline{X_1}$ =
R.											$\overline{R_1}$ =
2. Operatör											
1.											
2.											
Ort.											$\overline{X_2}$ =
R.											$\overline{R_2}$ =
3. Operatör											
1.											
2.											
Ort.											$\overline{X_3}$ =
R.											$\overline{R_3}$ =
Ort. $\overline{\overline{X_p}}$											$\overline{\overline{X}}$
											R_p
$[(\overline{R_1}) + (\overline{R_2})+(\overline{R_3})]/[operator\ sayısı]$											$\overline{\overline{R}} =$
$Max\ \overline{\overline{X}}$ - $Min\ \overline{\overline{X}}$ =											$\overline{\overline{X}}_{DIFF} =$
$(\overline{\overline{R}}) \times (D_4)$ =											UKLR =
$(\overline{\overline{R}}) \times (D_3)$ =											AKLR =

Kaynak: Kavi, 2008:29.

8. R değeri en büyük değerden en küçük değer çıkarılarak hesaplanır. Ortalama değeri ise her bir parça için ölçüm sonuçlarının toplamının ölçüm sayısına bölümünden hesaplanır.

9. 1. Operatörün ölçüm sonuçlarının aralık ortalaması ($\bar{R}_1$) tüm parçaların R değerlerinin toplanıp, toplam örnek parça sayısına bölünmesinden elde edilir. Aynı işlemler 2. ve 3. Operatör içinde hesaplanır.

10. Ortalama aralık $\bar{R} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{R}_3}{\text{operatör sayısı}}$ formülünden hesaplanır. Bu değerden yararlanılarak alt kontrol limiti ve üst kontrol limiti hesaplanır. Hesaplanan UKL_R değerinden daha büyük aralık oluşturan ölçümler, aynı operatör ve aynı örnek parça kullanılarak tekrarlanır yada bu değerler atılarak ortalama tekrar alınır ve bütün aralıkların ortalaması (R) ve limit değeri UKL_R, düzeltilmiş yeni ölçümlere göre tekrar hesaplanır. Kontrol dışına çıkma durumunu yaratan özel sebepler düzeltilir. Eğer daha önce bahsedildiği gibi veriler bir kontrol grafiği kullanılarak çizilmiş ve analiz edilmişse, yukarıdaki durum zaten düzeltilmiştir.

11. Parça ortalamalarını bulmak için ($\bar{X}_p$), her parçanın bütün operatörler tarafından elde edilen ölçüm değerleri toplanır ve ölçüm sayısına (ölçüm sayısı– operatör sayısı çarpımına) bölünür.

12. Parça ortalamaları aralığı (R_p) en küçük parça ortalaması en büyük parça ortalamasından çıkartılarak hesaplanır.

13. Tüm sonuçlar hesaplanıp, kontrol edildikten sonra ölçüm sistemleri tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik analizi formuna geçirilir ve toplam değişkenlik hesaplanır. Şekil 14'deki çizelgede bu formun örneği ve formüller verilmiştir (Kavi, 2008:30).

Şekil 14: Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (R&R) Analizi Formu

Parça No ve İsmi:			Cihaz İsmi:		Ölçümcü A:	
Karakteristik:			Cihaz No:		Ölçümcü B:	
Tanım:			Cihaz Tipi:		Ölçümcü C:	
$\bar{\bar{R}}$	$\bar{X}_{DIFF}$	R_p	Deneme Sayısı (r)	Parça Sayısı (n)	Ölçümcü Sayısı (k)	Tarih

Ölçüm Analizi				% Toplam Değişkenlik (TV)	
Tekrarlanabilirlik – Ekipman Değişkenliği (EV)					
EV	$= \bar{\bar{R}} \times K_1$	Deneme	K_1	% EV	$= 100 (EV/TV)$
=		2	4.56	=	
=		3	3.05	=	
Tekrar Yapılabilirlik – Ölçümcü Değişkenliği (AV)					
AV	$= \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / n \cdot r)}$			% AV	$= 100 (AV/TV)$
=	$= \sqrt{(___ \times ___)^2 - [___ / (___ \cdot ___)]}$			=	
=		Ölçümcü	2	3	=
		K_2	3.65	2.70	
Tekrarlanabilirlik & Tekrar Yapılabilirlik (R & R)					
R & R	$= \sqrt{EV^2 + AV^2}$	Parça S	K_3	% R&R	$= 100 (R\&R/TV)$
=	$= \sqrt{___ + ___}$	2	3.65	=	
=		3	2.70	=	
Parça – Parçaya Değişkenliği (PV)					
PV	$= R_p \times K_3$	4	2.30	% PV	$= 100 (PV/TV)$
=		5	2.08	=	
=		6	1.93	=	
=		7	1.82		
Toplam Değişkenlik (TV)				Farklı Kategori Sayısı (ndc)	
TV	$= \sqrt{R \& R^2 + PV^2}$	8	1.74	ndc	$= 1.41 (PV/R\&R)$
=	$= \sqrt{___ + ___}$	9	1.67	=	
=		10	1.62	=	
				=	

Kaynak: Kavi, 2008:32.

Bütün hesaplamalar 6 sigma tahminine dayalıdır. (n) parça sayısı ve (r) deneme sayısıdır. Eğer karekök içinde negatif bir sayı hesaplanırsa, ölçümcü değişkenliği (AV) sıfır (0) olarak kabul edilir.

$K_1: 6/d_2^*$ ' ye eşittir. d_2^* , ölçüm sayısı (m), (parça adeti x operatör adeti)' na (g) bağlıdır ve bu değer 15' den büyük olarak kabul edilmiştir.

$K_2: 6/d_2^*$ ' ye eşittir. d_2^* , operatör adeti (m) ve (g)' ye bağlıdır (tek aralık hesaplamasından dolayı $g=1$)

$K_3: 6/d_2^*$ ' ye eşittir. d_2^* , parça sayısına (m) ve (g)' ye bağlıdır (tek aralık hesaplamasından dolayı $g=1$) (Kavi, 2008:32).

Ölçüm Birim Analizi kolonu altında, değişkenliğin her bileşeni için normal dağılım eğrisinin altında kalan alanın %99.97'sini kapsayan (6 sigma) standart sapma dağılımı hesaplanır.

Tekrarlanabilirlik veya ekipman değişkenliği (EV), ortalama aralığın (R), (K_1) katsayısıyla çarpımı ile bulunur. Ölçümcü değişkenliği, ekipman değişkenliğini de içerdiğinden, ekipman değişkenliğinin bir kısmı çıkartılarak düzeltilir.

Eğer süreç değişkenliği biliniyorsa ve değeri 6σ ' ya dayandırılmışsa, ölçüm cihazı çalışması verilerinden hesaplanan toplam çalışma değişkenliği (TV) yerine kullanılabilir (Kavi, 2008:33).

Ölçüm sistemi analizinde veriler, grafiksel olarak kontrol grafiklerinde gösterilebilir. Aralık Kontrol Grafiği, sürecin kontrol altında olup olmadığına karar vermek için kullanılır. Ancak, ölçüm hataları ne kadar büyük olursa olsun, kontrol sınırları bu hataya izin verebileceğinden, çalışmadan önce özel sebepler tespit edilmeli ve ortadan kaldırılmalıdır (Kavi, 2008:35).

3.2.3. Varyans Analiz Metodu (ANOVA)

Tsai 1988'de farklı operatörlerin aynı ölçüm aletini kullanmasına bağlı olarak oluşan varyansı ölçünün tekrar yapılabilirliğini ve ölçü aletinin kendi temel kesinliğini göstermesine bağlı olan varyansıda ölçümün tekrarlanabilirliği olarak tanımlamıştır. ANOVA ölçüm hatası ve değişkenlik kaynaklarını analiz etmede kullanılan standart bir tekniktir. Ölçümün değişkenliği, ölçümün tekrar yapılabilirlik ve tekrarlanabilirliğinin birleşiminden oluşmaktadır. Varyansın parça, operatör, operatör ve parça arasındaki etkileşim ve cihaz kaynaklı hata olmak üzere dört kaynağı vardır. Bu metot değişkenlikleri daha kesin hesaplar, deneysel verilerden

parçalar ve ölçümcüler arasındaki ilişki gibi daha detaylı sonuçlar çıkarır. Ortalama ve aralık metodundan farklı olarak operatörlerin parçayı nasıl ölçtüğü konusundaki etkileşimi gösterir (Acar, 2012:34; İlerler, 2015:32). Tablo 3'te değişkenler ve hesaplanmaları gösterilmiştir.

Tablo 3: 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	$\sigma^2 = \frac{MS_P - MS_{OP}}{pk}$
$\hat{\sigma}^2_{\text{tekrarlanabilirlik}} = MS_e$	
$\hat{\sigma}^2_{\text{tekrar yapılabilirlik}} = \frac{(MS_O + (n - 1)MS_{PO} - nMS_e)}{nk}$	
$\hat{\sigma}^2_{\text{ölçüm}} = \frac{(MS_O + (n - 1)MS_{PO} + n(k - 1)MS_e)}{nk}$	

Kaynak: Acar, 2012:36.

Tabloda görüldüğü gibi Varyans Analizi operatörleri, parçaları, operatörlerin ve parçaların etkileşimleri ve ölçüm cihazından kaynaklanan tekrarlama hata faktörünü dikkate alınarak yapılmaktadır (Acar, 2012:35).

Karelerin ortalaması, örnek değişkenliğine tabi tutulduğuna göre ve bu hesaplama da karelerin çıkarılması işlemini içerdiğinden dolayı, negatif varyans tahminleri olasılık dâhilindedir. Bunun anlamı ana değişkenlik bileşenlerinin sıfıra eşit veya yakın değerler taşıması veya örnek büyüklüğünün küçük olmasıdır.

Varyans analizi, farklılıkların rastgele olup olmadığını belirlemeye izin verir. Bu nedenle verilerin toplanma metodu önem taşımaktadır. Eğer veriler rastgele toplanmadıysa bu, eğilim değerlerinin bir kaynağı olabilir. (n) adet parça, (k) adet ölçümcü ve (r) denemede yapılacak ölçümler için eğilime sebep olmayacak dengeli bir tasarım açısından izlenebilecek en basit yol ölçümleri rastgele hale getirmektir. Varyans analizinde rastgele sayılar tablosunun kullanılmasının yanı sıra istatistik paket programları (SPSS, MINITAB vb.) da kullanılmaktadır (Kavi, 2008:38). Tablo 4’te varyans analiz tablosu örneği gösterilmiştir.

Tablo 4: Varyans Analiz Tablosu

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
Toplam > npk-1 Operatör ~ N(0, ω^2) Parçalar ~ N(0, σ^2) F değeri = MS_{op}/MS_e Operatör × Parçalar ~ N(0, γ^2) Ölçüm Cihazı ~ N(0, τ^2)				

Kaynak: Acar, 2012:35.

➤ *Değişkenlerin Hesaplanması*

Standart sapmanın yorumlanması varyanstan daha kolaydır, çünkü orijinal ölçülerle aynı birimi taşımaktadır. Pratikte değişkenliğin temel ölçütü olarak standart sapmanın 6 katı alınabilmektedir. Tablo 5’te, 6 sigma dağılımının, tekrarlanabilirlik (ekipman değişkenliği, EV) ve tekrar yapılabilirlik (Ölçümcü Değişkenliği, AV) için hesaplanması gösterilmiştir.

Parça ve ölçümcü etkileşimi belirginse, değişkenliğin tahmini onu oluşturan bileşenler cinsinden yapılabilmektedir. Yanlışlıkla etkileşimin olmadığı sonucuna varmamak için yüksek bir hassasiyet derecesi seçilmelidir. R&R'nin ne olduğuna karar verdikten sonra süreç performansına göre R&R yüzdesi hesaplanmalıdır (Kavi, 2008:41).

Tablo 5: Değişkenlik Bileşenleri 6 Sigma Dağılımı

Ekipman değişkenliği (EV)	$EV = 6x\sqrt{MS_e}$
Ölçümcü değişkenliği (AV)	$AV = 6x\sqrt{\frac{MS_o - MS_{op}}{n.r}}$
Parça ve ölçümcü etkileşimi	$I = 6x\sqrt{\frac{MS_{op} - MS_e}{r}}$
Parça değişkenliği	$PV = 6x\sqrt{\frac{MS_p - MS_{op}}{k.r}}$
Tekrarlanabilirlik ve Tekrar yapılabilirlik (R&R)	$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2 + I^2}$

Kaynak: Kavi, 2008:41.

3.3. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZ BASAMAKLARI

3.3.1. Ölçüm Planının Hazırlanması

Ölçüm planlanması, ölçülecek kalite karakteristiklerinin seçimini ve ölçüm istasyonlarının belirlenip, düzenlenmesini içerir. Basit nitelikte kalite karakteristiklerinin ölçümü için gerekli olan planlamalar operatör tarafından yapılabilirken, karmaşık yapıya sahip ürünlerde yada daha büyük işletmelerde bu planlama uzman kişiler tarafından yapılmalıdır. Kalite karakteristiklerinde ve

spesifikasyonlarında olası değişiklikler ölçüm operatörüne bildirilmelidir. Üretim süreci içerisinde çeşitli yerlerde ölçüm alımı yapılabilir. Bunlar belirlendikten sonraki adımlar;

- ✓ Ölçüm güvenilirliğinin belirlenmesi,
- ✓ Ölçülecek birimlerin sayısının belirlenmesi,
- ✓ Örneklerin seçiminde kullanılacak yöntemin belirlenmesi,
- ✓ Ölçülecek veri tipinin belirlenmesi (değişken - özellik verisi),
- ✓ Ölçümler için tolerans kriterlerinin belirlenmesi (Cebenoyan, 2018:38).

3.3.2. Örnek Büyüklüğünün Belirlenmesi

Örnekleme, özellikler dikkate alarak kitleden sınırlı miktarda birimlerin alınmasına denir. Kitleyi temsil edebilecek büyüklükteki örneklemelerin kitlenin içinden ve değişik bölgelerinden rasgele olarak çekilerek kitle hakkında çıkarsamada bulunma yöntemidir.(Elevli, 2018:20).

Ölçüm Sistem Analizinde çalışılan örnek büyüklüğünün genellikle 10 parçadan oluşması önerilir. Bununla birlikte, çalışmada varyans analizi metodu kullanılması planlanıyorsa, gözlem yeterliliğine dair α (üretici riski) ve β (tüketici riski) tipi hatalarını esas alan istatistiksel yaklaşımlardan yararlanılması gereklidir. Üreticilerin, nitelikli ürünleri kusurlu olarak değerlendirmelerine neden olma riski taşıyan Tip I (α) hataları ve tüketicilerin kusurlu malları nitelikli ürünler olarak değerlendirme riskini taşıyan Tip II (β) hatalar olarak değerlendirilir. α ve β tipi hataların bilinmesi işletmeler açısından oldukça önemlidir (Kavi, 2008:24; Yeh ve Sun, 2013).

α ve β risklerinin tespit edilmesinden sonra, Varyans Analizi Metodu ile analiz edilmesinde kullanılacak örnek büyüklüğünün, klasik Ölçüm Sistemi Analizinde önerilen örnek büyüklüğü ile karşılaştırılarak yeterliliğinin araştırılması ve bir kabul planı oluşturulması için üretici ve tüketici riski hatalı oranlarının tanımlanması gerekir. Üretici riski hatalı oranı, kabul edilebilir kalite düzeyi olarak tanımlanır ve p_1 ile gösterilir. Tüketici riski hatalı oranı, kabul edilemez kalite düzeyi olarak tanımlanır ve p_2 ile gösterilir. α , β , p_1 ve p_2 değerlerinin belirlenmesinden

sonra, örnek büyüklüğünün olması gereken değerinin hesaplanması ve kabul planının oluşturulması için (n) değeri aşağıdaki gibi hesaplanır (Kavi, 2008:25).

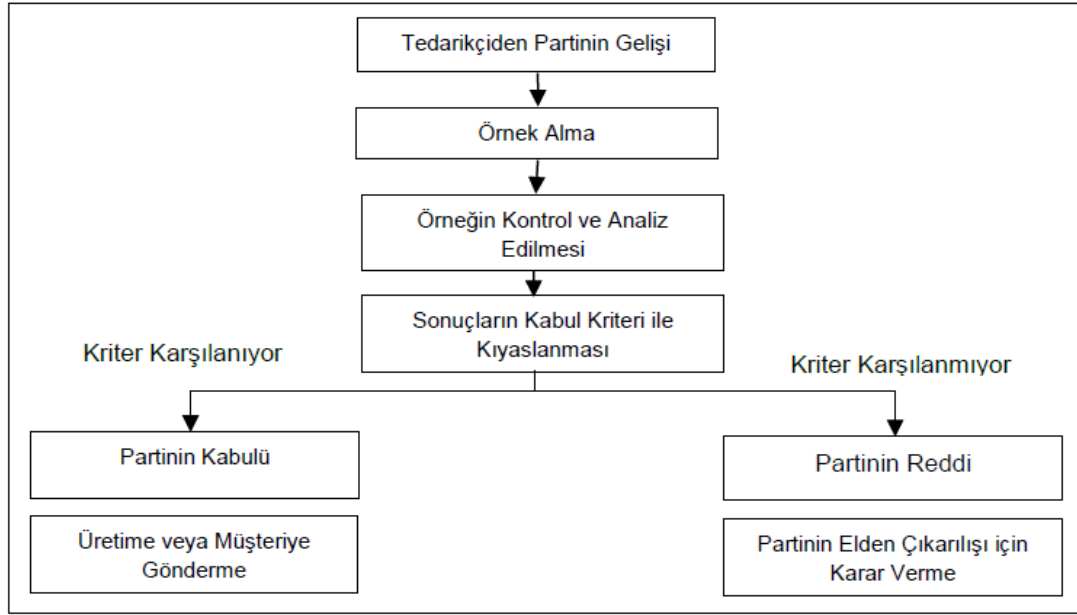
$$n = \left(\frac{z_{\alpha} + z_{\beta}}{z_{p1} - z_{p2}} \right)^2$$

3.3.3. Kabul Örneklemesi

Herhangi bir sürecin çıktısı olan bir partinin kabul veya reddine, belirli büyüklükteki örneklem üzerinden partinin eğilimine göre karar vermek için gerçekleştirilen kontrole kabul örneklemesi denir. Yani partiyi temsil edecek büyüklükte alınan örneklerin belirli bir riskle kabul veya reddini sağlayan muayene ve ya ölçme işlemleridir (Yıldırım, 2015:51).

Tedarik edilen bir partinin üretim sürecine alınması için karar verme aşamasında üç farklı yaklaşım vardır. Bunlar muayene etmeksizin kabul etmek, %100 kontrol ve kabul örneklemesidir. Tedarikçinin süreç yeterlilik indeksinin 3 ve ya daha fazla olması durumunda hatalı malzeme ile karşılaşma ihtimali çok düşük olduğundan kontrol maliyeti oluşmaması için parti direk sürece alınır. Süreçte hata ile karşılaşılması durumunda kabul edilemez boyutta hatalara sebep olacak kritik parçalar için ya da tedarikçi sürecinin tedarik edilen parçadaki hatayı yakalayabilecek yeterliliğe sahip olmaması durumunda %100 kontrol uygulanır (Yıldırım, 2015:51).

Şekil 15: Kabul Örneklemesi Prosedürü



Kaynak: Elevli, 2018:30.

Kabul örneklemesinde iyi bir partinin reddedilmesi ve aksi kötü bir partinin kabul edilmesi riskleri her zaman vardır. İyi bir parti malın örneklem sonucunda reddedilmesi riskine üretici riski denir ve α ile gösterilir. Kötü bir partinin kabul edilmesi riski ise tüketici riskidir ve β ile gösterilir (Yıldırım, 2015:53). Herhangi bir kabul örneklemesinde yanlış karar alma riski istatistiksel anlamda Tablo 6’da verildiği gibi ifade edilebilir.

Tablo 6: Kabul Örneklemesinde Risk

İstatistiksel Kavram	İstatistiksel Kavram	İstatistiksel Kavram
Sıfır Hipotezi	H_0	Partinin kalitesi iyi
Alternatif Hipotez	H_1	Partinin kalitesi kötü
<u>Ho</u> doğru iken <u>Ho</u> ’ın reddi	I. Tip Hata	İyi partinin reddi
<u>Ho</u> yanlış iken <u>Ho</u> ’ın kabulü	II. Tip Hata	Kötü partinin kabulü
I. Tip hata olasılığı	α	Üreticinin riski
II. Tip hata olasılığı	β	Tüketicinin riski

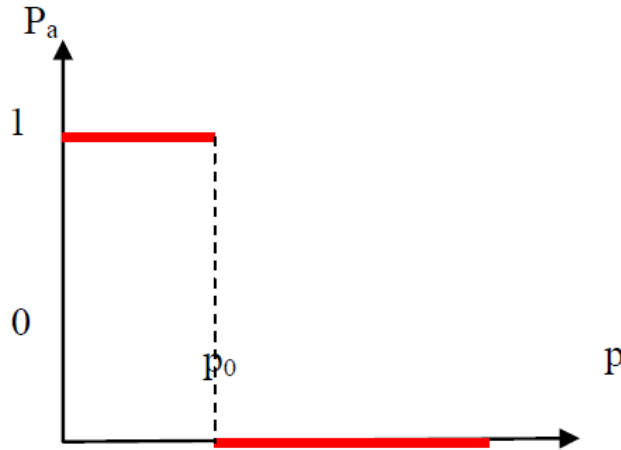
Kaynak: Elevli, 2018:31.

3.3.3.1. İşlem Karakteristiği Eğrisi (OC)

Bir örneklem planı için OC eğrisi, üretici ve tüketici riskinin ölçülmesini sağlar. Bir OC eğrisi, bir partideki kusurlu yüzdesinin (p), o partiyi kabul etme olasılığına (P_a) karşı çizilmiş bir grafikdir. Bu grafik belirli bir kusur oranına sahip bir partinin kabul ya da ret olasılığını gösterir. “ p ” bilinmediğinden tüm muhtemel “ p ” değerleri için olasılık ifade edilmelidir.

Üretici ve tüketici risklerinin sıfır olduğu plan eğrisine ideal plan eğrisi denir. Partide belirlenen p_0 oranından daha fazla kusurlu birim varken tüketicinin bu partiyi kabul etme olasılığı 0, aksi durumda hatalı oranı p_0 ’dan küçük iken kabul etme olasılığı 1 olması durumu ideal durumdur ve plan eğrisi Şekil 16’da gösterildiği gibi olacaktır. Ancak pratikte bu durumun böyle olması neredeyse imkânsızdır.

Şekil 16: İdeal OC Eğrisi



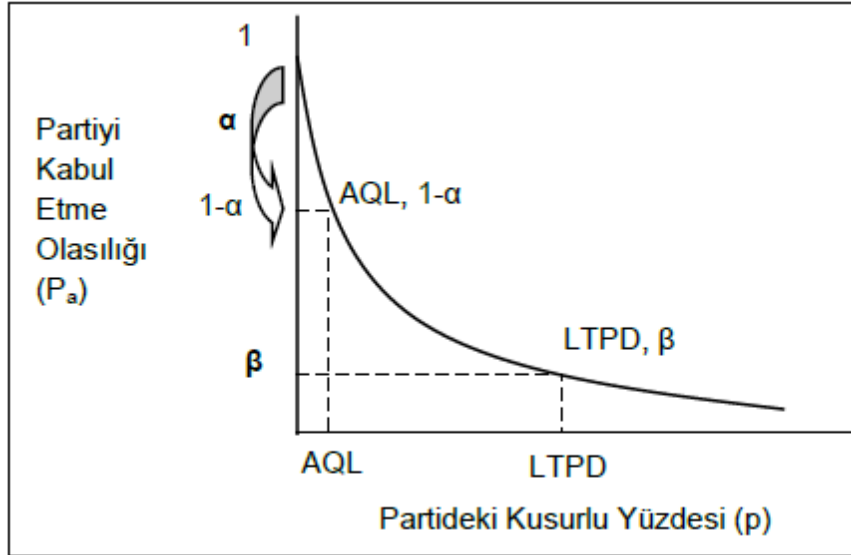
Kaynak: Yıldırım,2015:55.

OC eğrileri belirli bir örneklem planı için tektir ve üretici ve tüketici risklerinin belirlenmesini sağlar. Bu risklerin bulunması için öncelikle Kabul Edilebilir Kalite Seviyesi (Acceptable Quality Level- AQL) ve Parti Toleransı (Lot Tolerance Percent Defective-LTPD)’nın belirlenmesi gerekir. AQL, maksimum kabul edilebilir uygun olmayan ürün yüzdesi, LTPD ise neyin kötü parti olduğuyula ilişkili uygunsuzluk yüzdesidir. Yani müşteri açısından en düşük kabul olasılığına sahip olan kusurlu yüzdesidir. AQL değerine sahip tüm partiler her zaman kabul

edilmeyeceği gibi, LTPD değerli tüm partilerde her zaman reddedilmez. Üretici iyi partilerin yüksek bir olasılıkla kabul edilmesini ister. Tüketici ise kötü partinin kabul olasılığının düşük olmasını ister.

AQL azaldığında iyi bir partinin reddedilme ihtimali (α) de azalır. Benzer olarak LTPD arttığında kötü partinin kabul edilme olasılığı (β) da azalır. AQL üretici ve tüketicinin anlaşması gereken bir husustur. Daha düşük bir AQL üreticinin riskini azaltır, fakat aynı zamanda üretimde daha sıkı bir kontrol gerektirir. Bu nedenle kalite özelliklerini belirlemede ekonomik analiz önemlidir. Şekil 17’de üretici ve tüketici riskleri OC eğrisinde gösterilmiştir (Elevli, 2018:32).

Şekil 17: Üretici ve Tüketici Risklerinin OC Eğrisinde Gösterilmesi



Kaynak: Elevli, 2018:32.

$1-α$ kabul olasılığında gelen bir partideki kusurlu oranı kabul edilebilir nitelik düzeyidir. Bir başka deyişle muayene edilen bir partide saptanmış kusurluların tüketici tarafından kabul edilebilecek en büyük yüzde değeridir. Bir tüketici örneklem planını kabul edilebilir nitelik seviyesini referans alarak oluşturur. Parti kusurlu oranı toleransı, $β$ kabul olasılığına sahip partideki kusurlu orandır. Tüketicinin kabul etmeye gönüllü olabileceği en zayıf kalite seviyesidir (Yıldırım, 2015:54).

3.3.4. Değişkenlerin Belirlenmesi

Bir süreci oluşturan etmenler, süreçte varyansın kaynağıdır. Varyasyon süreçte üretilen ürün veya hizmetin kalitesine etkide bulunur. Dolayısıyla süreçteki varyansın titizlikle izlenmesi, analiz edilmesi ve böylelikle süreci kontrol altına alınması gerekir. Süreçte değişkenlik toplamını süreç ve ölçüm değişkenliği oluşturur. (Şahin, 2013:54).

Süreç değişkenliği ve ölçüm değişkenliği birbirlerini tamamlayan kavramlardır. Ölçümlerin sahip olduğu değişkenlik, ölçüm sisteminden kaynaklanır. Üründe herhangi bir uygunsuzluk olmasa da, ölçüm sistemindeki değişkenlik sonucu ürün uygunsuz olarak yorumlanabilir. Süreç kontrol teorisine göre, üretim süreci işlerken ürün ile ilgili parametrelerde değişkenlikler oluşabilir. Süreç değişkenliğine yönelik aşağıdaki iki parametre üzerinde durulur:

- Sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olması,
- Süreç değişkenliğinin boyutunun belirlenmesi

Süreç içerisinde oluşturulacak sistematik bir çalışma ile hatalı ürünlerin oluşmasına neden olan özel sebepleri tespit etmek mümkün olabilir. Tespiti yapıldıktan sonra geri bildirim ile bu nedenler ortadan kaldırılarak süreç kontrol altına alınabilir (Cebenoyan, 2018:38).

Süreç Değişkenlik Kaynakları: Hammadde, Operatör, Makine, Ekipman vb.

Ölçüm Sistemi Değişkenlik Kaynakları: Ölçüm aleti, Operatör, Ölçüm metodu vb.

3.3.5. Ölçüm Sistemi Yeterlilik Analizi

Üretimde süreç yeterlilik verilerini elde etmeye başlamadan önce belirlenmiş kalite karakteristiğine ait verilerin sağlıklı bir şekilde elde edilmesi gerekir. Bu verilerin İSK teknikleri kullanılarak analizinin yapılabilmesi için güvenilir olması gerekmektedir. Aynı zamanda bu verilerin elde edilmesinde kullanılan ölçüm sistemlerinin (ölçme aleti, operatör, ortam, standart ve yönetmelikler) de güvenilir olması gerekmektedir. Proseste ölçüm sistemi değişkenliğinden kaynaklanabilecek ve süreci olumsuz etkileyecek durumların yok edilmesi istenir. Bu nedenle üretimde

süreç değişkenliğini belirlemeden önce ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenlikler belirlenmelidir (Çakmakçı, 2018:8).

- Ölçüm hatalarının standart sapması, ölçüm sisteminin yeterliliğinin iyi bir tespitleyicisidir.

Toplam değişkenlik= Süreç değişkenliği+ Ölçüm değişkenliği

$$\sigma_{toplam}^2 = \sigma_{parça}^2 + \sigma_{ölçüm}^2$$

Toplam varyansın bu iki bileşeni, kontrol kartları ve diğer istatistiksel yöntemlerle ayrılabilir.

- Ancak bazı durumlarda hesaplanan ölçüm hatalarının standart sapma değeri, tolerans bandı (Spesifikasyon genişliği) ile karşılaştırılmak istenebilir. Bu durumda, toleranslara karşı hassasiyet oranı (P/T) kullanılabilir. P/T oranının 0.1'e küçük eşit olması, ölçüm sisteminin yeterliliğine işaret eder (Çakmakçı, 2018:9).

$$\frac{P}{T} = \frac{kx\sigma_{ölçüm}}{tolerans}$$

k sabiti genellikle 5.15 veya 6 tercih edilir. (Deneysel olarak hesaplanmış değerlerdir).

k=5,15 ise (normal dağılım, olasılık %95-%99 aralığında)

k=6 ise (normal dağılım, olasılık %99'un üzerinde)

- Sinyal/Gürültü Oranı ile de ölçüm sisteminin yeterli olup olmadığı konusunda fikir sahibi olabiliriz: AIAG (1995&2002) aynı zamanda ölçüm sistemi analizinde sinyal/gürültü oranlarının kullanımını ortaya koymuştur. S/N oranı için 5 ve daha fazla değer alması önerilmektedir. 2'nin altındaki değerler, ölçüm sisteminin yetersizliğine işaret etmektedir (Subulan, 2019:13).

$$SNR = \sqrt{\frac{2\sigma_p}{1 - \sigma_p}}$$

- Süreç (Parça) değişkenliğinin, toplam değişkenliğe oranı ile ölçüm sistemlerinin yeterli olup olmadığına bakabiliriz (Çakmakçı, 2019:16).

$$\rho_p = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_{toplam}^2}$$

3.3.6. Ölçüm Sistemleri Analizinin Değerlendirilmesi

Ölçüm sisteminin değerlendirilmesi genellikle iki aşamada yapılır. Bunlardan birinci aşamada, ölçüm sürecini anlamak ve ihtiyaçları karşılayıp karşılamayacağını belirlenirken, ikinci aşamada ölçüm sisteminin kabul edilebilir olması için hangi istatistiksel özelliklere sahip olduğunu belirlenir. Safha 1 testinin iki amacı vardır. Birincisi ölçüm sisteminin ihtiyaç duyulan istatistiksel özelliklere sahip olup olmadığını belirlemektir. Bu tip testler ölçüm sistemi kullanılmaya başlanmadan önce gerçekleştirilmelidir. Eğer test, ölçüm sisteminin uygun özelliklere sahip olduğunu gösterirse, sistem amaçlanan kullanım için kabul edilebilir sayılır ve kullanılabilir. Eğer ölçüm sisteminin doğru özelliklere sahip olmadığı görülüyorsa, bu ölçüm sistemi kullanılmamalıdır. İkincisi ise, hangi çevresel faktörlerin ölçüm sistemi üzerinde kayda değer bir etkisi olduğunu tespit etmektir (Kavi, 2008:22).

Safha 2 testinin amacı ise, kabul edilebilir olarak gözüken bir ölçüm sisteminin uygun istatistiksel özelliklere sahip olup olmadığını belirlemektir. “Ölçüm R&R” olarak adlandırılan çalışma Safha 2 testinin bir biçimidir. Bu test sık sık normal kalibrasyon programı ve bakım programının rutin bir bölümü olarak gerçekleştirilir, fakat bunlardan bağımsız olarak da yapılabilir (Kavi, 2008:22).

Ölçüm sistemlerinin değerlendirmesi için birçok uygun yöntem vardır. Hangi yöntemin kullanılacağını seçimi, değerlendirilecek her ölçüm sisteminin durumuna göre belirlenmesi gereken birçok faktöre bağlıdır. Bazı durumlarda, yöntemin belirli bir ölçüm sistemine uygun olup olmadığını belirlemek için bir hazırlık testi gerekebilir. Bu tür bir hazırlık testi safha 1 testinin parçası olmalıdır (Kavi, 2008:23).

3.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gelipgiden (2001) çalışmasında, ölçüm sistemlerinin analiz edilmesinde niteliksel veriler için uygulanan “Bayes Analizi” ve “Sapma Analizi” metotları ile niceliksel veriler için uygulanan “Aralık”, “Ortalama – Aralık” ve “Varyans Analizi” metotları incelenmiştir. Ayrıca, laboratuvar koşullarının ölçüm değerlerinde ne gibi

değişikliklere sebep olabileceği, ölçüm sistemi hataları sonucu oluşabilecek üretici ve tüketici riskleri uygulamalı olarak hesaplanarak bir kabul örnekleme de geliştirilmeye çalışılmıştır.

Kavi (2008) çalışmasında, sofrta camı üretimi yapan bir firmada ölçüm R&R analizi ile ölçüm sistemindeki değişkenliğin toplam değişkenliğe katkısı kalınlık ve uzunluk ölçümleri için Ortalama–Aralık metodu, ve Varyans Analizi metodunu kullanarak analiz etmiştir. İlk basamakta kalınlık ölçümünden edilen ölçüm verileri sonuçları karşılaştırılmış, Bir çok değer farklılık göstermiştir bunun sebebi diğer yöntemin operatör-parça etkileşimini hesaba katmamasından olduğu gösterilmiş. Her iki yöntem de ölçüm sisteminde iyileştirme yapılmalı sonucu tespit edilmiştir, fakat Ortalama–Aralık Metodu sistemin marjinal olarak kullanılabileceğini de göstermektedir, ancak Varyans analizi bu durum mümkün değildir. Ölçümcü–parça etkileşimi 10 parça kullanılarak yapılan analizine katılmıyorken, 20 parça ile yapılan analizde anlamlı çıkmıştır.

Zeyveli ve Selalmaz (2008) çalışmalarında, zincir üretimi yapan bir işletmede 10 nominal çaplı zincirin alın kaynağı sonrası, deney ve kalibre yapılmadan önce bakla iç boyu ölçüsünün $27,5 \pm 0,5$ olarak elde edilememesi sebeplerini istatistiksel ölçüm analizleri ile tespit etmeye çalışmışlardır. Histogramda veriler kontrol sınırları içinde, kontrol grafiklerinde ise bazı örneklemlerin, kontrol sınırları dışında olduğu belirlenmiştir. Ancak sonuçlar, fabrika üretim tolerans değerleri içinde olduğu için üretim prosesinin kontrol altında olduğu belirtilmiştir. Aynı şekilde düzenlenen Proses Yeterlilik Analizi ile prosesin yeterli olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sorun fabrika imalat tolerans genişliği olarak belirlenmiş tolerans değerlerinin daraltılması önerilmiştir.

Acar (2012) çalışmasında, ölçüm sistemleri analizi ile kauçuk parça üretimi yapan bir işletmenin, farklı vardiyaların da çalışan kalite kontrol operatörleri tarafından alınan ölçümlerin uygunluğunu değerlendirmiştir. Operatörler, birbirlerinin ölçümlerini görmeden uygun parçaları 1, uygun olmayan parçaları 0 olarak değerlendirerek kayıt altına almışlardır. Analize katılan üç operatör arasında uyum olasılıkları hesaplanarak birbirleri ile uyumlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir.

İlerler (2015) çalışmasında, bir dijital X-ışını radyografi cihazı ile farklı malzemelerden imal edilen parçalarla yapılan radyografik çekimler üzerinde ölçüm çalışmaları yaparak ilgili ölçüm sisteminin yeterliliğini ve kapabilitesi Ölçüm Sistemleri Analizi metodu ile değerlendirmiştir. Aynı ölçümcüyle ardışık ölçümler alındığında sonuçlar arasındaki tekrarlanabilirlik değerinin oldukça iyi olması ekipman değişkeninin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Aynı ölçüm cihazı ile aynı karakteristiğin farklı operatörler tarafından yapılan ölçümlerindeki tekrar yapılabilirlik değerinin iyi olmasının sebebi ise ölçüm operatörlerinin uygun şekilde ölçüm yapabildiğini göstermektedir. Elde edilen değer, ncd limit değerinin (5) oldukça üzerinde (60) belirlenmiştir, buda ölçüm tekniğinin uygun olduğunu göstermektedir.

Cebenoyan (2018) çalışmasında, esans üretimi yapan bir kozmetik firmasının üretimi sırasında oluşan ya da oluşabilecek hataları ölçüm sistemleri analizi ile tespit etmeye çalışmıştır. İstatistiksel Kalite Kontrol araçlarından Shewhart Kontrol Kartları ve Süreç Yetenek Analizleri ile ürünlerin spesifikasyon değerlerini karşılayabilme yeteneğini incelemiştir. Süreçte ürün değişkenliğinin etkisi görülmediğinden, gerçekleşen ölçüm değişkenliğinin kaynağını belirleyebilmek için Ölçüm Sistemleri Analizi uygulanmış ve iyileştirme yapılması gereken yerler belirlenmiştir. Analizi yapılan ölçüm süreçlerindeki en büyük hatalar 50 ml şişelerde operatörlerden ($EV < AV$); 100 ml şişelerde ise ölçüm ekipmanlarından kaynaklandığı ($EV > AV$), operatörler arası ortalama ölçümler arasındaki farkın fazla olduğu yani yapılan ölçümlerin sağlıklı bir şekilde alınmadığı görülmüştür. Tekrarlanabilirlik ve Tekrar yapılabilirlik değerlerinin düşük çıkmasının yanı sıra %R&R değerinin %30'dan küçük ve farklı kategori sayılarının dörtten büyük olması; parfüm şişelerin dolumu için oluşturulan ölçüm sisteminin kabul seviyesinde olduğunu göstermektedir. İyileştirme çalışmalarından sonra sürece, Ölçüm Sistemleri Analizi ve Süreç Yetenek Analizi tekrar uygulanarak süreç tekrar incelenmiş ve iyileştirmelerin maliyete etkisi hesaplanmıştır. Sonuçlara göre; süreçteki hata sayısı %50'den fazla azaltılmış, firmanın karı arttırılmış ve sigma seviyesi yükseltilmiştir.

Şahin (2013) çalışmasında, bir tekstil firmasında iplik kalitesini etkileyen faktörlerin iplikler üzerinde meydana getirdiği değişimleri kalite kontrol grafikleri ile incelemiştir. İlk adımda; her kopstan bir gram iplik alınarak uzunluğu ölçülmüştür.

Makineden 30 No ile tanımlanan mamul üretildiğinden, her bir gram ipliğin 30 metre gelmesi istenmektedir. Dört gün süresince fabrikanın üretiminden $n=5$ büyüklüğünde 30'lu örnekler alınarak X ve R kontrol grafikleri oluşturulmuş, birinci gün alınan örneklerde prosesin spesifikasyonları karşılamadığı gibi, ikinci ve üçüncü günde örneklerin yine spesifikasyon limitleri dışında olduğu tespit edilmiştir. Gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra dördüncü gün alınan örneklerde prosesin spesifikasyonları karşıladığı görülmüştür. İkinci adımda; hata sayımının yapıldığı uster testi yapılmıştır. Yine $n=5$ büyüklüğünde 30 örnek alınmış ve her örnek Uster makinasına takılarak burada otomatik olarak iplikler üzerindeki hatalar sayılmıştır. Alınan örneklere ait veriler kontrol grafiğinde incelendiğinde spesifikasyon dışında birimlerin olmadığı görülmüştür. Kontrol grafikleri ile proseste oluşan yada oluşabilecek hataların önlenebileceği tespit edilmiştir.

Yen ve ark. (2014) çalışmalarında, üssel ağırlıklı hareketli ortalamalar tabanlı örneklem kontrol planı oluşturmuşlardır. Üretici ve tüketici beklentilerini dikkate alarak, en az örneklem sayısını hedefleyen; daha önceki örneklem ortalamalarının ağırlıklı ortalaması ile mevcut lottan alınan örneklem sonuçlarının bir araya getirilmesiyle değişkenler için yeni bir örneklem planı önerilmiştir. Süreç getiri indeksi olarak 'Spk' tanımlanmıştır ve bu değer geçmiş veriler ile düzeltme katsayısı ile ilişkilendirilmiştir. Gerekli örneklem sayısı n ve kritik Spk kabul değerinin belirlenmesi için doğrusal olmayan eşzamanlı eşitsizlikler çözülmüştür. Kullanım kolaylığı için yaygın tercih edilen α , β ve düzeltme katsayıları için tablo oluşturulmuştur.

Geleneksel kontrol yöntemlerinde çıkan kusurlu oranı sabit varsayılmaktadır ancak kullanılan hammadde, makine ayarları ve çevresel faktörler gibi nedenlerden gerçek hayatta bu değer değişiklik göstermektedir. Jaraiedi ve Segall (1990) çalışmalarında kusurlu oranının beta dağılıma sahip olduğu süreçlerde, tek ve çift katlı kontrol planlarının çıkan kalite düzeyi için bir matematiksel model sunmuşlardır. Çıkan kalite oranı bir partide bulunan kusurlu oranını ifade ederken ortalama çıkan kalite, uzun vadede beklenen ve kabul edilebilir kusurlu oranı anlamı taşımaktadır. Farklı parametreler ve farklı kabul seviyeleri ile ortalama kalite düzeyleri simülasyon çalışmaları ile belirlenmiştir.

Mast ve Trip (2005) alışmalarında, len numunelerin gerçek değerlerinin değişken olduğu veya numunelerin mlerden etkilendiği durumlarda, bilinen m Sistemi Analizi metotlarının uygulanmasının hemen hemen imkansız olabileceği veya yanlış sonuçlar vereceği belirtilerek, alternatif bir metot ortaya konulmuştur.

Semerci (1998) alışmasında, mlerdeki hata kaynaklarının incelemesi yapılarak, testlerin tekrarlanabilir ve tekrarlanamaz olmasına göre m hatalarına ait belirleyici istatistikler ortaya konulmuş ve m sistemlerinin analizine ilişkin teknikler uygulamalı olarak verilmiştir.

Literatür alışmaları incelendiğinde m Sistemleri Analizin birçok sektörde yer alan işletmelerin üretiminde rahatlıkla uygulanabildiği görülmektedir. Yapılan çalışmaların sonucunda işletmelerin hem kaliteleri hem de karlarını arttırdıkları da analizin önemli etmenlerinden biridir. Bu çalışmanın da plastik sektörü başta olmak üzere birçok üretim sektörüne ışık tutacağı ve beraberinde birçok çalışmaya yol gösterici nitelikte olacağı düşünülmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1. FİRMA TANITIMI

1996 yılında kurulan firma faaliyetlerini günümüze kadar sürdürmektedir. Firma daha kaliteli ürünler üretebilmek amacıyla 2002 yılında kendi ürünlerini üretme kararı almıştır. Gelişmiş satış ağı ile hem yurt içi ve yurt dışı pazarında ciddi hisse sahiptir. Bununla birlikte giderek artış gösteren Pazar hissesiyle ve zenginleşen çeşitleriyle hizmetine devam eden firma, 50'i aşan ülkede ürünlerini satmaktadır.

Müşteri memnuniyetini esas alan firmada en iyisini üretme hedefiyle bünyesinde sürekli iyileştirmeye ARGE çalışması ve kalite standartları uyumluluğuna ehemmiyet gösteren firmanın üretim tesisleri İzmir Torbalı'dadır.

4.2. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Sürecin değişkenliğini ölçmek için 3 operatör, kitleyi temsil edebilecek 10 örnek parça rasgele seçilmiş olup aynı parçayı operatörler zamanın getirdiği kısıtlama sebebi ile 2 kere ölçmüştür. Ölçümü değerlendirecek olan ölçüm cihazı kumpastır. Aşağıdaki aşamaları takip edilmiştir:

1. Her için operatör için ölçüm cihazından alınan verilerle ortalamalar $(\overline{X}_a, \overline{X}_b, \overline{X}_c)$ ve aralıklar $(\overline{R}_a, \overline{R}_b, \overline{R}_c)$ hesaplanmıştır. Bireysel parça ortalamalarından yararlanarak $\overline{\overline{X}}_p$ hesaplanmıştır.
2. Operatör ortalama aralıkları $(\overline{\overline{X}}_{diff})$ hesaplanmıştır. Operatör ortalamalarının ortalama $(\overline{\overline{X}})$, operatör aralıkları ortalamasının ortalaması $(\overline{\overline{R}})$, parça ortalamaları aralığı, $(\overline{R}_p)$ hesaplanmıştır.

$$3. \quad \overline{X}_a = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^r X_{nr}}{n \times r} = \frac{79.8 + 80.5 \dots 79.9}{10 \times 2} = 80.165$$

$$\overline{X}_b = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^r X_{nr}}{n \times r} = \frac{79.7 + 80.6 \dots 79.6}{10 \times 2} = 80.09$$

$$\overline{X}_c = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^r X_{nr}}{n \times r} = \frac{79.5 + 80.6 \dots 80.1}{10 \times 2} = 80.155$$

$$\overline{R}_a = \frac{\sum_{i=1}^n R_a}{n} = \frac{0.1 + 0 \dots 0.1}{10} = 0.07$$

$$\overline{R}_b = \frac{\sum_{i=1}^n R_b}{n} = \frac{0 + 0.1 \dots 0.1}{10} = 0.1$$

$$\overline{R}_c = \frac{\sum_{i=1}^n R_b}{n} = \frac{0.1 + 0.1 \dots 0.1}{10} = 0.05$$

4. Daha sonra Aralık kontrol grafiği için UKL_R ve AKL_R hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7: Genişlik Ölçümleri

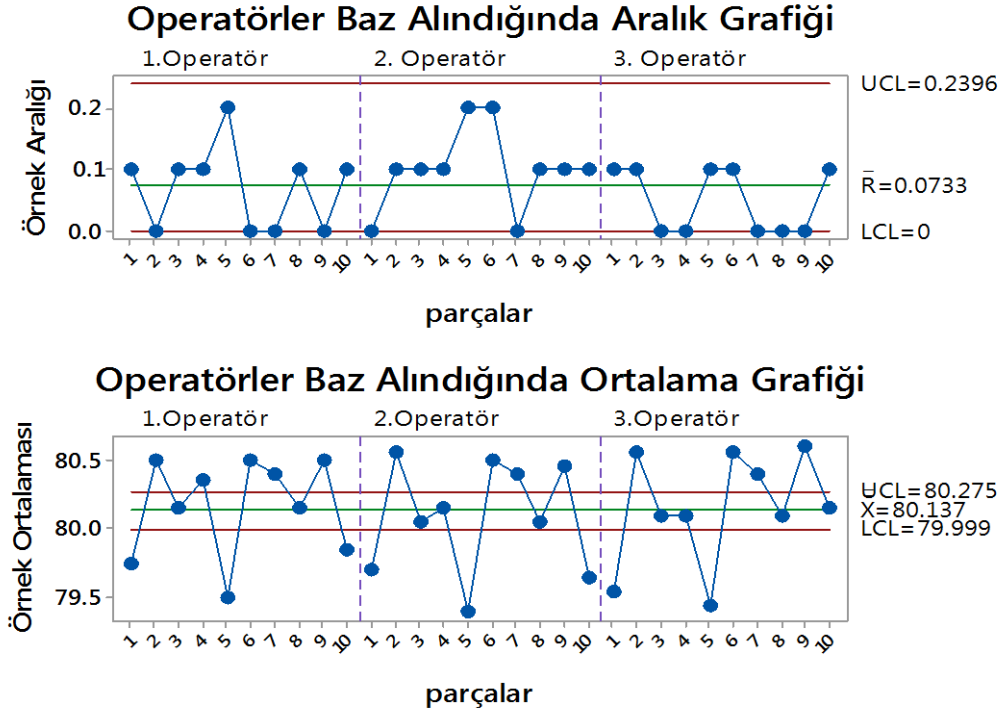
PARÇA.												
OPERATÖR	DENEME.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ORTALAMA
A	1	79.8	80.5	80.2	80.3	79.6	80.5	80.4	80.2	80.5	79.8	80.18
A	2	79.7	80.5	80.1	80.4	79.4	80.5	80.4	80.1	80.5	79.9	80.15
	A ORTALAMA	79.7 5	80.5	80.1 5	80.3 5	79.5	80.5	80.4	80.1 5	80.5	79.8 5	$\bar{X}_a=80.165$
	A ARALIK	0.1	0	0.1	0.1	0.2	0	0	0.1	0	0.1	$\bar{R}_a=0.07$
B	1	79.7	80.6	80.1	80.2	79.5	80.4	80.4	80.1	80.5	79.7	80.12
B	2	79.7	80.5	80	80.1	79.3	80.6	80.4	80	80.4	79.6	80.06
	B ORTALAMA	79.7	80.5	80.0 5	80.1 5	79.4	80.5	80.4	80.0 5	80.4 5	79.6 5	$\bar{X}_b=80.09$
	B ARALIK	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0	0.1	0.1	0.1	$\bar{R}_b=0.1$
C	1	79.5	80.6	80.1	80.1	79.4	80.5	80.4	80.1	80.6	80.2	80.15
C	2	79.6	80.5	80.1	80.1	79.5	80.6	80.4	80.1	80.6	80.1	80.16
	C ORTALAMA	79.5 5	80.5 5	80.1	80.1	79.4 5	80.5 5	80.4	80.1	80.6	80.1 5	$\bar{X}_c=80.155$
	C ARALIK	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0.1	$\bar{R}_c=0.05$
	PARÇA ORTALAMA ($\bar{X}_p$)	0.06 7	0.06 7	0.06 7	0.06 7	1.67	0.1	0	0.06 7	0.03 3	0.1	$\bar{\bar{X}}=0.224$
												$R_p=1.67$
	$(\bar{R}_a + \bar{R}_b + \bar{R}_c)/3$											$\bar{\bar{R}}=0.073$
	$\bar{X}_{\max} - \bar{X}_{\min} =$											$\bar{X}_{\text{diff}}=0.075$
	$\bar{\bar{R}} (0.073) * D_4(3.27) =$											$UKL_R=0.24$
	$\bar{\bar{R}} (0.073) * D_3(0) =$											$AKL_R=0$

Tablo 8: Genişlik Ölçümü Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Analiz Raporu

2			Cihaz İsmi: Kumpas		Ölçümcü A: A	
Karakteristik: Uzunluk			Cihaz No: 1		Ölçümcü B: B	
Tanım: 79.6-80.7 cm.			Cihaz Tipi: 0.00-0.150 mm(0.01mm)		Ölçümcü C: C	
$\bar{R}$ 0.073	σ_{DIFF} 0.075	R_p 1.67	Deneme Sayısı (r) 2	Parça Sayısı (n) 10	Ölçümcü Sayısı (k) 3	Tarih Haziran 2019
Ölçüm Analizi						
% Toplam Değişkenlik (TV)						
Tekrarlanabilirlik – Ekipman Değişkenliği (EV)						
EV	$\bar{R} \cdot K_1$ = 0.073 x 4.56 = 0.33		Deneme 2 3	K_1 4.56 3.05	% EV = 100 (EV/TV) = 100 (0.33 / 2.73) = %12	
AV	$= \sqrt{(X_{DIFF} \cdot K_2)^2 - (EV^2 / n \cdot r)}$ = $\sqrt{(0.075 \cdot 2.70)^2 - [0.33^2 / (10 \times 2)]}$ = 0.19		Ölçümcü K ₂	2 3.65	3 2.70	% AV = 100 (AV/TV) = 100 (0.19 / 2.73) = %6.96
Tekrarlanabilirlik & Tekrar Yapılabilirlik (R&R)						
R&R	$= \sqrt{EV^2 + AV^2}$ = $\sqrt{0.33^2 + 0.19^2}$ = 0.38		Parça S	K ₃	% R&R = 100 (R&R/TV) = 100 (0.38 / 2.73) = %13.9	
Parça – Parçaya Değişkenliği (PV)						
PV	$= R_p \times K_3$ = 1.67 x 1.62 = 2.71			4 5 6 7	2.30 2.08 1.93 1.82	% PV = 100 (PV/TV) = 100 (2.7 / 2.73) = %98.9
Toplam Değişkenlik (TV)						
TV	$= \sqrt{R \cdot R^2 + PV^2}$ = $\sqrt{0.38^2 + 2.71^2}$ = 2.73			8 9 10	1.74 1.67 1.62	Farklı Kategori Sayısı (ndc) ndc = 1.41 (PV/R&R) = 1.41 (2.7 / 0.38) ≅ 10

Elde edilen sonuçlar kontrol grafiğine geçirilmiştir. Şekil 20’de genişlik ölçüm sonuçlarının grafiksel analizi verilmiştir.

Şekil 18: Genişlik Ölçüm Sonuçlarının Grafiksel Analizi



Aralık grafiğine bakıldığında, aralıkların kontrol altında olduğunu söylemek mümkündür. Yani tüm ölçümler tutarlı ve operatörler ölçüm cihazının kullanımı hemen hemen aynı şekilde kullanmışlardır.

Elde edilen veriler kaynağında ortalama grafiğinde kontrol sınırları dışına çıkan parça sayısı kontrol edildiğinde, parça ortalamalarının büyük kısmının kontrol dışında olduğunu söylemek mümkündür. Bu da demektir ki parça varyansı ölçüm sisteminin varyansına göre, daha fazladır. Dolayısıyla ölçüm sisteminin parça değişkenliğini belirlemede yeterli olduğu görülmektedir.

Ölçüm sistem sürecinin kontrolünün yeterliliğini test etmek için farklı kategoriler adeti hesaplanarak bulunabilir.

$$\frac{PV}{R \& R} * \sqrt{2}$$

$$= \frac{1.7496}{0.4398} * \sqrt{2} = 10.018 \approx 10$$

Farklı kategoriler sayısı yaklaşık olarak 6'dır. %R&R, %13.9 çıkmıştır. %R&R %10 ile %30 arasında ölçüm sistemleri uygunluk kriterlerini sağlamaktadır. Bu da ölçüm sisteminin süreç değişkenliğini ölçmek için yeterli olduğunu göstermektedir. Ayrıca farklı kategoriler sayısı yaklaşık olarak 10 çıktığından dolayı ölçüm sistemi süreç kontrolü için yeterlidir.

Tablo 9: Varyans Analiz Metodu Sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Toplam Kare	Ortalama Kare	F-test değeri	P-değeri
Parça.	(9)	7,67267	0,852519	42,5865	0
Operatör.	(2)	0,06633	0,033167	1,6568	0,219
Parça.*Operatör.	(18)	0,36033	0,020019	4,2897	0
Tekrarlanabilirlik.	(30)	0,14	0,004667		
Toplam	(59)	8,23933			
ANOVA Yöntemi ile Gage R&R Tablosu					
Kaynak	Varyans Bileşenleri		% Katkı		
Total Gage R&R	0,013		8,57		
Tekrarlanabilirlik.	0,004667		3,08		
Tekrar Yapılabilirlik.	0,008333		5,49		
Operatör	0,000657		0,43		
Parça*Operatör	0,007676		5,06		
Parça	0,13875		91,43		
Toplam Varyasyon	0,15175		100		
Kaynak	Standart Sapma(SD)		6xSD	%SV	
Total Gage R&R	0,114018		0,684108	29,27	
Tekrarlanabilirlik.	0,068313		0,409878	17,54	
Tekrar Yapılabilirlik.	0,091287		0,547722	23,43	
Operatör	0,02564		0,15384	6,58	
Parça*Operatör	0,087612		0,525672	22,49	
Parça	0,372492		2,234952	95,62	
Toplam Varyasyon	0,389551		2,337306	100	

Tablo 10: Genişlik Ölçüm Sistemi MINITAB Ortalama-Aralık Metodu Sonuçları

Kaynak	Varyans Bileşenleri	% Katkı	
Total Gage R&R	0,005552	4,56	
Tekrarlanabilirlik.	0,004224	3,47	
Tekrar Yapılabilirlik.	0,001328	1,09	
Parça	0,116126	95,44	
Toplam Varyasyon	0,121678	100	
Kaynak	Standart Sapma(SD)	6xSD	%SV
Total Gage R&R	0,074511	0,447066	21,36
Tekrarlanabilirlik.	0,06499	0,38994	18,63
Tekrar Yapılabilirlik.	0,036445	0,21867	10,45
Parça	0,340773	2,044638	97,69
Toplam Varyasyon	0,348824	2,092944	100

Firmadan alınan veriler kaynağında Ortalama-Aralık Metodu ve Varyans Analiz Metodu ile analiz edildikten sonra, elde edilen sonuçlar Tablo 11’de gösterildiğı gibi karşılaştırılmıştır.

Tablo 11: Varyans Analiz Metodu ve Ortalama–Aralık Metodu Sonuçlarının Karşılaştırılması

Değişkenler	ANOVA	Ortalama-Aralık
EV	0,41	0,39
AV	0,55	0,22
I	0,15	-
R&R	0,68	0,45
PV	2,23	2,045
TV	2,34	2,093
% R&R	29,27	21,36
% EV	17,54	18,63
% AV	23,43	10,45
% PV	95,62	97,69

Sonuçlar karşılaştırıldığında, Ortalama-Aralık metodu ile yapılan analizde ekipman değişkenliği yaklaşık olarak 0.39 iken Varyans Analiz Metodunda yaklaşık olarak 0.41 çıkmıştır ve değerler birbirine yakındır. Burada dikkat çeken farklılıklardan birisi de R&R değeridir. Ortalama-Aralık metodu ile yapılan analizde R&R yaklaşık olarak 0.45 iken Varyans Analiz Metodu ile yapılan analizde R&R yaklaşık olarak 0.68’dir. Bunun nedeni Ortalama-Aralık metodunda parça-operatör

ilişkisi göz ardı edilirken Varyans Analiz Metodunda bu ilişki dikkate alınmıştır. Ayrıca ANOVA modellemesinde Parça-Operatör etkileşiminin F değerine karşılık gelen p değeri 0'dır. $p=0$, kabul edilen $\alpha=0.05$ güven düzeyinden daha düşük olduğu için Parça-Operatör arasındaki etkileşim ölçüm sistemi sürecine istatistiksel anlamlı bir katkısı vardır. Operatörlerin etkisi incelendiğinde ANOVA metodunda F değerine karşılık gelen p değeri 0.219'dur; kabul edilen " $\alpha=0.05$ " güven düzeyinden daha büyük olduğu için operatörlerin ölçüm sistemi analizine anlamlı bir katkısı olmadığı görülmektedir.

Sonuç olarak bu üç operatörün ölçümleri arasında bir fark olmadığı görülüyor fakat özdeş başka kumpas ölçüm cihazıyla bu parçalar tekrar ölçülüp kontrol edilmelidir. Çünkü Parça-Operatör ilişkisi ölçüm sistemi süreci için anlamlı bir etki oluşturmuştur. Varyans Analiz Yöntemini kullanmamış olsaydık Parça-Operatör ilişkisi ölçüm sistemi sürecine anlamlı bir katkısı olduğunu göremeyebilirdik. Ölçümlerin tam ve eksiksiz yapılması firmada maliyet açısından iyileştirme sağlayacaktır.

4.2.1 Varyans Analiz Metodu Örnek Yeterlilik Testi Sonuçları

Varyans Analiz Metodu kullanarak yapılan araştırmalarda ölçüm için alınan parçalar genel olarak 10 seçilmektedir. Fakat bu genelleme her zaman doğru olmayabilir. Firmanın ürünler için sunduğu tolerans limitleri, Ölçümcü-Parça İlişkisi, Ölçümcü Etkisi gibi etkenler ölçüm sistemi analizinin değişkenliğini arttıracığından dolayı seçmemiz gereken parça boyutu değişebilir.

Varyans Analiz Metodu için örnek yeterliliği planında α (Üretici Riski) ve β (Tüketici Riski) tipi hatalarını esas alan bir analiz metodu kullanılmalıdır. Gerçek üretim varyansı olan $(\sigma_g)^2$ 'nin ve ölçüm değişkenliği $(\sigma_m)^2$ tanımlanmasından sonra α ve β tip hataları EK-4'den faydalanarak hesaplanabilir.

Varyans Analiz Metodu kullanılarak yapılan analiz için örneklem yeterlilik analizi işlemi aşağıdaki gibidir;

1. Ölçüm sistem sürecinin değişkenliği hesaplanır. Önceden yapılan kontrollerden faydalanarak sürecin standart sapması 0.49 'dır.

$$\sigma_x = 0.49$$

$$\sigma_x^2 = 0.24$$

$$\sigma_m = 0.114$$

$$\sigma_m^2 = 0.013$$

$$\sigma_g^2 = \sigma_x^2 - \sigma_m^2$$

$$\sigma_g^2 = 0.24 - 0.013 = 0.227$$

$$\sigma_g = 0.476$$

$$\sigma_g = 0.476$$

2. Gerçek değişkenliğin ölçüm değişkenliğine oranı yardımı ile r oranı bulunur.

$$r = \frac{\sigma_g}{\sigma_m} = \frac{0.476}{0.114} = 4.18 \cong 4$$

3. (ASS), (ÜSS), μ değeri ile k_1 ve k_2 hesaplanır. Bu üretim için belirlenmiş olan ASS, ÜSS ve μ sırasıyla; 79.6, 80.7 ve 80.14'dir.

$$k_1 = \frac{(\mu - \text{ASS})}{\sigma_g} = \frac{80.14 - 79.6}{0.35} \cong 1.5$$

$$k_2 = \frac{(\text{ÜSS} - \mu)}{\sigma_g} = \frac{80.7 - 80.14}{0.35} \cong 1.5$$

$$k_1 = k_2 = 1.5$$

4. Test sınırlarının spesifikasyon sınırlarından $b_1\sigma_m$ ve $b_2\sigma_m$ kadar içerde olduğu düşünülerek test sınırları ve σ_g 'nin σ_m 'ye oranını belirleyen (r) katsayısı yaklaşık olarak 5 çıkmıştır.

$$\text{ATS} = -(k_1 \cdot \sigma_g - b_1 \cdot \sigma_m)$$

ATS: Alt Test Sınırı

$$\text{UTS} = -(k_2 \cdot \sigma_g - b_2 \cdot \sigma_m)$$

ÜTS: Üst Test Sınırı

b_1, b_2 : Test katsayıları

Plastik firması test sınırlarında bir değişiklik yapmayarak spesifikasyon sınırını kullanmak istemiştir. Dolayısıyla $b=0$ 'dır. Bulunan değerlerle Ek 4'de yer alan 'Üretici Tüketici Riskleri Tablosundan' $\alpha = 0.0325$ ve $\beta = 0.0205$ olarak bulunmuştur.

5. Üretici riski hatalı oranı, kabul edilebilir kalite düzeyi olarak tanımlanır ve genellikle p_1 ile gösterilir. Tüketici riski hatalı oranı, kabul edilemez kalite düzeyi olarak tanımlanır ve genellikle p_2 ile gösterilir Plastik firmasında kabul edilebilir hata

oranı $p_1=0.01$, kabul edilemez hata oranı $p_2=0.1$ olarak belirlenmiştir. (Firmanın verdiği güven düzeyleri)

6. Elde ettiğimiz p_1, p_2, α, β değerlerini standartlaştırmak için Ek 3’de yer alan ‘z Dağılım Tablosundan’ sırasıyla 2.33, 1.28, 1,845, 2,4 olarak bulunmuştur.

7. Örneklem büyüklüğü aşağıdaki gibidir.

$$n = \left(\frac{z_{\alpha} + z_{\beta}}{z_{p_1} - z_{p_2}} \right)^2 = \left(\frac{1.845 + 2.4}{2.33 - 1.28} \right)^2 \cong 16$$

Ölçüm sisteminde varyans analiz metoduyla genel olarak kullanılan 10 parça örneklem büyüklüğü burada yetersiz görülmüştür. Bu yüzden 6 parça daha örnek alınıp aynı operatörlere tekrar ölçüm yapılması istenmiştir. 16 parça ile analizler yeniden uygulanmıştır.

Tablo 12: Genişlik Ölçüm Verileri (n=16)

		PARÇA																
OPERATÖR	DENEME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	ORTALAMA	
A	1	79.8	80.5	80.2	80.3	79.6	80.5	80.4	80.2	80.5	79.8	80.5	80.1	80	80.5	80.2	80.4	80.21875
A	2	79.7	80.5	80.1	80.4	79.4	80.5	80.4	80.1	80.5	79.9	80.5	80.1	80	80.5	80.2	80.4	80.2
	A ORTALAMA	79.75	80.5	80.15	80.35	79.5	80.5	80.4	80.15	80.5	79.85	80.5	80.1	80	80.5	80.2	80.4	$\overline{X}_a=80.21$
	A ARALIK	0.1	0	0.1	0.1	0.2	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	$\overline{R}_a=0.044$
B	1	79.7	80.6	80.1	80.2	79.5	80.4	80.4	80.1	80.5	79.7	80.5	80.1	80	80.5	80.2	80.4	80.18125
B	2	79.7	80.5	80	80.1	79.3	80.6	80.4	80	80.4	79.6	80.5	80.1	80	80.5	80.2	80.4	80.14375
	B ORTALAMA	79.7	80.5	80.05	80.15	79.4	80.5	80.4	80.05	80.45	79.65	80.5	80.1	80	80.5	80.2	80.4	$\overline{X}_b=80.16$
	B ARALIK	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	$\overline{R}_b=0.0625$
C	1	79.5	80.6	80.1	80.1	79.4	80.5	80.4	80.1	80.6	80.2	80.4	80.1	80	80.5	80.2	80.3	80.1875
C	2	79.6	80.5	80.1	80.1	79.5	80.6	80.4	80.1	80.6	80.1	80.4	80	80	80.5	80.2	80.3	80.3
	C ORTALAMA	79.55	80.55	80.1	80.1	79.45	80.55	80.4	80.1	80.6	80.15	80.4	80.05	80	80.5	80.2	80.3	$\overline{X}_c=80.19$
	C ARALIK	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	$\overline{R}_c=0.0375$
	PARÇA ORTALAMA ($\overline{X}_p$)	0.067	0.067	0.067	0.067	1.67	0.1	0	0.067	0.033	0.1	0	0.03	0	0	0	0	$\overline{\overline{X}}=80.19$
																		$R_p=1.67$
	$(\overline{R}_a+\overline{R}_b+\overline{R}_c)/3$																	$\overline{\overline{R}}=0.048$
	$\overline{X}_{\max}-\overline{X}_{\min}=$																	$\overline{X}_{\text{diff}}=0.05$

Tablo 13: Genişlik Ölçümü Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Raporu (n=16)

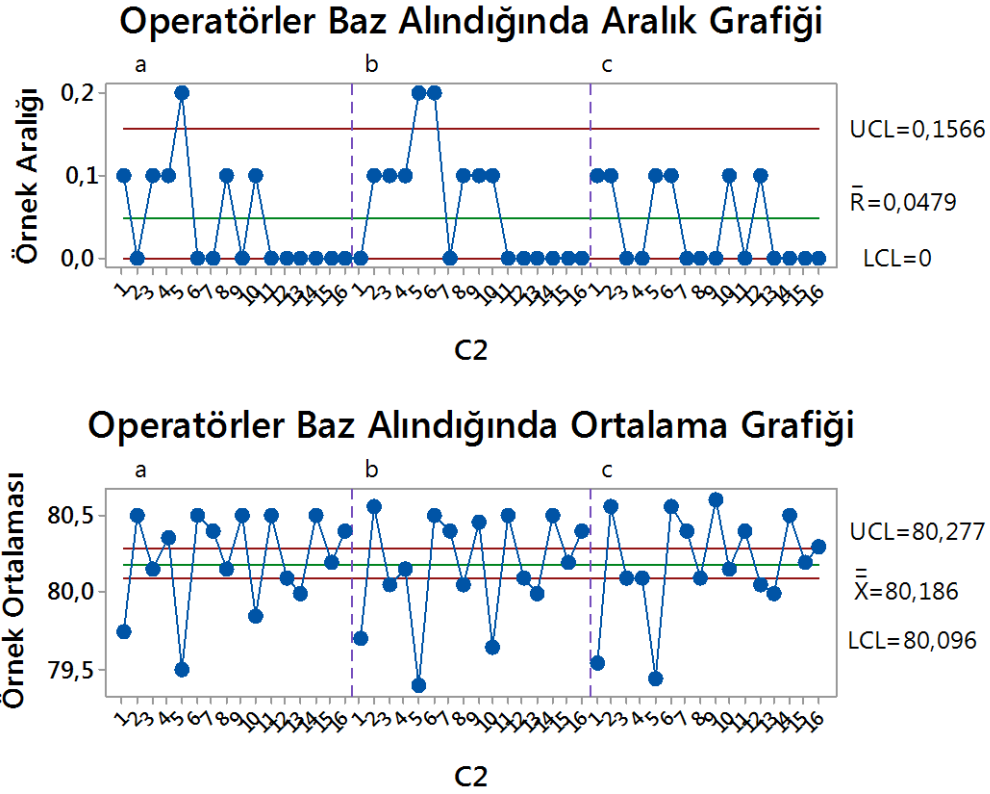
2			Cihaz İsmi: Kumpas		Ölçümcü 1: A	
Karakteristik: Uzunluk			Cihaz No: 1		Ölçümcü 2: B	
Tanım: 79.6-80.7 cm.			Cihaz Tipi: 0.00-0.150 mm(0.01mm)		Ölçümcü 3: C	
$\bar{R}$	$\bar{x}_{DIFF}$	R_p	Deneme Sayısı (r)	Parça Sayısı (n)	Ölçümcü Sayısı (k)	Tarih
0.048	0.05	1.67	2	16	3	Haziran 2019
Ölçüm Analizi				% Toplam Değişkenlik (TV)		
Tekrarlanabilirlik – Ekipman Değişkenliği (EV)						
EV	= $R * K_1$ = 0.048 x 4.56 = 0.22		Deneme	K_1	% EV	= 100 (EV/TV) = 100 (0.22 /2.71) = %8
			2	4.56		
			3	3.05		
AV	= $\sqrt{(X_{DIFF} * K_2)^2 - (EV^2 / n * r)}$ $\sqrt{(0.05 * 2.70)^2 - [0.22^2 / (16 \times 2)]}$ = =0.13				% AV	= 100 (AV/TV) = 100 (0.13 / 2.71) = %4.8
		Ölçümcü	2	3		
		K2	3.65	2.70		
Tekrarlanabilirlik & Tekrar Yapılabilirlik (R & R)						
R & R	= $\sqrt{EV^2 + AV^2}$ $\sqrt{0.22^2 + 0.13^2}$ = = 0.26		Parça S	K3	% R&R	= 100 (R&R/TV) = 100 (0.26 / 2.71) = %9.6
			2	3.65		
			3	2.70		
Parça – Parçaya Değişkenliği (PV)			4	2.30	% PV	= 100 (PV/TV) = 100 (2.7 / 2.71) = %99.6
PV	= $R_p \times K_3$ = 1.67 x 1.62 = 2.7		5	2.08		
			6	1.93		
			7	1.82		
Toplam Değişkenlik (TV)			8	1.74	Farklı Kategori Sayısı	
TV	= $\sqrt{R\&R^2 + PV^2}$ $\sqrt{0.26^2 + 2.7^2}$ = = 2.71		9	1.67	ndc	= 1.41 (PV/R&R) = 1.41 (2.7 / 0.26) = 15
			10	1.62		

Tablo 14: Genişlik Ölçüm Sistemi MINITAB Varyans Analiz Metodu Sonuçları (n=16)

Katkı	Serbestlik Derecesi	Toplam Kareler	Ortalama Kareler	F-Test değeri	P-değeri
Parça	15	9,44	0,629333	46,5455	0
Operatör	2	0,0977	0,048854	3,6133	0,039
Parça*Operatör	30	0,4056	0,013521	3,0905	0
Tekrarlanabilirlik	48	0,21	0,004375		
Toplam	95	10,1533			
Gage R&R Sonuçları ANOVA Tablosu					
Kaynak	Varyans Bileşenleri		% Katkı		
Total Gage R&R	0,010052		8,92		
Tekrarlanabilirlik	0,004375		3,88		
Tekrar Yapılabilirlik	0,005677		5,04		
Operatör	0,001104		0,98		
Parça*Operatör	0,004573		4,06		
Parça	0,102635		91,08		
Toplam Varyans	0,112687		100		
Kaynak	Standart Sapma(SD)	6xSD	%Marjinal Katkı		
Total Gage R&R	0,10026	0,60156	29,87		
Tekrarlanabilirlik	0,066144	0,396864	19,7		
Tekrar Yapılabilirlik	0,075346	0,452076	22,45		
Operatör	0,033229	0,199374	9,9		
Parça*Operatör	0,067623	0,405738	20,14		
Parça	0,320368	1,922208	95,44		
Toplam Varyans	0,33569	2,01414	100		

Elde edilen sonuçlar kontrol grafiğine geçirilmiştir. Şekil 21’de n=16 örneklem sayısı için genişlik ölçüm sonuçlarının grafiksel analizi verilmiştir.

Şekil 19: Genişlik Ölçüm Sonuçlarının Grafikselsel Analizi (n=16)



Şekil 19’da 16 parçalık ölçüm değerlerinden yararlanarak çizilen ortalama ve aralık grafiği görülmektedir. Aralık grafiğinde ölçümlere bakıldığında aralık değerlerinin kontrol altında olduğu görülmektedir. Fakat daha ayrıntılı incelendiğinde 3. Operatörün diğer operatörlerden daha farklı olduğu gözlemlenebilir. 3. Operatörün ölçüm ortalamaları diğer operatörlere göre daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Elde edilen veriler kaynağında ortalama grafiğinde kontrol sınırları dışına çıkan parça sayısı kontrol edildiğinde, parça ortalamalarının büyük kısmının kontrol dışında olduğunu söylemek mümkündür. Parça varyansının ölçüm sistem varyansından büyük olmasıdır. Dolayısıyla ölçüm sistemi parça değişkenliğini belirlemede yeterlidir.

Ölçüm sistem sürecinin kontrolünün yeterliliğini test etmek için farklı kategoriler adeti hesaplanarak bulunabilir.

$$\frac{PV}{R \& R} * \sqrt{2}$$

$$= \frac{2.7}{0.26} * \sqrt{2}$$

$$=14.69 \approx 15$$

Farklı kategoriler sayısı yaklaşık olarak 15'dir. %R&R ise, %9.6 çıkmıştır. %R&R %10'dan daha küçük bir değere sahip olduğu için ölçüm sistemleri uygunluk kriterlerini sağlamaktadır. Ölçüm sistemi süreç değişkenliğini ölçmek için yeterlidir. Ayrıca farklı kategoriler sayısı yaklaşık olarak 15 çıktığından dolayı ölçüm sistemi süreç kontrolü için yeterlidir. Burada göze çarpan farklılık varsayım kontrollerindedir % R&R 10 parça ile yapılan Varyans Analiz Metodu ile 13.9 iken 16 parça ile yapılan analizde 9.9 çıkmıştır. Ölçüm yeterlilik analizinin yapılmasının sonucunda 16 parça ile yapılan analizde ölçüm sistemi uygunluk kriterlerine daha yaklaştığı gözlemlenmiştir. 16 parça ile yapılan Varyans Analiz Metodu sonuçları ile 10 parçayla yapılan Varyans Analiz Metodu sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15: Parça Sayılarına Göre Varyans Analiz Metodu Sonuçlarının Karşılaştırılması

Değişkenler	n=10	n=16
EV	0,41	0,4
AV	0,55	0,45
I	0,15	0,2
R&R	0,68	0,6
PV	2,23	1,92
TV	2,34	2,01
% R&R	29,27	29,87
% EV	17,54	19,7
% AV	23,43	22,45
% PV	95,62	95,44

10 parça ile yapılan analizde operatörler arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamsız çıkarken, 16 parça ile yapılan analizde bu değişken istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır ve analize dâhil edilmiştir. 16 parça için yapılan Varyans Analiz Metodu ile 10 parça ile yapılan Varyans Analiz metodu karşılaştırıldığında Tekrarlanabilirlik-Tekrar yapılabilirlik değişkeni 0.68'den 0,6'ya, ölçümcü değişkeni ise 0.55'den 0.45'e düşmüştür. Ölçümcü-Parça etkileşiminden kaynaklanan değişkenlik ise 0.15'den 0.20'ye yükselmiştir. Örnek yeterlilik analizi sonucu

firmadan alınan parça sayısı arttırılmış ve bunun sonucunda ölçümcü değişkenliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ortalama-Aralık Metodu analiz sonuçları Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16: Genişlik Ölçüm Sistemi MINITAB Ortalama-Aralık Metodu Sonuçları (n=16)

Kaynak	Varyans Bileşenleri	%Katkı	
Total Gage R&R	0,0054878	5,75	
Tekrarlanabilirlik	0,0039406	4,13	
Tekrar Yapılabilirlik	0,0015472	1,62	
Parça	0,09002	94,25	
Toplam Varyans	0,0955078	100	
Kaynak	StdDev (SD)	6xSD	%SV
Total Gage R&R	0,07408	0,44448	23,97
Tekrarlanabilirlik	0,062774	0,376644	20,31
Tekrar Yapılabilirlik	0,039335	0,23601	12,73
Parça	0,300033	1,800198	97,08
Toplam Varyans	0,309043	1,854258	100

16 parça ile yapılan Varyans Analiz Metodu ve Aralık-Ortalama Metodu sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 17’de verilmiştir

Tablo 17: Varyans Analiz Metodu ve Ortalama–Aralık Metodu Sonuçlarının Karşılaştırılması (n=16)

Değişkenler	ANOVA	Ortalama-Aralık
EV	0,4	0,37
AV	0,45	0,24
I	0,2	
R&R	0,6	0,44
PV	1,92	1,8
TV	2,01	1,85
% R&R	29,87	23,97
% EV	19,7	20,31
% AV	22,45	12,79
% PV	95,44	97,08

Ortalama-Aralık Metodunda Parça-Operatör ilişkisi göz ardı edildiği için birçok değer farklılık göstermektedir. Burada ölçümcü değişkenliği ve R&R değerleri arasındaki farklar göze çarpmaktadır. Bunun sebebi iki yöntem arasındaki bahsedilen farklılıktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Artan dünya standartları sebebiyle artan rekabetin karşısında gelişmeye çalışan firmalar, ürün ve hizmet kalitesini iyileştirmeye çalışmaktadır. Bu yüzden kalite kontrol stratejilerini çok iyi belirlemeli ve buna göre hareket etmelidir.

Firmada üretilen ürünler istatistiksel olarak kararlı bir şekilde ilerlerken ürünlerin kalite karakteristiği belirlenmesi gerekmektedir. Ölçümlerle sürecin spesifikasyonu sağlama derecesi süreç yeterlilik indeksleriyle ölçülür. Bu indekslerinin daha güvenilir olması için ise ölçümden gelen verilerin sağlıklı olması gerekmektedir. Ölçüm verilerinin daha sağlıklı olması için ise ölçüm sistemleri analizinin önemini göstermektedir.

Bu tez çalışmasında PVC masa örtüsü yapan bir plastik firmasının ürettiği masa örtülerinin genişliği ölçülüp ölçüm sürecinin modeli kurulmuştur. Yapılan bu çalışmada ölçüm sistemleri için önerilen 10 örnek parça örnek kullanılmış ve ölçümlerden elde edilen verilerle ölçüm analizi sistemi uygulanmıştır. Fakat Varyans Analiz Metodu kullanarak yapılan analizlerde tavsiye edilen 10 parça örnek kullanımının her zaman doğru olmadığı bu çalışmada gösterilmiştir. Buradan anlaşılabileceği gibi Varyans Analiz Metodu ile bir analiz yapılmadan örnek yeterlilik analizi yapılması uygun olacaktır. Bu çalışmada Varyans Analiz Metodu için 10 parçalık bir örnek alınmış ve daha sonra üretici ve tüketici risk değerlerine göre örnek yeterlilik analizi uygulanarak örnek büyüklüğünün en az 16 olması uygun görülmüştür.

Öncelikle çalışmada 10 parça ile örnek alınarak kumpas ile ölçülmüş elde edilen veriler ölçüm sistemleri analizinde, Varyans Analiz Metodu ve Ortalama-Aralık Metodunda uygulanmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

10 parça örnek ile yapılan Ortalama-Aralık metodunda Ekipman Değişkenliği 0.39 iken Varyans Analiz Metoduna göre 0.41 çıkmıştır değerler birinine yakın iken, Operatör Değişkenliği Ortalama-Aralık metodunda 0.22 iken Varyans Analiz Metodunda 0.55 çıkmıştır ayrıca Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik değeri Ortalama-Aralık Metodunda 0.45 iken Varyans Analiz Metodunda 0.68 katsayısına sahiptir. Bu farklılıkların sebebi Ortalama-Aralık Metodunun Parça-Operatör ilişkisini göz ardı etmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca ANOVA modellemesinde Parça-Operatör etkileşiminin F değerine karşılık gelen p değeri 0'dır. $p=0$, kabul

edilen $\alpha=0.05$ güven düzeyinden düşük olduğu için Parça-Operatör arasındaki etkileşim ölçüm sistemi sürecine istatistiksel anlamlı bir katkısı vardır. Bu yüzden Parça-Operatör ilişkisini göz ardı ettiği için bir çok değerin farklı çıktığı Ortalama-Aralık metodu bu modelleme için tavsiye edilmemiştir. Ayrıca her ne kadar da Operatör değişkeninin F değerine karşılık gelen p değeri 0.219 olduğu görüp yapılan analiz için kabul edilen “ $\alpha=0.05$ ” güven düzeyinden büyük olup operatörlerin modele istatistiksel olarak anlamlı bir katkısını göremesek de Varyans Analiz Yöntemi kullanılması Parça-Operatör ilişkisinin modele anlamlı bir katkısı olduğu göstermiştir bu yöntem kullanılmamış olsaydı bu değişkeni hesaba katmamış olacaktık.

Bu Ölçüm Sistemleri çalışmasında tavsiye edilen 10 parça örnek ile çalışılmıştır. Fakat her ne kadar Ortalama-Aralık metodunda tavsiye edilen 10 parça örnek ile çalışılabilse de Varyans Analiz Yönteminde 10 parça örnek sistemin değişkenliğini tam olarak karşılayamayabilir. Bu çalışma bunu desteklemiştir. Plastik firmasından alınan 10 parça örnek ile çalıştıktan sonra Varyans Analiz Yöntemi için örnek yeterlilik analizi yapılmıştır ve 16 parça örnek alınmasına karar verilmiştir. Örnek yeterlilik analizi yaparken üretici ve tüketici riskleri göz önünde bulundurarak kabul örneklemesine başvurulmuştur. Firmanın belirlediği kabul edilebilir hata oranı (p_1) ve kabul edilemez hata oranları (p_2) ile süreç değişkenliğini kullanarak hesaplanan değerler ile α, β sırasıyla üretici ve tüketici riski için EK-4’deki tablodan yararlanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır ve 16 parça örnek ile çalışılması uygun görülmüştür.

16 parça ile yapılan Varyans Analiz Metodunda elde edilen sonuçlar ile 10 parça ile yapılan Varyans Analiz Metodu karşılaştırılmıştır. Ölçümcü Değişkeni 0.55’den 0.45’e düştüğü gözlemlenmiştir. Ölçümcü-Parça etkileşimi 0.15’den 0.20’e yükselmiştir. Diğer değişkenlerin önemli bir ölçüde değişikliğe uğramadığı gözlemlenmiştir. 16 parça örnek ile oluşturulan Varyans Analiz Yöntemi için yapılan ANOVA’da Operatör değişkeninin F değerine karşılık gelen p değeri 0.039’dır. $p=0.039$ değeri, kabul edilen “ $\alpha=0.05$ ” güven düzeyinden düşük olduğu için parça-operatör arasındaki etkileşim ölçüm sistemi sürecine istatistiksel anlamlı bir katkısı vardır. Buna karşı 10 örnekle yapılan Varyans Analiz Metodunda Operatör değişkeninin F değerine karşılık gelen p değeri 0.219 bulunmuştu ve istatistiksel

olarak ölçüm sistemi sürecine anlamlı bir katkısı olmadığı tespit edilmiştir. 16 örnek parça ile yapılan Varyans Analiz Metodunda ise Operatör Değişkeni ölçüm sistemi analizine istatistiksel olarak anlamlı bir katkı sağlamıştır.

16 örnek ile Ortalama-Aralık metodu ile Varyans Analiz metodu karşılaştırılmış, Parça-Operatör değişkeni Ortalama-Aralık metodunda göz ardı edilmesinden kaynaklanan değişiklikler gözlemlenmiştir. Ortalama-Aralık metodunda Operatör değişkenliği, Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik değerleri sırasıyla 0.24, 0.44 iken Varyans Analiz Metodunda sırasıyla 0.45, 0.60 tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonuçlarından anlaşılabileceği üzere ölçüm sistemi analizi yapılırken Varyans Analiz Metodu uygulanmaya karar verilir ise elde edilen değerler ile örnek yeterlilik analizi yapılması gerekmektedir. Varyans Analiz Metodu sonuçlarına bakıldığında Operatör Değişkenliği 0.45 iken Ekipman Değişkenliği 0.40 bulunmuştur. Operatör değişkenliği Ekipman değişkenliğinden büyük olduğu için ölçüm sistemi sürecinin değişkenliğini etkileyen en büyük faktör operatörler olarak saptanmıştır. Plastik firmasından alınan parçalarla gerçekleştirilen ölçüm sistemi sürecinde geliştirilme yapılması gerekmektedir.

PVC masa örtüsü üreten plastik firmasında yapılan analizler sonucunda ölçüm sistemi sürecinin değişkenliğini etkileyen en büyük faktör operatör olarak belirlenmiştir. Firma için ISO 9001:2000 madde 7.3 Tasarım ve Geliştirme ve 7.5.6 maddesi olan izleme ve ölçme cihazının kontrolü başlığı altında yer alan “Kuruluş yaptığı izleme ve ölçmelerin, güvenilir olması için gerekli kalibrasyon ve doğrulama işlemlerini gerçekleştirmeli, söz konusu cihazların taşınması ve depolanması sırasında, izleme ve ölçmeleri geçersiz kılacak durumları önlemek için gerekli tedbirleri almalıdır.” Paragrafının getirdiği sorumlulukla; özdeş olan başka bir ölçüm cihazı ile daha öncesinden kabul edilen parçalar arasından rassal olarak seçilen örneklerde yapılan gözlemlerde, ölçüm sistemi analizi yapan ölçüm cihazı tarafından kabul edilen parçaların bir bölümünün belirlenen spesifikasyonlara uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Spesifikasyonlara uygun olmayan parçalar sebebiyle yaşanabilecek daha büyük duruş kaybı sebebiyle oluşabilecek maliyetin önüne geçilmiştir. Ayrıca ölçüm yapan operatörlere kumpas kullanımı ve bakımı ile ilgili eğitim verilmesi önerilmiştir.

KAYNAKÇA

Acar, Ö. (2012). *Niteliksel Ölçüm Sistemleri Analizi ve Bir Uygulama*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Bursa: Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Aktan, C. C. (2012). Organizasyonlarda Toplam Kalite Yönetimi. *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi*. 4(2): 235-262.

Ala, M. D., İkiz, Y. (2015). Dokuma Üretimi Süresince Oluşan Kumaş Hatalarının Belirlenmesine Yönelik İstatistiksel Bir Araştırma. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*. 21(7): 282-287.

Alizadeh, M. H. (2014). Capability Analysis of The Variable Measurement System With Fuzzy Data. *Applied Mathematical Modelling* 38: 4559–4573.

Araújo, L. M. M., Paiva, R. G. N., Peruchi, R. S., Junior, P. R., Gomes, J. H. F. (2019). New Indicators for Measurement Error Detection in GR&R Studies. *Measurement*. 140: 557–564.

Aydın, B. Z., Kargı, S. A. (2018). İstatistiksel Kalite Kontrol Teknikleri İle Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*. 16(1): 41-63.

Bolatan, G. İ. S., Gözlü, S., Alpkan, L., Zaim, S. (2016). The Impact of Technology Transfer Performance on Total Quality Management and Quality Performance. *Social and Behavioral Sciences*. 235: 746 – 755.

Cebenoyan, B. (2018). *Süreç Yetenekleri ve Ölçüm Sistemleri Analizi Üzerine Bir Çalışma*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Çağlar, A. M., Kurt, M. (2016). Altı Sigma Yaklaşımı ve Savunma Sanayi Sektöründe Bir Uygulama. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*. 27(3): 13-24.

Çakar, S., Serdar, M. (2002). Kalite Yönetim Sistemleri. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 6(2): 87-91.

Çakmakçı, M. (2018). Kalite Planlama ve Kontrol Ders Notları.

Çalışkan, G. (2006). Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*. 5(17): 60-75.

Çavuşoğlu, İ. (2006). *Modern Kalite Yönetim Sistemlerinin Endüstriyel Uygulamalarında Proses Performanslarının Değerlendirilmesi ve Sürekli İyileştirilmesi*. (Yayınlanmış Doktora Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çelik, M. (2015). *İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çolak, T. (2007). *İstatistiksel Süreç Kontrolü ve Uygulamalar*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demir, M. E. (2006). *İşletmelerde ISO 9001:2000 Kalite Yönetim Sistemi Uygulamalarının İnsan Kaynakları Yönetiminin Etkenliği Üzerine Bir Araştırma*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Konya: Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Duran, C., Çetindere, A., Şahan, Ö. (2014). An Analysis on The Relationship Between Total Quality Management Practices and Knowledge Management: The Case of Eskişehir. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 109: 65 – 77.

Elevli, S. (2018). Ondokuz Mayıs Üniversitesi. Endüstri Mühendisliği Bölümü “End 304 Kalite Kontrol” Ders Notları.

Ergün, K. A. (2003). *Altı Sigma Metodolojisi ve Türkiye’deki Uygulamaları*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Eygü, H. (2014). *Çok Değişkenli İstatistiksel Kalite Kontrolünde Sıralı Küme Örneklem Yönteminin Kullanılması: Çimento Sanayinde Bir Uygulama*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Firuzan, A. R., Ayvaz, Y. Y. (2005). SHEWHART Kontrol Kartlarında (Çizelgesinde) Tasarım Parametrelerinin Seçimi Üzerine Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi*. 12(1): 1-9.

Gejdoš, P. (2015). Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control. *Procedia Economics and Finance*. 34: 565-572.

Gelipgiden B. (2001). *QS-9000 Kalite Güvence Sisteminin Referans Konularından Ölçüm Sistemleri Analizinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi ve Bir İşletmede Uygulanması*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gülsen, E. (2012). Toplam Kalite Yönetimi ve Türkiye’deki Uygulamaları. *Toplum ve Demokrasi*. 6: 93-109.

Gürel, B. (2006). *Kuruluşlarda Performans Ölçüm Sistemlerinin Tasarlanması ve Uygulanması Üzerine Bir Araştırma*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

İlerler, A. (2015). *Dijital Radyografide Ölçüm Sistemleri Analizi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.

İşığışok, E. (2013). Performans Ölçümü, Yönetimi ve İstatistiksel Analizi. *Ekonometri ve İstatistik*. 7: 1-23.

Kara, M. (2018). *Kalite Yönetim Sistemleri İle İç Kontrol Sistemi Uygulamaları Arasındaki Etkileşimin Değerlendirilmesi ve Bir Araştırma*. (Yayınlanmış Doktora Tezi). Malatya: İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü.

Kavi, U., Elevli, S. (2008). Art–Craft Sofra Camı Üretim İşletmesinde Ölçüm Sistem Analizi Uygulaması. *VII. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi* (ss. 205-231), Makina Mühendisleri Odası. İzmir. 30 Ekim - 01 Kasım 2008.

Kavi, U. (2008). *Kalite Güvence Sistemi İçinde Ölçüm Yeterlilik Sistem Analizi Modeli*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kaya, Ü. E. (2009). İşletmelerde Toplam Kalite Yönetim Uygulamalarının Başarısında Örgüt Kültürü ve İkliminin Önemi: Kuramsal Bir Çerçeve. “*İş, Güç*” *Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi*. 11(1): 89-112.

Kısaoglu, D. Ö. (2010). Orta Büyüklükte Bir Dokuma İşletmesinde İstatistiksel Proses Kontrol Sistemi: I. Kumaş Hatalarının Kontrolü. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 16(3): 291-301.

Konak, M. M., Duman, E., Albayrak, F. (2004). Toplam Kalite Yönetimi Dersi Ödevi.

Kökbıyık, İ. (2011). *Kalite Yönetiminde Altı Sigma Yaklaşımı ve Arçelik Fabrikasında Bir Uygulama Örneği*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Köse, T. (2013). Kalite Kontrolde İstatistiksel Tekniklerin Yeri ve Önemi.

Kuo, C. C., Huang, P. J. (2013). Repeatability and Reproducibility Study of Thin Film Optical Measurement System. *Optik*. 124: 3489-3493.

Mast J., Trip A. (2005). Gauge R&R Studies for Destructive Measurements. *Journal of Quality Technology*. 37(1): 40–49.

Mutlu, B. Ş. (2018). *Kalite Yönetim Sistemlerinin Çalışanların İş Tatminine Etkisi: Eğitim Sektöründe Devlet Okulu ve Özel Okul Karşılaştırması Üzerine Bir Uygulama*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Atılım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Özkale, R. M. (2004). *İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemleri ve Uygulamalar*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Öztürk, A. (2007). *İstatistiksel Kalite Kontrol Grafikleri Kabul Örneklemesi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özutku, H. (2006). Toplam Kalite Yönetimi Uygulamaları ve İşletme Performansı Arasındaki İlişkinin Analizi: Türk İmalat Endüstrisinde Bir Alan Araştırması. *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 24(1): 211-240.

Özveri, O., Çakır, E. (2012). Yalın Altı Sigma ve Bir Uygulama. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İİBF Dergisi*. 14(2): 17-36.

Peruchi, R. S., Balestrassi, P. P., Paiva, A. P., Ferreira, J. R., Carmelossi, M. S. (2013). A New Multivariate Gage R&R Method For Correlated Characteristics. *Int. J. Production Economics*. 144: 301–315.

Reis, H. (2006). *Tedarik Planlamasında Altı Sigma Uygulaması*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Saikaew, C. (2018). An Implementation of Measurement System Analysis For Assessment of Machine and Part Variations in Turning Operation. *Measurement*. 118: 246–252.

Semerci, H. (1998). *Kalite Güvence Sistemlerinde Ölçüm Hatalarının Ayırıştırılmasında Kullanılan İstatistiksel Yaklaşımlar Üzerine Bir Araştırma*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Simanová, L., Gejdoš, P. (2015). The Use of Statistical Quality Control Tools to Quality Improving in the Furniture Business. *Procedia Economics and Finance*. 34: 276 – 283.

Sözer, A. N., Tütüncü, Ö., Doğan, Ö. İ., Gencel, U., Gül, H., Teknikler, G., Tarlan, D., Aksaraylı, M., Eser, D., Seçer, B., Yağcı, K., Topoyan, M., Devedakan, N. (2002). Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde Lisansüstü Eğitim

Kalitesinin Arttırılmasına Yönelik Bir Alan Araştırması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 4(2): 41-65.

Subulan, K. (2019). Ölçüm Sistemlerinin Analizi (MSA). Kalite Planlama & Kontrol Dersi.

Şahin, S. (2000). *İstatistiksel Kalite Kontrolünde Üstel ve Weibull Dağılımların X-Kontrol Grafiklerine Uygulanması Üzerine Teorik Bir Yaklaşım*. (Yayınlanmış Doktora Tezi). Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Şahin, O. (2013). İstatistiksel Proses Kontrolünde Proses Yeterlilik Analizi vve Tekstil Endüstrisinde Uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. 27(2): 253-271.

Şahin, O. (2013). İstatistiksel Proses Kontrolünde Kontrol Grafiklerinin Kullanımı ve Tekstil Sanayinde Bir Uygulama. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 5(10): 53-75.

Şen, B. (2012). *İstatistiksel Süreç Kontrolü İçin Web Tabanlı Arayüz ve Uygulaması*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uluskan, M. (2017). Türkiye'nin Altı Sigma Uygulama Haritası. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 32(3): 131-143.

Ülen, M. (2010). *Çok Değişkenli İstatistiksel Kalite Kontrolünün İlaç Endüstrisine Uygulaması*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yaman, Ü. (2009). *Ölçüm Sistemleri Analizinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemlerin İncelenmesi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yeh, T. M., Sun, J. J. (2013). Using the Monte Carlo Simulation Methods in Gauge Repeatability and Reproducibility of Measurement System Analysis. *Journal of Applied Research and Technology*. 11: 780-796.

Yen, C. H., Aslam, M., Jun, C. H. (2014). A lot Inspection Sampling Plan Based on EWMA Yield Index. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 7: 861-868.

Yıldırım, H., Karaca, E. (2013). Üretim Sürecinde İstatistiksel Proses Kontrol (İPK) Uygulamaları Ve Elektronik Sektöründe Bir İnceleme. *Öneri*. 10(39): 77-87.

Yıldırım, S. *Giriş Kalite Kontrol Süreçlerinde Kabul Örneklemesine Yönelik Bir Metodoloji: Beyaz Eşya Endüstrisinde Bir Uygulama*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yıldız, M. S. (2017). Hastanelerde Kalite Yönetim Sistemlerinin Değerlendirilmesi: Kamu ve Özel Hastanelerde Bir Araştırma. (Yayınlanmış Doktora Tezi). Ankara: Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Zanobini, A., Sereni, B., Catelani, M., Ciani, L. (2016). Repeatability and Reproducibility techniques for the analysis of measurement systems. *Measurement*. 86: 125–132.

Zerenler, M. (2005). Performans Ölçüm Sistemleri Tasarımı Ve Üretim Sistemlerinin Performansının Ölçümüne Yönelik Bir Araştırma. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 1: 1-36.

Zeyveli, M., Selalmaz, E. (2008). İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinin Zincir İmalatı Yapan Bir İşletmede Uygulanması. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*. 36-45.



EKLER

EK 1: X-R Kontrol Kartları 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 Kartları Sabitleri

n	$\bar{X}$ Grafiği			R Grafiği		S Grafiği
	A1	A2	d2	D3	D4	c4
2	3.760	1.880	1.128	0	3.267	0.7979
3	2.394	1.023	1.693	0	2.575	0.8862
4	1.880	0.729	2.059	0	2.282	0.9213
5	1.596	0.577	2.326	0	2.115	0.9400
6	1.410	0.783	2.534	0	2.004	0.9515
7	1.277	0.419	2.704	0.076	1.924	0.9594
8	1.175	0.373	2.847	0.136	1.864	0.9650
9	1.094	0.337	2.970	0.184	1.816	0.9693
10	1.028	0.308	3.078	0.223	1.777	0.9727
11	0.973	0.285	3.173	0.256	1.744	0.9754
12	0.925	0.266	3.258	0.284	1.716	0.9776
13	0.884	0.249	3.336	0.308	1.692	0.9794
14	0.848	0.235	3.407	0.329	1.671	0.9810
15	0.816	0.223	3.472	0.348	1.652	0.9823
16	0.788	0.212	3.532	0.364	1.636	0.9835
17	0.762	0.203	3.588	0.379	1.621	0.9845
18	0.738	0.194	3.640	0.392	1.608	0.9854
19	0.717	0.187	3.689	0.404	1.596	0.9862
20	0.697	0.180	3.735	0.414	1.586	0.9869
21	0.679	0.173	3.778	0.425	1.575	0.9876
22	0.662	0.167	3.819	0.434	1.566	0.9882
23	0.647	0.162	3.858	0.443	1.557	0.9887
24	0.632	0.157	3.895	0.452	1.548	0.9892
25	0.619	0.153	3.931	0.459	1.541	0.9896

EK 3: z Dağılım Tablosu

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.500000	0.503989	0.507978	0.511967	0.515953	0.519939	0.523922	0.527903	0.531881	0.535856
0.1	0.539828	0.543795	0.547758	0.551717	0.555670	0.559618	0.563559	0.567495	0.571424	0.575345
0.2	0.579260	0.583166	0.587064	0.590954	0.594835	0.598706	0.602568	0.606420	0.610261	0.614092
0.3	0.617911	0.621719	0.625516	0.629300	0.633072	0.636831	0.640576	0.644309	0.648027	0.651732
0.4	0.655422	0.659097	0.662757	0.666402	0.670031	0.673645	0.677242	0.680822	0.684386	0.687933
0.5	0.691462	0.694974	0.698468	0.701944	0.705401	0.708840	0.712260	0.715661	0.719043	0.722405
0.6	0.725747	0.729069	0.732371	0.735653	0.738914	0.742154	0.745373	0.748571	0.751748	0.754903
0.7	0.758036	0.761148	0.764238	0.767305	0.770350	0.773373	0.776373	0.779350	0.782305	0.785236
0.8	0.788145	0.791030	0.793892	0.796731	0.799546	0.802338	0.805106	0.807850	0.810570	0.813267
0.9	0.815940	0.818589	0.821214	0.823815	0.826391	0.828944	0.831472	0.833977	0.836457	0.838913
1.0	0.841345	0.843752	0.846136	0.848495	0.850830	0.853141	0.855428	0.857690	0.859929	0.862143
1.1	0.864334	0.866500	0.868643	0.870762	0.872857	0.874928	0.876976	0.878999	0.881000	0.882977
1.2	0.884930	0.886860	0.888767	0.890651	0.892512	0.894350	0.896165	0.897958	0.899727	0.901475
1.3	0.903199	0.904902	0.906582	0.908241	0.909877	0.911492	0.913085	0.914657	0.916207	0.917736
1.4	0.919243	0.920730	0.922196	0.923641	0.925066	0.926471	0.927855	0.929219	0.930563	0.931888
1.5	0.933193	0.934478	0.935744	0.936992	0.938220	0.939429	0.940620	0.941792	0.942947	0.944083
1.6	0.945201	0.946301	0.947384	0.948449	0.949497	0.950529	0.951543	0.952540	0.953521	0.954486
1.7	0.955435	0.956367	0.957284	0.958185	0.959071	0.959941	0.960796	0.961636	0.962462	0.963273
1.8	0.964070	0.964852	0.965621	0.966375	0.967116	0.967843	0.968557	0.969258	0.969946	0.970621
1.9	0.971283	0.971933	0.972571	0.973197	0.973810	0.974412	0.975002	0.975581	0.976148	0.976705
2.0	0.977250	0.977784	0.978308	0.978822	0.979325	0.979818	0.980301	0.980774	0.981237	0.981691
2.1	0.982136	0.982571	0.982997	0.983414	0.983823	0.984222	0.984614	0.984997	0.985371	0.985738
2.2	0.986097	0.986447	0.986791	0.987126	0.987455	0.987776	0.988089	0.988396	0.988696	0.988989
2.3	0.989276	0.989556	0.989830	0.990097	0.990358	0.990613	0.990863	0.991106	0.991344	0.991576
2.4	0.991802	0.992024	0.992240	0.992451	0.992656	0.992857	0.993053	0.993244	0.993431	0.993613
2.5	0.993790	0.993963	0.994132	0.994297	0.994457	0.994614	0.994766	0.994915	0.995060	0.995201
2.6	0.995339	0.995473	0.995604	0.995731	0.995855	0.995975	0.996093	0.996207	0.996319	0.996427
2.7	0.996533	0.996636	0.996736	0.996833	0.996928	0.997020	0.997110	0.997197	0.997282	0.997365
2.8	0.997445	0.997523	0.997599	0.997673	0.997744	0.997814	0.997882	0.997948	0.998012	0.998074
2.9	0.998134	0.998193	0.998250	0.998305	0.998359	0.998411	0.998462	0.998511	0.998559	0.998605
3.0	0.998650	0.998694	0.998736	0.998777	0.998817	0.998856	0.998893	0.998930	0.998965	0.998999
3.1	0.999032	0.999065	0.999096	0.999126	0.999155	0.999184	0.999211	0.999238	0.999264	0.999289
3.2	0.999313	0.999336	0.999359	0.999381	0.999402	0.999423	0.999443	0.999462	0.999481	0.999499
3.3	0.999517	0.999533	0.999550	0.999566	0.999581	0.999596	0.999610	0.999624	0.999638	0.999650
3.4	0.999663	0.999675	0.999687	0.999698	0.999709	0.999720	0.999730	0.999740	0.999749	0.999758
3.5	0.999767	0.999776	0.999784	0.999792	0.999800	0.999807	0.999815	0.999821	0.999828	0.999835
3.6	0.999841	0.999847	0.999853	0.999858	0.999864	0.999869	0.999874	0.999879	0.999883	0.999888
3.7	0.999892	0.999896	0.999900	0.999904	0.999908	0.999912	0.999915	0.999918	0.999922	0.999925
3.8	0.999928	0.999931	0.999933	0.999936	0.999938	0.999941	0.999943	0.999946	0.999948	0.999950
3.9	0.999952	0.999954	0.999956	0.999958	0.999959	0.999961	0.999963	0.999964	0.999966	0.999967

EK 4: Üretici ve Tüketici Riskleri ve Ölçüm Hataları Tablosu

$r \backslash b$	-1.00	-0.75	-0.50	-0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
(i) $k_1 = 1.5, k_2 = 1.5$									
1	.0374	.0000	.0941	.1403	.2011	.2769	.3710	.4792	.6004
	<u>.0940</u>	<u>.0826</u>	<u>.0704</u>	<u>.0580</u>	<u>.0459</u>	<u>.0338</u>	<u>.0251</u>	<u>.0170</u>	<u>.0104</u>
2	.0140	.0340	.0370	.0551	.0791	.1097	.1476	.1920	.2453
	<u>.0749</u>	<u>.0641</u>	<u>.0531</u>	<u>.0426</u>	<u>.0330</u>	<u>.0245</u>	<u>.0175</u>	<u>.0119</u>	<u>.0078</u>
4	.0062	.0102	.0156	.0229	.0325	.0445	.0591	.0764	.0962
	<u>.0503</u>	<u>.0422</u>	<u>.0343</u>	<u>.0270</u>	<u>.0205</u>	<u>.0150</u>	<u>.0106</u>	<u>.0071</u>	<u>.0046</u>
8	.0029	.0047	.0071	.0103	.0145	.0197	.0259	.0331	.0413
	<u>.0297</u>	<u>.0245</u>	<u>.0196</u>	<u>.0153</u>	<u>.0115</u>	<u>.0083</u>	<u>.0058</u>	<u>.0039</u>	<u>.0025</u>
(ii) $k_1 = 1.5, k_2 = 2.0$									
1	.0294	.0430	.0754	.1136	.1648	.2301	.3120	.4088	.5198
	<u>.0635</u>	<u>.0558</u>	<u>.0478</u>	<u>.0394</u>	<u>.0313</u>	<u>.0233</u>	<u>.0173</u>	<u>.0120</u>	<u>.0078</u>
2	.0110	.0178	.0277	.0415	.0598	.0835	.1131	.1489	.1912
	<u>.0511</u>	<u>.0438</u>	<u>.0364</u>	<u>.0293</u>	<u>.0227</u>	<u>.0169</u>	<u>.0121</u>	<u>.0082</u>	<u>.0054</u>
4	.0045	.0074	.0113	.0167	.0237	.0325	.0434	.0562	.0710
	<u>.0348</u>	<u>.0292</u>	<u>.0238</u>	<u>.0187</u>	<u>.0143</u>	<u>.0104</u>	<u>.0074</u>	<u>.0049</u>	<u>.0032</u>
8	.0021	.0034	.0051	.0074	.0105	.0142	.0187	.0239	.0298
	<u>.0207</u>	<u>.0172</u>	<u>.0137</u>	<u>.0107</u>	<u>.0081</u>	<u>.0058</u>	<u>.0041</u>	<u>.0027</u>	<u>.0017</u>
(iii) $k_1 = 1.5, k_2 = 2.5$									
1	.0238	.0390	.0613	.0928	.1353	.1900	.2595	.3428	.4396
	<u>.0516</u>	<u>.0454</u>	<u>.0388</u>	<u>.0319</u>	<u>.0253</u>	<u>.0188</u>	<u>.0141</u>	<u>.0098</u>	<u>.0063</u>
2	.0088	.0143	.0221	.0331	.0478	.0668	.0906	.1195	.1537
	<u>.0411</u>	<u>.0354</u>	<u>.0294</u>	<u>.0237</u>	<u>.0183</u>	<u>.0136</u>	<u>.0097</u>	<u>.0066</u>	<u>.0043</u>
4	.0033	.0059	.0090	.0133	.0189	.0260	.0346	.0448	.0567

$\begin{array}{c} b \\ r \end{array}$		-1.00	-0.75	-0.50	-0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
8		.0017	.0027	.0040	.0060	.0083	.0113	.0149	.0191	.0238
		<u>.0167</u>	<u>.0138</u>	<u>.0110</u>	<u>.0086</u>	<u>.0065</u>	<u>.0047</u>	<u>.0033</u>	<u>.0022</u>	<u>.0014</u>
(iv) $k_1=1.5, k_2=3.0$										
1		.0207	.0339	.0532	.0802	.1167	.1635	.2232	.2947	.3784
		<u>.0480</u>	<u>.0422</u>	<u>.0360</u>	<u>.0297</u>	<u>.0235</u>	<u>.0174</u>	<u>.0130</u>	<u>.0091</u>	<u>.0060</u>
2		.0079	.0127	.0197	.0294	.0423	.0589	.0796	.1046	.1316
		<u>.0383</u>	<u>.0328</u>	<u>.0272</u>	<u>.0219</u>	<u>.0169</u>	<u>.0126</u>	<u>.0090</u>	<u>.0061</u>	<u>.0040</u>
4		.0033	.0053	.0081	.0120	.0170	.0233	.0310	.0401	.0506
		<u>.0258</u>	<u>.0217</u>	<u>.0176</u>	<u>.0139</u>	<u>.0105</u>	<u>.0077</u>	<u>.0054</u>	<u>.0036</u>	<u>.0023</u>
8		.0015	.0024	.0037	.0054	.0075	.0102	.0135	.0173	.0215
		<u>.0153</u>	<u>.0126</u>	<u>.0101</u>	<u>.0079</u>	<u>.0059</u>	<u>.0043</u>	<u>.0030</u>	<u>.0020</u>	<u>.0013</u>
(v) $k_1=2.0, k_2=2.0$										
1		.0214	.0353	.0567	.0869	.1284	.1831	.2526	.3378	.4383
		<u>.0330</u>	<u>.0290</u>	<u>.0251</u>	<u>.0208</u>	<u>.0166</u>	<u>.0127</u>	<u>.0093</u>	<u>.0065</u>	<u>.0043</u>
2		.0072	.0117	.0184	.0278	.0405	.0573	.0787	.1052	.1372
		<u>.0273</u>	<u>.0236</u>	<u>.0197</u>	<u>.0159</u>	<u>.0124</u>	<u>.0092</u>	<u>.0067</u>	<u>.0046</u>	<u>.0030</u>
4		.0028	.0046	.0070	.0104	.0149	.0205	.0276	.0360	.0459
		<u>.0193</u>	<u>.0162</u>	<u>.0133</u>	<u>.0105</u>	<u>.0080</u>	<u>.0059</u>	<u>.0042</u>	<u>.0028</u>	<u>.0018</u>
8		.0013	.0020	.0031	.0045	.0063	.0086	.0114	.0146	.0183
		<u>.0118</u>	<u>.0098</u>	<u>.0077</u>	<u>.0061</u>	<u>.0046</u>	<u>.0034</u>	<u>.0023</u>	<u>.0016</u>	<u>.0010</u>
(vi) $k_1=2.0, k_2=2.5$										
1		.0158	.0263	.0426	.0661	.0989	.1430	.2001	.2716	.3579
		<u>.0211</u>	<u>.0186</u>	<u>.0161</u>	<u>.0133</u>	<u>.0106</u>	<u>.0082</u>	<u>.0060</u>	<u>.0042</u>	<u>.0027</u>
2		.0050	.0081	.0128	.0194	.0286	.0406	.0562	.0757	.0997
		<u>.0176</u>	<u>.0152</u>	<u>.0127</u>	<u>.0103</u>	<u>.0080</u>	<u>.0060</u>	<u>.0043</u>	<u>.0030</u>	<u>.0019</u>
4		.0019	.0031	.0047	.0071	.0101	.0140	.0188	.0246	.0315
		<u>.0125</u>	<u>.0106</u>	<u>.0086</u>	<u>.0068</u>	<u>.0052</u>	<u>.0039</u>	<u>.0027</u>	<u>.0018</u>	<u>.0012</u>

$r \backslash v$	-1.00	-0.75	-0.50	-0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
8	.0009	.0013	.0020	.0030	.0042	.0058	.0076	.0099	.0123
	<u>.0077</u>	<u>.0064</u>	<u>.0052</u>	<u>.0040</u>	<u>.0030</u>	<u>.0022</u>	<u>.0015</u>	<u>.0010</u>	<u>.0007</u>
(vii) $k_1=2.0, k_2=3.0$									
1	.0127	.0212	.0344	.0535	.0803	.1165	.1638	.2236	.2966
	<u>.0175</u>	<u>.0154</u>	<u>.0133</u>	<u>.0111</u>	<u>.0088</u>	<u>.0067</u>	<u>.0049</u>	<u>.0035</u>	<u>.0023</u>
2	.0040	.0066	.0103	.0157	.0230	.0327	.0452	.0608	.0800
	<u>.0146</u>	<u>.0126</u>	<u>.0105</u>	<u>.0085</u>	<u>.0066</u>	<u>.0049</u>	<u>.0036</u>	<u>.0024</u>	<u>.0016</u>
4	.0016	.0025	.0038	.0057	.0082	.0113	.0152	.0200	.0255
	<u>.0103</u>	<u>.0087</u>	<u>.0071</u>	<u>.0056</u>	<u>.0043</u>	<u>.0032</u>	<u>.0022</u>	<u>.0015</u>	<u>.0010</u>
8	.0007	.0011	.0017	.0024	.0034	.0047	.0062	.0080	.0101
	<u>.0063</u>	<u>.0052</u>	<u>.0042</u>	<u>.0033</u>	<u>.0025</u>	<u>.0018</u>	<u>.0013</u>	<u>.0009</u>	<u>.0006</u>
(viii) $k_1=2.5, k_2=2.5$									
1	.0101	.0174	.0286	.0453	.0694	.1028	.1476	.2054	.2774
	<u>.0092</u>	<u>.0082</u>	<u>.0071</u>	<u>.0059</u>	<u>.0047</u>	<u>.0036</u>	<u>.0027</u>	<u>.0018</u>	<u>.0010</u>
2	.0027	.0045	.0072	.0111	.0166	.0240	.0337	.0463	.0621
	<u>.0077</u>	<u>.0068</u>	<u>.0057</u>	<u>.0047</u>	<u>.0037</u>	<u>.0028</u>	<u>.0020</u>	<u>.0014</u>	<u>.0009</u>
4	.0010	.0016	.0025	.0037	.0053	.0074	.0101	.0133	.0172
	<u>.0058</u>	<u>.0049</u>	<u>.0040</u>	<u>.0032</u>	<u>.0024</u>	<u>.0018</u>	<u>.0013</u>	<u>.0009</u>	<u>.0006</u>
8	.0005	.0007	.0010	.0015	.0021	.0029	.0039	.0050	.0063
	<u>.0037</u>	<u>.0030</u>	<u>.0024</u>	<u>.0019</u>	<u>.0015</u>	<u>.0010</u>	<u>.0007</u>	<u>.0005</u>	<u>.0003</u>
(ix) $k_1=2.5, k_2=3.0$									
1	.0071	.0122	.0204	.0327	.0508	.0764	.1113	.1574	.2161
	<u>.0056</u>	<u>.0050</u>	<u>.0043</u>	<u>.0036</u>	<u>.0029</u>	<u>.0022</u>	<u>.0016</u>	<u>.0012</u>	<u>.0007</u>
2	.0018	.0030	.0047	.0074	.0110	.0160	.0227	.0314	.0425
	<u>.0048</u>	<u>.0042</u>	<u>.0035</u>	<u>.0029</u>	<u>.0023</u>	<u>.0017</u>	<u>.0012</u>	<u>.0008</u>	<u>.0005</u>
	.0006	.0010	.0016	.0024	.0034	.0048	.0065	.0086	.0111

$\begin{array}{c} b \\ r \end{array}$		-1.00	-0.75	-0.50	-0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
8		.0003	.0004	.0006	.0010	.0014	.0019	.0025	.0034	.0040
		<u>.0023</u>	<u>.0019</u>	<u>.0015</u>	<u>.0012</u>	<u>.0009</u>	<u>.0007</u>	<u>.0005</u>	<u>.0003</u>	<u>.0002</u>
(x) $k_1=3.0, k_2=3.0$										
1		.0040	.0071	.0122	.0202	.0323	.0500	.0750	.1093	.1549
		<u>.0020</u>	<u>.0018</u>	<u>.0016</u>	<u>.0013</u>	<u>.0011</u>	<u>.0008</u>	<u>.0006</u>	<u>.0004</u>	<u>.0003</u>
2		.0008	.0014	.0023	.0036	.0054	.0081	.0117	.0165	.0229
		<u>.0018</u>	<u>.0016</u>	<u>.0013</u>	<u>.0011</u>	<u>.0008</u>	<u>.0006</u>	<u>.0005</u>	<u>.0003</u>	<u>.0002</u>
4		.0003	.0004	.0007	.0010	.0015	.0021	.0029	.0039	.0051
		<u>.0014</u>	<u>.0011</u>	<u>.0009</u>	<u>.0008</u>	<u>.0006</u>	<u>.0004</u>	<u>.0003</u>	<u>.0002</u>	<u>.0001</u>
8		.0001	.0002	.0003	.0004	.0006	.0008	.0010	.0014	.0017
		<u>.0009</u>	<u>.0007</u>	<u>.0006</u>	<u>.0005</u>	<u>.0004</u>	<u>.0003</u>	<u>.0002</u>	<u>.0001</u>	<u>.0001</u>

EK 5: F Dağılım Tablosu ($\alpha=0,05$)

$v_2 \backslash v_1$	Degrees of freedom for the numerator (v_1)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00