T.C.

İstanbul Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

BİR ÜRETİM SÜRECİNDE KONTROL DİYAGRAMLARI YARDIMI İLE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Gizem Nur ÖZDOĞAN

2501160932

Tez Danışmanı

Dr. Öğretim Üyesi Sündüz DAĞ

İstanbul 2019

T.C.

İstanbul Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

BİR ÜRETİM SÜRECİNDE KONTROL DİYAGRAMLARI YARDIMI İLE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Gizem Nur ÖZDOĞAN

2501160932

Tez Danışmanı

Dr. Öğretim Üyesi Sündüz DAĞ

İstanbul 2019

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı	:	Gizem Nur ÖZDOĞAN	**Numarası**	:	2501160932
Anabilim Dalı / Anasanat Dalı / Programı	:	İşletme Anabilim Dalı Üretim Bilim Dalı	**Danışmanı**	:	Dr. Öğr. Üyesi Sündüz DAĞ
Tez Savunma Tarihi	:	23.08.2019	**Saati**	:	12.00
Tez Başlığı	:	Bir Üretim Sürecinde Kontrol Diyagramları Yardımı ile Performans Ölçümü			

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin **36. Maddesi** uyarınca yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** OYBİRLİĞİ / ~~OYÇOKLUĞUYLA~~ karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- Prof. Dr. M. Yaman ÖZTEK		KABUL
2- Dr. Öğr. Üyesi Sündüz DAĞ		KABUL
3- Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Zeki AKYURT		KABUL

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- Dr. Öğr. Üyesi Neslihan FİDAN KEÇECİ		
2- Dr. Öğr. Üyesi Erdal YILMAZ		

Versiyon: 1.0.0.2-61559050-302.14.06

“Bir Üretim Sürecinde Kontrol Diyagramları Yardımı ile Performans Ölçümü”

Gizem Nur ÖZDOĞAN

ÖZ

Küreselleşme ve yoğun rekabet ortamının bir sonucu olarak varlığını sürdürmek isteyen işletmeler için üretim ve hizmet faaliyetlerinde kaliteyi sağlamak ve sürekli olarak iyileştirmek kaçınılmaz bir hal almıştır. Kalitenin sağlanması ve iyileştirilmesi sürecinde istatistiksel yöntemler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Üretim sürecindeki varyasyonları belirlemeye çalışan bu istatistiksel yöntemler, kalite iyileştirme faaliyetlerini kolaylaştırırken aynı zamanda verimliliğin de artmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, üretim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde sürecin düzgün bir şekilde işlemesi için oldukça önemli olan kalite ve kalite kontrol kavramlarından ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiştir. Bu kavramların yanı sıra kalite kontrol araçları da detaylı bir şekilde ele alınmış ve çalışmanın uygulama kısmında istatistiksel kalite kontrol araçlarından Shewhart, CUSUM ve EWMA kalite kontrol diyagramlarına yer verilmiştir.

“Performance Measurement with Control Diagrams in a Production Process”

Gizem Nur ÖZDOĞAN

ABSTRACT

As a result of globalization and the highly competitive environment, maintaining the quality in production and service and improving their quality continuously have become essential for enterprises that want to survive. Statistical methods provide a wide range of uses in the process of quality maintenance as well as quality improvement. These statistical methods, which try to identify the variations in the process, facilitate the quality improvement activities and increase productivity at the same time. In this study, the concepts of quality and quality control, which are very important for the flow of the production process, have been explained in detail. In addition to these concepts, quality control tools were examined thoroughly. Additionally, Shewhart, CUSUM and EWMA quality control diagrams which are statistical quality control tools were included in the application part of the study.

ÖNSÖZ

Günümüzde ürün ve hizmet kalitesi, hem üreticiler hem de tüketiciler açısından oldukça önemli bir karar faktörü haline gelmiştir. Dolayısıyla üretim faaliyetlerini en ekonomik ve en güvenilir şekilde, istenilen kalite seviyesinde yürütebilmek için istatistiksel kalite kontrol yöntemlerini kullanmak kaçınılmaz bir hal almıştır. Bu yöntemlerden biri olan istatistiksel kalite kontrol araçları, karmaşık süreçleri analiz ederek elde ettiği bulgulara göre sebep-sonuç ilişkileri kurmakta ve kalite iyileştirme faaliyetlerine büyük katkılarda bulunmaktadır. Bu nedenle istatistiksel kalite kontrole yönelik faaliyetler; varlığını devam ettirmek, üretim süreçlerindeki değişkenlikleri azaltmak, kaliteyi iyileştirmek ve müşteri memnuniyeti sağlamak isteyen tüm işletmeler açısından hayati bir öneme sahiptir.

Üretim süreçlerindeki değişimleri sistematik olarak tespit etmek ve sürecin sürekli olarak iyileştirilmesini sağlamak için süreçle ilgili yapılan tüm ölçme, kontrol, değerlendirme ve analiz faaliyetlerinde kalite kontrol araçlarından biri olan kontrol diyagramları sıklıkla kullanılmaktadır.

Çalışmada, istatistiksel kalite kontrol diyagramlarının bir üretim sürecine uygulanması sonucunda üretim süreci hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmaya da konu olan istatistiksel kalite kontrol diyagramları yardımıyla süreçte ortaya çıkan ve ürünün kalitesini etkileyebilecek değişimler tespit edilerek düzeltme ve iyileştirme faaliyetleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede israfın azaltılmasının yanı sıra hataların kaynağında önlenmesi sağlanmakta ve sorunların müşteriye aktarılma olasılığı azalmaktadır.

İÇİNDEKİLER

ÖZ……iii

ABSTRACT……iv

ÖNSÖZ…….....v

ŞEKİLLER LİSTESİ…….....ix

TABLOLAR LİSTESİ……..x

KISALTMALAR LİSTESİ……..xi

GİRİŞ……1

1. KALİTE KAVRAMI……3

1.1. Kalitenin Tanımı…….....3

1.2. Kalitenin Boyutları…….5

1.3. Kalitenin Bileşenleri……...6

1.3.1. Tasarım Kalitesi……..6

1.3.2. Uygunluk Kalitesi……7

1.3.3. Performans Kalitesi……8

1.4. Kalitenin Maliyetleri……10

1.5. Kalitenin Yıllar İçerisindeki Gelişimi…….....15

1.6. Toplam Kalite Yönetimi…….....23

2. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL…….31

2.1. İstatistiksel Kalite Kontrol Kavramı…….31

2.1.1. Kabul Örneklemesi……34

2.1.2. İstatistiksel Süreç Kontrolü……...36

2.1.2.1. İstatistiksel Kalite Kontrol Araçları……38

2.1.2.1.1. Akış Diyagramı……...39

2.1.2.1.2. Pareto Diyagramı……40

2.1.2.1.3. Çetele Diyagramı……41

2.1.2.1.4. Kontrol Diyagramı…….....41

2.1.2.1.5. Histogram…….....42

2.1.2.1.6. Serpilme Diyagramı……42

2.1.2.1.7. Sebep-Sonuç Diyagramı……..43

3. KALİTE KONTROL İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR VE KALİTE KONTROL DİYAGRAMLARI…….....45

3.1. Kalite Karakteristiği ve Spesifikasyon Kavramı…….....45

3.2. Varyasyon Kavramı ve Türleri……46

3.3. Kalite Kontrol Diyagramları……47

3.3.1. Kalite Kontrol Diyagramlarını Oluşturma İlkeleri ve Adımları……50

3.3.2. Örnek Büyüklüğü ve Örnekleme Sıklığının Belirlenmesi……55

3.3.3. Kalite Kontrol Diyagramı Türleri…….....56

4. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL DİYAGRAMLARI……57

4.1. Shewhart Kalite Kontrol Diyagramları……57

4.1.1. $\bar{x} - R$ Kalite Kontrol Diyagramları…….....58

4.1.2. $\bar{x} - s$ Kalite Kontrol Diyagramları……61

4.2. CUSUM (Cumulative Sum) Kalite Kontrol Diyagramları……...……....64

4.2.1. V Maskesi Yöntemi……...……65

4.2.2. Karar Aralıkları Yöntemi……...……67

4.3. EWMA (Exponential Weighted Moving Average) Kalite Kontrol Diyagramları……...68

5. UYGULAMA…….71

5.1. Uygulamanın Amaç ve Yöntemi…….....73

5.2. $\bar{x} - s$ Kalite Kontrol Diyagramı Uygulaması…….……..75

5.3. CUSUM Kalite Kontrol Diyagramı Uygulaması……..78

5.4. EWMA Kalite Kontrol Diyagramı Uygulaması…….……..82

SONUÇ…….....85

KAYNAKÇA……..87

EKLER……95

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Dizayn Kalitesi İçin En Uygun Kalite Derecesinin Saptanması…….....7
Şekil 1.2: Uygunluk Kalitesini Etkileyen Maliyet Unsurları…….8
Şekil 1.3: Kalitenin Bileşenleri……..9
Şekil 1.4: Maliyetlerin Sınıflandırılması İçin PAF Modeli……..13
Şekil 1.5: Toplam Kalite Yönetiminin Bazı Kavramlarla İlişkisi……25
Şekil 1.6: PUKÖ Döngüsü……...26
Şekil 1.7: Deming'in Zincirleme Reaksiyonu…….30
Şekil 2.1: İstatistiksel Kalite Kontrolün Uygulanması…….33
Şekil 2.2: İstatistiksel Kalite Kontrolün Unsurları……...34
Şekil 2.3: Kabul Örneklemesinin Aşamaları……...35
Şekil 2.4: Proses Kontrol Sistemi……37
Şekil 2.5: Örnek Pareto Diyagramı……..40
Şekil 2.6: Örnek Kontrol Diyagramı……41
Şekil 2.7: Örnek Histogram Diyagramı……...42
Şekil 2.8: Örnek Sebep-Sonuç Diyagramı……...44
Şekil 3.1: Varyasyon Çeşitleri ve Zor Varyasyonun Olası Kaynakları……47
Şekil 3.2: Tipik Bir Kontrol Diyagramının Teorik Temeli……..51
Şekil 3.3: Kontrol Diyagramı Seçim Çizelgesi……52
Şekil 4.1: CUSUM Diyagramında Kullanılan Tipik Bir V Maskesi……66
Şekil 5.1: Alüminyum Alaşımlarının Farklı Kullanım Alanlarının Gösterimi…….72
Şekil 5.2: Örnekleme Ait $\bar{x} - s$ Kalite Kontrol Diyagramı……..77
Şekil 5.3: Örnekleme Ait V Maskeli CUSUM Kalite Kontrol Diyagramı……...81
Şekil 5.4: Örnekleme Ait EWMA Kalite Kontrol Diyagramı……..84

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Kalite ve Kalite Kontrolünün Yıllar İçerisindeki Gelişimi…….17
Tablo 1.2: Klasik Yönetim Anlayışı ile TKY Anlayışının Karşılaştırılması……22
Tablo 5.1: Ölçümlere Ait Değerler……..74
Tablo 5.2: Örnekleme Ait Ortalama ve Standart Sapma Değerleri……..75
Tablo 5.3: CUSUM Kalite Kontrol Diyagramı İçin Hesaplanan Değerler……...79
Tablo 5.4: EWMA Kalite Kontrol Diyagramı İçin Hesaplanan Değerler……83

KISALTMALAR LİSTESİ

AKL : Alt Kontrol Limiti

ARL : Average Run Length

ASQC : American Society for Quality Control

CUSUM : Cumulative Sum

DIN : German Institute for Standardization

EOQC : European Organization for Quality Control

EWMA : Exponential Weighted Moving Average

GMA : Geometric Moving Average

ISO : The International Standards Organization

İKK : İstatistiksel Kalite Kontrol

JIS : Japanese Industrial Standards

JUSE : The Japanese Union of Scientists and Engineers

OÇ : Orta Çizgi

TKY : Toplam Kalite Yönetimi

ÜKL : Üst Kontrol Limiti

GİRİŞ

Tüketicilerin rakip ürün ve hizmetler arasındaki seçimlerinde en önemli faktörlerden biri haline gelen kalite kavramını anlamak ve iyileştirmek, sürdürülebilir rekabet avantajını elde etmek isteyen işletmeler açısından oldukça önemli bir hal almıştır. Kalite kavramı göreceli bir nitelik taşıdığı için yıllar içerisinde birden fazla kalite tanımı yapılmıştır. Günümüzde ise kalitenin tanımı, müşteri istek ve beklentilerini karşılayan hatta aşan ürün ve hizmetleri, en kısa sürede ve mümkün olan en düşük maliyetle üretip müşterilere kusursuz ürün ve hizmet sunmaktır.

Kaliteyi sağlamak, iyileştirmek ve müşterilere kusursuz ürün ve hizmet sunarak varlıklarını devam ettirmek isteyen işletmeler için kalite kontrol faaliyetlerinde kullanılan istatistiksel yöntemler oldukça büyük bir öneme sahiptir.

Temelleri 1920'lerde Walter A. Shewhart tarafından atılan istatistiksel kalite kontrol faaliyetleri, kalitenin ölçülmesinde, kontrol edilmesinde ve iyileştirilmesinde kullanılan istatistiksel yöntemlerin tümü olarak tanımlanabilir. Walter A. Shewhart 1924'te, istatistiksel süreç kontrolünün temel araçlarından biri olan kontrol diyagramlarını geliştirmiştir. Ayrıca Harold F. Dodge ve Harry G. Romig de istatistiksel temelli örnekleme ve araştırma yöntemlerinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. Yapılan tüm bu çalışmalar, modern istatistiksel kalite kontrol alanının temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, bir üretim sürecinde ortaya çıkan nicel ve nitel varyasyonları belirlemek, beklenen ve ölçülen değerleri karşılaştırarak bu varyasyonların nedenlerini tahmin edebilmek, kaliteyi sağlamak ve aynı zamanda iyileştirmek için kullanılan istatistiksel kalite kontrol araçlarından biri olan kontrol diyagramları tanıtılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde kalite ile ilgili kavramlar ve kalite kavramının yıllar içerisindeki gelişimi ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. İkinci bölümde istatistiksel kalite kontrol yöntemleri ve istatistiksel kalite kontrol araçları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde istatistiksel kalite kontrol ile ilgili temel kavramlar ve süreçteki değişkenliklerin tespit edilmesinde kullanılan istatistiksel kalite kontrol diyagramlarından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde ölçülebilir değişkenler için kullanılmakta olan kontrol diyagramı türlerinden Shewhart, CUSUM ve EWMA kalite kontrol diyagramları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Beşinci bölümde uygulama kapsamında incelenen 1050 alaşımlarda bulunan % alüminyum oranı verileri düzenlenmiş ve süreçteki sapmaların belirlenmesine yönelik kullanılan farklı kalite kontrol diyagramlarının uygulamalarına yer verilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde uygulama kapsamında ele alınan istatistiksel kalite kontrol diyagramlarının analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanarak konuyla ilgili öneriler sunulmuştur.

1. KALİTE KAVRAMI

1.1. Kalitenin Tanımı

Küresel rekabet, ürün yaşam döngüsünü kısaltmış ve imalat teknolojilerindeki gelişmeler, üretim firmalarını karmaşık ve dinamik pazarlarda rekabet etmeye zorlamıştır. Artan rekabet ve küresel etkileşimler, müşteri tercihlerinin ve üretici-tüketici ilişkilerinin değişmesine sebep olmuştur. Rekabetin sürekli olarak arttığı bir ortamda müşteri ihtiyaçlarını ve beklentilerini en iyi şekilde karşılamak ve hatta aşmak oldukça önemli olduğu için şirketlerin maliyetlerini, kalitelerini ve teslimat sürelerini iyileştirmeleri gerekmektedir (Bolatan v.d., 2016: 746).

Kalitenin rekabet avantajı sağlayan en önemli stratejik araçlardan biri haline gelmesiyle birlikte şirketler de ürün ve hizmetlerinin geliştirilmesinde kalite kavramına daha fazla önem vermeye başlamışlardır (Boateng-Okrah ve Fening, 2012: 744).

Etimolojik olarak kalite kelimesinin kökü Latince "qualitas" kelimesinden gelmektedir. Günümüzde kalite kavramının anlamı oldukça geniş bir alan içerdiği için ekonomistler, mühendisler ve yöneticiler tarafından kabul edilen evrensel ve kapsamlı bir tanım sağlamak oldukça zordur (Boer, Blaga, 2012: 682).

Kalite konusu ile ilgili çeşitli mesleki yayınlarda, endüstride ve günlük yaşantımızda belirli bir kavram birliği bulunmamaktadır. Kaliteli ürün kavramı, bazıları için mamulün fiyatının yüksekliğini ifade ederken bazıları için de sağlamlılığını ifade edebilmektedir. Kalitenin birçok kişi tarafından da mutlak anlamda en iyi olarak bilinmesine ve tanımlanmasına rağmen durum tam anlamıyla bu şekilde değildir. Ürünler arasında kalite açısından kıyaslama yapmadan önce o ürünlerin kullanılış amacı, hangi gelir düzeyindeki tüketicilerin isteklerine cevap verdiği ve fiyatlar arasındaki farkları göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Dolayısıyla kaliteyi genel olarak amaca uygunluk (fitness to use) şeklinde tanımlayabiliriz (Kobu, 2014: 550-551).

Araştırmacılar ayrıca kalite kavramını 'ürün veya hizmetin değeri' (Feigenbaum, 1951), 'kullanıma uygunluk' (Juran v.d., 1974), 'müşterilerin beklentilerini

karşılamak' gibi farklı şekillerde tanımlamışlardır (Demirbağ-Koh, Tatoğlu ve Zaim, 2006: 1207). Deming ise kaliteyi 'varyasyonun azaltılmasıyla sağlanmış sürekli iyileştirme' olarak tanımlamaktadır (Gill, 2009: 533). Diğer bir yandan, Crosby tarafından kalite, 'tüketicilerin gereksinimlerine uygunluk' şeklinde ifade edilmiştir (Manning, Baines ve Chadd, 2006: 91). Gilmore ve Levitt ise kaliteyi spesifikasyonlara uygunluk olarak tanımlamışlardır (Nair, Nicolae ve Narasimhan, 2013: 505). Anlaşılacağı üzere bu alanda akademisyenler tarafından yapılmış birçok kalite tanımı bulunmaktadır.

Geleneksel kalite tanımı ise ürün ve hizmetlerin tüketicilerin gereksinimlerini karşılamaları gerektiği görüşüne dayanmaktadır (Montgomery, 2009: 5).

Kalite kavramı ayrıca şu şekillerde de ifade edilmiştir (Işığıçok, 2005: 7-8):

- Kalite, William Edwards Deming'e göre tüketicilerin potansiyel ihtiyaçlarını tatmin edebilme yeteneğini ifade etmektedir.
- Armand V. Feigenbaum'a göre kalite, ürünün tasarımına uygunluk derecesidir.
- Joseph M. Juran ise kaliteyi kullanım için uygunluk olarak tanımlamaktadır.
- Philip B. Crosby için kalite, bir ürünün istenen özelliklere uygunluk derecesini ifade etmektedir.
- Genichi Taguchi kaliteyi ürünün teslim edilmesinden sonra toplumda sebep olduğu minimum zarar olarak tanımlamaktadır.
- Kano için ise kalite, müşteri ihtiyaçlarının karşılanması ve hatta aşılmasıdır.
- K. Ishikawa'ya göre kalite, ekonomik, kullanışlı ve müşteriyi sürekli olarak tatmin eden ürün geliştirmek, tasarlamak, üretmek ve satış sonrası hizmetleri gerçekleştirmektir.
- JIS (Japon Endüstri Standartları) için kalite, ürün ve hizmetleri ekonomik bir şekilde üreten ve tüketici ihtiyaçlarına cevap veren bir üretim sistemini ifade etmektedir.
- EOQC (Avrupa Kalite Kontrol Derneği) kaliteyi bir ürün veya hizmetin müşteri beklentilerine uygunluk derecesi olarak tanımlamaktadır.

- ASQC (Amerikan Kalite Kontrol Derneği) için kalite, bir ürün veya hizmetin belirli bir ihtiyacı karşılayabilme kabiliyetini ortaya koyan özelliklerin tamamını ifade etmektedir.
- DIN (Alman Standartlar Enstitüsü) ise kaliteyi bir ürünün spesifikasyonlara uygunluk derecesi olarak tanımlamaktadır.

Kaliteli bir üründe göz önünde bulundurulması gereken birden fazla faktör bulunmaktadır. Bu nedenle kalitenin tanımı; estetik, dayanıklılık veya işlevsellik gibi bir üründe olması arzu edilen birçok özelliğin insanlar için ne ifade ettiğine bağlı olmakla birlikte kişiden kişiye farklılık göstermektedir.

1.2. Kalitenin Boyutları

Garwin (1987) kalite kavramının daha iyi anlaşılmasını sağlamak üzere kaliteyi sekiz farklı boyutu ile ele almıştır (Montgomery, 2009: 4-5):

- **Performans:** Bir ürünün temel işlevsel özelliklerdir.
- **Özellikler:** Bir ürünün temel işlevsel özelliklerine ek olarak sunulan, tüketiciler açısından ürünün çekiciliğini sağlayan ikincil özelliklerdir.
- **Dayanıklılık:** Bir ürünün kullanım ömrünün uzunluğudur.
- **Servis:** Bir ürünün onarımının veya rutin bakım faaliyetinin ne hızda ve ne kadar ekonomik bir şekilde yerine getirildiğinin ölçütüdür.
- **Estetik:** Tüketicilerin beş duyusuna hitap eden ve stil, renk, şekil, paketleme alternatifleri gibi görsel çekiciliği sağlayan ürün özellikleridir.
- **Güvenilirlik:** Ürünün kullanım ömrü içerisinde kendisinden beklenen işlevlerini ne ölçüde yerine getirdiğinin ölçütüdür.
- **Algılanan Kalite:** Tüketicilerin bir ürünün kalitesi ile ilgili kararlarında genellikle o ürünün geçmişte müşteriler üzerinde bıraktığı imaj etkili olmaktadır. Bu nedenle marka imajı, ürün itibarı gibi faktörler tüketicilerin ürünün kalitesiyle ilgili olumlu veya olumsuz karar almalarında oldukça önemlidir.
- **Standartlara Uygunluk:** Bir ürünün tasarımının, önceden belirlenmiş olan spesifikasyon ve standartlara uygunluk derecesidir.

Bu farklı yönler kalite kavramının diğer bileşenlerinden ayrı ayrı olarak değil bir bütün olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir. Çünkü kalite kavramı dinamik, göreceli ve işletmelerin çeşitli faaliyetlerinden etkilenen karmaşık bir kavramdır (Boer, Blaga, 2012: 682).

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere çok yönlü bir kavram olan kaliteyi farklı boyutlarıyla değerlendirmek, bu kavramın anlaşılması açısından oldukça önemlidir.

1.3. Kalitenin Bileşenleri

Bir ürünün kalitesini 'tasarım kalitesi', 'uygunluk kalitesi' ve 'performans kalitesi' olarak adlandırılan üç unsurun bileşimi belirlemektedir.

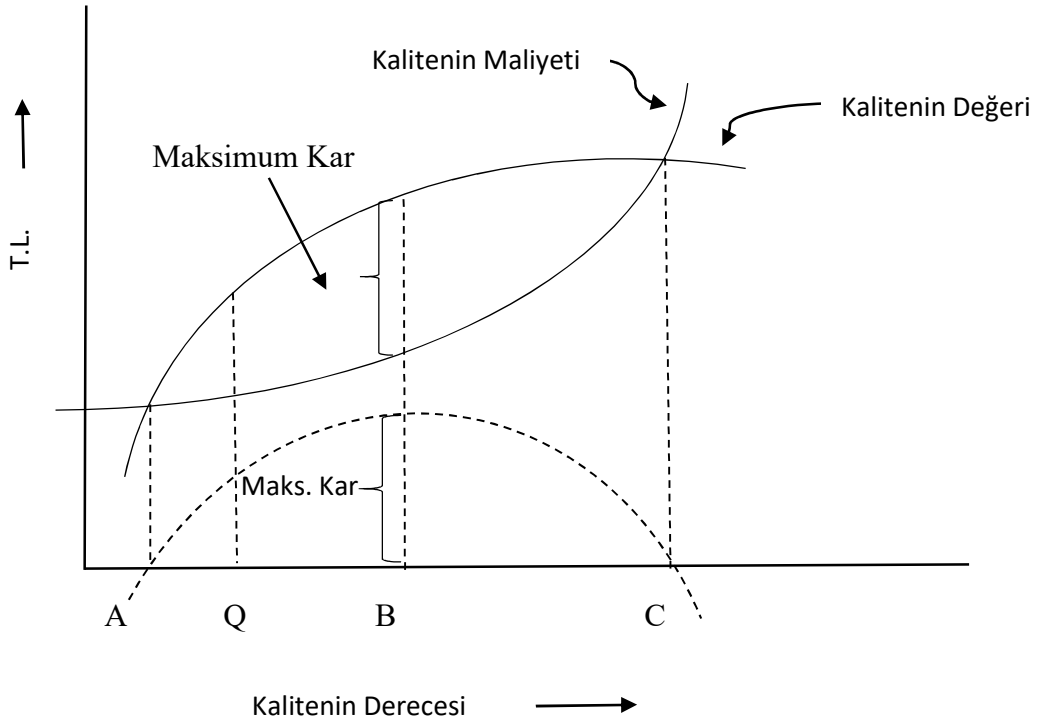
1.3.1. Tasarım Kalitesi

Tasarım kalitesi, ürün veya hizmetlerin belirlenen amaçlara ulaşmak için ne kadar iyi tasarlandığının bir ölçüsüdür. Tasarım kalitesi düşükse ürün veya hizmet, gereksinimleri karşılayamayacak veya ihtiyaçları sadece düşük bir düzeyde karşılayacaktır (Oakland, 2004: 13-14).

Tasarım kalitesi belirlenirken kalitenin tüketici açısından değeri ile üretici açısından maliyetini oluşturan iki faktör arasındaki en iyi noktanın tespit edilmesi gerekmektedir. Şekil 1.1 incelendiğinde, tasarım kalitesinin en uygun olduğu nokta, üreticinin maksimum karı elde ettiği B noktası olduğu görülmektedir. Ürünün kalitesinin artmaya başladığı ilk zamanlarda tüketici artmakta olan kaliteye değer verir. Tüketici kalitenin artması karşılığında daha fazla para vermeye razı olacaktır. Fakat kalite seviyesi tüketici ihtiyacını aşmaya başladığında kaliteye daha fazla para ödeme isteği oluşmayacaktır. Dolayısıyla tüketici açısından kalitenin değeri giderek azalacaktır. Örnek vermek gerekirse, bir ayakkabı için bir veya iki yıl gibi bir dayanıklılık süresi karşılığında müşteri ödeyeceği fiyat farkına katlanır. Fakat dayanıklılık süresi arttıkça artan bu kalite seviyesine daha fazla para ödeme isteğini gösterecek müşteri sayısında azalma meydana gelecektir. Kalite seviyesinin artması sonucunda maliyetler de hızlı bir şekilde artacaktır. Bir noktadan sonra ise maliyet eğrisi aniden dik bir hal alacaktır. Maliyet eğrisinin dikleştiği bu noktalar teknolojik

imkânların zorlandığı noktalardır. Kalite ile ilişkili üretici karı, eğriler arasındaki yükseklik farkının bulunduğu bölgelerde oluşur. İki eğri arasındaki maksimum farkın oluştuğu B noktası üretici için en uygun tasarım kalitesinin ortaya çıktığı noktadır (Kobu, 2014: 553).

Şekil 1.1: Dizayn Kalitesi İçin En Uygun Kalite Derecesinin Saptanması

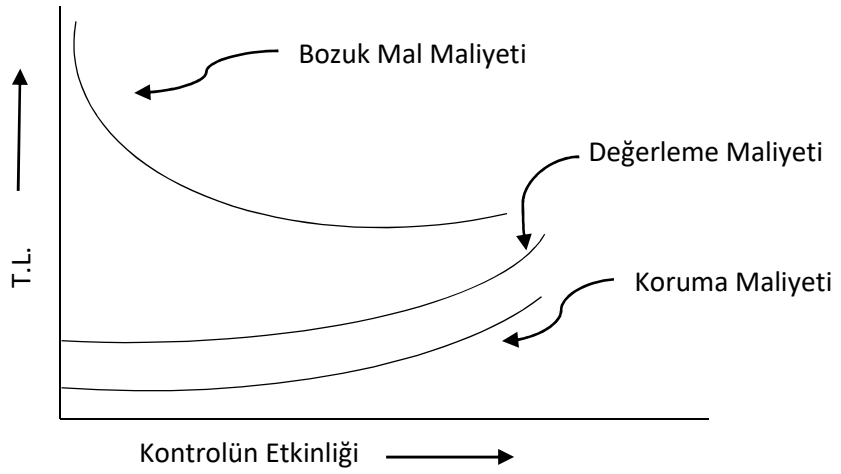


1.3.2. Uygunluk Kalitesi

Uygunluk kalitesi, tasarım kalitesi ile ortaya konmuş spesifikasyonlara üretim süreci boyunca ne kadar uyulduğunu göstermektedir. Uygunluk kalitesine mümkün olduğu kadar çok yaklaşabilmek için Şekil 1.2'de gösterilen maliyetler arasında bir denge oluşturulmalıdır (Kobu, 2014: 554).

Üretim gerçekleştirilirken kullanılan ekipmanın kapasitesi, teknik personelin yeterliliği ve deneyimi gibi unsurlar uygunluk kalitesi üzerinde oldukça etkilidir (Akkurt, 2002: 17).

Şekil 1.2: Uygunluk Kalitesini Etkileyen Maliyet Unsurları

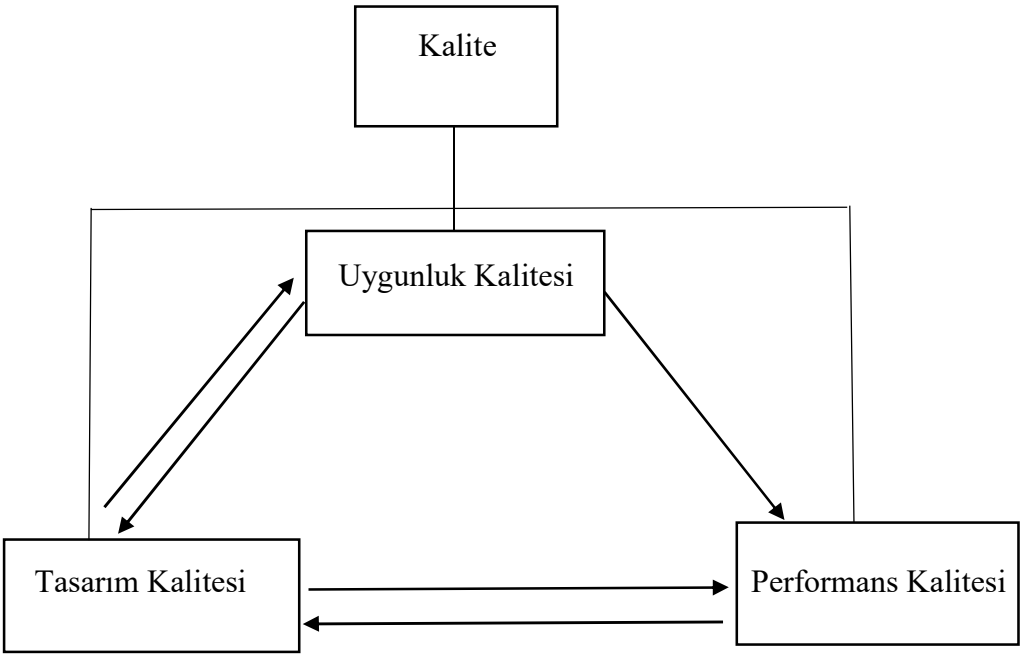


Şekil 1.2'de de gösterildiği üzere kontrolün etkinliği arttıkça koruma maliyeti ve değerleme maliyeti yavaşça artarken, bozuk mal maliyeti hızlı bir şekilde düşmektedir.

1.3.3. Performans Kalitesi

Performans kalitesi, bir ürün veya hizmetin tüketicilerin istek ve beklentilerini ne ölçüde karşıladığının bir ölçüsüdür. Tüketicilerin istek ve beklentilerinin karşılanması ise hem tasarım kalitesinin hem de uygunluk kalitesinin ortak bir işlevidir. Ürün veya hizmet kabulünün son testi her zaman müşterilere ait olduğu için beklentilerin karşılanması veya aşılması ana amaç olmalıdır. Bir ürün bu beklentileri karşılayacak kadar iyi çalışmıyorsa veya bir hizmet müşteri standartlarına uygunluk göstermiyorsa, tasarım veya uygunluk aşamalarında düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Şekil 1.3' de de gösterildiği gibi performanstan tasarım aşamasına kadar olan bu geri bildirim, yeterli performans gösteren bir ürün üretilememesi sebebiyle mevcut tasarımda değişikliğe gidilmesine neden olabilmektedir (Mitra, 2008: 11).

Şekil 1.3: Kalitenin Bileşenleri



Kalite kontrolün etkinliğinin artmasıyla yani kalite spesifikasyonlarına uygunluk seviyesinin yükselmesiyle birlikte bozuk ve hatalı ürünlerin sayısında azalma meydana gelmektedir. Bozuk ürünlerin sayısının azalmasının sonucunda da malzeme ve işçilik kayıpları, tamir giderleri, müşteri şikâyetleri büyük bir oranda azalmaktadır. Diğer yandan ölçme ve kontrol faaliyetlerinin artmasının bir sonucu olarak da değerleme maliyetleri artış göstermektedir. Hatalı ürün üretiminin önüne geçmek amacıyla alınan önlemler için katlanılan giderleri içeren koruma maliyetleri ise kontrol etkinliğinin artması ile birlikte artmaktadır. Buna karşılık kalite kontrolün etkinliği yükselirken bozuk mal maliyetinde hızlı bir düşüş meydana gelmektedir. Dolayısıyla uygunluk kalitesinin artış göstermesi isteniyorsa koruyucu önlemlere daha fazla önem verilmelidir (Kobu, 2014: 554).

Kalite kontrol literatüründe "kullanım uygunluğu" olarak adlandırılan düşünceye göre sürekli iyileştirme felsefesini benimsemiş bir işletme için üretilen ürünün miktarından ziyade bu ürünlerin ne kadarının kullanışlı ve uygun olduğu daha önemlidir. Ayrıca tüketici için üretilen ürünlerin kullanıma uygun olması kadar "amaca uygunluk", "tüketici ihtiyaçlarına uygunluk", "standartlara uygunluk" kavramları da önem arz etmektedir. Satın alınan ürünün kalitesi, bahsedilen bu kavramlara ek olarak

tüketicilerin ürünün kalite veya işlevsel özelliğine ilişkin beklentilerine de bağlıdır. Üretilen ürünün tasarımıyla ve spesifikasyonlarıyla başlayan ürün kalitesi, firma tarafından dışarıdan tedarik edilen malzeme, ürünün meydana geldiği üretim prosesi ve nihai ürünün muayenesi gibi faktörlerden de etkilenir. Dolayısıyla bir ürünün kalitesi, tasarım aşamasından kullanım aşamasına kadar var olan süreçte her biri ayrı öneme sahip olan bu faktörlerin tamamının uyum içinde hareket etmesine bağlıdır. Üretimde görevli olan personelin ne kadar kalifiye olduğu, bu personelin kaliteye karşı olan tutumları ve aynı zamanda satış sonrası hizmet ve sunulan bu hizmetin maliyeti de elde edilecek ürünün kalitesi için oldukça önemlidir. Ayrıca satış gerçekleştikten sonra ürünün çalışır bir vaziyette müşteriye teslim edilmesi, satılan ürünün nasıl kullanılacağına dair müşterilerin bilgilendirilmeleri ve ürün için garanti hizmeti sunulması sadece kaliteli ürünlere ilişkin gerçekleştirilen faaliyetlerdendir. Dolayısıyla kalite, ilk olarak tasarım sonrasında üretim ve en nihayetinde de satış sonrasındaki kullanım aşamalarında varlığını hissettirmektedir (Işığıçok, 2005: 2).

1.4. Kalitenin Maliyetleri

Kalite maliyet sisteminin kökleri 1930'lara dayanırken, modern kalite maliyet sisteminin gelişmesi Juran, Feigenbaum, Freeman ve Crosby'nin çalışmalarıyla gerçekleşmiştir (Srivastava, 2008: 195).

Rekabetin giderek arttığı günümüzün zorlu iş ortamında ise kuruluşlar, pazara sundukları ürün veya hizmetlerin değerini arttırmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak için kalite ve maliyet unsurları arasında denge oluşturmalıdır.

Tüketicilerin kalite ihtiyaçlarını karşılamak isteyen işletmelerin katlanması gereken birtakım maliyetler bulunmaktadır. Bu maliyetleri şu şekilde sıralayabiliriz (Işığıçok, 2005: 13):

- Tüketicilerin kalite ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla yapılan piyasa araştırmalarının maliyeti (pazarlama bölümü),
- Belirlenen kalite ihtiyaçlarını karşılayacak ürünlerin üretilmesi ve geliştirilmesi için ürün araştırmasının maliyeti (araştırma ve geliştirme bölümü),

- Ürün kavramını, tasarıma dönüştürme maliyetleri (mühendislik ve tasarım bölümü).

Sermaye maliyeti dikkate alınmadığı takdirde ise toplam kalite maliyetlerini şu şekilde gruplandırabiliriz:

- Önleme veya koruma maliyetleri
- Ölçme ve değerlendirme maliyetleri
- İç ve dış başarısızlık maliyetleri

Kalite maliyetleri, bakım, tasarım, satış, dağıtım, tanıtım, üretim maliyetleri gibi bütçelendirilip analiz edilebildiği için diğer faaliyet maliyetlerden farklı değildir. Teknolojiler ve pazar koşulları, farklı endüstriler arasında değişim gösterebilmektedir. Fakat kalite yönetiminin temel kavramları ve finansal etkileri genel geçerliliktedir. Amaç, müşterinin gereksinimlerine uygun mal ve hizmetleri kabul edilebilir bir maliyetle üretmek olmalıdır. Bu amacı gerçekleştirmenin yolu; tasarım, üretim, kalite, satın alma, satış, personel, yönetim ve diğer departmanlar da dâhil olmak üzere tüm işletme birimlerinde sistematik bir yaklaşım oluşturmaktır (Oakland, 2008: 14).

İşletme yönetimi için finansal kontroller de oldukça önemlidir. Bu finansal kontroller, gerçek ve bütçelenmiş maliyetlerin karşılaştırılmasını ve bu maliyetler arasındaki farkların analizini içermektedir. Bu analizler yapılırken kalite ile ilişkili maliyetlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kalite maliyetleri birçok üretim ve hizmet kuruluşu tarafından önleme maliyetleri, ölçme-değerlendirme maliyetleri, iç başarısızlık maliyetleri ve dış başarısızlık maliyetleri olarak dört ayrı kategoride ele alınmaktadır (Montgomery, 2009: 36-38).

Önleme maliyetleri, başarısızlığı önlemek, ürün ve hizmetlerin kalitesini sağlamak ve değerlendirme maliyetlerini en aza indirgemek için katlanılan masraflardır. İşletmelerin üretim öncesinde kaliteli üretimi gerçekleştirebilmek için kalite planlaması, süreç kontrolleri, kalite eğitimleri ve iç denetim gibi faaliyetler sonucu ortaya çıkacak maliyetlere katlanması gerekmektedir. Önleme, iç ve dış başarısızlık maliyetlerini düşürdüğü için uzun vadeli stratejik bir yatırım olarak görülmelidir.

Ölçme ve değerlendirme maliyetleri, ürün ve hizmetlerin uygunluğunu sağlamak ve başarısızlığı önlemek için katlanılan ölçüm ve test maliyetleridir. Bu maliyetler, gelen malzemelerin, devam eden işlerin, nihai mamullerin test edilmesini ve incelenmesini; ölçüm cihazlarının kalibrasyonu ve onarımı nedeniyle oluşan cihaz bakım maliyetlerini; çalışanların, kalite ölçümlerini toplamak ve analiz etmek için harcadıkları zamanı içeren proses ölçüm ve kontrol maliyetlerini içerir (Weinstein, Vokurka ve Graman, 2009: 498).

İç başarısızlık maliyetleri, tüketicilere dağıtım yapılmadan önce ortaya çıkan uygunsuz ürünlerle ilişkili maliyetlerdir. Uygun olmayan malzemeyi elden çıkarmayı, elden geçirmeyi, hurdaya ayırmayı ve yeniden incelemeyi içermektedir. Ayrıca değer katmayan verimsiz süreçler ve faaliyetler ile ilgili maliyetleri de kapsamaktadır.

Dış başarısızlık maliyetleri, müşteri ihtiyaçlarını karşılamakta başarısız olan kusurlu ürünlerin tüketicilere ulaşması sonucu ortaya çıkan maliyetlerdir. Çağrı merkezi masraflarını, müşteri şikâyetlerinin araştırılması sonucu oluşan maliyetleri, iade edilen ürünler üzerinde yapılan inceleme maliyetlerini, saha hizmetlerine ve ürünün sorumluluğuna yönelik katlanılan maliyetleri içerir.

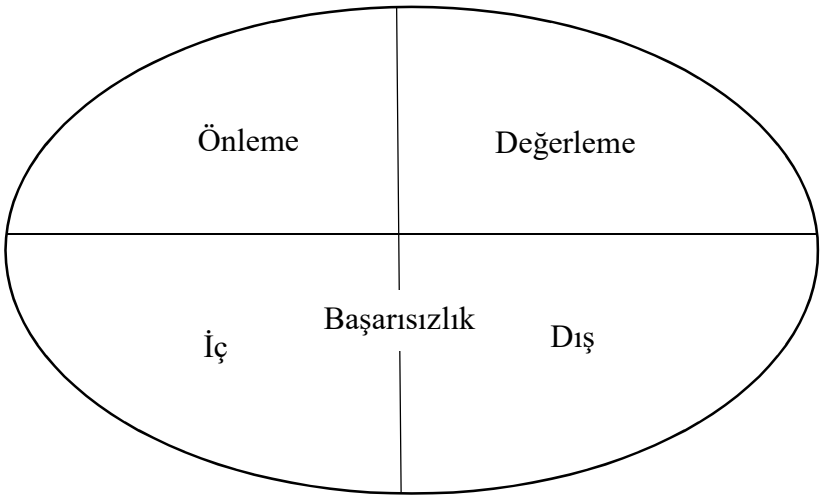
Kalite maliyetleri birbirleriyle etkileşim içerisindedir. Önleme ve ölçme-değerlendirme faaliyetlerine yapılan yatırımların başarısızlık maliyetlerinde ve benzer şekilde, önleme faaliyetlerine yapılan yatırımların da ölçme-değerlendirme maliyetlerinde düşüşe sebep olma olasılığı yüksektir (Özkan ve Karaibrahimoğlu, 2013: 422).

Kalite kontrol çalışmalarında karşılaşılan bu maliyetlere ilişkin haftalık, aylık, üç aylık ve yıllık olmak üzere verilerin toplanarak kalite kontrol maliyetleri tablosunun hazırlamasında ve analiz edilmesinde fayda vardır. Bu sayede bahsedilen kalite maliyetlerinden her birinin diğer kalite maliyetleri ile olan ilişkisi ve ayrıca toplam maliyeti ne kadar etkilediği tespit edilmiş olur (Burnak, 1997: 36).

Yapılan çalışmalara göre toplam kalite maliyetlerinin %50'sini ölçme ve değerlendirme maliyetleri, %30'unu dış başarısızlık maliyetleri, %15'ini iç başarısızlık maliyetleri, %5'ini ise önleme ve koruma maliyetleri oluşturmaktadır.

Kalite maliyetinin yönetimi için geliştirilen modeller ise 1950'lerden bu yana var olmuştur. Bu modeller genel olarak dört ayrı kategoride ele alınmıştır: 'PAF (Önleme, Değerlendirme ve Başarısızlık) Modeli', 'Süreç Maliyet Modeli', 'Fayda-Maliyet Modeli' ve 'Taguchi Kayıp Fonksiyon Modeli'. Feigenbaum (1956) ve Masser (1957) tarafından geliştirilen PAF modeli, kalite maliyet modellerinin en eskisidir. Şekil 1.4'de gösterilen PAF modelinde başarısızlık maliyetleri yine iç ve dış başarısızlık maliyetleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır (Srivastava, 2008: 196).

Şekil 1.4: Maliyetlerin Sınıflandırılması İçin PAF Modeli



PAF modeli yaklaşımının sağladığı yararlara rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Krishnan, 2006: 85-86):

- Yönetim açısından başarılı olan bir şirketin yaptığı her faaliyetin, kalite sorunlarını önleme konusunda dolaylı da olsa bir ilgisi bulunduğu için hangi faaliyetlerin kalite başarısızlıklarını önleyeceğine karar vermek zor olabilmektedir.
- Bazı şirketlerde kaliteyi sağlamak amacıyla mutlaka gerçekleştirilen ancak kalite maliyetleri raporuna kesinlikle dâhil edilemeyecek çok çeşitli önleme faaliyetleri bulunmaktadır.

- Birtakım deneyimler, kalite maliyetlerinde belirgin bir düşüş elde etmiş şirketlerin, önleme faaliyetleri için yaptıkları harcamaları her zaman çok fazla arttırmadıklarını göstermektedir.
- PAF modeli bazı maddi olmayan kalite maliyetlerini içermemektedir.
- Maliyetleri; önleme, değerlendirme, iç başarısızlık veya dış başarısızlık maliyetlerine sınıflandırmak bazen zor olabilir.
- PAF modeli maliyetin düşürülmesine odaklanmakta ve iyileştirilmiş kalitenin fiyata ve satış hacmine olumlu katkısını görmezden gelmektedir.
- Toplam kalite yönetiminin başlıca amacı süreç iyileştirmedir. Oysa PAF modeli süreç maliyetlerini dikkate almamaktadır. Bu nedenle, PAF modelinin toplam kalite yönetimi uygulamalarında kullanımı sınırlıdır.

Bir ürünün kalitesi ile maliyeti arasındaki ilişki doğru orantılıdır. Klasik kalite yaklaşımı, bir ürünün kalitesinin artması sonucunda o ürünün fiyatının da artacağını savunur. Fakat kalite düzeyini, tüketicinin ödemeye razı olmayacağı bir seviyede tutmak için çalışmaya da gerek yoktur. Kısacası tüketicilerin beklentileri, kalite seviyesinin belirlenmesinde oldukça önemli bir etkendir. Matematiksel olarak bir ürüne ilişkin kalite ve fiyat arasındaki ilişki:

$$\text{Bir ürünün değeri} = \frac{\text{Kalite}}{\text{Fiyat}}$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitliğe göre pay artar veya payda azalırsa ürünün değeri artış gösterecektir. Bir ürünün değeri, fiyat sabit iken kalitenin artmasına, kalite sabit iken fiyatın düşürülmesine veya bu iki durumun karışımına bağlı olarak artacaktır. Dolayısıyla maliyetler kalitenin iyileştirilmesinden etkilenecektir. Kalite iyileştirme faaliyetleri sonucunda üretilen kusurlu ürün sayısının azalmasıyla birlikte maliyetler düşmekte ve maliyetlerin düşmesi durumu da fiyatların düşmesi şeklinde müşterilere yansımaktadır (Işığıçok, 2005: 14-15).

1.5. Kalitenin Yıllar İçerisindeki Gelişimi

Kalite kavramının endüstrinin henüz ilerlemediği eski çağlarda dahi ilkel insanlar için önem arz etmesine rağmen bu kavram ile ilgili farkındalık kazanılması ve kalite kontrol ile iyileştirme çalışmaları için yöntemlerin tanıtılması açısından evrimsel bir gelişme yaşanmıştır.

Endüstri Devrimi öncesinde ürünler, ustalar tarafından bireysel müşteriler için üretilmiştir. 19. yüzyılın ortalarında Avrupa'da Endüstri Devrimi'nin yaşanmasıyla birlikte hedefleri verimliliği arttırmak ve maliyetleri azaltmak olan fabrikalar ortaya çıkmıştır. Sanayi Devriminin üretime yeni bir yaklaşım getirilmesiyle birlikte var olan durum çarpıcı bir şekilde değişmiştir. Fabrika sisteminde, bir ürün üretmek için yapılması gereken görevler birçok fabrika işçisi arasında bölünmüştür. Bu sistemde, büyük işçi grupları benzer iş türleri üzerine çalışmış ve her grup, yapılan işin kalitesini kontrol etme sorumluluğunu da üstlenen bir ustabaşı gözetiminde görevlerini yerine getirmiştir. Ayrıca bu sistemin uygulanmasının sonucunda düşük maliyetlerle seri üretim gerçekleştirilmiştir (Rumane, 2011: 2-3).

Kitle üretim yöntemleri ve kavramlarının Amerikan sanayi sektörüne hâkim olduğu 1900'lü yıllarda ise kalite kavramı ile ilgili olarak Taylorizm dönemi ve klasik kalite anlayışı hâkim durumdaydı. Taylor bu dönemde bilimsel yönetim prensiplerini geliştirmiş ve aynı zamanda çalışma standartlarını ve ücret teşvik planlarını gündeme getirmiştir (Devor, Chang ve Sutherland, 1992: 8).

Seri üretim endüstrilerinin gelişmeye başlamasının ardından 1900'lü yıllarda bazı bilimsel yönetim ilkelerini ortaya koyan Frederick W. Taylor, ürünün daha kolay üretilebilmesi için çalışmaların görevlere bölünmesine öncülük etmiş ve bu durum verimlilikte önemli gelişmelerin yaşanmasını sağlamıştır. Çalışma yöntemlerinin standardizasyonu ile birlikte bir işi tamamlamak için standart bir süre veya belirli bir süre için üretilmesi gereken belirli birimler sayısı gibi çalışma standartları kavramı gündeme gelmiştir (Montgomery, 2009: 11).

20. yüzyılın başlarında ise üretim süreci, kalite uygulamalarına dâhil edilmeye başlanmıştır. I. Dünya Savaşı sırasında, süreç daha da karmaşık hale gelmiş ve üretim kalitesi, kalite kontrol birimlerinin sorumluluğuna bırakılmıştır. Kitle üretim ve parça

başı iş, işçilerin fazladan ürün üreterek daha fazla para kazanmayı istemelerine ve bunun sonucunda da kötü işçiliğe yol açan kalite sorunlarına sebep olmuştur. Bu durum, fabrikaların kalite kontrolünün denetlenmesinin başlamasına ve böylece denetçilerin başkanlık ettiği kalite kontrol bölümlerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. 1924'te Walter Shewhart, istatistiksel kalite kontrolün başlangıcı olarak kabul edilen istatistiksel kalite kontrol diyagramları kavramını gündeme getirmiştir. Shewhart'ın kaliteye yaklaşımı, kalitenin bitmiş ürünle değil, ürünü oluşturan süreçle alakalı olduğuna ve süreç değişiminin sürekli olarak izlenmesine dayanmaktadır. İstatistiksel kalite kontrol (İKK) kavramı, süreç değişiminin belirli kontrol limitlerine kadar tolere edilebilir olduğunu kabul ettiği için üreticileri, oldukça zaman alıcı bir yöntem olan %100 kalite kontrol sisteminden kurtarmıştır. Böylelikle kalite kontrol, üretim hattının sonundan sürece kaymıştır. Endüstriyel imalatta kaliteye sistematik yaklaşım ise 1930'larda hurda ve yeniden işleme maliyetlerine bir miktar dikkat edilmesiyle başlamıştır.

Bell Laboratuvarlarında istatistikçi olarak çalışan Dr. Walter A. Shewhart tarafından ileri sürülen ve günümüzde de kendi adı ile anılan kontrol diyagramları, modern kalite kontrol, istatistiksel kalite kontrol ya da günümüzdeki ismiyle toplam kalite yönetimi kavramlarının temelini oluşturmaktadır. Shewhart'ın bu çalışmaları sayesinde kalite kontrol alanında istatistik biliminin kullanımı yaygınlaşmıştır (Ishikawa, 1985: 14).

II. Dünya Savaşı döneminde imalat endüstrisinde istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinin oldukça yaygın bir şekilde kullanılmasında savaş döneminde yaşananlar oldukça etkili olmuştur. Savaş zamanı yaşanan tecrübeler, ürün kalitesini kontrol etmek ve iyileştirmek için istatistiksel tekniklerin kullanılmasının gerekli olduğunu açıkça ortaya koymuştur (Rumane, 2011: 3).

Amerikan Kalite Kontrol Derneği ise 1946'da kurulmuştur. Bu organizasyon her türlü ürün ve hizmet için kalite geliştirme tekniklerinin kullanılmasını teşvik etmekte ve kalite güvencesi konusunda çeşitli konferanslar, teknik yayınlar ve eğitim programları sunmaktadır. 1950'lerde, ürün ve süreç iyileştirmek amacıyla tasarlanan deneyler ilk olarak ABD'de uygulanmıştır. İlk uygulamalar kimya endüstrisinde gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerin kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılması,

ABD kimya endüstrisinin dünyadaki en rekabetçi firmalardan biri olmasını sağlamıştır. Ayrıca 1980'den bu yana da kalite ve iş geliştirme için istatistiksel yöntemlerin kullanımında büyük bir ilerleme yaşanmıştır (Montgomery, 2009: 12).

Tablo 1.1'de kalite ve kalite kontrolünün yıllar içerisindeki gelişimi detaylı bir şekilde gösterilmiştir (Montgomery, 2009: 10-11).

Tablo 1.1: Kalite ve Kalite Kontrolünün Yıllar İçerisindeki Gelişimi

1700–1900	• Kalite, büyük ölçüde zanaatkârların kendi çabaları ile şekillenmekteydi.
1875	• Frederick W. Taylor, karmaşık ürünler ve süreçlerle başa çıkmak, işleri daha küçük ve daha kolay tamamlanan birimlere bölmek için "Bilimsel Yönetim" ilkelerini tanıtmıştır. • Taylor'un bu çalışmalarına daha sonra Frank Gilbreth ve Henry Gantt da katkıda bulunmuştur.
1900-1930	• Henry Ford, üretkenliği ve kaliteyi arttırmak amacıyla çalışma yöntemlerini daha da iyileştirmiştir.
1901	• İngiltere' de standartlaşma için ilk laboratuvarlar kurulmuştur.
1907-1908	• AT&T, ürünlerin ve malzemelerin sistematik incelemesine ve testine başlamıştır.
1908	• W. S. Gosset, yaptığı çalışmalar ile t-dağılımını tanıtmıştır.
1915-1919	• İngiliz hükümeti tarafından tedarikçi sertifikasyon programı başlatılmıştır.
1919	• İngiltere'de "Technical Inspection Association" kurulmuştur ve daha sonra bu isim "Institute of Quality Assurance" olarak değiştirilmiştir.

1920'ler	• AT&T Bell Laboratuvarları tarafından kalite, inceleme, test ve ürün güvenilirliği konularına odaklanan kalite departmanı oluşturulmuştur. • B. P. Dudding, İngiltere'de bulunan General Electric şirketinin elektrik lambalarının kalitesini kontrol etmek amacıyla istatistiksel yöntemleri kullanmıştır.
1922-1923	• R. A. Fisher, tasarlanan deneyler ve tarım bilimlerine uygulanmaları hakkında bir dizi temel nitelikte makale yayınlamıştır.
1924	• W. A. Shewhart, kontrol diyagramı kavramını ilk kez Bell Laboratuvarları'nda tanıtmış ve geliştirmeye başlamıştır.
1928	• Kabul örneklemesi yöntemi, Bell Laboratuvarlarında H.F.Dodge ve H.G.Romig tarafından geliştirilmiştir.
1931	• W. A. Shewhart, üretimde kullanılan istatistiksel yöntemleri incelediği "Economic Control of Quality of Manufactured Product" adlı kitabını yayımlamıştır.
1932	• W. A. Shewhart, üretimde ve kontrol diyagramlarında kullanılan istatistiksel yöntemler üzerine dersler vermiştir.
1938	• W. E. Deming, Shewhart'ı kontrol diyagramları üzerine seminerler vermesi için ABD'ye davet etmiştir.
1942	• İngiltere'de, istatistiksel yöntemler ve kalite kontrolü konusunda bakanlık kurulmuştur.
1942–1946	• Endüstriye istatistiksel kalite kontrol eğitimleri verilmiş ve Kuzey Amerika'da 15'ten fazla kalite topluluğu oluşturulmuştur.
1944	• "Industrial Quality Control" yayımlanmaya başlamıştır.

1946	• Çeşitli kalite topluluklarının birleşmesiyle “American Society for Quality Control (ASQC)” kurulmuştur. • “The International Standards Organization (ISO)” ve “The Japanese Union of Scientists and Engineers (JUSE)” kurulmuştur.
1946–1949	• Deming, istatistiksel kalite kontrol konusunda seminerler vermesi için Japonya’ya davet edilmiştir.
1948	• G. Taguchi, deneysel tasarım çalışmalarına ve uygulamalarına başlamıştır.
1950	• Japonya'da istatistiksel kalite kontrol yöntemleri yaygın bir şekilde öğretilmeye başlanmıştır. • K. Ishikawa, sebep-sonuç diyagramını tanıtmıştır.
1950'ler	• Eugene Grant ve A. J. Duncan tarafından istatistiksel kalite kontrol hakkında klasik metinler oluşturulmuştur.
1951	• A. V. Feigenbaum, “Total Quality Control” adlı kitabını piyasaya sürmüştür. • JUSE, kalite alanındaki önemli başarılar için Deming Ödülü'nü oluşturmuştur.
1954	• Joseph M. Juran, Japonlar tarafından kalite yönetimi ve iyileştirilmesi üzerine dersler vermesi amacıyla davet edilmiştir. • İngiliz istatistikçi E. S. Page, kümülatif toplam (CUSUM) kontrol diyagramını tanıtmıştır.
1957	• J. M. Juran ve F. M. Gryna’nın “Quality Control Handbook” adlı kitabı yayımlanmıştır.

1959	• S. Roberts, üstel ağırlıklı hareketli ortalama (EWMA) kontrol diyagramını tanıtmıştır.
1960'lar	• İstatistiksel kalite kontrol dersleri, endüstri mühendisliği akademik programlarında yaygınlaşmıştır. • Bazı ABD endüstrilerinde sıfır hata programları tanıtılmıştır.
1975–1978	• Kuzey Amerika'da kalite çemberleri uygulamalarının artmasıyla birlikte toplam kalite yönetimi (TKY) hareketi büyümeye başlamıştır.
1987	• Motorola, altı sigma çalışmalarına başlamıştır.
1988	• Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü gündeme gelmiştir.
1997	• Motorola'nın altı sigma yaklaşımı diğer sektörlere yayılmıştır.
2000'ler	• ISO 9000: 2000 standardı yayınlanmıştır. • Tedarik zinciri yönetimi ve tedarikçi kalitesi iş başarısında daha da önemli faktörler haline gelmiştir. Kalite iyileştirme faaliyetleri, geleneksel endüstriyel ortamın ötesinde finansal hizmetler, sağlık hizmetleri, sigorta ve kamu hizmetleri gibi birçok alana yayılmıştır.

Toplam kalite yönetiminin hangi aşamalardan geçerek ortaya çıktığı, kalite ve kalite kontrolün tarihsel gelişimine bakılarak anlaşılabilmektedir. Kalite kontrol dönemleri, modelleri veya kuşakları olarak adlandırılan bu aşamaları şu şekilde sınıflandırabiliriz (Işığıçok, 2005: 19-20):

- Klasik Kalite Kontrol Dönemi
- İstatistiksel Kalite Kontrol Dönemi
- Toplam Kalite Kontrol Dönemi
- Toplam Kalite Yönetimi Dönemi

Etkisi 1930'lu yıllara kadar devam eden ve klasik kalite kontrol dönemi olarak isimlendirilen ilk dönemin temelleri Taylor'un çalışmalarına dayanmaktadır. Taylor'un klasik modeline göre yönetim, denetim, planlama ve uygulama gibi faaliyetler birbirinden ayrılmış ve kalite kontrol görevi kalite kontrol departmanına verilmiştir. Bu dönem, kalite kontrol departmanı çalışanları tarafından gerçekleştirilen muayeneye ve ayrıca az miktarda üretim yapıldığı durumlarda ise %100 muayeneye dayandırılmaktadır.

İstatistiksel kalite kontrol olarak adlandırılan ikinci dönem, yönetim ve organizasyon faaliyetlerinde gerçekleşen birtakım değişiklerin de etkisiyle kalite kontrol teknikleri ve ölçüm konularında değişimlerin yaşandığı ve Shewhart tarafından 1930'lu yıllarda geliştirilen istatistiksel kalite kontrol faaliyetlerinin de uygulamaya konulduğu dönemdir. İstatistiksel kalite kontrol dönemi, histogram, Pareto diyagramı gibi istatistiksel yöntemlerin kullanılmaya ve aynı zamanda kontrol diyagramlarının da yardımıyla örnekleme muayenesinin yapılmaya başlandığı dönemdir.

Toplam kalite kontrol dönemi olarak adlandırılan üçüncü dönemin temelleri ise 1960'lı yıllarda Feigenbaum, Deming, Juran gibi isimlerin çalışmaları ile atılmış ve sonrasında diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Bu dönemde ürün kalitesinin henüz tasarım aşamasındayken kontrol edilmesine oldukça önem verilmiştir. Ayrıca kalite kontrol faaliyetlerinden sadece bir departmanın değil, en alt kademeden en üst kademeye kadar herkesin sorumlu tutulması gerektiğinin üzerinde durulmuştur.

Dördüncü aşama olan toplam kalite yönetimi dönemi, muayene, istatistiksel kalite kontrol ve toplam kalite kontrol dönemlerinin ardından ortaya çıkmış ve günümüze kadar kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

Kalitenin arttırılması amacıyla eskiden uygulanmakta olan muayeneye dayalı klasik yaklaşım ile ürün ve yöntemlerin sürekli gelişimine dayalı toplam kalite yönetimi yaklaşımının karşılaştırması Tablo 1.2'de gösterilmiştir (Işığıçok, 2005: 26).

Tablo 1.2: Klasik Yönetim Anlayışı ile Toplam Kalite Yönetimi Anlayışının Karşılaştırılması

Klasik Yönetim Anlayışı	**Toplam Kalite Yönetimi Anlayışı**
Eleştirel tepki	Yapıcı tepki
İşleri doğru yapmak	Doğru işleri yapmak
Önce teknoloji	Önce insan
Yapılması gereken bir iş	Bu benim işim
Rekabetçi	İşbirlikçi
Değişime karşı direnç	Değişime açıklık
Ödül ve cezaya dayalı motivasyon	Çalışmaların takdir edilmesine dayalı motivasyon
Performansa dayalı ücret	Performansın takdir edilmesi
Muayeneye dayalı kalite	Önlemeye dayalı kalite
Ürüne dayalı kalite	Sisteme dayalı kalite
Kabul edilebilir kalite düzeyini hedefleyen üretim	Sıfır hatayı ve yeniden işlememeyi hedefleyen üretim
Yüksek kalite ile artan maliyet	Yüksek kalite ile düşen maliyet
Optimum stok	Sıfır stok
Maliyet veya kalite	Maliyet ve kalite
Spesifikasyon sınırlarında üretim	Hedefe uygun üretim
Ulusal\uluslararası standartlara göre ürün kalitesi	Müşteri beklentisini karşılayan ürün kalitesi
Hiyerarşiye dayalı öncelikler	Müşteri tatminine dayalı öncelikler
Kusurların gizlenmesi	Kusurların açıklanması
Sorun oluştuğunda çözüm geliştiren yaklaşım	Olası sorunları düşünen ve önleyen yaklaşım
Kalite maliyetleri ve savurganlıkları	Kalite maliyetleri raporları
Çalışanlara değer vermeme ve keyfi işten çıkarma	Çalışanların güven ortamında çalışmaları

Minimum uzmanlaşma ile sistem geliştirme	İşbirliği içinde sistem geliştirme
Fonksiyonların kesin ayrımına dayalı organizasyon	İşin ideal şekilde yürütülmesine dayanan esnek yaklaşım
Rekabete dayalı tedarik sistemi	Karşılıklı anlayış ve güvene dayalı tedarik sistemi
Kalite sorunlarından kalite bölümünün sorumlu olması	Kalite sorunlarından tüm bölümlerin sorumlu olması
Kalitenin teknik bir konu olması	Kalitenin yönetsel bir konu olması
Üretim programına öncelik vermek	Kaliteye öncelik vermek
Maksimum kâr hedefi	Yüksek kalite ve rekabet hedefi
Bir firmanın en önemli göstergesinin kâr olması	Karın geçmişin bir ölçütü olması, gelecek için de hedefler konulması gerekliliği
Gelir yüksek ve gider düşük tutulduğu takdirde kâr elde edileceği düşüncesi	Sadık müşteriler sayesinde kâr elde edileceği düşüncesi
Tecrübe ve inisiyatife dayalı yönetim kararları	İstatistik ve kantitatif analizlere dayalı yönetim kararları
İş standardı, kota ve amaçlara göre üretim	İş standardı olmadan kotasız üretim

1.6. Toplam Kalite Yönetimi

1980'lerin başında Japonya'da ortaya çıkmış olan toplam kalite yönetimi anlayışı, kaliteyi ve verimliliği arttırmayı amaçlayan bir yönetim yaklaşımıdır. Müşteri memnuniyetini sağlamaya ve şirket performansını arttırmaya odaklanan bu yönetim felsefesi 1990'lü yıllarda bilinirliğini daha da arttırmıştır (Sahoo, Yadav, 2018: 542).

Geçtiğimiz yıllarda da pazarda oluşan yoğun rekabet ortamı ve üretim firmalarının imalat operasyonlarında ve işlemlerinde rekabet avantajı araması sebebiyle toplam kalite yönetimi uygulamalarının kullanımında dikkate değer bir artış meydana gelmiştir (Chong, Rundus, 2004: 155).

Sürekli iyileştirme felsefesini benimsemiş olan toplam kalite yönetimi (TKY) anlayışının temel unsurları şunlardır (Işığıçok, 2005: 22):

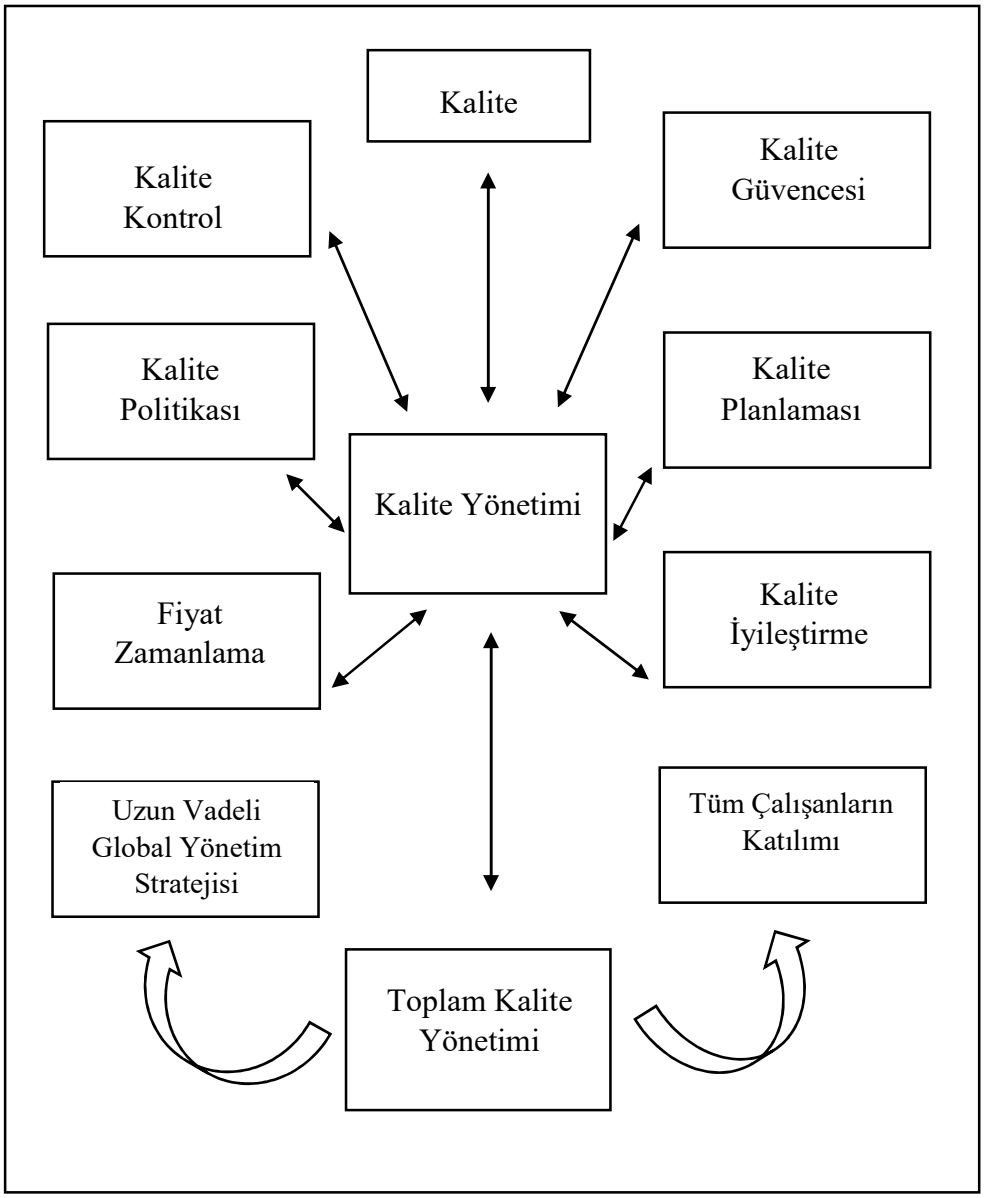
- Üst yönetimin liderlik ettiği yaratıcı ve katılımcı ortam sağlamak,
- Müşteriye ve kaliteye odaklanmak,
- Önleme faaliyetlerine dönük yaklaşım ile sürece odaklanmak,
- Çalışanların eğitimine önem vermek,
- İnsana yapılan yatırımı önemsemek,
- Ekip çalışmasını sağlamak,
- Faaliyetleri, hedefler doğrultusunda ve sürekli iyileştirme felsefesini benimseyerek gerçekleştirmek.

Toplam kalite yönetimi anlayışı ile diğer kavramlar arasında bulunan ilişki Şekil 1.5.'de görsel olarak sunulmuştur. Kalite, kalite yönetimi ve toplam kalite yönetimi kavramları arasındaki ilişki yönetimden oldukça etkilenmektedir. Bu nedenle işletmeler tarafından gerçekleştirilen toplam kalite yönetimi faaliyetlerinde kalitenin üst yönetim tarafından benimsenmesi oldukça önemlidir (Işığıçok, 2005: 27-28).

Toplam kalite yönetimi anlayışının tam anlamıyla gelişmesi ve uygulanabilmesi için sürekli iyileştirme düşüncesinin işletmenin tüm çalışanları tarafından benimsenmesi gerekmektedir. Deming döngüsü olarak da adlandırılan sürekli iyileştirme anlayışı, ilk olarak Shewhart tarafından ileri sürülmüş ve sonrasında da Deming tarafından geliştirilmiştir.

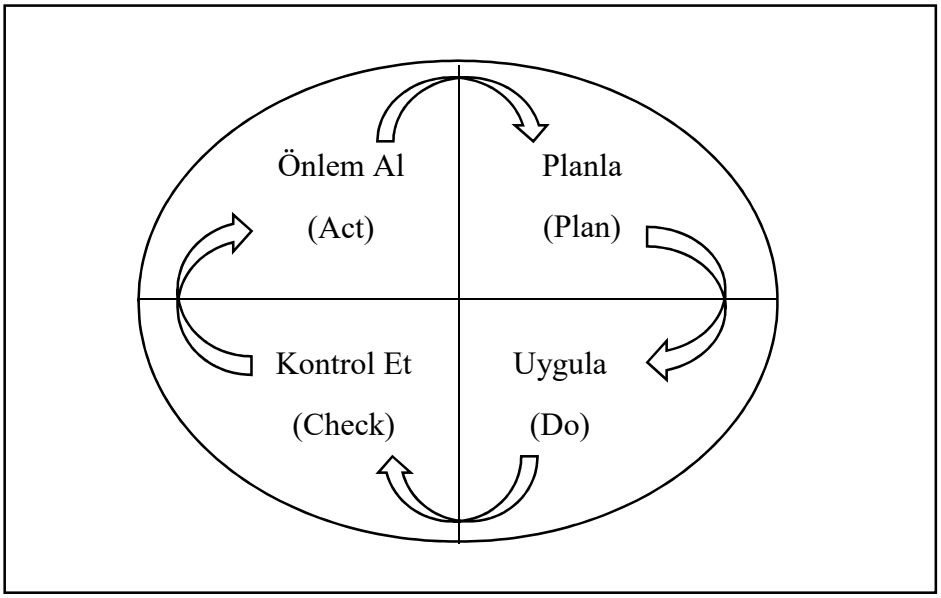
Deming, Taylor döneminde yaygın bir şekilde uygulanan muayene ağırlıklı kalite kontrol çalışmalarına farklı bir yaklaşım getirmiştir. 'Planla-Yap-Gör=Kontrol Et' şeklindeki muayeneye dayalı kontrol anlayışına dördüncü aşama olan 'Harekete Geç-Önlem Al' aşamasını da ekleyerek kontrolü gerçekleştirecek esas faaliyeti tanımlamıştır. Japonlar Deming'in bu döngüsünden esinlenerek tüm faaliyetlerinde bu döngüyü kullanmış ve adına da PUKÖ döngüsü demişlerdir (Işığıçok, 2005: 23).

Şekil 1.5: Toplam Kalite Yönetiminin Bazı Kavramlarla İlişkisi



Herhangi bir süreçte gerçekleştirilen bir faaliyetin sonuçları ile hedeflenen sonuçların karşılaştırılması sonucunda önceden belirlenmiş hedefler ile gerçekleşen sonuçlar arasında fark bulunması durumunda derhal düzeltici önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu tür düzeltici önlemlerin yanı sıra tekrarlı ve devamlı bir şekilde sürdürülen sürekli iyileştirme faaliyetleri PUKÖ döngüsü ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.6'da PUKÖ döngüsü ve aşamaları gösterilmiştir. (Sokovic, Pavletic ve Kern Pipan, 2010: 477).

Şekil 1.6: PUKÖ Döngüsü



Temelleri Deming tarafından atıldığı için Deming döngüsü olarak da adlandırılan bu döngü, 'Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al' olmak üzere dört ayrı aşama ile kalite kontrol faaliyetlerini yürütmektedir. Döngünün birinci aşaması olan planla aşaması ile gerçekleşmesi istenen hedefler belirlenmekte sonrasında bu hedeflere ulaşmayı sağlayacak faaliyetler planlanmaktadır. Döngünün ikinci aşamasında planlanmış olan faaliyetler uygulanırken üçüncü aşamasında da uygulama sonuçları kontrol edilmektedir. Dördüncü aşama ise uygulama sonuçlarının incelendiği ve gerektiği takdirde önlemlerin alındığı aşamayı oluşturmaktadır. Tüm bu aşamalardan sonra yeni faaliyetler, değişiklikler ve iyileştirmeler planlanır, uygulanır, kontrol edilir ve gerekirse önlem alma yoluna gidilerek döngü devamlı bir şekilde tekrarlanmaktadır.

Yönetim felsefesi olarak da bilinmekte olan toplam kalite yönetimi anlayışı, müşterilerin değerini arttırmak, müşterilerin ihtiyaç ve beklentilerini karşılamak amacıyla sürekli iyileştirme faaliyetlerine odaklanmayı sürdürmektedir (Kahreh, Shirmohammadi ve Kahreh, 2014: 602).

Deming döngüsünün de yardımıyla sürekli iyileştirme faaliyetlerine odaklanarak ürün ve hizmet kalitesini arttırmak isteyen işletmeler, tüketicilerin ihtiyaçlarını, istek ve

beklentilerini, tutumlarını ve memnun olma derecelerini de göz önünde bulundurarak daha kaliteli ürün ve hizmet sunma imkânına kavuşmuşlardır.

Toplam kalite yönetimine yönelik gerçekleştirilen faaliyetlerin temel amaçları şunlardır (Işığıçok, 2005: 22):

- Müşterilerin istek ve beklentilerini karşılayacak ürün ve hizmetleri üreterek müşteri memnuniyetini sağlamak ve dolayısıyla müşterilerin güvenini kazanmak.
- Çalışma ortamını ve kalitesini iyileştirecek, hata, maliyet ve borç gibi unsurların minimum seviyede olmasını sağlayacak önlemler alarak daha fazla kâr elde edebilmek.
- Kuruluş hedeflerinin gerçekleşebilmesi için çalışanların potansiyellerini fark etmelerini ve bu potansiyeli tam anlamıyla kullanmalarını sağlamak.
- Şirket politikasının yayılımını ve gönüllü bir şekilde yapılacak faaliyetleri teşvik etmek.

Toplam kalite yönetimi anlayışının süreçlerde etkin bir değişim gerçekleştirmek için kullandığı stratejiler ise şunlardır (Duran, Çetindere, Şahan, 2014: 67):

- Örgüt kültürünü değiştirmek,
- Örgütün hedefleri doğrultusunda herkesin katılım gösterdiği bir yönetim anlayışını benimsemek,
- Eğitim ve öğretim,
- Bireysel uygulamalar yerine işletmenin genel hedeflerine odaklanarak sürekli iyileştirme sağlamak,
- İyileştirmeyi ve gelişmeyi kolaylaştırmak için iletişimi artırmak,
- İç ve dış müşterileri belirlemek ve beklentilerini karşılamak,
- Ürün geliştirme ve satın alma politikalarında fiyattan ziyade kaliteye odaklanmak amacıyla tedarikçilerle ve müşterilerle güçlü bir iletişim kurmak,
- Süreçteki ürünleri ve verileri ölçmek ve bunları görüntülemek,
- Çalışanları, kalite ile ilgili her alanda güçlendirmek.

Toplam kalite yönetimi faaliyetlerinin işletmeler açısından yararları da oldukça fazladır. Bu yararları şu şekilde sıralayabiliriz (Işığıçok, 2005: 27-28):

- Kalitenin yönetim, iletişim, insan, sistem, süreç, donanım anlamında işletmenin her alanında geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve sürdürülmesi,
- Çalışanların yaptıkları çalışmalardan tatmin olmalarının sağlanması,
- Çalışan motivasyonunun yükselmesi,
- İşgücü verimliliğinde artış meydana gelmesi,
- İnsan ve sistem kaynaklı ortaya çıkan hata ve yanlışların, gereksiz maliyetlerin, israfların, uygunsuzlukların ve işletme maliyetlerinin azalması,
- Makine, ekipman, araç ve gereç gibi işletmeye ait donanımların bakım ve onarım maliyetlerinde azalma meydana gelmesi ve dolayısıyla da donanımların daha uzun süreli kullanılabilmesi,
- Problemleri ortaya çıkaran nedenlerin daha hızlı bir şekilde belirlenmesi ve etkili yöntemler ile çözülmesi,
- Katma değeri olmayan işlemlerin yok edilmesi,
- Müşteri şikâyetlerinde azalma meydana gelmesi,
- İşletmenin pazar payında artış gerçekleşmesi,
- İşletme karının artması,
- Yeni iş ve istihdam olanaklarının ortaya çıkması.

Deming, liderlik, müşteri ile tedarikçi ortaklığı, ürün geliştirme ve üretim süreçlerinde sürekli iyileştirmenin önemini vurgulamaktadır. Deming, bahsedilen tüm süreçlerde sürekli iyileşme ve gelişme sağlamak amacıyla yönetimin 14 temel ilkesini gündeme getirmiştir. Kuruluşların geleneksel yönetim tarzından uzaklaşmalarını sağlamak amacıyla 14 temel kural ile oluşturulan yönetim teorisinin ilkeleri şunlardır (Bäckström, Ingelsson ve Wiklund, 2011: 189):

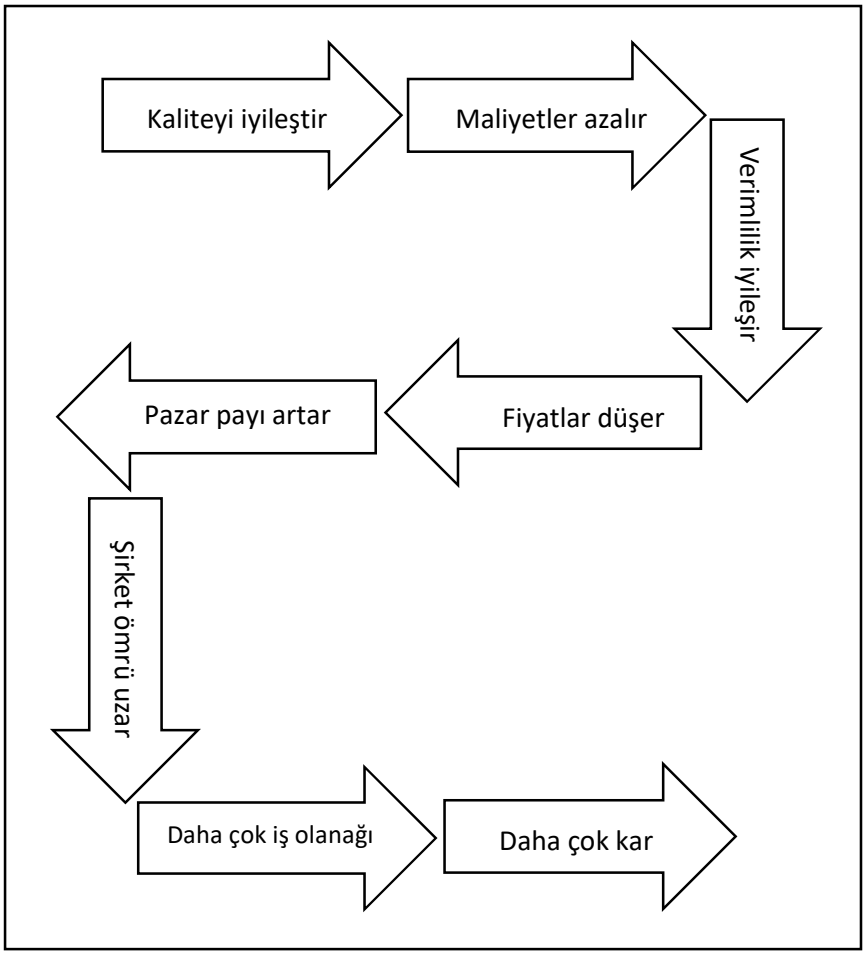
1. Ürün ve hizmette iyileştirme sağlamak için amaç tutarlılığı sağlayın.
2. Yeni felsefeyi benimseyin.
3. Kaliteye ulaşmak için kontrole bağımlılıktan vazgeçin.
4. Satın alma faaliyetlerinde sadece fiyat etiketini temel alarak iş kurma uygulamasını sonlandırın.

5. Ürün ve hizmet ile onları üreten sistemi sürekli ve kalıcı olarak iyileştirin.
6. Eğitimi kurumsallaştırın.
7. Liderliği benimseyin ve uygulayın.
8. Korkuyu silip atın.
9. Personelin çalıştığı bölümler arasındaki engelleri kaldırın.
10. Sloganları, öğütleri ve hedefleri ortadan kaldırın.
11. Sayısal kotaları ve hedefleri ortadan kaldırın.
12. Çalışanları iş yapma gururundan yoksun bırakan engelleri ortadan kaldırın.
13. Eğitim ve kişisel gelişim için herkesi teşvik edin.
14. Dönüşümü gerçekleştirmek için harekete geçin.

Toplam kalite yönetimi felsefesinin benimsenmesiyle gerçekleştirilen bu faaliyetlerin temelinde kalitenin sürekli olarak iyileştirilmesi amacı bulunmaktadır. Kalitenin iyileştirilmesi sonucunda sağlanan müşteri memnuniyetinin yanı sıra maliyetlerde de büyük bir oranda düşme meydana gelecektir.

Şekil 1.7, kalitenin iyileştirilmesi sonucunda maliyetlerde meydana gelen azalmayı göstermektedir. Azalan maliyetler ile birlikte verimlilik artmakta ve dolayısıyla da bu iki iyileşme ürünün fiyatının düşürülmesi şeklinde müşteriye geri dönmektedir. İşletmenin yüksek kaliteyi düşük fiyat ile satması sonucunda pazar payı ve hâkimiyeti artmakta ve bunun sonucunda da ömrü daha da uzamaktadır. Bu sürecin devamı ile birlikte daha çok iş olanağı ve daha fazla kâr elde edilecektir. Kısacası ürünün kalitesinin artması ile birlikte düşük maliyet, yüksek verimlilik, yüksek pazar payı ve şirketin ömrünün uzunluğu da gerçekleşecektir (Işığıçok, 2005: 24-25).

Şekil 1.7: Deming'in Zincirleme Reaksiyonu



2. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL

2.1. İstatistiksel Kalite Kontrol Kavramı

Kalite, kuruluşların hayatta kalması ve büyümesi için hayati öneme sahiptir. Bu nedenle kalitenin sağlanması için sistematik olarak süreç değişkenliğinin araştırılması gerekmektedir. Bunu yapmanın tek yolu ise istatistiksel yöntemlerin kullanılmasıdır. İstatistiksel kalite kontrol yöntemleri, dünya genelinde 70 yıldan fazla bir süredir kullanılmış ve birçok mal ve hizmetin kalitesini arttırmaya büyük katkılarda bulunmuştur (Reis v.d., 2006: 449).

Temelleri Walter A. Shewhart tarafından 1920'li yıllarda atılan istatistiksel kalite kontrol alanı; kalitenin ölçülmesinde, kontrol edilmesinde ve iyileştirilmesinde kullanılan istatistiksel yöntemler olarak tanımlanabilir. Harold F. Dodge ve Harry G. Romig de istatistiksel temelli örnekleme ve inceleme yöntemlerinin geliştirilmesine öncülük etmişlerdir. Konu ile ilgili bu üç araştırmacının çalışmaları, modern istatistiksel kalite kontrol alanının temelini oluşturmaktadır.

İstatistiksel kalite kontrol yöntemleri, ölçme ve kontrol işlemlerinin sistemli bir şekilde yürütülmesini sağlarken aynı zamanda şu sorulara da cevap vermektedir (Işığıçok, 2005: 8):

- Kaç ölçüm yapıldığında doğru ve güvenilir bir ortalama değeri elde edilir?
- Bu ölçümler yapılırken hangi örnekleme planı kullanılmalıdır?
- Ölçüm yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar ile istenen değer arasında fark olması durumunda bu farkın önemli olup olmadığı yani rassal olarak ortaya çıkıp çıkmadığı nasıl belirlenecektir?
- Standart sapma küçüklüğü ne olmalıdır?
- İstenilen değer ile ortalama değer arasında fark olması ne anlama gelmektedir? Örneğin, istenilenden daha sağlam bir ürün üretmek hata yapıldığı anlamına mı gelir?
- Birimler halinde üretilen ürünlerin hepsini ayrı ayrı muayene etmek mümkün olmadığına göre yapılması gereken şey nedir?

- Üretimin gerçekleştiği ara aşamalarda düşük kalite ile karşılaşıldığında ne yapılması gerekir?

Kalitenin iyileştirilmesine yönelik istatistiksel yöntemlerin kullanılmasına dair bazı uygulamalar ise şu şekilde özetlenebilir (Montgomery, Runger, 2003: 596-597):

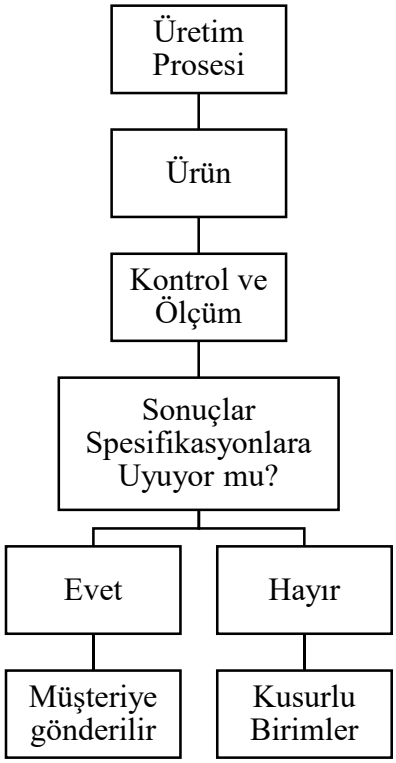
1. Ürün tasarımında ve geliştirilmesinde farklı malzemeleri ve bileşenleri karşılaştırmak amacı ile istatistiksel yöntemler kullanılabilir. Ayrıca bu yöntemler, hem sistem hem de bileşen toleranslarının belirlenmesine yardımcı olmak amacıyla da uygulanabilmektedir. Bu uygulamalar geliştirme maliyetlerini ve geliştirme çalışmaları için harcanan süreyi önemli ölçüde azaltmaktadır.
2. Bir üretim sürecinin kapasitesini belirlemek için istatistiksel yöntemler kullanılabilir. İstatistiksel süreç kontrolü ile değişkenlikleri azaltarak bir süreci sistematik olarak geliştirmek mümkündür.
3. Süreçteki iyileştirmeleri araştırmak için deneysel tasarım yöntemleri kullanılabilir. Bu iyileştirmeler verimliliğin artmasını aynı zamanda da üretim maliyetlerinin azalmasını sağlamaktadır.
4. Ömür testi, ürün ile ilgili güvenilirlik ve diğer performans verilerini sağlar. Bu durum, daha uzun kullanım ömrü olan ve aynı zamanda daha düşük faaliyet ve bakım maliyetlerine sahip yeni ve geliştirilmiş tasarımların ve ürünlerin oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.

Kalite kontrol ve istatistiksel yöntemlerin bir araya getirilmesi ile oluşmuş istatistiksel kalite kontrol, kalite faaliyetlerinin tümünün temelini oluşturmaktadır. Bu bilim dalı istatistiksel verilerin toplanması, analiz edilmesi, yorumlanması ile ilgili ilkeleri ve yöntemleri içermekte ve bahsedilen işlemlerin gerçekleştirilmesinin ardından sonuçları olasılık ilkelerine göre değerlendirmektedir (Akkurt, 2002: 12).

Buraya kadar bahsedilen bilgilerden yola çıkarak, kalite sağlama çabalarının ve yöntemlerinin tümüne kalite kontrol faaliyetleri diyebiliriz. Fakat kalite kontrol ile muayene kavramları sürekli olarak birbirine karıştırılmaktadır. Bu durum 'muayene etmek' ve 'kontrol etmek' kavramlarının birbirine olan benzerliğinden kaynaklanmaktadır. Muayene, üretimi tamamlanmış ürünlerin spesifikasyonlara

uygunluğunu incelemekte ve kalite kontrolün bir fonksiyonunu oluşturmaktadır. Üretimi tamamlanmış ürünlere uygulandığı için de bu işlem geçmişe yönelik bir nitelik taşımaktadır. Kalite kontrol ise spesifikasyonlara uymayan ürünlerin, üretim aşamasındayken ayrılmasını, bu tür ürünlerin üretiminin durdurulmasını ve dolayısıyla geleceğe yönelik olarak önlem alınmasını sağlamaktadır (Işığıçok, 2005: 3-4).

Şekil 2.1: İstatistiksel Kalite Kontrolün Uygulanması



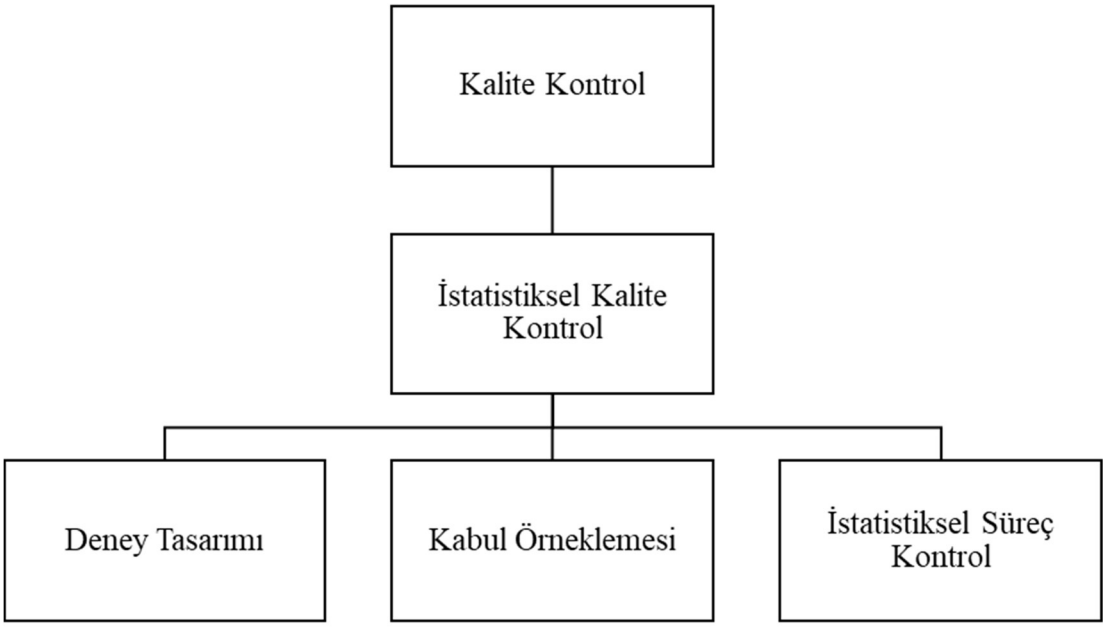
Kalite kontrol faaliyetlerinin etkili bir şekilde uygulanması sonucunda elde edilmek istenen amaçların bir kısmı şunlardır (Kobu, 2014: 561):

1. Ürünlerin kalite seviyelerinin artması,
2. Ürün tasarımının gelişmesi,
3. İşletme ve kalite maliyetlerinin azalması,
4. Iskarta oranının düşmesi,
5. Malzeme ve işçilik kayıplarında azalma meydana gelmesi,
6. Üretim hattının dar boğazlardan arındırılması,

7. Çalışan motivasyonunun artması,
8. Müşterilerin aldıkları ürün ve hizmet sonucu memnuniyetlerinin artması,
9. Ülke ekonomisine katkıda bulunulması,
10. İşletme prestijinin artması,
11. Çalışan ile işveren arasındaki ilişkilerin iyileşmesi.

İstatistiksel kalite kontrol özellikle üç ana alana odaklanmaktadır. Bu alanlar kabul örneklemesi, deney tasarımı ve istatistiksel süreç kontrolünden oluşmaktadır (Montgomery, 2009: 13).

Şekil 2.2: İstatistiksel Kalite Kontrolün Unsurları

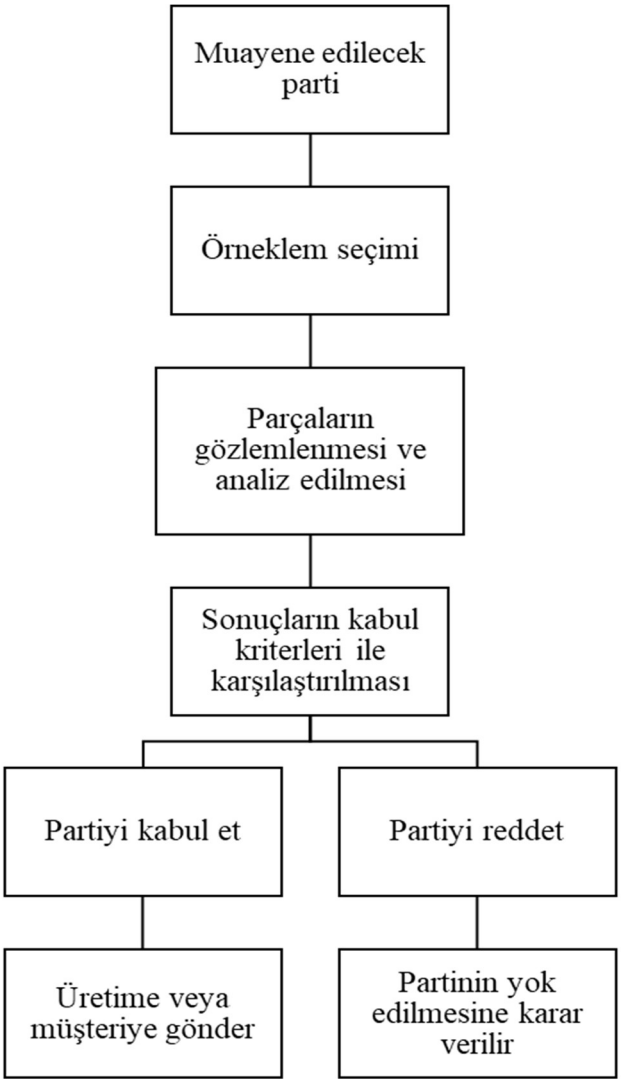


2.1.1. Kabul Örneklemesi

Dodge ve Romig tarafından geliştirilen kabul örneklemesi, tedarikçilerden alınan hammadde veya üretimi tamamlanmış ürün hakkında önceden belirlenmiş kalite spesifikasyonları doğrultusunda kabul veya red kararının verilebilmesi için kullanılan istatistiksel yöntemler bütünü olarak tanımlanabilir (Evans ve Lindsay, 1989: 381).

Kabul örneklemesinin aşamaları Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

Şekil 2.3: Kabul Örneklemesinin Aşamaları



Schilling'e göre kabul örneklemesi planı beş alt kategoriye ayrılmaktadır (Deros v.d., 2008: 623):

- Tekli Örnekleme Planı
- Çift Örnekleme Planı
- Çoklu Örnekleme Planı
- Ardışık Örnekleme Planı
- Kademeli Örnekleme Planı

Kabul örneklemesinin avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Avantajlardan bazıları şunlardır (Dhillon, 1985: 83-84):

- %100 muayene ile karşılaştırıldığında daha az kontrol hatası ortaya çıkmaktadır.
- Tüm birimlerin küçük bir kısmı kontrol edildiği için daha az maliyet ile karşılaşılmaktadır.
- İhtiyaç duyulan kontrolör sayısında azalma gerçekleşeceği için işe alım ve eğitim problemlerinin kolaylaşmasını sağlar.
- Muayene esnasında daha az zarar meydana gelir.

Dezavantajlar ise şu şekilde sıralanabilir:

- Yönetim ile ilgili daha fazla iş yükü ve maliyet ortaya çıkmaktadır.
- Üretimi tamamlanmış mamuller hakkında daha az bilgi sağlamaktadır.
- İyi birimleri içeren partilerin reddedilebilmesi ve kötü birimleri içeren partilerin kabul edilebilmesi riskini taşımaktadır.

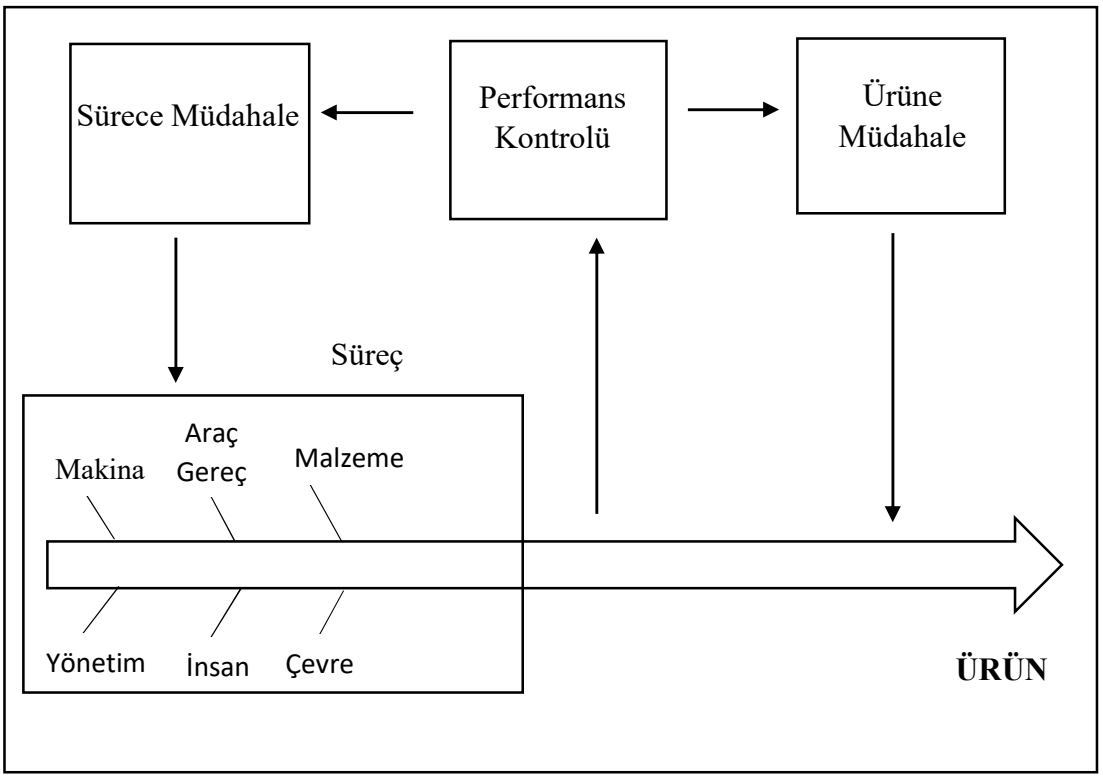
2.1.2. İstatistiksel Süreç Kontrolü

İstatistiksel süreç kontrolü, üretim sürecinde ortaya çıkan varyasyon nedenlerini azaltarak sürecin kontrol altında tutulmasını sağlayan istatistiksel bir tekniktir (Mason, Antony, 2000: 234).

İstenilen niteliklerde ürün veya hizmet ortaya çıkarabilmek için kullanılan ve ortaya çıkan ürünlerin kalitesinde oldukça etkili olan makine, ekipman, yöntem, malzeme ve işgücü gibi faktörlerin oluşturduğu sisteminin tümüne 'süreç' denilmektedir. İstenilen niteliklerde ürün veya hizmet sağlamak amacıyla üretimin gerçekleştirildiği sürecin dolayısıyla sürecin bir parçası olan malzeme, muayene, ölçme ve işgücü gibi unsurların dengede yani kontrol altında olması gerekmektedir. Örneklem alma şekli, örneklem hacmi, muayene yöntemleri, süreçlerin muayenesinin gerçekleşeceği zaman aralıklarının ve hangi ölçü aletleri ile muayenenin gerçekleşeceğinin planı yapılmalıdır. Aynı zamanda sürece dâhil edilecek hammadde özelliklerinin uygunluğu araştırılmalı ve süreçten elde edilen ürünlerin kontrolü gerçekleştirilmelidir. Şekil 2.4'de de gösterildiği gibi herhangi bir süreç kontrol sistemi; süreç, performans

kontrolü, sürece müdahale ve ürüne müdahale olmak üzere dört bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden süreç, ürünün ortaya çıkması için makine, araç-gereç, malzeme, yöntem, insan ve çevre gibi unsurların bir araya getirilmesidir. Üretim sonucu elde edilen ürünün üzerinde inceleme yapılarak araştırılan süreç performansı ise ürünün kalitesini ifade etmektedir. Süreç eğer kontrol altında değilse müdahalede bulunulması gerekmektedir. Geleceğe yönelik olan bu müdahale, sürecin kontrol dışına çıkmasına sebep olan özel nedenlerin saptanmasını ve ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır. Ayrıca üretimi tamamlanmış ürünlerden müşteri istekleri dışında olanlara yapılan müdahale ise geçmişe yönelik niteliktedir. Böyle bir müdahalenin gerektiği durumlarda elde edilen ürünlerin tümünün tek tek kontrolü yapılır ve kullanımı mümkün olmayan kusurlu ürünler hurdaya ayrılır (Işığıçok, 2005: 199-200).

Şekil 2.4: Proses Kontrol Sistemi



İstatistiksel süreç kontrolü, ürünlerin istenilen özelliklere uygun bir şekilde üretilmesini sağlamak amacıyla belirli bir sürecin izlenmesi ve kontrolü aşamalarında istatistiksel yöntemlerin uygulanmasını ifade etmektedir. İstatistiksel süreç kontrolü ile üretim süreci israflardan mümkün olduğu kadar arındırılarak sürecin istenen özelliklere göre yönlendirilmesi sağlanmaktadır (Madanhire, Mbohwa, 2016: 581).

Sürecin istenen özelliklere göre yönlendirilmesini sağlayan bu teknik, kalitenin geliştirilmesine katkıda bulunmakta ve hataların kaynağında önlenmesini mümkün kılmaktadır.

İstatistiksel süreç kontrolünün temel amacı, varyasyon sebeplerinin veya süreç kaymalarının oluşumunu hızlı bir şekilde saptamaktır. Böylece sürecin ve düzeltici faaliyetin araştırılması uyumsuz üniteler üretilmeden önce gerçekleştirilebilir. Kontrol diyagramı da bu amacı gerçekleştirmek için yaygın bir şekilde kullanılan süreç izleme tekniğidir (Montgomery, Runger, 2003: 598-599).

2.1.2.1. İstatistiksel Kalite Kontrol Araçları

İstatistiksel süreç kontrolünde kaliteyi ve süreci iyileştirmek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılan temel araçlar "Yedi Kalite Aracı" olarak bilinir. İlk kez 1960'lı yıllarda Ishikawa tarafından gündeme getirilen bu yedi temel kalite aracı şunlardır (Soković v.d., 2009: 1):

1. Akış Diyagramı
2. Pareto Diyagramı
3. Çetele Diyagramı
4. Kontrol Diyagramı
5. Histogram
6. Serpilme Diyagramı
7. Sebep-Sonuç Diyagramı

Bu yedi temel kalite aracı, süreç kalitesini analiz etmek, kontrol etmek, yönetmek ve iyileştirmek için birtakım araçları kullanan istatistiksel süreç kontrolünün bir parçası olarak kabul edilmektedir (Aichouni, 2012: 30).

Söz konusu kalite araçları, süreçte sürekli iyileştirme sağlamak için üretim alanında yaygın bir şekilde kullanılan oldukça önemli yöntemlerdendir. Bu araçlar, problemlerin kök nedenlerini bulmak ve bunları ortadan kaldırmak için kullanılmakta ve böylece üretim sürecinde iyileştirme sağlanmaktadır (Magar, Shinde, 2014: 364).

Farklı durumlar ve amaçlar söz konusu olduğunda kullanılan kalite araçları da farklılık gösterebilir. Problemin saptanması için yedi temel kalite aracından akış diyagramı, sebep-sonuç diyagramı, çetele diyagramı, Pareto diyagramı, histogram ve kontrol diyagramı kullanılabilir. Problem analizi için ise sebep-sonuç diyagramı, çetele diyagramı, Pareto diyagramı, serpilme diyagramı ve kontrol diyagramı tercih edilmektedir. Analiz edilmiş problemler için çözüm geliştirmeye çalışırken ise akış diyagramı ve serpilme diyagramının kullanılması daha yararlı olabilmektedir. Başarılı bir şekilde uygulanmış kalite araçlarının sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasında ise çetele diyagramı, Pareto diyagramı, histogram, serpilme diyagramı ve kontrol diyagramları kullanılabilmektedir (Paliska, Pavletic, Sokovic, 2007: 80-81).

Kusurlu ürün sayısını azaltmak ve dolayısıyla genel kalite maliyetlerini düşürmek için de kalite araçlarının kullanımı oldukça önemlidir. Bu hedefe süreç değişkenliğini azaltarak, kuruluşun rekabet edebilirliğini ve sürdürülebilirliğini daha da artıracak şekilde ulaşılabilir (Sousa, Rodrigues, Nunes, 2017: 1215).

2.1.2.1.1. Akış Diyagramı

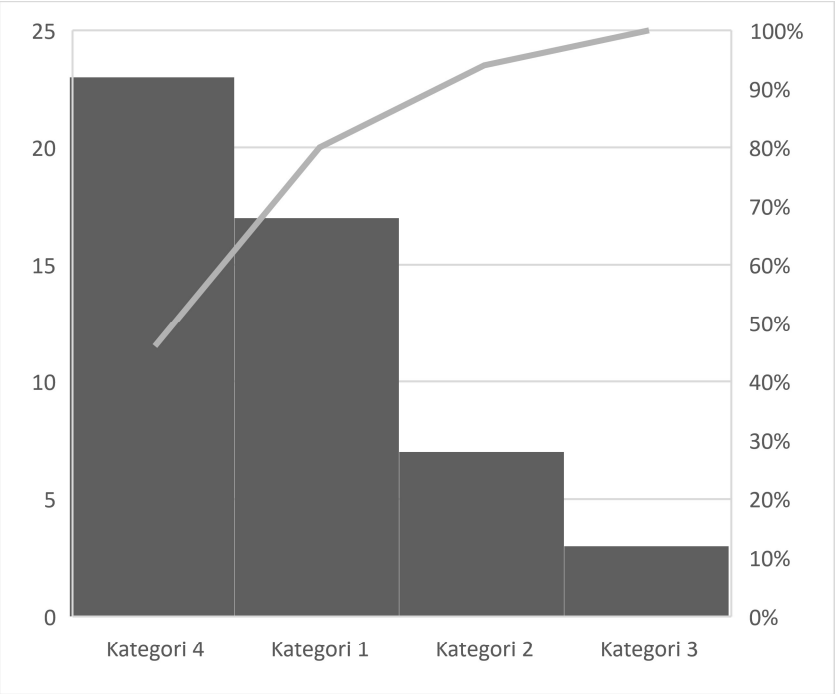
Akış diyagramları karmaşık bir süreçteki basamakları netleştirmek ve ekip üyelerinin süreç hakkında ortak bir anlayış kazanmalarını sağlamak amacıyla bir sürecin her bir aşamasını sıralı olarak listeleyen görsel bir yöntemdir. Ayrıca akış diyagramları ekiplerin; gecikmeleri, gereksiz çalışmaları, iletişim hatalarını ve ek masrafları tespit etmelerini sağlar. Bir süreç analiz aracı olan akış diyagramları, kalite geliştirme ekiplerinin süreç iyileştirme çalışmalarında yol göstererek fikir birliğine ulaşmalarına yardımcı olur (Lau, 2015: 179-180).

2.1.2.1.2. Pareto Diyagramı

Pareto diyagramı, en fazla kusura ve en yüksek kalite dışı maliyetine yol açan sebepleri ortaya çıkarmanın yanı sıra kusurların nedenlerini ve önemini sıralamak için kullanılan bir kalite aracıdır (Boer, Blaga, 2012: 686).

Bu diyagramlar, kalite sorunlarına yol açan etkenlerin önemi hakkında yol göstericidir. Söz konusu diyagramlar, kalite sorunlarının esas nedenlerini önemsiz olanlardan ayırmaya yardımcı olmaktadır (Chandra, 1993: 27).

Şekil 2.5: Örnek Pareto Diyagramı



2.1.2.1.3. Çetele Diyagramı

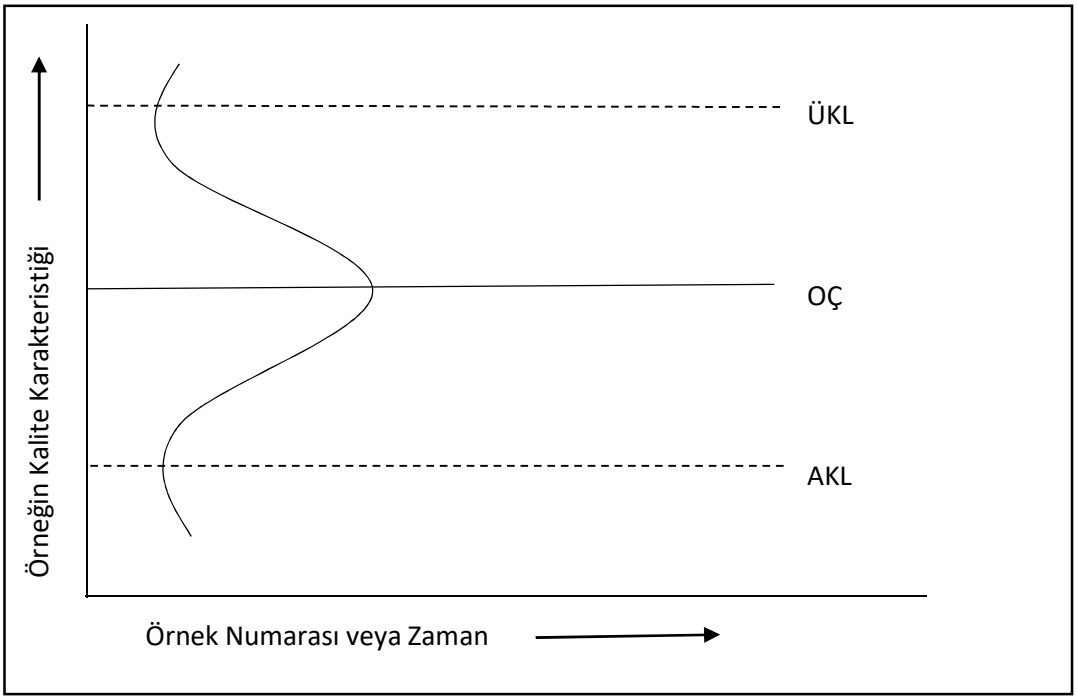
Çetele diyagramları, veri toplanmasına yardımcı olmak amacıyla basit bir şekilde hazırlanan, kolayca derlenip kullanılabilecek ve otomatik olarak analiz edilebilecek talimatlardan oluşan bir kalite aracıdır (Duffuaa, Ben-Daya, 1995: 30).

Verilerin toplanması ve ölçülmesi, herhangi bir analizin temelini oluşturduğu için çetele diyagramının hazırlanmasında toplanan bilgilerin hem ilgili hem de kapsamlı olmasına özen gösterilmelidir (Magar, Shinde, 2014: 370).

2.1.2.1.4. Kontrol Diyagramı

Kontrol diyagramları, özel nedenlerin yol açtığı varyasyonları tespit etmek amacıyla süreçlerin izlenmesi ve kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca bu diyagramlar, süreç iyileştirme faaliyetlerinin varyasyonların değişimi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla da uygulanmaktadır (Chandra, 1993: 27).

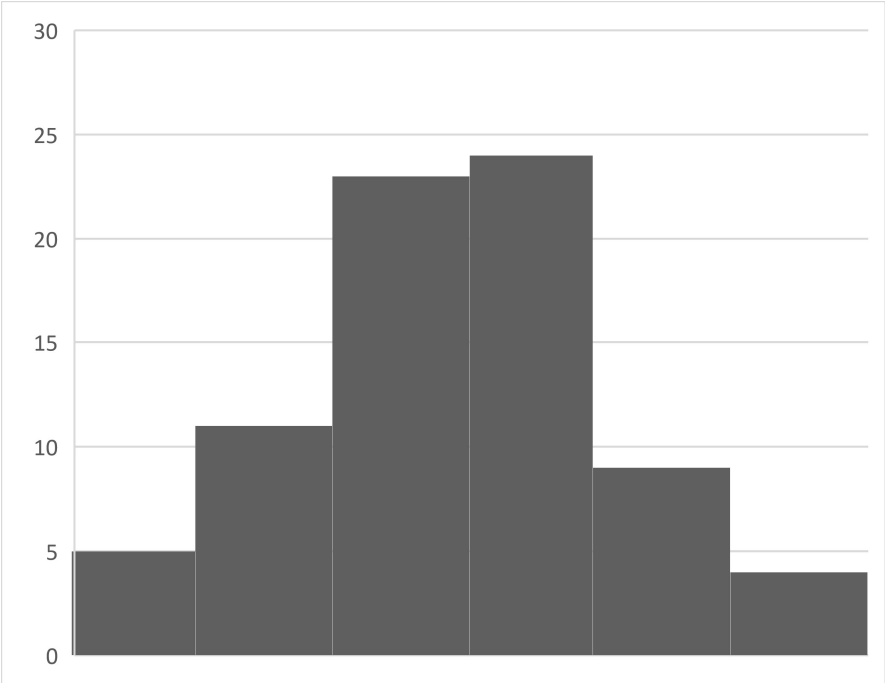
Şekil 2.6: Örnek Kontrol Diyagramı



2.1.2.1.5. Histogram

Histogramlar, uygun sınıf aralıkları ile gruplanmış ve büyüklük sırasına göre düzenlenmiş gözlemlerin dağılım şeklini gösteren grafiklerdir (Magar, Shinde, 2014: 366).

Şekil 2.7: Örnek Histogram Diyagramı



2.1.2.1.6. Serpilme Diyagramı

Bir problemi çözerken veya bir durumu analiz ederken, iki değişken arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekmektedir. Serpilme diyagramı iki değişken arasındaki ilişkiyi araştırmak için kullanılan bir kalite aracıdır. Söz konusu diyagram, bir değişkeni X ekseninde diğer değişkeni ise Y ekseninde bulunan bir grafik üzerine gözlemleri temsil eden bir dizi noktanın çizilmesinden oluşmaktadır. İki değişken arasındaki ilişki, noktaların diyagram üzerindeki dağılım şekillerinden açıkça gözlemlenebilir (Magar, Shinde, 2014: 369).

2.1.2.1.7. Sebep-Sonuç Diyagramı

Ishikawa diyagramları, 1960'larda, Kawasaki tersanelerinde kalite yönetim süreçlerine öncülük eden Kaoru Ishikawa tarafından geliştirilmiş ve bu süreçte Ishikawa, modern yönetimin kurucularından biri haline gelmiştir (Liliana, 2016: 1).

İlk kez Kaoru Ishikawa tarafından geliştirildiği için “Ishikawa’nın diyagramı” olarak da adlandırılmaktadır. Ayrıca sebep-sonuç diyagramı şekli nedeniyle "balık kılçığı diyagramı" olarak da bilinmektedir (Simanová, Gejdoš, 2015: 279).

Bu diyagramın Japon endüstrisinde yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte tüm dünyada kalite kontrol ve kalite iyileştirme çalışmaları için kritik bir araç haline gelmiştir (Kenett, 2008: 1).

Sebep-sonuç diyagramı ekiplerin, bir sonuca katkıda bulunan birçok neden olduğunu anlamalarını sağlayan ve nedenlerin birbirleriyle ve sonuçtaki etkisiyle ilişkilerini gösteren ve iyileştirme alanlarını belirleyen grafiksel bir süreç analiz yöntemidir (Lau, 2015: 180).

Bir sebep-sonuç diyagramının amacı, "etki" ile "nedenleri" arasındaki ilişkiyi inceleyerek karmaşık sorunların analiz edilmesine yardımcı olmaktır (Chandra, 1993: 27).

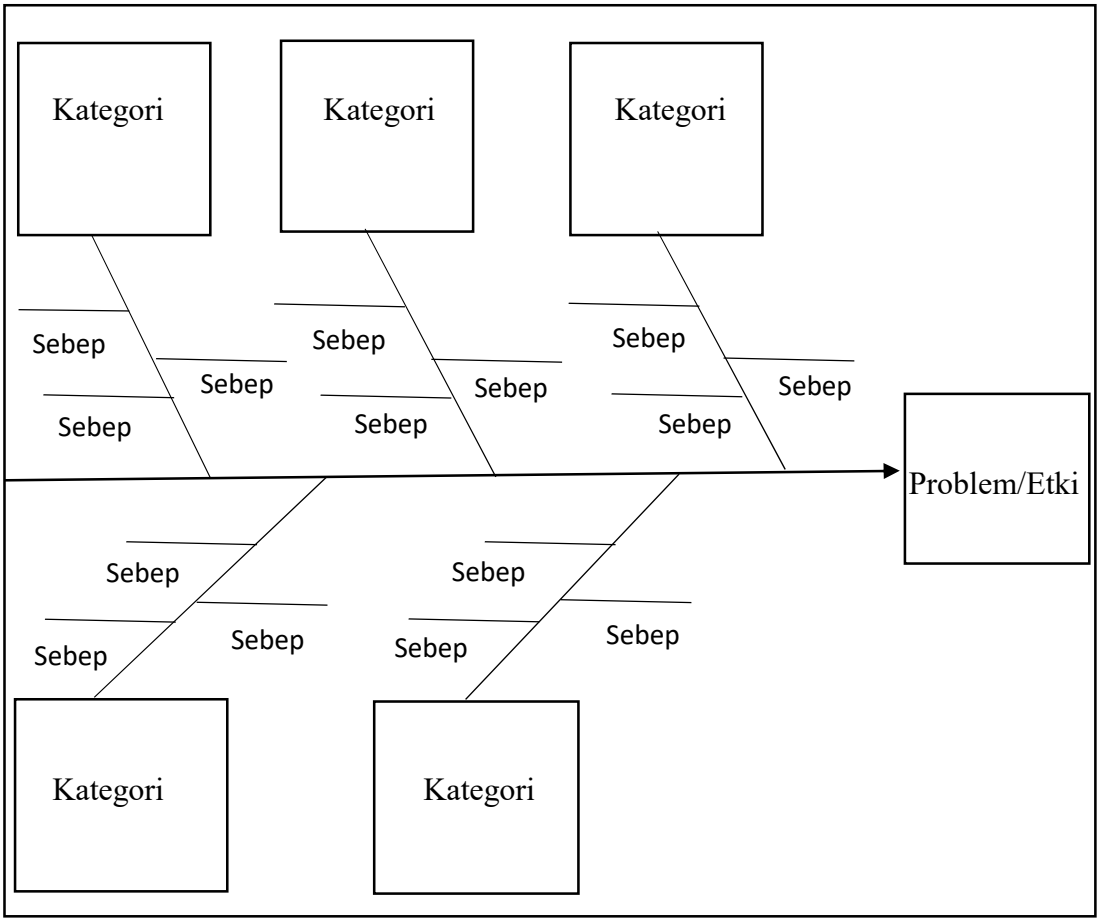
Sebep-sonuç diyagramı, bir problemin olası bütün nedenlerini ortaya çıkarmak amacı ile diyagram tabanlı bir yaklaşım kullanır. Bu yaklaşım, durum analizinin ayrıntılı bir şekilde yapılmasına yardımcı olmaktadır. Sebep-sonuç diyagramını kullanmak için dört adım bulunmaktadır. Bunlar (Liliana, 2016: 2):

1. Sorunu tanımlamak,
2. İlgili ana faktörleri araştırmak,
3. Muhtemel sebepleri belirlemek,
4. Diyagram analizini yapmak.

Bu diyagramın uygulanmasında sebepler, genellikle değişimin kaynaklarını tanımlamak için ana kategorilere ayrılmaktadır. Bu kategorileri şu şekilde sıralayabiliriz (Liliana, 2016: 2):

- İnsanlar: Sürece dâhil olan herkes,
- Yöntemler: Sürecin nasıl yerine getirildiği ve bunun için gerekli politikalar, prosedürler, kurallar, düzenlemeler ve yasalar gibi özel şartlar,
- Makineler: İşi gerçekleştirmek için gereken tüm ekipman, bilgisayar, araç vb.,
- Malzemeler: Nihai ürünü üretmek için kullanılan hammadde, parça vb.,
- Ölçümler: Kaliteyi değerlendirmek için kullanılan ve süreçten elde edilen veriler,
- Çevre: İşlemin gerçekleşeceği yer, zaman, sıcaklık ve kültür gibi koşullar.

Şekil 2.8: Örnek Sebep-Sonuç Diyagramı



3. KALİTE KONTROL İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR VE KALİTE KONTROL DİYAGRAMLARI

3.1. Kalite Karakteristiği ve Spesifikasyon Kavramı

Her ürün, tüketici açısından kalite kavramının neyi ifade ettiğini ortak olarak tanımlayan çeşitli özelliklere sahiptir. Bu özelliklere genel olarak "kalite karakteristiği" adı verilmektedir ve çeşitli türlerde kalite karakteristikleri bulunmaktadır. Örneğin, uzunluk, ağırlık, voltaj gibi fiziksel kalite karakteristikleri var olduğu gibi, tat, görünüm, renk gibi duyusal kalite karakteristikleri de bulunmaktadır. Bunlara ek olarak güvenilirlik, dayanıklılık gibi zamana bağlı kalite karakteristiklerinden de söz etmek mümkündür. İstatistiksel yöntemlerin yardımıyla varyasyonu belirlemeye çalışırken bu kalite karakteristiklerini "ölçülebilen özellikler" ve "ölçülemeyen özellikler" olarak ikiye ayırıp incelemek faydalı olacaktır. Uygun bir ölçü aleti yardımıyla ölçülebilen uzunluk, voltaj, viskozite ve ağırlık gibi özelliklere ek olarak renk ve görünüm gibi herhangi bir ölçü aleti ile ölçülmesi mümkün olmayan özelliklerden de bahsedilebilir. Kalite karakteristikleri genellikle spesifikasyonlara göre değerlendirilirler. Üretilen bir ürün için olması gereken kalite karakteristiklerinin değerleri, o kalite karakteristiğinin spesifikasyonunu oluşturur (Montgomery, 2009: 8).

Kalite karakteristiği için istenen değere karşılık gelen ölçüm değerine "hedef değer" (nominal value) denilmektedir ve hedeflenen bu değer, izin verilen iki limit değer arasında bulunmaktadır. Bir kalite karakteristiği için izin verilen en büyük değere "Üst Spesifikasyon Limiti (ÜSL)", en küçük değere ise "Alt Spesifikasyon Limiti (ASL)" denilmektedir. Bazen kalite karakteristiğine bağlı olarak bahsedilen bu spesifikasyon limitleri bir tane de olabilmektedir (Montgomery, 2009: 9).

Spesifikasyonlar genel olarak tüketici talepleri göz önünde bulundurularak yürütülen mühendislik çalışmaları sürecinin sonunda elde edilen tasarım değerleridir. Üretim yapılırken sadece spesifikasyon limitlerine uygun çıktılar elde etmeye çalışmak yeterli olmamaktadır. Aynı zamanda spesifikasyonlara uygun üretim yapıldığının ispatlanması da gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek amacıyla üretilen partilerden örnekler alınır ve spesifikasyon limitlerine uygun bir şekilde üretim yapıldığı

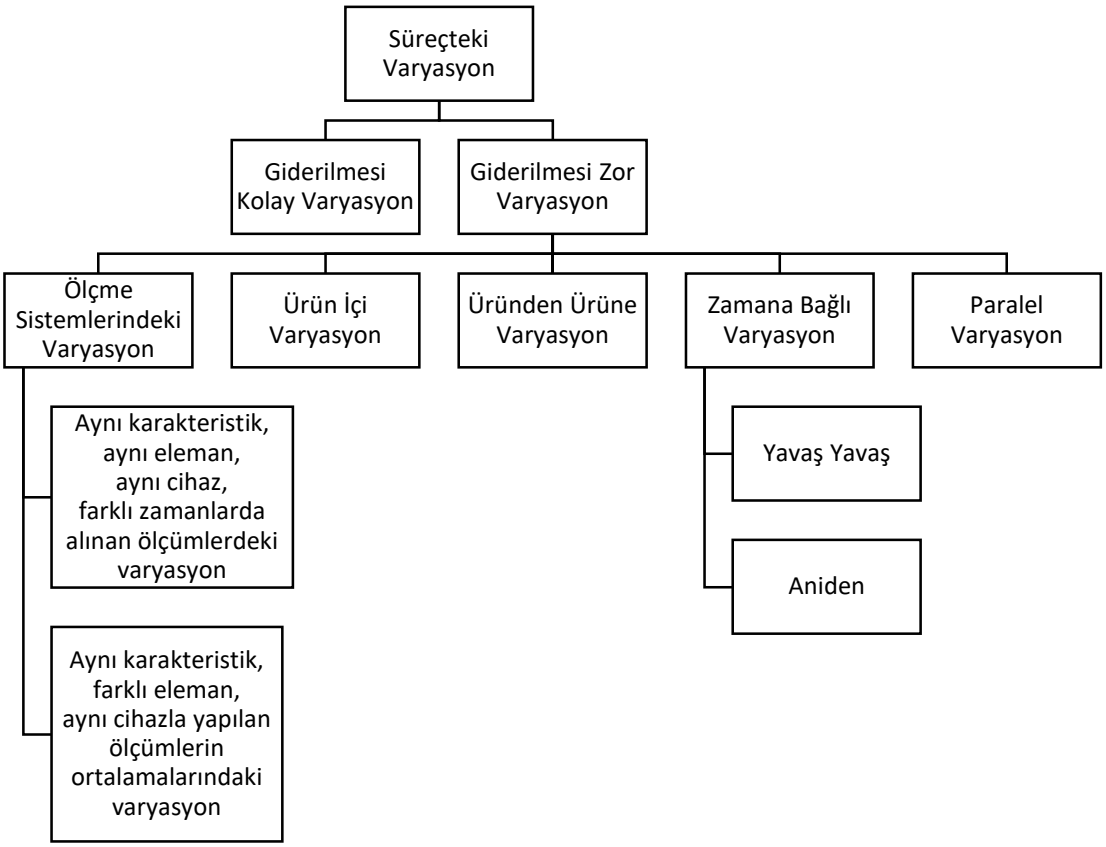
istatistiksel yöntemler ile ispatlanmaya çalışılır. Spesifikasyon limitlerine uygun olarak üretim yapılıp yapılmadığını tespit etmeye çalışırken karşılaşılan en büyük engel varyasyondur. Varyasyon, belirlenen spesifikasyon limitleri dışında üretim yapılmasına neden olmaktadır. Önceden belirlenmiş limitler içerisinde üretim yapılıp yapılmadığına karar verebilmek için varyasyonun belirlenip kabul edilebilir düzeylere çekilmesi veya kaldırılması gerekmektedir (Baray, 2008: 56).

3.2. Varyasyon Kavramı ve Türleri

Bir süreçte meydana gelen varyasyonları "genel varyasyon" ve "özel varyasyon" olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. Üretim sürecinde özel olan veya nadiren meydana gelen varyasyona 'giderilmesi kolay varyasyon' ya da kısaca 'kolay varyasyon' denilirken, genel veya süreğen varyasyona ise 'giderilmesi zor varyasyon' ya da kısaca 'zor varyasyon' denilmiştir. Zor varyasyon, sürecin doğal yapısından kaynaklanan bir varyasyon türüdür. Bir proseste sadece zor varyasyon mevcutsa, proses istatistiksel olarak kontrol altındadır. Bu varyasyonun azaltılabilmesi için süreçte iyileştirmelerin yapılması, sürecin birçok kez revize edilmesi ve dolayısıyla yatırım kararının alınması gerekmektedir. Zor varyasyon azaldığı takdirde sürecin yapısında meydana gelen değişimlerden dolayı performans düzeyi eskisinden çok daha iyi bir hal alır. Özel varyasyon ise sürecin doğasında var olmayan, sıra dışı bir varyasyon türüdür ve önceden tahmin edilmesi mümkün değildir. Kolay varyasyonun meydana geldiği durumlarda süreç kontrol dışına çıkmış olarak kabul edilir. Bu varyasyon süreç kontrol diyagramları sayesinde kolaylıkla belirlenebilmekte ve düşük bir maliyetle basit ve çabuk bir şekilde giderilebilmektedir. Bu varyasyon türü, sebebi ortadan kalktığında yok olmakta ve süreç performansı eski haline geri dönmektedir (Baray, 2008: 57-58).

Karşılaşılan varyasyonun ne tür bir varyasyon olduğuna doğru bir şekilde karar vermek, üretim sırasında çözülmesi gereken en önemli sorunlardan birisidir. Bu noktada istatistiksel süreç kontrol diyagramları, süreçteki varyasyonlar arasında ayrım yapabilmek adına oldukça faydalı olmaktadır.

Şekil 3.1: Varyasyon Çeşitleri ve Zor Varyasyonun Olası Kaynakları



3.3. Kalite Kontrol Diyagramları

Geçmiş yıllarda kaliteyi sağlamak için mamul, müşteriye sevk edilmeden önce üretilmiş olan parti örnekleme yolu ile kontrol ediliyordu. Ancak üretim tamamlandığı için geçmişe yönelik olarak yapılan bu işlemde saptanan hatalar ve kusurlu ürünler için yapılacak pek bir şey bulunmamaktadır. Yapılabilecek tek şey, kusurlu ürünlerin müşteriye ulaşmasını engellemektir. Bu yaklaşımda, hatanın sebeplerini belirleyip bunların yeniden tekrarlamasını engellemek mümkün olmadığı için sürekli fire ve maliyet kaçınılmaz olmaktadır. Bu noktada kontrol diyagramları üretim süreçlerini sürekli olarak kontrol altında tutmak açısından oldukça önemlidir (Baray, 2008: 60).

Kontrol diyagramları, örneklerden elde edilen ölçüm sonuçlarının istatistiksel kontrol sınırları dâhilinde olup olmadığını görsel olarak gösteren grafiklerdir (Russel, Taylor, 1995: 153).

Bu diyagramlar, prosesten alınmış olan örneklemlerin kalite özelliklerinin, diyagram üzerinde bulunan kontrol limitleri ile karşılaştırılmasını sağlamaktadır (Bıckıng, Gryna, 1974: 23).

Temelleri 1920'lerde Dr. Walter Shewhart tarafından atılan kontrol diyagramları, istatistiksel süreç kontrol yöntemleri arasında en çok bilinen ve en sık kullanılan yöntemlerdendir. Belirli bir zaman diliminde, bir süreçte meydana gelen nicel ve nitel varyasyonları belirlemek için kullanılırlar. Beklenen ve ölçülen değerler karşılaştırılarak bu varyasyonların nedenleri tahmin edilebilir (İpek, Ankara, Özdağ, 1999: 827-828).

Kontrol diyagramı üzerinde bulunan noktaların tümünün kontrol limitleri arasında bulunması ve orta çizgi etrafında rassal bir şekilde dağılması halinde sürecin istatistiksel anlamda kontrolde veya istatistiksel olarak dengede olduğunu söyleyebiliriz. Bu durumda süreç, sadece genel nedenlerin etkisi altında istikrarlı bir şekilde çalışmakta ve herhangi bir önleme ihtiyaç duymamaktadır. Diğer bir taraftan bir veya birden fazla noktanın kontrol limitleri dışında bulunması veya belli bir eğilim göstermesi halinde sürecin istatistiksel olarak dengede olmadığını yani kontrol dışında olduğunu söyleyebiliriz. Böyle bir durumda ise özel nedenlerin süreci etkisi altına aldığından ve önlem alınması gerektiğinden bahsedebiliriz (Işığıçok, 2005: 4).

Bir üretim sürecinde kontrol diyagramlarının kullanılmasındaki amaçları şu şekilde sıralanabilir (Straker, 1995: 133):

1. Değişime sebep olan genel ve özel nedenleri ayırt edebilmek,
2. Süreçle ilgili araştırma yapabilmek,
3. Sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını ve sürecin kontrol altında olması için herhangi bir faaliyetin gerekip gerekmediğini tespit edebilmek,
4. Süreçte meydana gelen önemli değişimleri istatistiksel olarak tespit edebilmek,
5. Süreçte ciddi sorunlar meydana gelmeden müdahalede bulunabilmek.

Kontrol diyagramları uygulamaları, günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmakta ve oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bu durumun sebepleri şu şekilde sıralanabilir (Montgomery, 2009: 189):

1. Kontrol diyagramları, ıskarta ve yeniden işleme gibi etkenleri ortadan kaldırdığı için verimliliğin arttırılması açısından oldukça etkili bir tekniktir. Verimliliğin artmasıyla birlikte üretim kapasitesi artar ve maliyetler azalır.
2. Kontrol diyagramları, "ilk seferde doğru yap" felsefesi ile süreci kontrol altında tutmaya çalıştığı için hataların önlenmesinde oldukça etkilidir. Çünkü hataların ortaya çıkmasını engellemek için önceden önlem almak, hatalar ortaya çıktıktan sonra önlemeye çalışmaktan daha az maliyetlidir.
3. Kontrol diyagramları, değişime yol açan özel nedenler ile genel nedenleri birbirinden çok iyi ayırt edebildiği için süreçte gereksiz önlem alınmasını engellemektedir.
4. Kontrol diyagramları üzerindeki noktaların dağılımı, süreç hakkında bilgiler sağlar ve elde edilen bu bilgiler sayesinde sürecin gidişatı önceden tahmin edilerek düzeltici önlemler alınabilir ve sürecin performansını geliştirecek değişimler yapılabilir.
5. Kontrol diyagramları süreçteki önemli parametreler ve bu parametrelerin zamana bağlı olan değişkenlikleri ile ilgili bilgi elde edilmesini sağlar ve bu bilgiler yoluyla proses yeterliliği hakkında tahminde bulunulabilir.

Bu diyagramlar, süreçte meydana gelen değişkenliklerin azaltılmasına ve bu değişkenlikleri ortaya çıkaran nedenlerin tespit edilmesine yardımcı olduğu için sıklıkla kullanılan bir tekniktir (Ryan, 1989: 77).

Kontrol diyagramları hem ölçülebilen özellikler hem de ölçülemeyen özellikler için kullanılabilmektedir. Bu diyagramların her iki tür için de ayrı ayrı kullanımı bulunmasına rağmen genel olarak prosedürleri aynıdır.

Gerek nicel gerekse nitel kontrol diyagramlarının faydalarını şu şekilde sıralayabiliriz (Işığıçok, 2005: 226-227):

- İşyerinde makine başında bulunan operatör tarafından oldukça kolay bir şekilde kullanılabilmesi,

- Sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığının tespit edilebilmesi, süreç kontrol altında değilse değişime sebep olan özel nedenlerin ortaya çıktığı anda belirlenmesi ve ortadan kaldırılması, yani sürece müdahale edilmesi ve önlem alınması gereken zamanın belirlenmesi,
- Değişime sebep olan genel nedenlerin bir sonucu olan sürecin doğal toleransının ölçülebilmesi,
- Genel nedenler ile özel nedenler arasındaki ayrımın yapılabilmesi,
- Ürün kalitesinin sürekli iyileştirilmesi,
- Süreç yeterliliğinde gelişim sağlanması,
- Sürecin devamlı bir şekilde kontrolünün sağlanması ve sürekli gelişimin bir felsefe olarak benimsenmesi,
- Aynı süreçte çalışmakta olan vardiyalar arasında süreç performansına yönelik karşılaştırma yapılması,
- Her örneklem çekiminin ardından istatistiksel anlamlılık testinin yapılma zorunluluğunun ortadan kalkması.

Üretim sürecinin değerlendirilmesi için oluşturulan kontrol diyagramlarında (İpek, Ankara, Özdağ, 1999: 830):

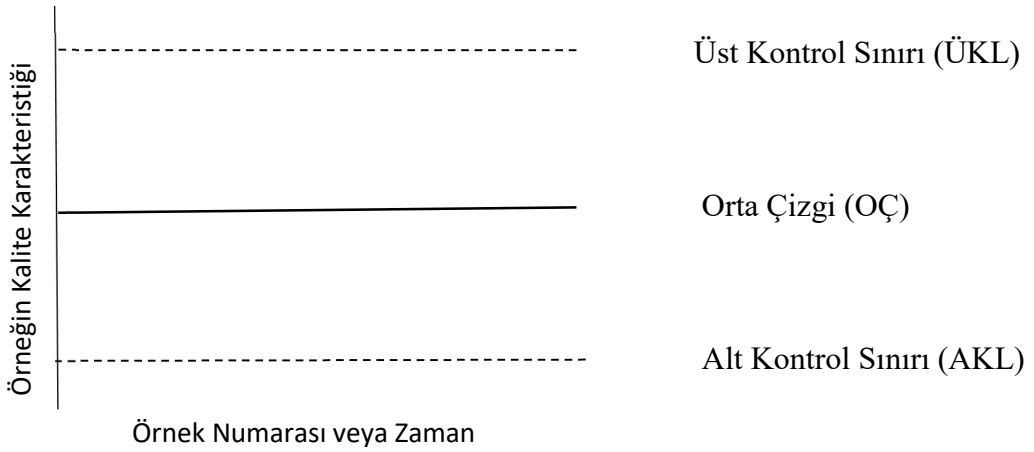
1. Noktaların üçte ikisi, merkez hatta veya merkez hattın yakınında olmalıdır.
2. Kontrol limitlerine yakın olan noktaların sayısı minimum olmalıdır.
3. Noktalar rastgele bir şekilde merkezi sınırların altına veya üstüne düşmeli aynı zamanda da dengelenmelidir.
4. Kontrol limitleri dışında nokta olmamalıdır.

3.3.1. Kalite Kontrol Diyagramlarını Oluşturma İlkeleri ve Adımları

Kontrol diyagramı, ölçülen veya hesaplanan kalite karakteristiğinin grafiksel bir gösterimidir. Şekil 3.2'de gösterilen tipik bir kontrol diyagramı, kalite karakteristiğinin ortalama değerini temsil eden bir orta çizgi (OÇ) ile üst kontrol limiti (ÜKL) ve alt kontrol limiti (AKL) olarak adlandırılan diğer iki yatay çizgiyi içerir. Süreç kontrol altındaysa örnek noktalarının neredeyse tamamı bu kontrol limitlerinin aralarında kalacak şekilde seçilir. Noktalar kontrol limitleri dâhilinde yer aldığı sürece, sürecin kontrol altında olduğu varsayılır ve herhangi bir işlem yapılması gerekmez.

Bununla birlikte, kontrol limitleri dışında kalan bir nokta var ise bu durum sürecin kontrolden çıktığının göstergesi olarak yorumlanır. Kontrol dışı olma durumunun nedenlerini bulmak ve bu nedenleri ortadan kaldırmak için düzeltici faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Montgomery, 2009: 182).

Şekil 3.2: Tipik Bir Kontrol Diyagramının Teorik Temeli



Orta çizgi, üst kontrol limiti ve alt kontrol limiti olmak üzere, kontrol diyagramı üzerinde bulunan bu üç çizgi, süreçten elde edilen veriler yardımıyla oluşturulur. Orta çizgi, örneklem değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir. Örneklemden elde edilen değerler yardımı ile hesaplanan kontrol limitleri ise orta çizginin altında ve üstünde bulunmaktadır. Hesaplanmış olan bu kontrol limitleri, örneklem değerlerinin değişkenliğinin limitlerini ifade etmektedir (Omachonu, 1991: 125).

Kontrol diyagramlarını oluşturma adımları ise şu şekildedir (Işığıçok, 2005: 209-217):

1)Diyagramın hangi amaçla kullanılacağını belirlemek

Üretim süreci boyunca standartlar ile uyum içinde olmak, sıfır hata hedefine ulaşmak için hatalı ürün sayısı ve hatalı ürün oranını mümkün olduğu kadar azaltmak, müşteri beklentilerini ve isteklerini tam anlamıyla karşılamak gibi başlıca amaçların tespit edilmesidir.

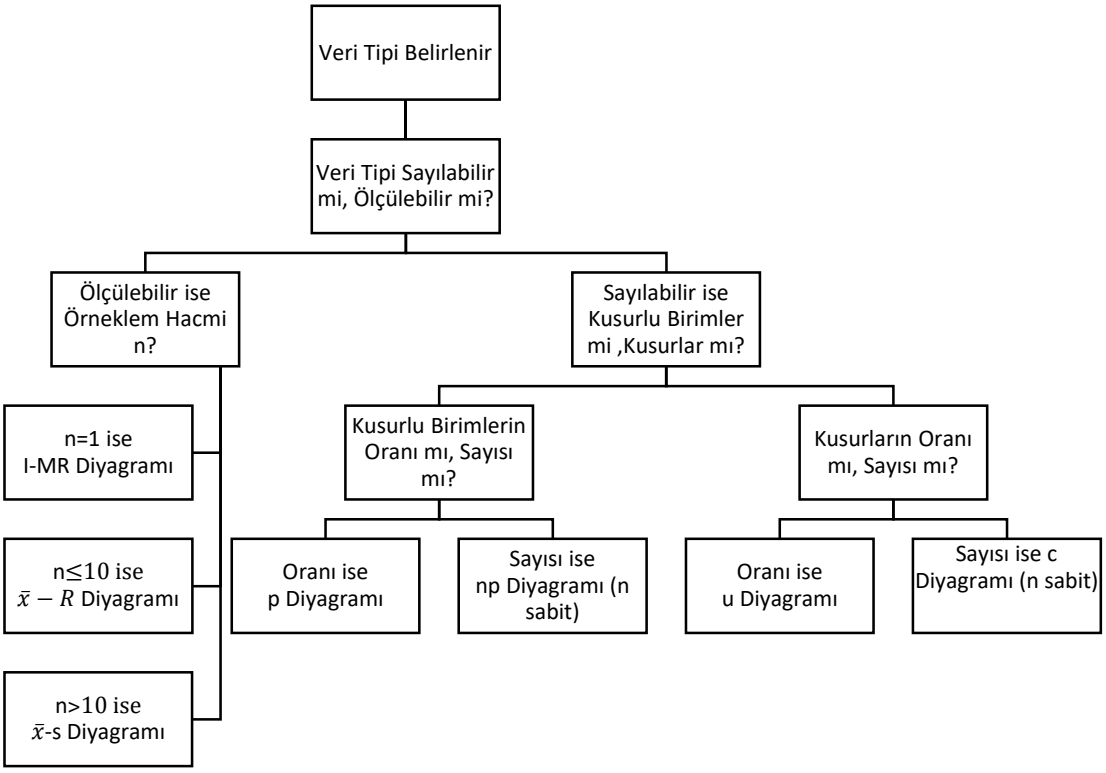
2)Hangi değişkenlerin kullanılacağına karar vermek

Bu aşamada kontrolü yapılacak olan değişkenlerin nicel ve nitel karakteristikleri ve bu karakteristiklerden hangisinin ölçüleceği ve değerlendirileceği belirlenir.

3)Kontrol diyagramı türlerinden uygun olanını seçmek

Kullanılacak olan kontrol diyagramı türüne doğru karar verebilmek oldukça önemlidir. Bu aşamada verilecek olan karar, süreçten çekilmiş olan ürünlerin karakteristiklerinin belirlenmesinde elde edilmiş olan veri türü ile oldukça ilişkilidir. Kontrol diyagramı türlerinden hangisinin seçileceği konusunda Şekil 3.3'deki çizelge yardımcı olacaktır.

Şekil 3.3: Kontrol Diyagramı Seçim Çizelgesi



4)Örneklem hacminin saptanması

Prosesten tek seferde çekilen ürün miktarı örneklem hacmini(n) oluşturmaktadır. Proses değişkenliğinin net bir şekilde gözlemlenebilmesi için örneklem hacminin nicel kontrol diyagramları için 5, nitel kontrol diyagramları için 50-200 şeklinde olması

istenir. Tüm örneklemlerde örneklem hacminin sabit olması ve örneklemi oluşturan birimlerin benzer koşullarda üretilmesi gerekmektedir. Ayrıca prosesten çekilen her bir ürünün örnekleme girme şansı eşit olmalıdır.

5)Örneklem sayısının saptanması

Örneklem sayısının belirlendiği aşama, prosesten rastgele bir şekilde çekilen örneklemlerin seçilme zamanlarını ifade eder. Yani örneklem sayısı(k), prosesten belirli zaman aralıklarıyla çekilen örneklemlerin sayısını temsil eder. Değişim sebeplerinin tespit edilebilmesi için örneklem sayısının yeterli büyüklükte olması gerekmektedir. Bu sayı genellikle 25 olarak tercih edilmektedir. Örneklem sayısı 25 ve örneklem hacmi 5 olmak üzere toplam 125 adet gözlem değeri ile çalışmak prosesteki değişkenliğin belirlenebilmesi için en çok tercih edilen yaklaşımlardan biridir.

6)Ölçme veya değerlendirme yöntemine karar vermek

Nicel kontrol diyagramları kullanılırken değişkenlerin hangi ölçü aleti veya hangi teknikle ölçüleceğine karar vermek oldukça önemlidir. Nitel kontrol diyagramlarının kullanımında ise prosesten çekilecek ürünlerin hangi yöntemle değerlendirileceğinin belirlenmesi gerekir. Değerlendirmeler genellikle gözlem yolu ile yapıldığı için subjektif niteliktedir. Bu sebeple değerlendirmesi yapılacak kalite karakteristiği net bir şekilde belirlenmelidir.

7)Kontrol kartının işlenmesi

Ürün, kontrolü yapılacak değişken, ölçme ve değerlendirme yöntemi, sipariş no gibi kontrol kartı üzerinde doldurulması gereken bilgilerin kart üzerine işlendiği aşamadır.

8)Verileri toplamak ve kaydetmek

Prosesten çekilmiş olan örneklemlerin ölçümleri ve değerlendirmeleri yapıldıktan sonra ölçüm değerleri tablosuna sonuçların kaydı yapılır.

9)Örneklem istatistiklerini hesaplamak ve hesaplanan değerleri diyagram üzerinde göstermek

Örnekleme ait ortalama, aralık, standart sapma gibi değerler, kontrol diyagramının türüne göre değişen örneklem istatistikleridir. Bu aşamada bu değerler hesaplanmakta ve diyagram üzerine işaretlenmektedir.

10)Orta (merkez) çizgiyi hesaplamak ve diyagram üzerinde göstermek

Örneklem istatistiklerinin ortalaması alınarak diyagrama ait orta çizgi değeri hesaplanabilmektedir. Hesaplanan bu değer, kontrol diyagramı üzerine yatay bir şekilde çizilmektedir.

11)Kontrol limitlerini hesaplanmak ve diyagram üzerinde göstermek

Hesaplanmış olan orta çizgi değerine 3σ kontrol uzaklığının eklenmesi ve bu orta çizgi değerinden 3σ kontrol uzaklığının çıkarılması ile 'üst kontrol limiti' ve 'alt kontrol limiti' olmak üzere iki adet kontrol limiti elde edilir. Diyagram üzerine tercih edilmesi durumunda 2σ uzaklığında 'uyarı limitleri' eklenebilir. Elde edilen bu kontrol limitleri diyagram üzerine, orta çizginin altında ve üstünde olmak üzere yatay bir şekilde çizilir.

12)Diyagram üzerindeki noktaları incelemek ve yorumlamak

Öncelikle diyagram üzerindeki örneklem istatistiklerine ait noktalar incelenir ve kontrol limitleri dışında nokta olup olmadığı tespit edilir. Kontrol diyagramlarının yorumu ile proses ortalamasının ve değişiminin sabit bir düzeyde olup olmadığı tespit edilmeye ve gerekirse önlem alınmaya çalışılır.

13)Eğer süreç kontrol dışında ise bu durumun sebeplerini araştırmak

Proses kontrol dışında ise kontrol limitleri ile ilgili işlemlerin ve diyagram üzerindeki noktaların tekrar incelenmesi gerekir. Eğer yapılan hesaplamalarda veya diyagramın çiziminde herhangi bir yanlışlık yoksa değişime sebep olan özel nedenler tespit edilir.

14)Kontrol dışı durumlarda sürece müdahale etmek ve önlemleri almak

Prosesten alınmış ürünlerden spesifikasyon limitleri dışında bulunanlar var ise bu ürünler ayrı ayrı kontrol edilmelidir. Kontrol edildikten sonra yeniden işlem yapılmalı ve eğer uygun hale getirilebilecek ürünler var ise düzeltici önlemler alınmalıdır. Bu ürünler uygun duruma getirilemeyecek ürünlerse ıskarta olarak diğerlerinden ayrılmalıdır. Eğer aşırı miktarda ıskartaya ayrılan ürün var ise prosesi durdurmak ve bu duruma müdahale etmek gerekir. Müdahale sonrası proses kontrol altına alınırsa üretime devam edilebilir.

Proseste değişimlere sebep olan özel nedenleri tespit ederek ortadan kaldırdıktan sonra kontrol limitleri tekrar hesaplanır. Özel nedenlerin düzeltilmesi sonucunda prosesin farklı bir ortalama ile yeniden kontrolü sağlanır. Ancak değişime yol açan özel nedenlerin tamamı ortadan kaldırılsa bile birtakım sorunlar tümüyle yok edilememektedir. Bu sorunların sebebi ise süreçte değişime yol açan genel nedenlerdir. Bu noktada önemli olan söz konusu genel nedenlerin önemsiz bir seviyede olması ve ortaya çıkışının rassal bir şekilde gerçekleşmesidir.

3.3.2. Örnek Büyüklüğü ve Örnekleme Sıklığının Belirlenmesi

Bir kontrol diyagramını tasarlarken kullanılacak olan örnek büyüklüğünün ve örnekleme sıklığının belirlenmesi gerekmektedir. Genellikle büyük örnek hacimleri, süreçteki küçük değişimlerin tespitini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle örneklem büyüklüğünün belirlenmesinde, tespit edilmeye çalışılan değişimin büyüklüğü de göz önünde bulundurulmalıdır. Süreçteki sapmaların tespit edilmesi açısından büyük numunelerin kısa aralıklarla alınması arzu edilirken bu durumun gerçekleşmesi ekonomik anlamda pek mümkün değildir. Kısa aralıklarla küçük örnekler alınabileceği gibi daha uzun aralıklarla daha büyük örnekler de alınabilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda özellikle yüksek hacimli üretim faaliyetlerinin gerçekleştiği yerlerde, daha sık aralıklarla daha küçük numunelerin alınması tercih edilmektedir (Montgomery, Runger, 2003: 603).

3.3.3. Kalite Kontrol Diyagramı Türleri

Kontrol diyagramları şu şekilde sınıflandırılmaktadır (Grant, Leavenworth, 1996: 7):

Nicel Kontrol Diyagramları

- Ortalama ($\bar{x}$) ve Aralık (R) Kontrol Diyagramları
- Ortalama ($\bar{x}$) ve Standart Sapma (s) Kontrol Diyagramları
- Bireysel Gözlem Değerleri (I) ve Hareketli Aralık (MR) Kontrol Diyagramları

Nitel Kontrol Diyagramları

- Kusurlu Oranı (p) Kontrol Diyagramı
- Kusurlu Sayısı (np) Kontrol Diyagramı
- Kusur Sayısı (c) Kontrol Diyagramı
- Birim Başına Kusur Sayısı (u) Kontrol Diyagramı

Bahsedilen diyagramlara ek olarak süreçteki küçük kaymaları tespit etmek amacıyla kullanılan şu diyagramlar da bulunmaktadır (Montgomery, 2009: 400):

- Kümülatif Toplam (CUSUM) Kontrol Diyagramı
- Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) Kontrol Diyagramı

4. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL DİYAGRAMLARI

Boyut, ağırlık veya hacim gibi sayısal bir ölçü ile ifade edilen kalite karakteristiklerine "ölçülebilir değişkenler" ve bu değişkenlerin kontrol edildiği diyagramlara da "ölçülebilir değişkenler için kontrol diyagramları" denilmektedir. Ölçülebilir değişkenler için kontrol diyagramlarının kullanımı oldukça yaygındır (Montgomery, 2009: 226-227).

4.1. Shewhart Kalite Kontrol Diyagramları

Kontrol diyagramları ilk kez 1924'te, Bell Telefon Laboratuvarları fizikçisi W.A. Shewhart tarafından öne sürülmüştür. Bu nedenle de "Shewhart Kalite Kontrol Diyagramları" olarak anılmaktadır. Shewhart kalite kontrol diyagramları, bir orta çizgi ile üst kontrol limiti ve alt kontrol limiti olarak adlandırılan, istatistiksel olarak belirlenmiş iki kontrol sınırından oluşmaktadır (Vries, Conlin, 2005: 320).

İlgilenilen bazı kalite özelliklerine ait ölçüm değerlerinin örnek istatistiği w olsun ve w'nin ortalamasının μ_w ve standart sapmasının σ_w olduğunu varsayalım. Bu durumda orta çizgi, üst kontrol limiti ve alt kontrol limiti şu şekilde hesaplanmaktadır:

Üst Kontrol Limiti = $\mu_W + L\,\sigma_W$ (1)

Orta Çizgi = μ_W (2)

Alt Kontrol Limiti = $\mu_W - L\,\sigma_W$ (3)

L, kontrol sınırlarının orta çizgiye olan uzaklığını ifade eden bir katsayı değeridir (Montgomery, 2009: 185).

Shewhart diyagramları üzerinde bulunan bu kontrol limitleri, orta çizginin her iki tarafında 3 standart sapma aralığı temel alınarak oluşturulmaktadır. Kontrol diyagramında kullanılan 3 standart sapma limitleri, süreçte mevcut olan rasgele değişkenlik nedenlerinin % 99,7 olasılıkla kontrol limitleri içinde bulunacağı anlamına gelmektedir (Fu, Wang, Dong, 2017: 47).

Geriye kalan % 0,3 olasılık, özel değişkenlik nedenlerine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla 3 standart sapma limitleri, değişkenliğin rasgele ve özel değişkenlik

nedenlerinin hangisi tarafından meydana geldiğini belirlemek amacı ile kullanılmaktadır.

Ortalama ($\bar{x}$), aralık (R) ve standart sapma (s) diyagramları, ölçülebilir özellikler için en yaygın şekilde kullanılan kontrol diyagramlarıdır. Ortalama kontrol diyagramları hem ayrı bir şekilde hem de üretim uygulamasının durumuna göre $\bar{x} - R$ ve $\bar{x} - s$ çiftleri şeklinde de kullanılabilirler (İpek, Özdağ, Ankara, 1999: 828-829).

Dolayısıyla süreç değişkenliği, s kontrol diyagramı adı verilen standart sapma için kontrol diyagramı veya R kontrol diyagramı adı verilen aralık için kontrol diyagramı ile izlenebilmektedir. R ve s kontrol diyagramları, en önemli istatistiksel süreç izleme ve kontrol yöntemleri arasında bulunmaktadır (Montgomery, 2009: 227).

4.1.1. $\bar{x} - R$ Kalite Kontrol Diyagramları

Bir üretim sürecinde örnek hacmi 1'den büyük ve 10'dan küçük ise $\bar{x}$ kontrol diyagramı yanında R kontrol diyagramı kullanılmaktadır.

Eğer sürece ait parametreler biliniyorsa, yani sürece ait ortalama ve standart sapma değerleri geçmiş tecrübelere göre önceden belirlenmişse, μ ortalama ve σ standart sapma olmak üzere ortalama ($\bar{x}$) kontrol diyagramının kontrol limitleri:

$$\text{ÜKL} = \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{4}$$

$$\text{OÇ} = \mu \tag{5}$$

$$\text{AKL} = \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{6}$$

şeklinde hesaplanır. $\frac{3}{\sqrt{n}}$ değerinin yerine hesaplamayı kolaylaştırmak adına A değeri kullanılırsa kontrol limitleri:

$$\text{ÜKL} = \mu + A\sigma \tag{7}$$

$$\text{OÇ} = \mu \tag{8}$$

$$\text{AKL} = \mu - A\sigma \tag{9}$$

olacak şekilde yeniden düzenlenir. Buradaki A değeri, n'ye göre değişen bir katsayıdır ve aldığı değer Ek 1'deki tabloda verilmiştir. R diyagramı için ortalama ve standart sapma değerleri ise $\sigma = {}^{R}/_{d_2}$ ve $\sigma_R = d_3\sigma$ formülleri ile hesaplanmaktadır. Buna göre R diyagramının kontrol limitleri:

ÜKL = $d_2\sigma + 3\sigma_R = d_2\sigma + 3d_3\sigma$ (10)

OÇ = $d_2\sigma$ (11)

AKL = $d_2\sigma - 3\sigma_R = d_2\sigma - 3d_3\sigma$ (12)

formülleri ile hesaplanmaktadır. $D_1 = d_2 - 3d_3$ ve $D_2 = d_2 + 3d_3$ olmak üzere kontrol limitleri:

ÜKL = $D_2\sigma$ (13)

OÇ = $d_2\sigma$ (14)

AKL = $D_1\sigma$ (15)

şeklinde yeniden düzenlenir. D_1 ve D_2 katsayılarının farklı örnek hacimlerine göre aldıkları değerler Ek 1'deki tablodan bulunabilir (Montgomery, 2009: 242-243).

Ancak yapılan uygulamalarda genellikle ortalama ve standart sapma bilinmemektedir. Ortalamanın ve standart sapmanın tahmini değerlerini bulabilmek için kontrol altında olduğunu düşündüğümüz prosesten örnekler alınır. Örneklem hacmi n ile ifade edilmek üzere, k tane zaman diliminde rasgele seçilmiş $x_1, x_2, \dots, x_n$ şeklindeki n adet örneklemin ortalaması:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} \quad (16)$$

eşitliği ile hesaplanır (Montgomery, 2009: 228).

Genellikle örneklem hacmi n=5 olarak tercih edilir. Ayrıca $j = 1,2, \dots, k$ olmak üzere örneklem sayısı (dönemi) ise k tanedir. Bu sayede her biri n adet örneklemden oluşan k adet örneklemin ortalamasının değeri elde edilmiş olur. Süreçteki büyük değişimlerin takip edilebilmesi için de k ≥ 25 olmalıdır (Işığıçok, 2005: 231-232).

Her biri n tane gözlem içeren k tane örneğin olduğunu ve her bir örneğin ortalamasının $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$ olduğunu varsaydığımızda sürecin genel ortalaması:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{j=1}^{k} \bar{x}_j}{k} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \cdots + \bar{x}_k}{k} \tag{17}$$

şeklinde hesaplanır. Burada:

$\bar{x}_1 = 1.$ örneklem $(zaman)$ dönemindeki n hacimlik örneklemin ortalamasını

$\bar{x}_2 = 2.$ örneklem dönemindeki n hacimlik örneklemin ortalamasını

$\bar{x}_k = k.$ örneklem dönemindeki n hacimlik örneklemin ortalamasını

ifade etmektedir. Ortalamaların ortalaması olan bu değer, ayrıca tüm ölçüm değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir. Bu nedenle bu değere genel ortalama da denilmektedir. Hesaplanmış olan süreç ortalaması $(\bar{\bar{x}})$ değeri, kontrol diyagramının orta çizgisini oluşturmaktadır. Anakütle parametrelerinin bilinmediği veya standartların belli olmadığı durumlarda bu değerlerin yerine tahminleri kullanılmaktadır. Süreç ortalaması $(\bar{\bar{x}})$ değeri de bu gibi durumlarda anakütle ortalaması değerinin tahminidir (Işığıçok, 2005: 232).

$x_1, x_2, \dots, x_n$ şeklinde n adet örneğin değişim aralığı ise:

$$R = R_{max} - R_{min} \tag{18}$$

formülü ile hesaplanır. Bu değer örneğe ait en büyük ve en küçük gözlemler arasındaki farkı verir. (Montgomery, 2009: 228).

k adet örneklemin değişim aralığının $R_1, R_2, \dots, R_k$ şeklinde gösterildiği durumda ortalama değişim aralığı:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_k}{k} \tag{19}$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada:

$R_1 = 1.$ $zaman$ dönemindeki n hacimlik örneklemin aralığını

$R_2 = 2.$ $zaman$ dönemindeki n hacimlik örneklemin aralığını

$R_k = k.$ $zaman$ dönemindeki n hacimlik örneklemin aralığını

ifade etmektedir (Işığıçok, 2005: 233). Ortalama değişim aralığının kullanılması ile elde edilen σ'nın tahmin değeri ise:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \tag{20}$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Ortalama ($\bar{x}$) kontrol diyagramının kontrol limitleri:

Üst Kontrol Limiti = $\bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$ (21)

Orta Çizgi = $\bar{\bar{x}}$ (22)

Alt Kontrol Limiti = $\bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$ (23)

şeklinde hesaplanır. $A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$ olmak üzere örneklem hacmine göre değişen sabit bir katsayıdır. Bu değer, Ek 1'den kolaylıkla bulunabilir. Aralık (R) diyagramına ilişkin kontrol limitleri ve orta çizgi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

Üst Kontrol Limiti = $D_4\bar{R}$ (24)

Orta Çizgi = $\bar{R}$ (25)

Alt Kontrol Limiti = $D_3\bar{R}$ (26)

Örneklem hacimlerine bağlı olarak değişen D_3 ve D_4 değerleri sabit katsayılardır. Ek 1'deki tablodan aldıkları değerler bulunabilmektedir. $D_3 = 1 - 3\frac{d_3}{d_2}$ ve $D_4 = 1 + 3\frac{d_3}{d_2}$ eşitlikleri ile hesaplanmaktadır (Montgomery, 2009: 229-230).

4.1.2. $\bar{x} - s$ Kalite Kontrol Diyagramları

Bir üretim sürecinde örnek hacminin 10'a eşit veya 10'dan büyük olması halinde R diyagramı yerine s diyagramı kullanılmaktadır. Çünkü örnek hacminin 10'a eşit veya 10'dan büyük olması durumunda değişim aralığının etkinliği ve güvenirliği azalmaktadır. s diyagramının örnek hacminin 10'dan küçük olduğu durumlarda da kullanılabilmesine rağmen hesaplama kolaylığı açısından R diyagramı tercih edilmektedir.

Eğer sürece ait parametreler biliniyorsa, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla $c_4\sigma$ ve $\sigma\sqrt{1-{c_4}^2}$ eşitlikleri ile ifade edilmektedir. Bu durumda s diyagramı için kontrol limitleri:

ÜKL = $c_4\sigma + 3\sigma\sqrt{1-{c_4}^2}$ (27)

OÇ = $c_4\sigma$ (28)

AKL = $c_4\sigma - 3\sigma\sqrt{1-{c_4}^2}$ (29)

formülleri ile hesaplanmaktadır. İşlemleri basitleştirmek amacıyla formüller:

$$B_5 = c_4 - 3\sqrt{1-{c_4}^2} \quad (30)$$

$$B_6 = c_4 + 3\sqrt{1-{c_4}^2} \quad (31)$$

şeklinde yeniden düzenlenirse s diyagramı için kontrol limitleri:

ÜKL = $B_6\sigma$ (32)

OÇ = $c_4\sigma$ (33)

AKL = $B_5\sigma$ (34)

formülleri ile ifade edilmektedir. Örnek hacmine göre değişen B_5 ve B_6 katsayılarının değerleri, Ek 1'deki tabloda verilmiştir (Montgomery, 2009: 252-253).

Ortalama ve standart sapma değerlerinin bilinmediği durumlarda her biri n tane gözlem içeren m tane örneğin olduğunu ve bu örneklerin standart sapmalarının $s_1, s_2, \dots, s_m$ olduğunu varsayalım. Bu m adet standart sapmanın ortalaması:

$$\bar{s} = \frac{s_1+s_2+\cdots+s_m}{m} \quad (35)$$

formülü ile hesaplanır. Burada:

$s_1 = 1.\, zaman\ dönemindeki\ n\ hacimlik$ örneklemin $standart\ sapmasını$

$s_2 = 2.\, zaman\ dönemindeki\ n\ hacimlik$ örneklemin $standart\ sapmasını$

$s_m = m.\, zaman\ dönemindeki\ n\ hacimlik$ örneklemin $standart\ sapmasını$

göstermektedir. Örnek standart sapmaları ise şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{36}$$

s diyagramının kontrol limitleri:

$$\text{ÜKL} = \bar{s} + 3\frac{\bar{s}}{C_4}\sqrt{1 - {c_4}^2} \tag{37}$$

$$\text{OÇ} = \bar{s} \tag{38}$$

$$\text{AKL} = \bar{s} - 3\frac{\bar{s}}{C_4}\sqrt{1 - {c_4}^2} \tag{39}$$

formülleri ile hesaplanmaktadır.

B_3 ve B_4 katsayıları:

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4}\sqrt{1 - c_4^2} \tag{40}$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{c_4}\sqrt{1 - c_4^2} \tag{41}$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Bu değerler örneklem hacmine göre değişen sabit katsayılardır. Ek 1'deki tabloda aldıkları değerler gösterilmiştir. Bu durumda s diyagramının kontrol limitleri:

$$\text{Üst Kontrol Limiti} = B_4\bar{s} \tag{42}$$

$$\text{Orta Çizgi} = \bar{s} \tag{43}$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti} = B_3\bar{s} \tag{44}$$

şeklinde yeniden düzenlenmiştir. Ayrıca bu katsayılar $B_3 = \frac{B_5}{c_4}$ ve $B_4 = \frac{B_6}{c_4}$ şeklinde de hesaplanabilmektedir (Montgomery, 2009: 253).

Ortalama ($\bar{x}$) diyagramının kontrol limitleri ise:

ÜKL = $\bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{s}}{c_4\sqrt{n}}$ (45)

OÇ = $\bar{\bar{x}}$ (46)

AKL = $\bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{s}}{c_4\sqrt{n}}$ (47)

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. $A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}}$ olmak üzere eşitlikler yeniden düzenlenirse kontrol limitleri:

Üst Kontrol Limiti = $\bar{\bar{x}} + A_3\bar{s}$ (48)

Orta Çizgi = $\bar{\bar{x}}$ (49)

Alt Kontrol Limiti = $\bar{\bar{x}} - A_3\bar{s}$ (50)

şeklinde hesaplanmaktadır. A_3 değeri, örneklem hacmine göre değişen sabit bir katsayıdır. Aldığı değer Ek 1'deki tabloda verilmiştir (Montgomery, 2009: 253-254).

4.2. CUSUM (Cumulative Sum) Kalite Kontrol Diyagramları

İlk kez 1954 yılında Page tarafından önerilmiş olan CUSUM kalite kontrol diyagramları, Shewhart kontrol diyagramlarının örneklem ortalamalarında meydana gelen küçük fakat sürekli kaymalara karşı duyarsız kalması sebebiyle geliştirilmiş diyagram türlerinden birisidir (Işığıçok, 2005: 306).

1920'li yıllardan bu yana kullanılan Shewhart temelli süreç kontrol diyagramları ile diyagram üzerine işaretlenmiş olan son noktanın değerlendirilmesi yapılırken CUSUM diyagramlarında elde bulunan tüm veriler kullanılmaktadır (Baray, 2008: 176).

CUSUM diyagramları, süreçteki küçük değişmeleri tespit etmek amacı ile kullanılmakta olan en güçlü kalite kontrol araçlarındandır (Healy, 1987: 409).

C_i=i. birikimli değer, $\bar{x}_j$=j. örneğin aritmetik ortalaması ve μ_0=hedeflenen değer olmak üzere CUSUM değerleri:

$$C_i = \sum_{j=1}^{i}(\bar{x}_j - \mu_0) \tag{51}$$

$$C_i = (x_i - \mu_0) + C_{i-1} \tag{52}$$

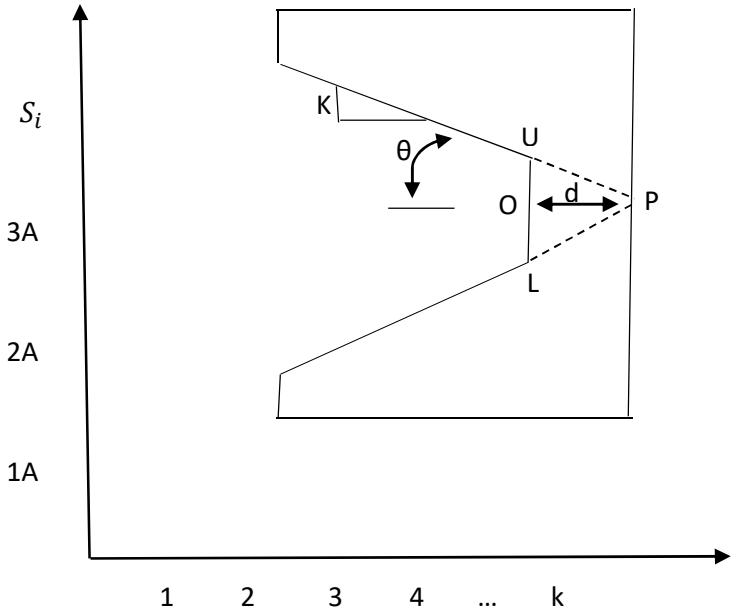
şeklinde hesaplanır (Montgomery, 2009: 402-403).

4.2.1. V Maskesi Yöntemi

G.A.Barnard, 1959 yılında CUSUM diyagramı üzerine V harfi şeklinde olan bir maskeyi uygulamıştır (Baray, 2008: 179).

İki taraflı kontrol yöntemi olarak da isimlendirilen V maskesi, sürecin kontrol altında olup olmadığını daha güvenilir bir şekilde belirlemek için kullanılmaktadır. Diyagram üzerine CUSUM değerleri işaretlendikten sonra noktaların tamamının V maskesinin iki kolu arasında kalıp kalmaması durumuna göre sürecin kontrol altında olması ile ilgili karar verilebilir. Eğer CUSUM değerlerinin tamamı, V maskesinin kolları arasında ise sürecin kontrol altında olduğunu söyleyebiliriz. Fakat CUSUM değerlerinden herhangi birinin V maskesinin iki kolu dışında bulunması durumunda sürecin kontrol dışında olduğu kabul edilir. V maskesine Şekil 4.1'deki CUSUM diyagramı örnek olarak gösterilebilir. Şekil 4.1'den de görülebileceği üzere V maskesi, hesaplanan CUSUM değerlerinin sonuncusuna karşılık gelen O noktası ile OP doğrusu arasında merkezlenir (Işığıçok, 2005: 316).

Şekil 4.1: CUSUM Diyagramında Kullanılan Tipik Bir V Maskesi



V maskesinin performansı, d ve θ parametreleri ile belirlenmektedir. Bu parametreler, karar verici tarafından tolere edilmek istenen 1. ve 2. tip hataları içeren risklere göre belirlenmektedir. 1. tip hata olasılığı (α), süreç kontrol altında olmasına rağmen kontrol dışında olduğu kararına varma riskini ifade ederken, 2. tip hata olasılığı (β) ise süreç kontrol altında olmamasına rağmen kontrol altında olduğu kararına varma riskini ifade etmektedir (Baray, 2008:180).

d=uzunluk ve θ=açı olmak üzere:

$$\theta = tan^{-1}(\frac{\Delta}{2A}) \tag{53}$$

$$d = (\frac{2}{\delta^2})\ln(\frac{1-\beta}{\alpha}) \tag{54}$$

eşitlikleri ile hesaplanır. β'nın küçük değerleri için ise d uzunluğu:

$$d = -2\frac{\ln(\alpha)}{\delta^2} \tag{55}$$

formülü ile hesaplanmaktadır. $\bar{x}_i$'nin standart sapması ise şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{56}$$

α = Süreç ortalamasında bir sapma yokken sapmanın olduğuna karar verme ihtimalidir.

β = Süreç ortalamasında sapma olmasına rağmen bunun tespit edilememe ihtimalidir.

δ = Araştırılmasına karar verilen süreç seviyesindeki en küçük kayma miktarıdır.

Δ = Süreç ortalamasında meydana gelen sapma miktarıdır. ($\Delta = \delta\sigma_{\bar{x}}$)

A = Dikey eksenin yatay eksene olan oranını gösteren bir ölçek faktörüdür. ($A = 2\sigma_{\bar{x}}$)

4.2.2. Karar Aralıkları Yöntemi

Karar aralıkları yöntemi, süreç kontrolünün sağlanması amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde C_i^+, i. dönem için bir taraflı üst cusum ve C_i^-, i. dönem için bir taraflı alt cusum değerlerini ifade etmektedir. Bu değerler şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$C_i^+ = max[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \tag{57}$$

$$C_i^- = max[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-] \tag{58}$$

Burada C_0^+ ve C_0^- şeklinde ifade edilen başlangıç değerleri 0 olarak kabul edilir. Denklemdeki K değeri referans değeri olarak adlandırılmaktadır. Bu değer, μ_0 hedef değeri ile kontrol dışı kalındığını gösteren μ_1 değeri arasındaki farkın yarısı kadar alınmaktadır.

$$K = \frac{\delta}{2}\sigma = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2} \tag{59}$$

Karar aralıkları yönteminde C_i^+ ve C_i^- değerlerinin, karar aralığı olarak adlandırılan belirli bir H sabit değerini aşması durumunda sürecin kontrol dışında olduğu kabul edilir (Montgomery, 2009: 404).

Bu yöntemde varsayımda bulunulan K ve H olmak üzere iki faktör bulunmaktadır. Yöntemin düzgün bir şekilde çalışması için bu iki faktörün dikkatli bir değerlendirmeden sonra seçilmesi gerekmektedir. Ortalama çalışma uzunluğu (ARL), bu seçimde kullanılan önemli bir kritedir. K ve H değerlerinin seçiminin ARL üzerindeki etkisini araştıran çalışmalarda H = hσ ve K = kσ olarak alınır. Denklemlerdeki σ değeri, örnek değişkeninin standart sapmasını ifade etmekte olup

alt örnek sayısı 1 olduğu zaman σ, 1'den fazla olduğu zaman $\sigma_{\bar{x}}$ şeklinde kabul edilmektedir. Eşitliklerde h = 4 veya h = 5, $k = {}^{1}/_{2}$ olarak alındığında süreç ortalamasındaki yaklaşık 1σ'lık (veya $1\sigma_{\bar{x}}$) sapmaya karşılık gelen en iyi ARL elde edilmektedir (Baray, 2008: 188).

4.3. EWMA (Exponential Weighted Moving Average) Kalite Kontrol Diyagramları

1959 yılında Roberts tarafından geliştirilen EWMA kalite kontrol diyagramı, süreç ortalamalarındaki küçük fakat sürekli kaymalara karşı daha duyarlı olması sebebiyle Shewhart kalite kontrol diyagramlarına alternatif olarak geliştirilmiş olan bir diğer kalite kontrol diyagramıdır (Işığıçok, 2005: 325).

"Geometrik Hareketli Ortalama Kontrol Diyagramı" (GMA Control Chart) olarak da adlandırılan EWMA diyagramı, CUSUM diyagramı gibi süreçte meydana gelen küçük kaymaları saptamak amacıyla kullanılan ağırlıklandırılmış bir hareketli ortalama kontrol diyagramıdır (Baray, 2008: 197).

n örneklem hacmi, $\bar{x}_j$ (j = 1, 2,…, t,…, k) örneklem ortalamaları olmak üzere t dönemin üstel ağırlıklı hareketli ortalaması aşağıdaki gibi olacaktır (Işığıçok, 2005: 325-327):

$$Z_t = \lambda \bar{x}_t + (1 - \lambda) Z_{t-1} \tag{60}$$

λ sabiti 0 ile 1 arasında değişmektedir ve $Z_0 = \mu$ olarak alınır. t = 0, 1, 2,… olmak üzere Z_t değerleri dizisi, üstel ağırlıklı hareketi ortalama olarak isimlendirilir. $\bar{x}_j$ gözlemleri, $\frac{\sigma^2}{n}$ varyanslı bağımsız rassal değişkenler olmak üzere EWMA değişkeninin (Z_t) varyansı:

$$\sigma_{Z_t}^2 = \frac{\sigma^2}{n}\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)(1 - (1 - \lambda)^{2t}) \tag{61}$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Z_t değerinin standart sapması ise:

$$\sigma_{Z_t} = \sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}} \tag{62}$$

formülü ile hesaplanır. Formülde bulunan σ değeri bilinmiyorsa bu değer:

$$S = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{\bar{s}}{c_4} \tag{63}$$

eşitliklerinden biri ile tahmin edilebilir. Örneklem sayısı yeterli büyüklükte ise EWMA kontrol diyagramının kontrol limitleri aşağıda belirtildiği gibi hesaplanır:

Üst Kontrol Limiti = $\bar{\bar{x}} + 3\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}}$ (64)

Orta Çizgi = $\bar{\bar{x}}$ (65)

Alt Kontrol Limiti = $\bar{\bar{x}} - 3\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}}$ (66)

σ bilindiğinde, 64. ve 66. formüllerdeki kontrol limitleri kullanılmaktadır. σ'nın bilinmediği durumlarda ise kontrol limitleri:

Üst Kontrol Limiti = $\bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}$ (67)

Orta Çizgi = $\bar{\bar{x}}$ (68)

Alt Kontrol Limiti = $\bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}$ (69)

şeklinde hesaplanmaktadır.

EWMA değişkeninin (Z_t) önceki tüm ortalamaların ağırlıklandırılmış ortalaması olduğunu göstermek amacıyla eşitliğin sağ tarafına Z_{t-1} değerini yazdığımızda:

$$Z_t = \lambda\bar{x}_t + (1-\lambda)[\lambda\bar{x}_{t-1} + (1-\lambda)Z_{t-2}] \tag{70}$$

$$= \lambda\bar{x}_t + \lambda(1-\lambda)\bar{x}_{t-1} + (1-\lambda)^2 Z_{t-2} \tag{71}$$

$$= \lambda\bar{x}_t + \lambda(1-\lambda)\bar{x}_{t-1} + (1-\lambda)^2[\lambda\bar{x}_{t-2} + (1-\lambda)Z_{t-3}] \tag{72}$$

$$= \lambda\bar{x}_t + \lambda(1-\lambda)\bar{x}_{t-1} + \lambda(1-\lambda)^2\bar{x}_{t-2} + (1-\lambda)^3 Z_{t-3} \tag{73}$$

bulunacaktır.

j=3, 4,…,k olmak üzere Z_{t-j} için işleme devam edilirse:

$$Z_t = \lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1-\lambda)^j \, \bar{x}_{t-j} + (1-\lambda)^t Z_0 \tag{74}$$

bağıntısı elde edilir.

Buradaki $\lambda(1-\lambda)^j$ ağırlıkları, örnek ortalamasının eskimesi nedeniyle geometrik bir şekilde azalmaktadır (Baray, 2008: 198). Aynı zamanda:

$$\lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1-\lambda)^i = \lambda \left[\frac{1-(1-\lambda)^t}{1-(1-\lambda)}\right] = 1-(1-\lambda)^t \tag{75}$$

olduğu için ağırlıklar toplamı 1'dir (Işığıçok, 2005: 328).

EWMA süreç kontrol diyagramının oluşturulmasında L ve λ parametrelerinin hangi değerleri alacağını belirlemek oldukça önemlidir. Bu konu ile ilgili yapılan çalışma sonuçlarına göre, λ parametresi 0,05 ve 0,25 değerleri arasında alındığı takdirde uygulamada daha iyi sonuçlar elde edilecektir. $\lambda = 0{,}05$; $\lambda = 0{,}10$; $\lambda = 0{,}20$ kullanımı en sık olan değerlerdir. Yapılan uygulama sonuçlarına göre λ'nın küçük değerleri, küçük kaymaların belirlemesinde daha iyi sonuçlar vermektedir. L = 3 alındığı takdirde ise λ'nın büyük değerlerinin verdiği sonuçlar daha iyi olmaktadır. λ≤0,10 durumundaki gibi küçük değerlerde limitleri 2,6≤L≤2,8 şeklinde daraltmak daha avantajlı olacaktır. Bu değerlerin ne olacağına karar verirken bakılması gereken kriter ARL değeridir. EWMA kontrol diyagramları için üzerinde durulması gereken bir başka konu da, kontrol diyagramındaki orta çizginin bir tarafından diğer bir tarafına kayma olması durumunda λ'nın küçük değerlerinde kaymaya gelen tepkinin birkaç periyot sonra gerçekleşmesidir. λ'nın küçük değerinin yeni veri üzerinde çok fazla etkisinin olmaması sebebiyle ortaya çıkan ve EWMA için bir dezavantaj olan bu duruma "atalet etkisi" denilmektedir. EWMA diyagramları, CUSUM diyagramlarında olduğu gibi süreçteki küçük kaymalara oldukça iyi tepki verirken büyük kaymalara Shewhart diyagramları kadar iyi tepki verememektedir. Büyük kaymalarda da küçük kaymalara olduğu kadar duyarlı olabilmesi için EWMA diyagramı ile birlikte Shewhart diyagramı kullanılmaktadır (Baray, 2008: 200).

Üstel ağırlıklı hareketli ortalama diyagramındaki ağırlıkların geometrik olarak azalması sebebiyle bazen "geometrik hareketli ortalama (GMA)" olarak da adlandırılan EWMA diyagramı, ayrıca zaman serisi modellemesinde ve tahmininde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Montgomery, 2009: 419-420).

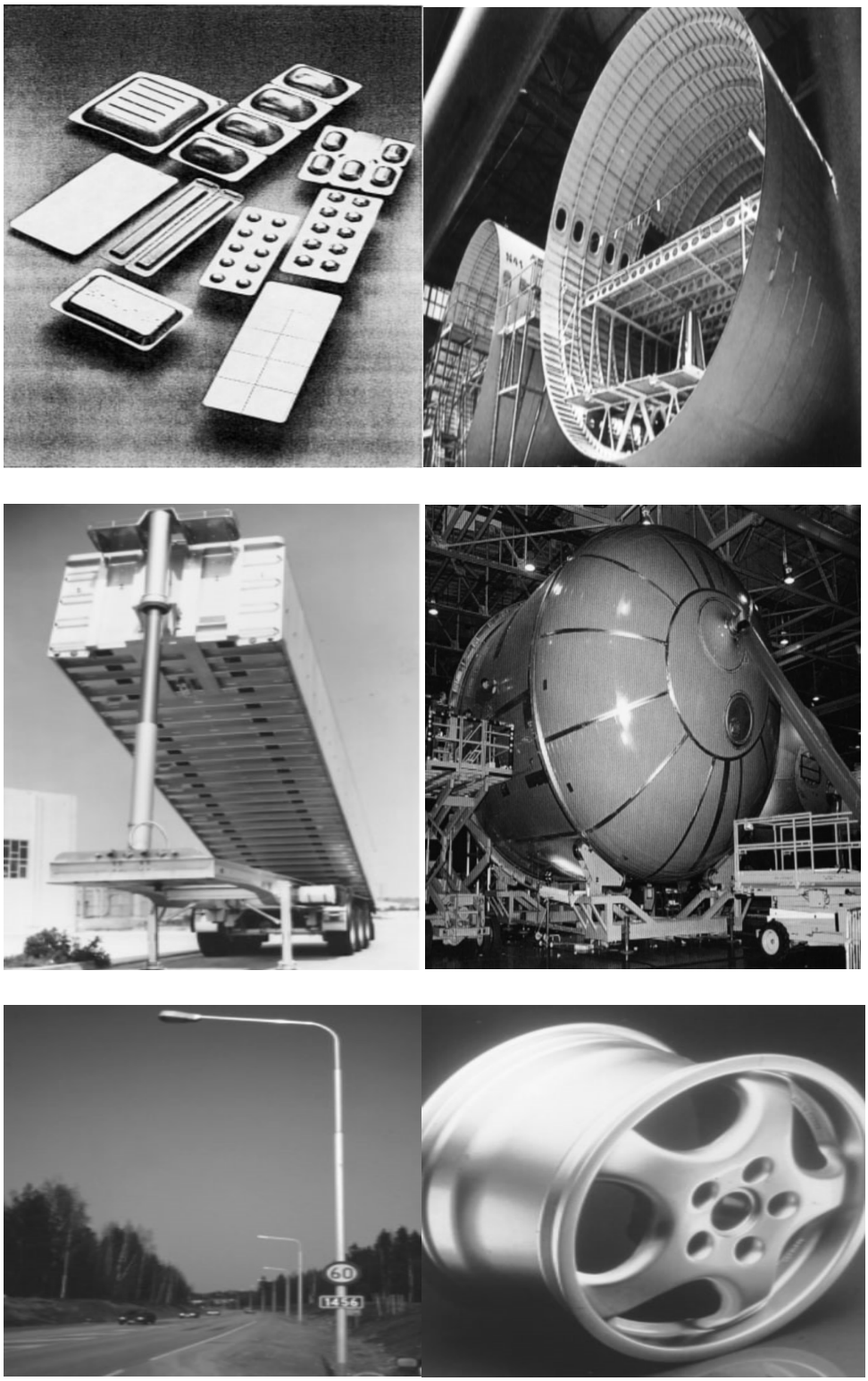
5. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde istatistiksel kalite kontrol araçlarından $\bar{x}$ −s, CUSUM ve EWMA kalite kontrol diyagramları oluşturulmuş ve proses verileri analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında analizi yapılmış olan veriler, alüminyum üretimi yapan bir firmadan elde edilmiştir. Sektörün öncü üreticilerinden olan, uygulamanın da yapıldığı bu firma haddelenmiş alüminyum üretimi yapmaktadır. Firma üretimini yaptığı rulo, levha, folyo ve boyalı alüminyum ürünleriyle ambalaj, distribütör, inşaat, dayanıklı tüketim, otomotiv ve ısıtma-soğutma gibi bir çok sektöre hizmet vermektedir.

Günümüzde demir çelikten sonra kullanımı en fazla olan metal alüminyumdur. Elektrik, kimya, tıp, inşaat, havacılık ve otomotiv sanayiinde ve bunların yan kollarında her geçen gün artan bir şekilde kullanılmakta olan bu metale verilen önem gün geçtikçe de artmaktadır. Alüminyum, döküm özelliklerinin oldukça iyi olmasının yanı sıra birçok döküm yöntemine de kolaylıkla adapte olabilmektedir. Yumuşak, demirden üç kat daha hafif ve yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olan alüminyumun ayrıca kolay işlenebilirlik, dekoratiflik, soğuk ve sıcak olarak şekillendirilebilirlik, talaşlı ve talaşsız olarak işlenebilirlik gibi özellikleri de bulunmaktadır. Sahip olduğu bu özelliklerinden dolayı tüketimleri gün geçtikçe artan alüminyum ve alüminyum alaşımlarının endüstrideki kullanımı da oldukça önemli boyutlara ulaşmıştır. Alüminyum endüstrisi son 100 yılda alaşımların ve ürünlerinin sınırlı üretiminden, çok çeşitli ürünlerin yüksek hacimli üretimine kadar gelişmiş durumdadır.

Saf alüminyumun kullanımı, belirli alanlar haricinde oldukça sınırlıdır. Alüminyumun yarı mamul veya mamul haline dönüştürülebilmesi için alüminyum alaşımı haline getirilmesi gerekmektedir. Alüminyum alaşımlarında dört rakamdan oluşan simgeler kullanılmaktadır. Dört rakam içeren sayısal simgelerin ilk rakamı, alaşımda bulunan temel alaşım elementini ifade etmektedir. Sayısal simgelerin son iki rakamı ise % 99 değerinin virgülden sonra alacağı değeri göstermektedir. Örneğin, 1050 alaşımının son iki rakamı, alüminyumun % 99,50 saflığında olduğunu ifade etmektedir.

Şekil 5.1: Alüminyum Alaşımlarının Farklı Kullanım Alanlarının Gösterimi



5.1. Uygulamanın Amaç ve Yöntemi

Çalışmada istatistiksel kalite kontrol araçlarından $\bar{x}-$s, CUSUM ve EWMA kontrol diyagramlarının kullanılmasıyla üretim sürecinin değerlendirilmesi yapılmış, üretim sürecindeki değişkenliğin azaltılması ve firmanın üretim süreci için en uygun kalite kontrol diyagramının seçilmesi amaçlanmıştır.

Microsoft Excel 2016 programının yardımıyla çalışmanın uygulama aşamasında kullanılacak olan veriler hazırlanmıştır. $\bar{x}-$s, CUSUM ve EWMA kontrol diyagramlarının oluşturulmasında ise Minitab 18 programı kullanılmıştır.

Bu çalışmada uygulama yardımıyla kontrolü yapılacak değişken olan 1050 alaşımlarının içerdiği % alüminyum oranı verileri incelenmiştir. Firmadan 25 adet örneğin her birine ait 10 birimlik % alüminyum oranı verileri alınmıştır. Toplam 250 birimlik örneklem değerleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Ölçümlere Ait Değerler

Örnek No	1.Ölçü	2.Ölçü	3.Ölçü	4.Ölçü	5.Ölçü	6.Ölçü	7.Ölçü	8.Ölçü	9.Ölçü	10.Ölçü
1	99,58	99,58	99,58	99,57	99,57	99,58	99,58	99,59	99,58	99,59
2	99,59	99,59	99,57	99,58	99,57	99,58	99,57	99,58	99,57	99,58
3	99,57	99,58	99,57	99,58	99,57	99,56	99,58	99,58	99,57	99,57
4	99,58	99,59	99,59	99,58	99,59	99,58	99,58	99,58	99,58	99,59
5	99,57	99,58	99,58	99,59	99,59	99,58	99,6	99,59	99,58	99,58
6	99,58	99,58	99,59	99,59	99,59	99,59	99,57	99,56	99,57	99,55
7	99,59	99,57	99,55	99,58	99,57	99,57	99,58	99,59	99,59	99,59
8	99,58	99,59	99,59	99,57	99,59	99,59	99,56	99,58	99,57	99,57
9	99,58	99,59	99,58	99,58	99,59	99,59	99,58	99,58	99,58	99,59
10	99,57	99,58	99,59	99,58	99,57	99,57	99,58	99,58	99,58	99,58
11	99,59	99,59	99,59	99,58	99,57	99,54	99,55	99,56	99,57	99,58
12	99,58	99,58	99,58	99,58	99,57	99,56	99,57	99,55	99,56	99,55
13	99,58	99,56	99,57	99,58	99,57	99,57	99,57	99,57	99,56	99,57
14	99,58	99,58	99,58	99,55	99,55	99,56	99,55	99,55	99,55	99,55
15	99,57	99,56	99,57	99,57	99,57	99,57	99,56	99,56	99,57	99,57
16	99,58	99,58	99,58	99,57	99,59	99,58	99,58	99,58	99,58	99,58
17	99,58	99,57	99,57	99,58	99,57	99,55	99,56	99,56	99,57	99,58
18	99,57	99,57	99,57	99,57	99,57	99,53	99,55	99,56	99,57	99,58
19	99,58	99,58	99,59	99,58	99,59	99,59	99,57	99,56	99,55	99,54
20	99,56	99,58	99,59	99,58	99,59	99,58	99,58	99,59	99,59	99,59
21	99,58	99,58	99,59	99,55	99,58	99,58	99,57	99,58	99,58	99,58
22	99,59	99,59	99,58	99,6	99,58	99,57	99,56	99,57	99,56	99,58
23	99,58	99,58	99,59	99,57	99,58	99,56	99,57	99,58	99,57	99,56
24	99,57	99,57	99,58	99,57	99,58	99,56	99,57	99,57	99,58	99,58
25	99,58	99,57	99,56	99,58	99,59	99,58	99,59	99,59	99,59	99,58

5.2. $\bar{x} - s$ Kalite Kontrol Diyagramı Uygulaması

1050 alaşımlarının içerdiği % alüminyum oranına ait ölçüm değerleri doğrultusunda hesaplanmış olan ortalama ($\bar{x}$) ve standart sapma (s) değerleri Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Örnekleme Ait Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Örnek No	$\bar{x}$ Değerleri	S Değerleri
1	99,58	0,006666667
2	99,578	0,007888106
3	99,573	0,006749486
4	99,584	0,005163978
5	99,584	0,00843274
6	99,577	0,014181365
7	99,578	0,013165612
8	99,579	0,011005049
9	99,584	0,005163978
10	99,578	0,006324555
11	99,572	0,017511901
12	99,568	0,012292726
13	99,57	0,006666667
14	99,56	0,014142136
15	99,567	0,004830459
16	99,58	0,004714045
17	99,569	0,009944289
18	99,564	0,014298407
19	99,573	0,017669811
20	99,583	0,009486833
21	99,577	0,010593499
22	99,578	0,013165612
23	99,574	0,009660918
24	99,573	0,006749486
25	99,581	0,009944289

Tablo 5.2'de gösterilen veriler kullanılarak ortalama ($\bar{x}$) ve standart sapma (s) kontrol diyagramlarının orta çizgileri hesaplanmıştır:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1+\bar{x}_2+\cdots+\bar{x}_{25}}{25} = 99{,}57536$$

$$\bar{s} = \frac{S_1+S_2+\cdots+S_{25}}{25} = 0{,}00986$$

$\bar{x}$ kontrol diyagramının kontrol limitlerinin hesaplanmasında, örneklem hacminin 10 olması sebebiyle Ek 1'deki katsayılar yardımıyla A_3 değeri, 0,975 olarak tespit edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda $\bar{x}$ kontrol diyagramının limitleri şu şekilde hesaplanmıştır:

ÜKL = $\bar{\bar{x}} + A_3\bar{S} = 99{,}57536 + 0{,}975 * 0{,}00986 = 99{,}58497$

OÇ = $\bar{\bar{x}} = 99{,}57536$

AKL = $\bar{\bar{x}} - A_3\bar{S} = 99{,}57536 - 0{,}975 * 0{,}00986 = 99{,}56575$

S kontrol diyagramının kontrol limitlerinin hesaplanmasında ise Ek 1'deki katsayılar yardımıyla $B_3 = 0{,}284$ ve $B_4 = 1{,}716$ olarak tespit edilmiştir. Bu durumda S kontrol diyagramının limitleri:

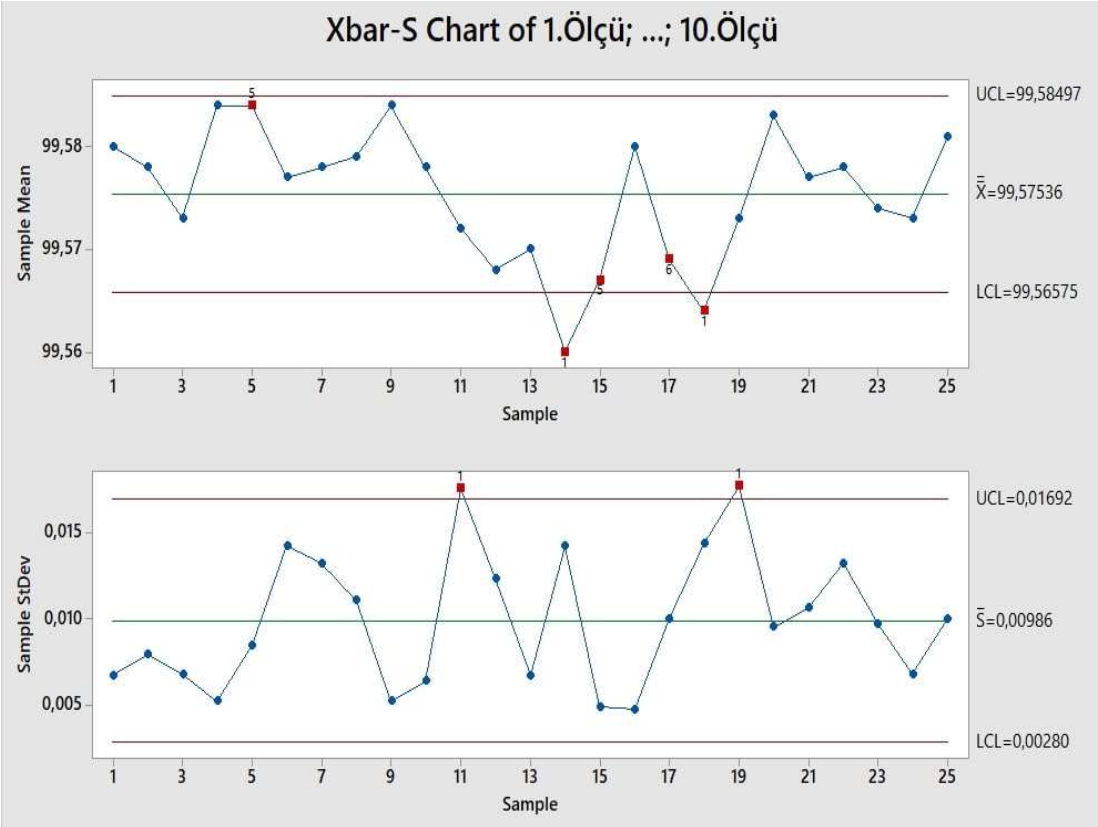
ÜKL = $B_4\bar{S} = 1{,}716 * 0{,}00986 = 0{,}01692$

OÇ = $\bar{S} = 0{,}00986$

AKL = $B_3\bar{S} = 0{,}284 * 0{,}00986 = 0{,}00280$

şeklinde hesaplanmıştır. Verilere ait $\bar{x}$ −s kalite kontrol diyagramları Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Şekil 5.2: Örnekleme Ait $\bar{x}$ −s Kalite Kontrol Diyagramı



Diyagram üzerindeki noktalar incelendiğinde, $\bar{x}$ kontrol diyagramına ait değerlerden 14. ve 18. noktanın alt kontrol limiti dışına çıktığı ve dolayısıyla sürecin kontrol altında olmadığı sonucu çıkarılmaktadır. Diyagram üzerindeki 14. ve 18. noktalar hariç diğer tüm noktalar alt ve üst kontrol limitleri içerisindedir. Ancak bu noktalardan 5., 15. ve 17. noktalar her ne kadar kontrol limitleri içinde bulunsa da alt ve üst kontrol limitlerine oldukça yaklaştıkları için bir sonraki süreçte kontrol dışına çıkabileceklerinin sinyalini vermektedirler. Yine Şekil 5.2'de s kontrol diyagramı üzerindeki değerler incelendiğinde, 11. ve 19. noktaların üst kontrol limiti dışına çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla s kontrol diyagramı için de süreç kontrol altında değildir.

5.3. CUSUM Kalite Kontrol Diyagramı Uygulaması

CUSUM kalite kontrol diyagramının oluşturulması için gerekli olan C_i değerleri, şu eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

$$C_1 = (99{,}58 - 99{,}57536) = 0{,}00464$$

$$C_2 = (99{,}578 - 99{,}57536) + 0{,}00464 = 0{,}00728$$

$$C_3 = (99{,}573 - 99{,}57536) + 0{,}00728 = 0{,}00492$$

$$C_4 = (99{,}584 - 99{,}57536) + 0{,}00492 = 0{,}01356$$

$$C_5 = (99{,}584 - 99{,}57536) + 0{,}01356 = 0{,}0222$$

.

.

.

$$C_{25} = (99{,}581 - 99{,}57536) + (-0{,}00564) = 0$$

Tablo 5.3'de örnek ortalamaları, örnek ortalamaları ile genel ortalama arasındaki sapmalar ve bu veriler doğrultusunda hesaplanmış olan CUSUM değerleri gösterilmiştir. Ayrıca $\bar{R}$ değeri de şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_{25}}{25} = \frac{0{,}02 + 0{,}02 \quad \cdots + 0{,}03}{25} = 0{,}0288$$

Tablo 5.3: CUSUM Kalite Kontrol Diyagramı İçin Hesaplanan Değerler

Örnek No (i)	$\overline{x_i}$ Değerleri	$\overline{x_i} - \overline{\overline{x}}$ Değerleri	C_i Değerleri
1	99,58	0,00464	0,00464
2	99,578	0,00264	0,00728
3	99,573	-0,00236	0,00492
4	99,584	0,00864	0,01356
5	99,584	0,00864	0,0222
6	99,577	0,00164	0,02384
7	99,578	0,00264	0,02648
8	99,579	0,00364	0,03012
9	99,584	0,00864	0,03876
10	99,578	0,00264	0,0414
11	99,572	-0,00336	0,03804
12	99,568	-0,00736	0,03068
13	99,57	-0,00536	0,02532
14	99,56	-0,01536	0,00996
15	99,567	-0,00836	0,0016
16	99,58	0,00464	0,00624
17	99,569	-0,00636	-0,00012
18	99,564	-0,01136	-0,01148
19	99,573	-0,00236	-0,01384
20	99,583	0,00764	-0,0062
21	99,577	0,00164	-0,00456
22	99,578	0,00264	-0,00192
23	99,574	-0,00136	-0,00328
24	99,573	-0,00236	-0,00564
25	99,581	0,00564	0

Bu veriler doğrultusunda Ek 1'deki tablodan d_2 değerinin de 3,078 olarak alınması sonucunda σ değeri:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0{,}0288}{3{,}078} = 0{,}009356$$

şeklinde hesaplanmıştır.

V maskesinin kollarının eğimini veren ve aynı zamanda standart ayrılışları dikkate alan değer k=0,5 olarak alındığında:

$\Delta = 0{,}5 * \sigma$ = 0,5*0,009356 = 0,004678

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}009356}{\sqrt{10}} = 0{,}002958$$

$$\delta^2 = \left(\frac{\Delta}{\sigma_{\bar{x}}}\right)^2 = 2{,}501059$$

$$d = -2\frac{\ln\ {,01}}{2{,}501059} = 3{,}682576$$

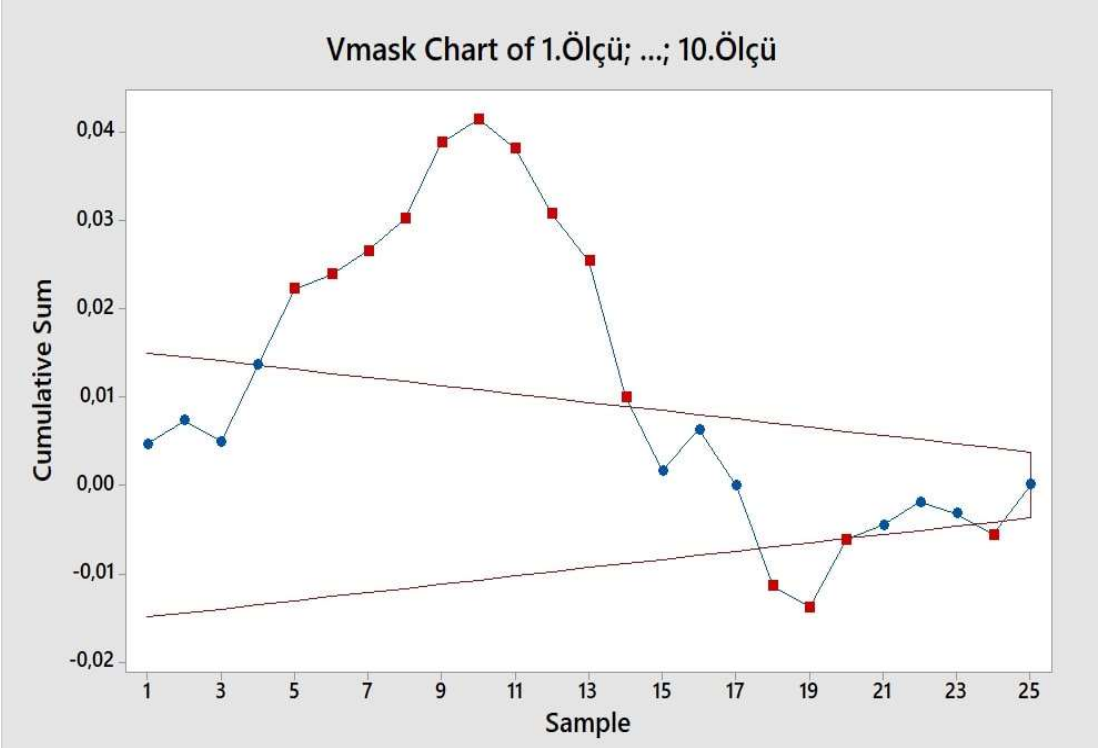
$$A = 2\sigma_{\bar{X}} = 2 * 0{,}002958 = 0{,}005916$$

Hesaplanmış bu veriler yardımıyla θ açısı,

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{\Delta}{2A}\right) = tan^{-1}(0{,}395368) = 21{,}57^0$$

olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.3'de 0,5σ'lık ayrılışların dikkate alındığı V maskeli CUSUM kalite kontrol diyagramı gösterilmiştir.

Şekil 5.3: Örnekleme Ait V Maskeli CUSUM Kalite Kontrol Diyagramı



Şekil 5.3'teki 25 adet örneğe uygulanmış V maskeli CUSUM kalite kontrol diyagramı incelendiğinde; 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14. noktalar V maskesinin üst kolunu ve 18, 19, 20, ve 24. noktalar da V maskesinin alt kolunu aşmıştır. Dolayısıyla 0,5σ'lık ayrılışların dikkate alındığı V maskeli CUSUM kontrol diyagramı için sürecin kontrol dışında olduğu görülmektedir.

5.4. EWMA Kalite Kontrol Diyagramı Uygulaması

$Z_t = \lambda \bar{x}_t + (1-\lambda) Z_{t-1}$ olmak üzere EWMA değerleri şu şekilde hesaplanmıştır:

$Z_1 = 0{,}2 * 99{,}58 + (1-0{,}2) * 99{,}57536 = 99{,}576288$

$Z_2 = 0{,}2 * 99{,}578 + (1-0{,}2) * 99{,}576288 = 99{,}5766304$

$Z_3 = 0{,}2 * 99{,}573 + (1-0{,}2) * 99{,}5766304 = 99{,}57590432$

.

.

.

$Z_{25} = 0{,}2 * 99{,}581 + (1-0{,}2) * 99{,}57432851 = 99{,}57566281$

EWMA değerlerinin tümünün hesaplanması sonucunda EWMA kalite kontrol diyagramı için kontrol sınırları hesaplanmıştır. Standart sapma değeri ise:

$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0{,}0288}{3{,}078} = 0{,}009356$

şeklinde hesaplanmıştır. Birinci örneğe ait kontrol sınırları:

ÜKL = $99{,}57536 + 3 * 0{,}009356 * \sqrt{\frac{0{,}2}{10*(2-0{,}2)} * (1-(1-0{,}2)^2)} = 99{,}577135$

AKL = $99{,}57536 - 3 * 0{,}009356 * \sqrt{\frac{0{,}2}{10*(2-0{,}2)} * (1-(1-0{,}2)^2)} = 99{,}573584$

olarak bulunmuştur. Bir noktadan sonra kontrol sınırları sabitleşmektedir. Sonuncu örneğe ait kontrol sınırları ise şu şekilde hesaplanmıştır:

ÜKL = $99{,}57536 + 3 * 0{,}009356 * \sqrt{\frac{0{,}2}{10*(2-0{,}2)} * (1-(1-0{,}2)^{50})} = 99{,}578320$

AKL = $99{,}57536 - 3 * 0{,}009356 * \sqrt{\frac{0{,}2}{10*(2-0{,}2)} * (1-(1-0{,}2)^{50})} = 99{,}572401$

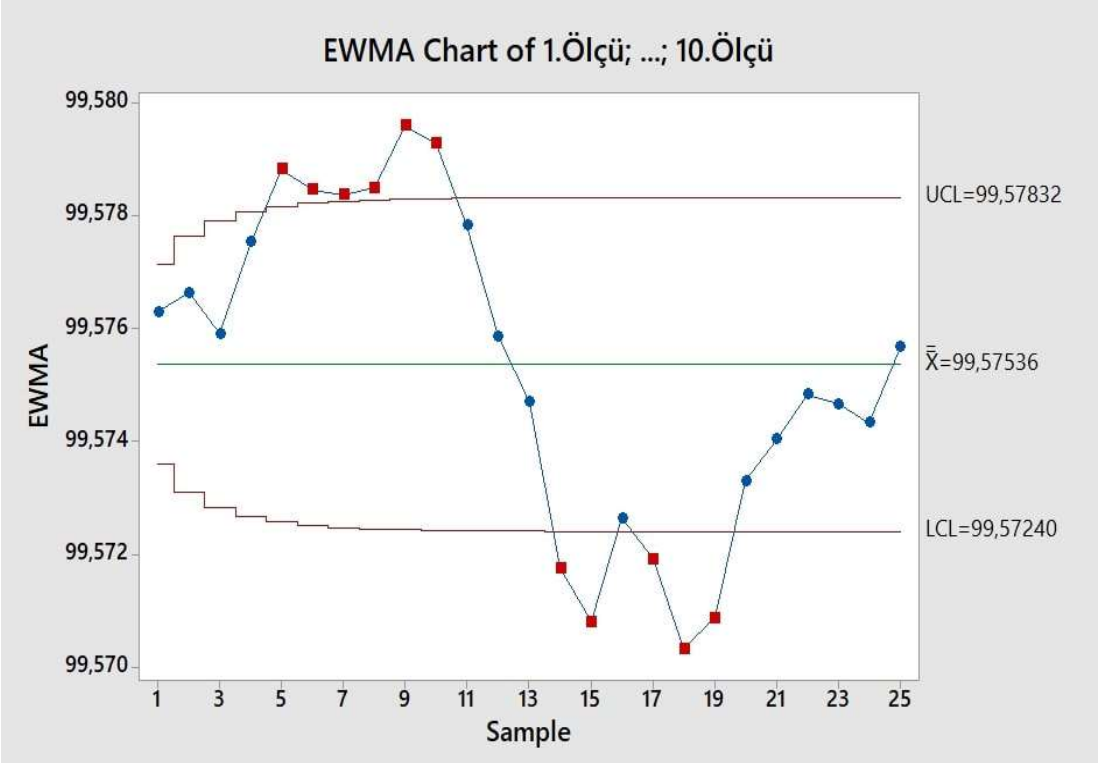
Tablo 5.4'de ortalama değerleri, üstel ağırlıklı hareketli ortalama değerleri ve λ değerinin 0,2 olarak alınması sonucunda hesaplanmış olan EWMA kalite kontrol diyagramının alt ve üst kontrol limitleri gösterilmiştir.

Tablo 5.4: EWMA Kalite Kontrol Diyagramı İçin Hesaplanan Değerler

Örnek No (t)	$\bar{x}_t$ Değerleri	Z_t Değerleri	ÜKS	AKS
1	99,58	99,576288	99,577135	99,573584
2	99,578	99,5766304	99,577633	99,573086
3	99,573	99,57590432	99,577901	99,572818
4	99,584	99,57752346	99,578059	99,57266
5	99,584	99,57881876	99,578155	99,572564
6	99,577	99,57845501	99,578215	99,572504
7	99,578	99,57836401	99,578252	99,572467
8	99,579	99,57849121	99,578276	99,572443
9	99,584	99,57959297	99,578291	99,572428
10	99,578	99,57927437	99,578301	99,572418
11	99,572	99,5778195	99,578307	99,572412
12	99,568	99,5758556	99,578311	99,572408
13	99,57	99,57468448	99,578314	99,572405
14	99,56	99,57174758	99,578315	99,572404
15	99,567	99,57079807	99,578316	99,572403
16	99,58	99,57263845	99,578317	99,572402
17	99,569	99,57191076	99,578317	99,572402
18	99,564	99,57032861	99,57832	99,572401
19	99,573	99,57086289	99,57832	99,572401
20	99,583	99,57329031	99,57832	99,572401
21	99,577	99,57403225	99,57832	99,572401
22	99,578	99,5748258	99,57832	99,572401
23	99,574	99,57466064	99,57832	99,572401
24	99,573	99,57432851	99,57832	99,572401
25	99,581	99,57566281	99,57832	99,572401

Şekil 5.4'de hesaplanmış verilere ait EWMA kalite kontrol diyagramı gösterilmiştir.

Şekil 5.4: Örnekleme Ait EWMA Kalite Kontrol Diyagramı



Hesaplanan değerler sonucunda elde edilen EWMA kalite kontrol diyagramı incelendiğinde, kontrol limitlerinin 18. noktaya kadar genişlediği ve bu noktadan sonra sabit kalarak diyagramın alt ve üst kontrol limitlerini oluşturduğu anlaşılmaktadır. Diyagrama bakıldığında 5, 6, 7, 8, 9 ve 10. noktanın üst kontrol limitini aştığı görülmektedir. Ayrıca 14, 15, 17, 18 ve 19. nokta da alt kontrol limitini aşan örneklerdir. Dolayısıyla EWMA kalite kontrol diyagramı uygulandığında sürecin kontrol altında olmadığı anlaşılmaktadır.

SONUÇ

Gittikçe artan yoğun rekabet ortamı ve gelişen teknoloji ile birlikte hayatta kalmak isteyen işletmelerin tümü, tüketicilerin rakip ürün ve hizmetler arasında seçim yaparken dikkate aldığı en önemli unsurlardan biri haline gelen kalite kavramını önemsemek ve iyileştirmek mecburiyetindedir.

Bu çalışmada, üretim faaliyetleri gerçekleştirilirken sürecinin düzgün bir şekilde işlemesi için oldukça önemli olan kalite kavramı üzerinde durulmuştur. Kalite kavramının yanı sıra kalite kontrol araçlarından da detaylı bir şekilde bahsedilmiş ve çalışmanın uygulama kısmında kalite kontrol araçlarından istatistiksel kalite kontrol diyagramları ele alınmıştır.

Çalışmanın uygulama kısmında, 1050 alaşımlarında bulunan % alüminyum oranlarındaki ve dolayısıyla süreçteki değişimleri tespit etmek amacıyla $\bar{x} - s$, CUSUM ve EWMA kalite kontrol diyagramlarına yer verilmiştir.

Uygulama sonuçları incelendiğinde, $\bar{x} - s$ kalite kontrol diyagramlarının alt ve üst kontrol limitleri arasında bulunan birçok değerin, CUSUM ve EWMA kalite kontrol diyagramları için kontrol dışı durumunda olduğu ve dolayısıyla sürecin kontrol altında olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.

Diyagram üzerindeki noktalar incelendiğinde, $\bar{x}$ kontrol diyagramına ait değerlerden iki noktanın alt kontrol limiti dışına çıktığı, s kontrol diyagramı üzerindeki değerler incelendiğinde ise yine aynı şekilde iki noktanın üst kontrol limiti dışına çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla süreç $\bar{x} - s$ kalite kontrol diyagramı için kontrol altında değildir. EWMA kalite kontrol diyagramı oluşturulurken ise alınan her bir örnek için ayrı ayrı alt ve üst kontrol limitleri hesaplanmıştır. Her bir örnek için ayrı ayrı hesaplanmış olan bu kontrol limiti değerleri diyagram üzerinde belli bir seviyeye kadar genişlemiş ve belli bir değerden sonra sabit bir değer alarak maksimum ve minimum kontrol limiti değerlerini oluşturmuştur. Hesaplanmış olan bu alt ve üst kontrol limitleri yardımı ile oluşturulmuş EWMA kalite kontrol diyagramı incelendiğinde, 6 noktanın üst kontrol limitini ve 5 noktanın da alt kontrol limitini aştığı görülmektedir. V maskeli CUSUM kalite kontrol diyagramı incelendiğinde ise 10 noktanın üst kontrol

limitini ve 4 noktanın alt kontrol limitini aştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla süreç, hem EWMA hem de V maskeli CUSUM kontrol diyagramı için kontrol altında değildir.

Sonuçlara dayanarak, ölçüm sonuçlarını birbirinden bağımsız bir şekilde değerlendiren $\bar{x} - s$ kalite kontrol diyagramlarının, hedef ortalamadan büyük sapmalara daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Hedef ortalamadan küçük ve ani sapmaların tespitinde ise CUSUM ve EWMA kalite kontrol diyagramlarının daha iyi sonuç verdiği ve bu diyagramların bu tarz değişimlere daha duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca süreçte meydana gelen sapmaları birikimli bir şekilde ve ağırlıklandırarak ele alan EWMA kalite kontrol diyagramının, birbirine bağımlı süreç çıktılarını değerlendirirken oldukça iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. CUSUM kalite kontrol diyagramlarının ise sürece ilişkin ölçüm değerlerinin hesaplanmasında, birikimli toplamları dikkate almasından dolayı süreçteki değişimleri daha net bir şekilde tespit edebildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Ayrıca uygulamanın yapılmış olduğu işletme ile yapılan görüşmelerde, işletme tarafından 1050 alaşımlardaki % alüminyum oranı verileri için hedeflenmiş olan değerin % 99,55 olduğu bilgisi elde edilmiştir. Ayrıca sürecin kontrol altında olup olmadığını tespit etmek amacıyla üst kontrol limiti ve alt kontrol limiti değerleri işletme tarafından sırasıyla % 99,60 ve % 99,50 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla işletmenin uygulamış olduğu kalite kontrol faaliyetleri sonucunda, ölçüm değerleri için sınır dışı bir değer olmadığı ve sürecin kontrol altında olduğu bilgisi elde edilmiştir. 1050 alaşımlardaki % alüminyum oranı verilerinin $\bar{x} - s$, CUSUM ve EWMA kalite kontrol diyagramları için ayrı ayrı incelendiği bu çalışmada ise üç farklı kontrol diyagramı için de sürecin kontrol dışı olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, uygulamalarda çeşitli kalite kontrol diyagramlarına göre karar vermek, sürecin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için daha uygun olacaktır. Bu sayede işletmeler, üretim süreçleri için maksimum faydayı sağlayacak kalite kontrol diyagramlarını kullanabilecek ve dolayısıyla da kalite düzeyinin arttırılması mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA

Akkurt, Mustafa: **Kalite Kontrol: Excel Destekli**, İstanbul, Birsen Yayınevi, 2002.

Aichouni, Mohamed: "On the Use of the Basic Quality Tools for the Improvement of the Construction Industry: A Case Study of a Ready Mixed Concrete Production Process", **International Journal of Civil & Environmental Engineering**, C:12, No:5, 2012, s.28-35.

Baray, Alp: **Üretimde Varyasyon: İstatistiksel Yaklaşım**, İstanbul, Çağlayan Basımevi, 2008.

Bäckström, I., Ingelsson, P., Wiklund, H.: "Learning from Others to Adapt Quality Management to the Future", **Total Quality Management**, C:22, No:2, 2011, s.187-196.

Bicking C. A., Grayna, F. M.: **Process Control by Statistical Methods: Quality Control Handbook**, New York, McGraw-Hill Book Company, 1974.

Boateng-Okrah, Ernest, Appiah Fening, Fred: "TQM Implementation: A case of a Mining Company in Ghana", **Benchmarking: An International Journal**, C:19, No:6, 2012, s.743-759.

Boer, Jozsef, Blaga, Petruţa: "A More Efficient Production Using Quality Tools and Human Resources Management", **Procedia Economics and Finance**, C:3, 2012, s.681-689.

Bolatan, G. I. S., Gozlu, S., Alpkan, L., Zaim, S.: "The Impact of Technology Transfer Performance on Total Quality Management and Quality Performance", **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, C:235, s.746-755.

Burnak, Nimettullah: **Toplam Kalite Yönetimi: İstatistiksel Süreç Kontrolü**, Eskişehir, Osmangazi Üniversitesi Yayınları, 1997.

Chandra, Mahesh: "Total Quality Management in Management Development", **Journal of Management Development**, C:12, No:7, 1993, s.19-31.

Chong, Vincent K., Rundus, Michael J.: "Total Quality Management, Market Competition and Organizational Performance", **The British Accounting Review**, C:36, No:2, 2004, s.155-172.

Demirbag, M., Lenny Koh, S. C., Tatoglu, E., Zaim, S.: "TQM and Market Orientation's Impact on SMEs' Performance", **Industrial Management and Data Systems**, C:106, No:8, 2006, s.1206-1228.

Deros, B. M., Peng, C. Y., Ab Rahman, M. N., Ismail, A. R., Sulong, A. B.: "Assessing Acceptance Sampling Application in Manufacturing Electrical and Electronic Products", **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, C:31, No:2, 2008, s.622-628.

DeVor Richard, E., Chang, T. H., Sutherland, J. W.: **Statistical Quality Design and Control**, Editorial Prentice Hall Inc., 1992.

Dhillon, Balbir S.: **Quality Control, Reliability and Engineering Design**, New York, Marcel Decker Inc., 1985.

Duffuaa, Salih O., Ben-Daya, Mohamed: "Improving Maintenance Quality Using SPC Tools", **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, C:1, No:2, 1995, s.25-33.

Duran, Cengiz, Çetindere, Aysel, Şahan, Özcan: "An Analysis on the Relationship between Total Quality Management Practices and Knowledge Management: The Case of Eskişehir", **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, C:109, 2014, s.65-77.

Evans, James R., Lindsay, William M.: **The Management and Control of Quality**, New York, West Publishing Company, 1988.

Fu, Xiang, Wang, Ran-feng, Dong, Zhi-yong: "Application of a Shewhart Control Chart to Monitor Clean Ash During Coal Preparation", **International Journal of Mineral Processing**, C:158, 2017, s.45-54.

Gill, Jaspreet: "Quality Follows Quality: Add Quality to the Business and Quality Will Multiply the Profits", **The TQM Journal**, C:21, No:5, 2009, s.530-539.

Grant, E.L., Leavenworth, R.S.: **Statistical Quality Control**, New York, McGraw-Hill, 1996.

Healy, John D.: "A Note on Multivariate CUSUM Procedures", **Technometrics**, C:29, No:4, 1987, s.409-412.

Ishikawa, Kaoru: **What Is Total Quality Control? The Japanese Way**, New Jersey, Prentice-Hall, 1985.

Işığıçok, Erkan: **Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol**, İstanbul, Ezgi Kitabevi, 2005.

İpek, H., Ankara, H., Özdağ, H.: "The Application of Statistical Process Control", **Minerals Engineering**, C:12, No:7, 1999, s.827-835.

Kahreh, Zahra Safari, Shirmohammadi, Alireza, Kahreh, Mohammad Safari: "Explanatory Study towards Analysis the Relationship between Total Quality Management and Knowledge Management", **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, C:109, 2014, s.600-604.

Kenett, Ron S.: "Cause and Effect Diagrams", **Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability**, 2008, s.1-5.

Kobu, Bülent: **Üretim Yönetimi**, Beta Yayınevi, 2014.

Krishnan, Suresh Kumar: "Increasing The Visibility of Hidden Failure Costs", **Measuring Business Excellence**, C: 10, No: 4, 2006, s.77-101.

Lau, Catherine Y.: "Quality Improvement Tools and Processes", **Neurosurgery Clinics**, C:26, No:2, 2015, s.177-187.

Liliana, Luca: "A New Model of Ishikawa Diagram for Quality Assessment", **Materials Science and Engineering**, C:161, 2016, s.1-6.

Madanhire, Ignatio, Mbohwa, Charles: "Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country", **Procedia Cirp**, C:40, 2016, s.580-583.

Magar, V. M., Shinde, V. B.: "Application of 7 Quality Control (7 QC) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes", **International Journal of Engineering Research and General Science**, C:2, No:4, 2014, s.364-371.

Manning, L., Baines, R. N., Chadd, S. A.: "Quality Assurance Models in the Food Supply Chain", **British Food Journal**, C:108, No:2, 2006, s.91-104.

Mason, Ben, Antony, Jiju: "Statistical Process Control: An Essential Ingredient for Improving Service and Manufacuring Quality", **Managing Service Quality: An International Journal**, C:10, No:4, 2000, s.233-238.

Mitra, Amitava: **Fundamentals of Quality Control and Improvement**, New Jersey, John Wiley & Sons Inc., 2008.

Montgomery, Douglas C.: **Introduction to Statistical Quality Control**, United States of America, John Wiley & Sons Inc., 2009.

Montgomery, Douglas C, Runger, George C.: **Applied Statistics and Probability for Engineers**, United States of America, John Wiley & Sons Inc., 2003.

Nair, Anand, Nicolae, Mariana, Narasimhan, Ram: "Examining the Impact of Clinical Quality and Clinical Flexibility on Cardiology Unit Performance-Does Experiential Quality Act as a Specialized Complementary Asset?" **Journal of Operations Management**, C:31, No:7-8, 2013, s.505-522.

Oakland, John: **Quality Management**, Great Britain, 2004.

Omachonu, Vincent K.: "Total Quality and Productivity Management in Health Care Organizations", **Institute of Industrial Engineers**, 1991, s.l25.

Özkan, Serdar, Karaibrahimoğlu, Yasemin Zengin: "Activity-Based Costing Approach in the Measurement of Cost of Quality in SMEs: A Case Study", **Total Quality Management & Business Excellence**, C:24, No:3-4, 2013, s.420-431.

Paliska, G., Pavletic, D., Sokovic, M.: "Quality Tools-Systematic Use in Process Industry", **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, C:25, No:1, 2007, s.79-82.

Reis, M. M., Paladini, E. P., Khator, S., Sommer, W. A.: "Artificial Intelligence Approach to Support Statistical Quality Control Teaching", **Computers & Education**, C:47, No:4, 2006, s.448-464.

Rumane, A. R.: **Quality Management in Construction Projects**, CRC Press, 2011.

Russell Roberta S., Russell, Bertrand, Taylor, Bernard W.: **Production and Operations Management**, Prentice Hall, 1995.

Ryan, Thomas P.: **Statistical Methods for Quality Improvement**, New York, John Wiley & Sons Inc, 1989.

Sahoo, Saumyaranjan, Yadav, Sudhir: "Total Quality Management in Indian Manufacturing SMEs", **Procedia Manufacturing**, C:21, 2018, s.541-548.

Simanová, Ľ., Gejdoš, P.: "The Use of Statistical Quality Control Tools to Quality Improving in the Furniture Business", **Procedia Economics and Finance**, C:34, 2015, s.276-283.

Soković, M., Jovanović, J., Krivokapić, Z., Vujović, A.: "Basic Quality Tools in Continuous Improvement Process", **Journal of Mechanical Engineering**, C:55, No:5, 2009, s.1-9.

Soković, M.,Pavletić, D., Pipan, K. Kern: "Quality Improvement Methodologies-PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS", **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, C:43, No:1, 2010, s.476-483.

Sousa, Sérgio, Rodrigues, Nuno, Nunes, Eusébio: "Application of SPC and Quality Tools for Process Improvement", **Procedia Manufacturing**, C:11, 2017, s.1215-1222.

Srivastava, Samir K.: "Towards Estimating Cost of Quality in Supply Chains", **Total Quality Management**, C:19, No:3, 2008, s.193-208.

Straker, David: **A Toolbook for Quality Improvement and Problem Solving**, New York, Prentice Hall Int. Editions, 1995.

Vries, A., Conlin, B. J.: "A Comparison of the Performance of Statistical Quality Control Charts in a Dairy Production System through Stochastic Simulation", **Agricultural Systems**, C:84, No:3, 2005, s.317-341.

Weinstein, Larry, Vokurka, Robert J., Graman, Gregory A.: "Costs of Quality and Maintenance: Improvement Approaches", **Total Quality Management**, C:20, No:5, 2009, s.497-507.

EKLER

Ek 1: Kalite Kontrol Diyagramlarında Kullanılan Katsayı Değerleri (Montgomery, 2009: 702)

n	A	A_2	A_3	c_4	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	0	3.267	0	2.606	1.128	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	0	2.568	0	2.276	1.693	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	0	2.266	0	2.088	2.059	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	0	2.089	0	1.964	2.326	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	1.806	6.056	0.459	1.541