T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

# YÜKSEK LİSANS TEZİ

## *DÜŞÜK HACİMLİ ÜRETİMDE İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ ve HTEA TABANLI BİR KALİTE KONTROL MODEL ÖNERİSİ*

**Nesrin KOLUKIRIK**

**DANIŞMAN**
**Doç.Dr.Yusuf Sait TÜRKAN**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Programı**

**İSTANBUL-2021**

Bu çalışma,18.03.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç.Dr.Ersin Namlı
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç.Dr.Özer UYGUN
Sakarya Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete ’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

# ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımından dolayı değerli hocam Prof. Dr. Şükrü Alp BARAY ve Doç. Dr. Yusuf Sait Türkan'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve aileme teşekkürü borç bilirim.

Mart, 2021 Nesrin KOLUKIRIK

# İÇİNDEKİLER

**ÖNSÖZ** ..... **iv**
**İÇİNDEKİLER TABLOSU** ..... **v**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **viii**
**TABLO LİSTESİ** ..... **x**
**SİMGE ve KISALTMALAR**……..……**x**
**ÖZET** ..... **xiv**
**SUMMARY** ..... **xvi**
**1.GİRİŞ** ..... **1**
**2.GENEL KISIMLAR** ..... **4**
**3.MALZEME VE YÖNTEM** ..... **9**
3.1.KABUL ÖRNEKLEMESİ ..... 9
3.2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ ..... 14
3.2.1.Shewhart Kalite Kontrol Diyagramları ..... 17
*3.2.1.1.Ölçülebilen Özellikler için Klasik Süreç Kontrol diyagramları* ..... 23
X-R Diyagramları ..... 23
X-s Diyagramları ..... 24
MR-IX Diyagramları ..... 25
*3.2.1.2. Ölçülemeyen Özellikler için Klasik Süreç Kontrol Diyagramları* ..... 26
p Diyagramları -np Diyagramları ..... 27
c Diyagramları- u Diyagramları ..... 27
3.2.2.Uygun Kontrol Diyagramlarının Seçilmesi ..... 28
3.2.3. Küçük Parti Üretim ..... 30
*3.2.3.1. Kısa Dönemli Süreç ya da Küçük Partili Üretim İçin Kullanılan Kontrol Diyagramları* ..... 31
Hedefe Yönelik Süreç Kontrol Diyagramları ..... 32
X-R Diyagramları ..... 33
X-s Diyagramları ..... 35
MR-IX Diyagramları ..... 36
Aralık Testi yadaFisher Testi ..... 38
Standart Hale Getirilmiş Süreç Kontrol Diyagramları ..... 38
$\bar{X} - R$ Diyagramları ..... 39
$\bar{X} - S$ Diyagramları ..... 40

MR-IX Süreç Kontrol Diyagramları ..... 42
3.2.4. Süreçteki Küçük Kaymaların Belirlenmesi: CUSUM ve EWMASüreç Kontrol Diyagramları ..... 46
*3.2.4.1.CUSUM Süreç Kontrol Diyagramları* ..... 46
*3.2.4.2. EWMA Süreç Kontrol Diyagramları* ..... 49
3.2.5. Süreç Yeterlilik Analizi ..... 50
*3.2.5.1. Cp İndeksi (Sürecin Potansiyel Yeterliliği)* ..... *51*
*3.2.5.2. Cpk İndeksi (Sürecin Fiili Yeterliliği)* ..... *52*
*3.2.5.3. Ppk Analizi* ..... *52*
3.2.6. Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode Effect Analyse – FMEA) ..... 53
3.2.7. Önerilen FMEA Tabanlı Süreç Kontrol Modeli ..... 55
**4.BULGULAR……59**
4.1.Problemde Kullanılan Veriler ve FMEA analizi ..... 59
4.2. Uygun Süreç Kontrol Diyagramlarının Seçilmesi ve Süreç Yetenek Analizi ..... 65
4.2.1.27. Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 65
4.2.2.28.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 67
4.2.3.58.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 68
4.2.4.72. Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 70
4.2.5.82.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 72
4.2.6.38.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 74
4.2.7.62.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 76
4.2.8.80.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 77
4.2.9.18.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 78
4.2.10.29.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 81
4.2.11.26.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 83
4.2.12.49.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 86
4.2.13.12.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 87
4.2.14.85.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 89
4.2.15.67.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 91
4.2.16.63. Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 91
4.2.17.20.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 94
4.2.18.100. Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 96
4.2.19.53.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 98

4.2.20.30.Kritik Süreç Kontrol Noktası ..... 100
**5. SONUÇLAR ..... 103**
**EKLER ..... 105**
**KAYNAKLAR ..... 108**

# ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil 3.1:**Kabul Örneklemesi Süreci (Elevli,2020)……...…...10

**Şekil 3.2:**Kabul Örneklemesi Uygulaması (Elevli,2020)……..…...10

**Şekil 3.3:**AQL- LTPD İlişkisi (Elevli,2020) ……..….....12

**Şekil 3.4**:Örnek Büyüklüğü ve Kabul Sayısının OC Eğrisi Üzerindeki Etkisi (Elevli,2020) ……..……13

**Şekil 3.5**:Örnek Büyüklüğü ve Kabul Sayısının OC Eğrisi Üzerindeki Etkisi 2 (Elevli,2020) ……..……14

**Şekil 3.6:** Alt ve Üst Kontrol Limitleri Örnek Gösterimi……..……..……15

**Şekil 3.7:**İstatistiksel Kontrol Limitleri……...…….18

**Şekil 3.8:**Ampirik Kuralı…….…….20

**Şekil 3.9:**Sürecin Kontrol Dışında Olduğu Durumlar(Nelson,1984)……..…...…..21

**Şekil 3.10:**Sürecin Kontrol Dışında Olduğu Durumlar 2……..……..….22

**Şekil 3.11.**Hata Sayısı ve Hatalı Ürün Arasındaki Fark……..…….…26

**Şekil 3.12:**Montgomery Karar Ağacı……..….29

**Şekil 3.13:**V Maskesi Yöntemi…….47

**Şekil 3.14:**Cp İndeksleri……...52

**Şekil 3.15:**Cpk İndeksleri…….53

**Şekil 3.16:**Önerilen Modele ait Akış Şeması…...…….57

**Şekil 4.1:**27.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi……66

**Şekil 4.2:**27.Süreç Kontrol Noktası X-R Grafiği……...……..66

**Şekil 4.3:** 28.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi……..…….67

**Şekil 4.4:**28.Süreç Noktası X-R Grafiği…….....…….68

**Şekil 4.5:** 58.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi……...69

**Şekil 4.6:**58.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı……...….70

**Şekil 4.7:**72.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi…….……...71

**Şekil 4.8:**72.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı……..…….71

**Şekil 4.9:** 82.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi……...…….…...73

**Şekil 4.10:**82.Süreç Kontrol Noktası IX-MR Diyagramı…..…….…….73

**Şekil 4.11:** 38.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi……75

**Şekil 4.12:**38.Süreç Kontrol Noktası IX-MR Diyagramı……..……...76

**Şekil 4.13:**62.Süreç Kontrol Noktası p Diyagramı…….……..…....77

**Şekil 4.14:** 80.Süreç Kontrol Noktası c Diyagramı……..77

**Şekil 4.15:** 18.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi……...…..79

**Şekil 4.16:** 18.Süreç Kontrol Noktası IX-MR Diyagramı……..……..…80

**Şekil 4.17.** 29.SüreçKontrol Noktası için Normallik Testi…….….82

**Şekil 4.18:** 29.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı……..…83

**Şekil 4.19:** 26.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi…….....85

**Şekil 4.20:**26.Süreç Kontrol Noktası IX-MR Diyagramı…….....85

**Şekil 4.21:**49.Süreç Kontrol Noktası p Diyagramı…….....87

**Şekil 4.22:** 12.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi…….....88

**Şekil 4.23:**12.süreç kontrol noktası X-R diyagramı…….....89

**Şekil 4.24:**85.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi…….....90

**Şekil 4.25:**85.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı…….…..….90

**Şekil 4.26:** 67.Süreç Kontrol Noktası c Diyagramı…….…….....91

**Şekil 4.27:**63.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi…….…….....93

**Şekil 4.28:** 63.Süreç Kontrol Noktasına ait X-R Diyagramı…….…..…..93

**Şekil 4.29:**63.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi…….…....94

**Şekil 4.30:** 20.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı…….…….95

**Şekil 4.31**: 100.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi…….……...96

**Şekil 4.32:** 100.Süreç Kontrol Noktası Klasik IX-MR Süreç Kontrol Diyagramı……..…..97

**Şekil 4.33:** CUSUM Diyagramı……...…….……....98

**Şekil 4.34:** EWMA Diyagramı…….....97

**Şekil 4.35:** 53.Süreç Kontrol Diyagramı için c Diyagramı……..98

**Şekil 4.36:** 100.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi……101

**Şekil 4.37:** 30.Süreç Kontrol Noktasına ait X-R Diyagramı…….....101

## TABLO LİSTESİ

**Tablo1.1:** Küçük Partili Süreçlerde Kullanılan İstatistiksel Süreç Kontrol Diyagramları Üzerine Yapılan Çalışmalar……...…….……..…..…6

**Tablo 3.1:** Kontrol Grafikleri ve Örnekleme Planlarının Karşılaştırılması……..…..9

**Tablo 3.2:**AQL- LTPD İlişkisi (Elevli,2020)…….…..11

**Tablo 3.3:**X-R Diyagramları (Wise Ve Fair,1998)……...……...24

**Tablo3.4:**X-S Diyagramları (Wise Ve Fair)…….…25

**Tablo 3.5:**MR- IX Diyagramları (Wise Ve Fair)……..……...…26

**Tablo 3.6:**Küçük Partili Üretim için X-R Kontrol Diyagramları(Wise Ve Fair)…….35

**Tablo 3.7:**Küçük Partili Üretim için X-S Kontrol Diyagramları(Wise Ve Fair)…….....36

**Tablo 3.8:**Küçük Partili Üretim için MR-IX Kontrol Diyagramları (Wise Ve Fair)……...38

**Tablo 3.9:**Standart Hale Getirilmiş X-S Diyagramları (Wise Ve Fair)…….....**.**41

**Tablo 3.10:**Standart Hale Getirilmiş X-S Diyagramları (Wise Ve Fair)…….....41

**Tablo 3.11:**Standart Hale Getirilmiş MR-IX Diyagramları (Wise Ve Fair)……43

**Tablo 3.12:**Standart Hale Getirilmiş MR-IX Diyagramları (Wise Ve Fair)……43

**Tablo 4.1.**HTEA Etkisinin Derecesi ve Kriterleri……..…..…60

**Tablo 4.2.**HTEA Olasılığının Derecesi ve Kriterleri…….…..60

**Tablo 4.3.**HTEA Saptanabilirliğinin Derecesi ve Kriterleri……60

**Tablo 4.4.**Üretimdeki Süreçler, Kontrol Noktaları ve RÖS Değerleri……61

**Tablo 4.5:** Kritik Süreç Kontrol Noktaları……...64

**Tablo 4.6:**27.Süreç Kontrol Noktası……65

**Tablo 4.7:**27.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri……..67

**Tablo 4.8:**28.Süreç Kontrol Noktası……67

**Tablo 4.9:** 28.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri ……...…68

**Tablo 4.10:** 58.Süreç Kontrol Noktası…….……69

**Tablo 4.11:**58.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri ……..….69

**Tablo 4.12:**72.Süreç Kontrol Noktası……..…70

**Tablo 4.13:**72.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri ……...72

**Tablo 4.14:**82.Süreç Kontrol Noktası……..72

**Tablo 4.15:** 82.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri ……..74

**Tablo 4.16:** 38.Süreç Noktası……...74

**Tablo 4.17:**38.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri……76

**Tablo 4.18:**62.Süreç Kontrol Noktası……..76

**Tablo 4.19:**62.Süreç Kontrol Noktası Ppk Değeri…….……..……77

**Tablo 4.20:**80.Süreç Kontrol Noktası…….……77

**Tablo 4.21:**80.Süreç Kontrol Noktası Ppk Değeri …….……78

**Tablo 4.22:**18.Süreç Kontrol Noktası…….……78

**Tablo 4.23:**18.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri……...…….80

**Tablo 4.24:**29.Süreç Kontrol Noktası…….…….82

**Tablo 4.25:**29.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri……...…….84

**Tablo 4.26:**26.Süreç Kontrol Noktası…….…….85

**Tablo 4.27:**26.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri…….……..86

**Tablo 4.28:**49.Süreç Kontrol Noktası……..……86

**Tablo 4.29:**49.Süreç Kontrol Noktası Ppk Değeri……...87

**Tablo 4.30:**12.Süreç Kontrol Noktası Klasik X-R Diyagramı…….……87

**Tablo 4.31:**12.Süreç Kontrol Noktası X-R Noktası…….……88

**Tablo 4.32:**85.Süreç Kontrol Noktası…….……89

**Tablo 4.33:**85.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri……...….90

**Tablo 4.34:** 67.Süreç Kontrol Noktası…….91

**Tablo 4.35:**67.Süreç Kontrol Noktası Ppk Değeri……..91

**Tablo 4.36:**63.Süreç Kontrol Noktası……..92

**Tablo 4.37:**63.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri…….……...94

**Tablo 4.38:**20.Süreç Kontrol Noktası X-S Diyagramı…….……..….94

**Tablo 4.39:**20.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri……..……..….95

**Tablo 4.40:**100.Süreç Kontrol Noktası……96

**Tablo 4.41:**100 Süreç Kontrol Noktası için Cp ve Cpk Değerleri…….……..97

**Tablo 4.42:** 53.Süreç Kontrol Noktası……..……...99

**Tablo 4.43:** 53.Süreç Kontrol Noktası Ppk Değeri…..…….……..100

**Tablo 4.44:** 30.Süreç Kontrol Noktası X-R Diyagramı…….100

**Tablo 4.45:** 30.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri……...……..……102

# SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

| Simgeler | Açıklama |
|---|---|
| **ÜKL** | **:**Üst Kontrol Limiti |
| **AKL** | :Alt Kontrol Limiti |
| **OÇ** | :Orta Çizgi |
| **ASL** | :Alt Spesifikasyon Limiti |
| **ÜSL** | :Üst Spesifikasyon Limiti |
| **HTEA** | :Hata Türü ve Etkileri Analizi |
| **FMEA** | : Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect analysis) |
| **İKK** | :İstatistiksel Kalite Kontrol |
| **İSK** | :İstatistiksel Süreç Kontrol |
| **SKD** | :Süreç Kontrol Diyagramları |

# ÖZET


***DÜŞÜK HACİMLİ ÜRETİMDE İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ ve HTEA TABANLI BİR KALİTE KONTROL MODEL ÖNERİSİ***

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nesrin KOLUKIRIK**

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa**
**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**
**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman:Doç. Dr.YUSUF SAİT TÜRKAN**

Günümüzde maliyetlerin azaltılması için eş zamanlı olarak kitlesel üretim ve stokların azaltılması önem kazanmaktadır. Bu yüzden de ürünlerin sipariş miktarlarıyla ilgili algoritmalar değişmiştir ve bunun sonunda da küçük parti kavramı öne çıkmaya başlamıştır. Üretim süreçlerinde Shewhart kontrol diyagramları kullanılmaktadır. Ancak küçük partili üretimlerde süreç izlenirken, Shewhart klasik istatistiksel kontrol diyagramlarından istenilen sonuç alınamadığı için yeni arayışlara girilmiştir ve küçük partili süreç kontrol diyagramları geliştirilmiştir. Bununla birlikte, geliştirilen küçük partili süreç kontrol diyagramlarının sınırlı kaynaklardan dolayı tüm süreçlere uygulanması mümkün olmamaktadır. Bu yüzden, kritik öneme sahip riskli süreçler önceliklendirilerek, yüksek riskli süreçlerin hızlı şekilde belirlenmesi ve bu süreçlere uygun istatistiksel süreç kontrol grafiklerinin kullanılması, süreçlerin kontrol altına alınmasını kolaylaştırarak işletme maliyetlerinin azalmasına yardımcı olmaktadır.

Bu tez kapsamında öncelikle küçük parti süreç kontrol diyagramları seçim kriterleri incelenmiştir. Çalışmada Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect Analyse – FMEA) yönteminden yararlanılarak öncelikle incelenen süreçlerin hata risk seviyelerine göre sıralanması ve buna göre istatistiksel proses kontrol gerçekleştirilecek süreçlerin tanımlanması amaçlanmıştır.Bu kapsamda çalışmada, istatistiksel kalite kontrol gerçekleştirilecek süreçlerde, süreç tipi ve üretim modeli dikkate alınarak, uygun kontrol grafikleri önerilmiş ve bu süreçlerde kontrol grafikleri oluşturularak, süreç yeterlilikleri değerlendirilmiştir.

Mart 2021, 104 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** İstatistiksel Kalite Kontrol Diyagramları, Hata Türü ve Etkileri Analizi, Küçük Partili Süreçler için İstatistiksel Kalite Kontrol Diyagramları, Süreç Performans Analizi

**SUMMARY**


***SHORT-RUN STATISTICAL PROCESS CONTROL and A FMEA-BASED MODEL PROPOSAL FOR QUALITY CONTROL***

**M.Sc.THESİS**

**Nesrin KOLUKIRIK**

**Istanbul University-Cerrahpasa**
**Institute of Graduate Studies**
**Department of Industrial Engineering**

**Supervisor : Assoc.Prof.Dr. Yusuf Sait TÜRKAN**

Today, mass production and reduction of stocks are gaining importance in order to reduce costs. Therefore, the algorithms regarding the order quantities of the products have changed and as a result, the concept of small batch has come to the fore. Shewhart control diagrams are used in production processes. However, while the process was monitored in small batch productions, since the desired results could not be obtained from Shewhart classical statistical control diagrams, new searches were started and small batch process control diagrams were developed. However, it is not possible to apply the developed small batch process control diagrams to all processes due to limited resources. Therefore, by prioritizing critical risky processes, quickly determining high-risk processes and using statistical process control charts suitable for these processes, it helps to reduce operating costs by facilitating the control of processes.

Within the scope of this thesis, first, small batch process control diagrams selection criteria have been examined. In the study, using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method, it is aimed to sort the analyzed processes according to their error risk levels and to define the

processes that will perform statistical process control accordingly. In this context, appropriate control charts were proposed by taking into account the process type and production model in the processes where statistical quality control would be performed, and control charts were created in these processes and process capabilities were evaluated.

March 2021,104 pages.

**Keywords:** Statistical Quality Control Diagrams, Failure Mode and Effect Analysis,Statistical Quality Control Diagrams for Small Batch Processes, Process Performance Analysis

# 1.GİRİŞ

İşletmelerin temel hedefleri müşteri memnuniyetini ve rekabet güçlerini arttırmaktır. Bu hedefleri sağlayabilmenin en temel yolu üretim maliyetlerini minimize etmek ve ürünlerinin kalitesini arttırmaktır. Maliyetleri düşürmek ve ürün kalitesini arttırmak için ürünlerin müşterinin istediği gibi olması oldukça önemlidir. Bu yüzden, üretimde bulunan tüm süreçlerin müşteri isteklerine uygun üretim gerçekleştirip gerçekleştirmediğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Ancak bu durum gerçekte çokta mümkün olmamaktadır. Çünkü işletmelerde kısıtlı kontrol elemanları, kısıtlı ölçüm aletleri, kısıtlı sermaye, kısıtlı zaman gibi sınırlı kaynaklar söz konusudur. Hem maliyeti düşürmek hem de müşteri isteklerine hızlı tepki verebilmek için en yüksek riske sahip süreçlerin hızlı şekilde kontrol edilmesi oldukça önemlidir.Çünkü her süreçte hatanın meydana gelme olasılığı, saptanabilirliği ve etkisi aynı olmamaktadır. Her sürecin tek tek kontrol edilmesi yerine yüksek riskli bulunan süreçlerin ilk önce kontrol edilmesi, işletmelerin çok büyük ölçüde hatalı ürün üretmesini önlemektedir.Aynı zamanda ekstra kontrol maliyetlerinin de azalmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı, süreçlerde hangi istatistiksel kontrol grafiğinin kullanılması gerektiğine karar verilmeden önce hangi süreçlerde kontrol grafiklerinin kullanılmasının daha önemli olduğuna karar verilmelidir. Hata türü ve etkileri analizi ile riski yüksek olan süreçler belirlenerek ve risklere göre süreçler sıralandırılarak istatistiksel süreç kontrolünün uygulanması için risk esaslı planlanmanın yapılması gerekmektedir. Hangi süreçlerin daha riskli olduğuna karar verildikten sonra, seçilen süreçlerin istatistiksel anlamda kontrol altında olup olmadığının istatistiksel süreç kontrol grafikleri yardımı ile analiz edilir. Bunun nedeni beklenmedik maliyete neden olan hataların kolaylıkla belirlenebilmesidir.

İstatistiksel süreç kontrolünün ve dolayısı ile istatistiğin sanayide kullanılmasını sağlayan ilk çalışmalar Dr. Shewhart ve Dr. Deming tarafından gerçekleştirilmiştir (Akgül,2014). İstatistiksel süreç kontrolü, hedeflenen kalitede ürünleri ortaya çıkarmak için kalite karakteristiklerini kontrol altında tutmayı sağlar.

Günümüzde küçük partili üretimlerin önemi daha da çok ortaya çıkmaktadır. Çünkü küçük partili üretim işletmelere esneklik sağlamaktadır. Müşterinin farklı ve değişen taleplerini karşılayabilmek için aynı süreçte çeşitli ve küçük miktarlarda ürün üretilmesine olanak vermektedir. Parti büyüklükleri dikkate alındığında, küçük partiler halinde yapılan üretimler

için klasik kontrol diyagramlarının kullanılması istatistiksel anlamlılık açısından uygun olmadığından küçük partili ürünlerin üretiminin gerçekleştiği süreçler için yeni süreç kontrol diyagramlarına gerek duyulmuştur.

Bu çalışmada küçük parti üretimler için kullanılan süreç kontrol diyagramlarının seçim kriterlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Müşteri gereksinimlerinin karşılanması için işletmelerin üretim süreçlerini sürekli olarak izlemeleri ve geliştirmeleri zorunlu bir hale gelmiştir. Ancak, bu aşamada süreci izlemeyi ve geliştirmeyi zorlaştıran "varyasyon" kavramı karşımıza çıkmaktadır. Varyasyon kavramı doğanın bir kanunudur ve herhangi bir kategorideki iki doğal maddenin birbirinin tam olarak aynısı olmamasını ifade etmektedir. Varyasyon, büyük veya küçük olabilir. Varyasyon çok küçük ise, öğeler aynı görünebilir. Varyasyon; operatör kaynaklı, ortam, ekipman ve malzeme olarak her proseste mevcuttur. Ekipmandaki varyasyon için aşınma, malzemedeki varyasyon için mukavemet veya kalınlık, ortamdaki varyasyon için sıcaklık veya nem, operatör varyasyonu için ise tezgâh ayarının yapılmaması gibi örnekler verilebilir.

Ürünün, sürecin ya da sistemin bünyesindeki varyasyon farklı büyüklüklerde olabilir, ancak daima bulunmaktadır. Zaman içinde azalabilir ya da artabilir. Üretim sürecinde varyasyonun ortaya çıkması, olağan bir durum ve aynı zamanda kaçınılmaz bir sondur. Üretim süreçlerinde bu değişkenlikleri izleyebilmek için süreç kontrol diyagramları kullanılmaktadır. Süreç kontrol diyagramları birer analitik çalışma aracıdır. Süreçteki değişimleri belirlemede birçok yöntem kullanılabilir. Ancak, bunlar arasında süreç kontrol diyagramları geleceğe yönelik doğru öngörüde bulunmak için gerekli olan iç uyumluluk açısından verileri dikkate alan tek yöntemdir (Baray,2008).

Kalite kontrol diyagramlarının en önemli amacı, üretim süreçlerinde meydana gelecek olan değişkenlikleri minimize etmektir. Literatür incelendiğinde üretim süreçlerinde gerçekleşen küçük partili üretimler için uygulanması gereken süreç kontrol diyagramları hakkında araştırmaların çok az olduğu görülmektedir. Küçük partili üretimler, parçaların üretiminde esneklik gerektiren endüstrilerde daha yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu sayede çeşitli ürünlerin üretimi için gerekli bir ortamı sağlar.

Üretim esnasında sürecin kontrol altında olup olmadığını diğer bir deyişle sürecin istikrarlı olup olmadığının izlenmesi, çok sayıda hurda ya da yeniden işleme maliyetlerine neden olabilecek faaliyetlerin ortaya çıkmadan önce engellenebilmesi için son derece büyük bir öneme sahiptir

(E. Trovato,2010). Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda küçük partili üretimlerde en uygun süreç kontrol yönteminin seçilmesi, maliyetlerin önemli derecede azaltılması için gereklidir.

Kontrol diyagramları, kalite kontrol ve sürekli iyileştirmeler için kullanılan önemli istatistiksel çizelgelerdir. Süreç kontrol diyagramları kapsamında birçok istatistiksel yöntem bulunmaktadır. Varyasyonların incelendiği en çok kullanılan süreç kontrol diyagramları Shewhart'ın esaslarını ortaya koyduğu klasik süreç kontrol diyagramlarıdır.

Süreç ortalaması ve standart sapma daha önceden belirtilmemiş ya da bilinmiyorsa Shewhart kontrol diyagramları oluşturulmadan önce yeteri kadar veri toplanmalıdır. Klasik kontrol diyagramlarından tam anlamıyla faydalanabilmek için alt gruptaki örneklem sayısı en az 25 olması gerekmektedir. Ancak günümüzdeki üretim hacimleri hem sürekli üretim sistemlerinde hem de kesikli üretim sistemlerinde düşük miktarlardadır. Bu gibi durumlarda istenen sayıda veri toplamak mümkün olmadığından dolayı Shewhart temelli klasik kontrol diyagramları yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden küçük partili üretim süreçleri için farklı istatistiksel kontrol diyagramları geliştirilmiştir. Bu diyagramların hangisinin ne zaman kullanılması gerektiği önemli bir konudur.

Bu çalışmada işletmelerin süreç kalite kontrol faaliyetlerinin planlanması için bir model önerilmiştir. Buna göre Hata Türü ve Etkileri Analizi yönteminden yararlanılarak öncelikle süreçlerin hata risk seviyelerine göre sıralanması ve buna göre istatistiksel süreç kontrol diyagramının uygulanacağı süreçlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda hata risk seviyesi, süreçlerde hatanın meydana gelme olasılığı, saptanabilirliği ve etkisi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sonrasında ise istatistiksel kalite kontrol gerçekleştirilecek süreçlerde, süreç tipi ve üretim modeli dikkate alınarak, uygun kontrol grafikleri önerilmiştir. Süreçlerde kontrol grafikleri oluşturularak, süreç yeterlilikleri değerlendirilmiştir.

Bu tezin 2.bölümünde istatistiksel kontrol diyagramlarının tarihsel gelişimi ve küçük partili istatistiksel süreç kontrol diyagramları üzerine yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.3.bölümde kabul örneklemesi,klasik ve küçük partili süreç kontrol diyagramları, süreç performans analizi, FMEA analizi ve önerilen FMEA tabanlı süreç kontrol modeli açıklanmıştır. 4.bölümde bir işletmeye ait verilerden elde edilen bulgular paylaşılmıştır ve 5.bölümde tezin sonucu ve geleceğe dair üzerinde çalışılması için farklı küçük partili süreç kontrol diyagram önerileri paylaşılmıştır.

# 2.GENEL KISIMLAR

Sanayi devriminden sonra, işletmelerin hızlı büyümesi ve otomasyon sistemlerine geçiş yapılması ile birlikte süreçler için spesifikasyonlar geliştirilmeye başlanmıştır.1.Dünya savaşı sırasında seri üretimlerle birlikte, meydana gelen üretimde artış ve çeşitlilik ürün kalitesinin kontrolünü zorlaştırmıştır.1924 yılında günümüz kalite kontrolünün öncüsü olan Shewhart tarafından Kontrol çizelgeleri geliştirilerek, ilk kez mühendislik, ekonomi ve istatistik bir arada kullanılmıştır. Özel ve genel nedenlerden kaynaklanan varyasyonları ayrı gruplarda değerlendirir. 2.Dünya savaşı sırasında üretimin artması ile birlikte muayene maliyetlerini düşürmek için istatistiksel kalite kontrol yöntemleri geliştirilmiştir.1950 yıllarda İKK tekniklerinin karar vermede yetersiz kalmasından dolayı Toplam Kalite Kontrol kavramı ortaya çıkmıştır.Bu yaklaşım,müşteri ve ürünün kalitesine odaklanarak, üst yönetimin katılımı ile çalışanların eğitimini, ekip çalışmasını, yönetim ve sürekli geliştirme sürecini uygulamayı amaçlamaktadır. W. Edwards Deming, Shewhart tarafından geliştirilen istatistiksel süreç kontrolünün Japonya'da uygulanmasını sağlamıştır ve kalite yönetimine Deming'in 14 ilkesi ile önemli bir katkıda bulunmuştur. 1954 yılında Joseph M. Juran, Japon işletmelerinde kalitenin iyileştirilmesine katkıda bulunmuştur. Kalite iyileştirilmesi, planlanması ve kontrolünü içeren Juran üçlemesi ile kalite yönetimini sağlamıştır.1980'li yıllarda Shewhart temelli maliyeti düşük ve kaliteli ürün üretmek amacıyla, istatistiksel yöntemlerin üretimin her aşamasında kullanılmasını sağlayan istatistiksel süreç kontrolü geliştirilmiştir.Ölçülebilir veriler yardımı ile istatistiksel yöntemler uygulanarak üretim ve hizmet süreçleri sürekli olarak izlenir ve kontrol edilir. Sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını analiz ederek,sürecin sürekli olarak iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu diyagramların doğru bir şekilde kullanılması için en az 25 alt örneklem olması gerekmektedir. Ancak günümüzde müşteri isteklerini çeşitlenmesi, kontrol maliyetleri, sınırlı kaynaklar dikkate alındığında bu kadar alt örneklemi elde etmek zorlaşmaktadır.

Hillier(1969),yeni bir sürecin başlamasında ve Shewhart kontrol diyagramlarını kullanabilecek kadar büyük olmayan süreçler için kısa süreli ya da küçük partili üretim kontrol diyagramlarını önermiştir. X ve R kontrol limitlerinin belirlenmesi için iki aşamalı prosedür geliştirmiştir.

Hillier (1964, 1967, 1969), Yang ve Hillier (1970), küçük partili X ortalama diyagramlarında birinci tip hata sayısının artması ve süreçte meydana gelen değişikliklerin tespit edilememesinden dolayı kontrol diyagramları üzerine çalışmalar yapmışlardır.Yang ve Hillier (1970), çizelgelerin önemi yüksek ve sayısal hesaplamaların ikincil ise, R yerine sürecin dağılımını daha iyi gösteren varyansları kullanmıştır. Alt grubun varyansı v olmak üzere ($\bar{X} - v$ ve $\bar{X} - \sqrt{v}$) grafiklerinde kontrol limitlerini hesaplamak için denklemler türeterek iki aşamalı prosedürü genişlettiler. Hawkins(1987), Q diyagramları üzerinde çalışmalar yapmıştır ve gözlemlenen değerlerin dönüşümü ile ilgili öneri sunmuştur. Ayrıca dönüştürülen değerler üzerinde küçük değişimlerin konumunu ve dağılımını tespit eden kümülatif bir toplam (CUSUM) önermektedir.

Quesenberry (1991), hata sayısındaki artıştan dolayı normal dağılıma uygun veriler için Q diyagramlarını önererek, üretimin başlangıcında süreç ortalaması ve varyansı için diyagramlar elde edilmektedir. Ancak, Q diyagramının ilk aşamalarında süreçte kayma meydana gelirse bu durumdan etkilenir. Del Castillo ve Montgomery (1994), sürecin parametrelerindeki küçük kaymaları tespit etmek istendiğinde tercih edilen, Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) yöntemi ve işlem ortalamasının bilinmediği durumlarda kullanılan bir Kalman filtreleme yöntemi önermişlerdir.

Zamba ve Hawkins(2005), çok değişkenli ve oto korelasyon ilişkili verilerde süreç ortalamasındaki varyasyonları izlemek için değişim noktası modelini geliştirdiler. Bu yöntemde konum parametreleri ve dağılım parametreleri izlemektedir. Aminnayeri ve diğerleri (2010), kalite uygunluğu kesin olmadığında gri bulanık kontrol diyagramlarını kullandılar. Kontrol diyagramları uyumsuzluk derecesini dikkate alarak süreç ortalamasını izlemektedir. Celano ve diğerleri (2011), küçük partili süreç kontrolleri için X-ortalama, t grafiği ve EWMA diyagramları üzerinde çalışmıştır. Bu yöntemler, standart sapma hesaplamak için önceden elde edilen verilere ihtiyacı olmadığı için süreç başlangıcından itibaren kullanılabilirler.

Zhou ve diğerleri (2017), süreçlerde gözlemlenen kalite özellikleri ölçüm hatalarına maruz kalabilir. Kısmi uyumsuzluk terimi, hataya açık bir gözlemin spesifikasyon limitlerini geçme olasılığını ifade eder. Kısmi uyumsuzluğa dayalı dört yeni kontrol istatistiği, süreç izlemek için tanımlanmıştır. Yeni tanımlanan kontrol istatistiklerinin performansı, hem bağımsız hem de otokorelasyonlu süreçler için simülasyon kullanılarak değerlendirilir.Teoh ve diğerleri(2017), Ortalama ve varyans bilinmediği süreçlerde yeterli örnek toplanana kadar kullanılabilir.İşlem ortalaması nadiren bilinir ve bir Faz-I veri kümesinden tahmin edilmesi gerekir. Bu

nedenle,tahmini işlem ortalaması ile sentetik t grafiğinin uzunluk özelliklerini incelemek için Markov zinciri yaklaşımını sunmaktadır.

Koh ve diğerleri (2018),Test ve ölçüm (T&M) üretiminin temel özellikleri küçük partili olması, çoklu ürün gruplarına sahip olması ve çok istasyonlu testleri içermesidir. Bu özellikler, yetersiz veriye sahip oldukları için İSK diyagramlarının kullanılmasına izin vermez.Koruma bantlarından gelen ölçüm belirsizliğini $\bar{Z}$ ve W çizelgelerine dahil ederek, bu özelliklerin etkilerini ele alan değiştirilmiş bir SPC modeli sunmuşlardır.

**Tablo 1.1:** Küçük Partili Süreçlerde Kullanılan İstatistiksel Süreç Kontrol Diyagramları Üzerine Yapılan Çalışmalar

| ***Yayın*** | ***İçerik*** | ***Geliştirilen Diyagram/ Model*** |
|---|---|---|
| Hillier(1969) | Shewhart kontrol diyagramlarını kullanabilecek kadar büyük olmayan süreçler için kısa süreli ya da küçük partili üretim kontrol diyagramlarını önermiştir | X-R diyagramları için iki aşamalı prosedür |
| Yang ve Hillier (1970) | Alt grubun varyansı v olmak üzere ($\bar{X}-v$ ve $\bar{X}-\sqrt{v}$) grafiklerinde kontrol limitlerini hesaplamak için denklemler türeterek iki aşamalı prosedürü genişlettiler. | ($\bar{X}-v$ ve $\bar{X}-\sqrt{v}$) diyagramları için iki aşamalı prosedür |
| Hawkins(1987) | Çok değişkenli veriler için değişim noktası modelini, konum parametresini ve kovaryans yapısını dağılım parametresini izleyecek bir model sunarak genişletmiştir. | Çok değişkenli ve oto korelasyon veriler için değişim noktası modeli |
| Quesenberry (1991) | Karşılaşan hata sayının beklenenden fazla olduğu ve normal dağılmış rastgele değişkenler için Q diyagramlarını önermiştir. | Q diyagramları |
| Del Castillo ve Montgomery (1994) | Sürecin parametrelerindeki küçük kaymaları tespit etmek istendiğinde tercih edilen, Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) yöntemi ve işlem ortalamasının bilinmediği zaman da kullanılan Kalman filtreleme yöntemini önermişlerdir. | EWMA Diyagramları<br>Kalman Filtreleme |

**Tablo 1.1 (devam):** Küçük Partili Süreçlerde Kullanılan İstatistiksel Süreç Kontrol Diyagramları Üzerine Yapılan Çalışmalar

| ***Yayın*** | ***İçerik*** | ***Geliştirilen Diyagram/ Model*** |
|---|---|---|
| Zamba ve Hawkins (2005) | Süreç ortalamasındaki varyasyonları izlemek için, bir işlemin ortalama vektörünü ve kovaryans yapısını izleyecek bir model sunarak genişletmiştir. | Çoklu veri setleri için değişim noktası modeli |
| Celano ve diğerleri (2011) | Küçük partili süreç kontrolleri için X-ortalama, t grafiği ve EWMA diyagramları üzerinde çalışılmıştır. Bu yöntemler süreç başlangıcından itibaren kullanılabilir. | X-ortalama t grafiği EWMA diyagramları |
| Aminnayeri ve diğerleri (2010) | Kalite uygunluğu kesin olmadığında gri bulanık kontrol diyagramlarını kullanırlar.Kontrol diyagramları uyumsuzluk derecesini dikkate alarak süreç ortalamasını izlemektedir. | Gri bulanık kontrol diyagramları |
| Zhou ve Diğerleri(2017) | Kısmi uyumsuzluğa dayalı dört yeni kontrol istatistiği, süreç izlemek için tanımlanmıştır. | |
| Teoh ve diğerleri(2017) | Ortalama ve varyans bilinmediğinde, yeterli örnek toplanana kadar kullanılabilir.Tahmini işlem ortalaması ile sentetik t grafiğinin uzunluk özelliklerini incelemek için Markov zinciri yaklaşımını sunmaktadır. | t grafiği |
| Koh ve diğerleri (2018) | Koruma bantlarından gelen ölçüm belirsizliğini $\bar{Z}$ ve W çizelgelerine dahil ederek, bu özelliklerin etkilerini ele alan değiştirilmiş bir SPC modeli sunmuşlardır. | $\bar{Z}$ ve W diyagramları |

Bu kısıma kadar istatistiksel kalite kontrol diyagramlarının tarihsel gelişimi ve küçük partili süreçler için geliştirilen bazı kontrol diyagramlarından bahsedilmiştir. Ancak geliştirilen diyagramlar ile birlikte bu diyagramların nasıl sınıflandırılacağı ve uygun şekilde ne zaman kullanılacağı önemli bir sorun haline gelmiştir.

İlk kontrol diyagramları, Shewhart tarafından üretimi varyasyon limitleri arasında tutmak için geliştirilmiştir. Kontrol diyagramlarında meydana gelen varyasyon; özel ve genel nedenler olmak üzere iki gruba ayrılır.Özel nedenler, kolaylıkla belirlenebilen ve ortadan kaldırılabilen varyanslardır.Genel nedenler, belirlenemeyen ve önlenemez varyasyonları ifade eder.Hamrol(2009), Shewhart kontrol diyagramları için verilerin normal dağılım veya normale yakın olması gerekir. Eğer bunu karşılamıyor ise farklı diyagramlar kullanılmalıdır. Uygulanan grafiğin doğru olup olmadığı süreç performans analizi ile anlaşılır. Cp>1,33 ve Cpk>1,66 ise diyagramlar süreç için uygundur. Eğer bu koşullar sağlanıyor ise,klasik ölçülebilen ve ölçülemeyen Shewhart kontrol diyagramı kullanılır. Ancak bu diyagramlar küçük partili süreçler için uygun değildir. Shewhart diyagramlarının uygulanması için en az 25 alt örneklem gereklidir.

Küçük partili süreçlerde kullanılması için geliştirilen diyagramlar için yeni bir problem ortaya çıkmıştır.Montgomery (2009), küçük partili süreçlerde hangi kontrol diyagramlarının hangi veri tipinde (ölçülebilen ve ölçülemeyen) ve alt örneklem hacminde kullanılması gerektiğine dair bir şema oluşturmuştur. Ancak bu diyagramlar, süreçteki kaymalara duyarlı olmadığından küçük değişimlerin belirlenmesi için CUSUM ve EWMA kullanılması önerilmektedir. Bu tez kapsamında Montgomery tarafından önerilen küçük partili üretimlerde istatistiksel süreç kontrolleri seçim kriterleri kullanılmıştır.

Marques ve diğerleri(2015),bu çalışmada nitel veri,çok değişkenli veri ve otokorelasyon verileri olmak üzere küçük partili kontrol diyagramları için karar modelleri sunmuşlardır.

# 3.MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde; çalışmada kullanılan yöntemlerin genel tanıtımı yapıldıktan sonra önerilen hata türü ve etkileri analizi tabanlı süreç kontrol modeli açıklanacaktır.

## 3.1.KABUL ÖRNEKLEMESİ

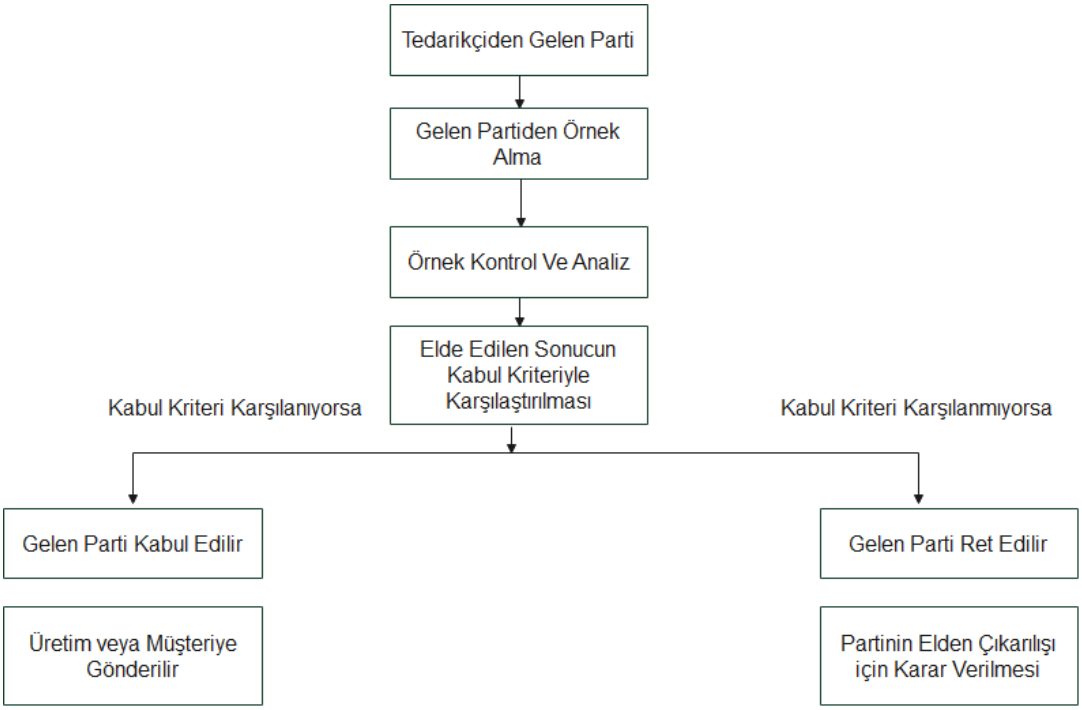
İşletmelere gelen partiye ya da herhangi bir süreçten üretilen ürünlerin tamamına "ana kütle" denir. Bu ana kütle hakkında karar verebilmek için ana kütleyi temsil eden küçük miktarların seçilerek analiz edilmesi ve analiz sonucunda ana kütle hakkında karar verilmesi işlemine örnekleme denir. Kabul örneklemesi ise, gelen tüm partiyi kabul veya reddetmek için bir parti ürünün belirlenen miktardaki kısmını değerlendirme sürecidir. En önemli amacı, değerlendirme maliyetlerinin düşürülmesidir. Bunun dışında, ürünlerin küçük bir kısmı incelendiği için daha az karmaşık, ürünlerin denetlemesi daha kolay olduğundan daha kısa zamanda kullanıma hazır olmaktadırlar ve ürünlere daha az zarar vermektedir. Dezavantajları ise, kötü olan partinin kabul edilmesi ve iyi olan partinin ret edilme olasılığı, ürün hakkında daha az bilgi edilmesidir.

Kabul örneklemesi; Kontrol maliyeti hatalı ürünün sürece dahil olması sonucu oluşan hasar maliyetine kıyasla daha yüksek olduğu, tam kontrolün yavaş olduğu, kontrol yapılırken ürünlere zarar verildiği durumlarda tercih edilir.Tam muayene ise; ürünler kritik olduğunda, hatalı parçanın bir sonraki aşamaya geçtiği zaman yüksek maliyete neden olduğunda, tedarikçinin süreç yeterliliği iyi olmadığı durumlarda tercih edilir.

**Tablo 3.1.** Kontrol Grafikleri ve Örnekleme Planlarının Karşılaştırılması(Elevli,2020)

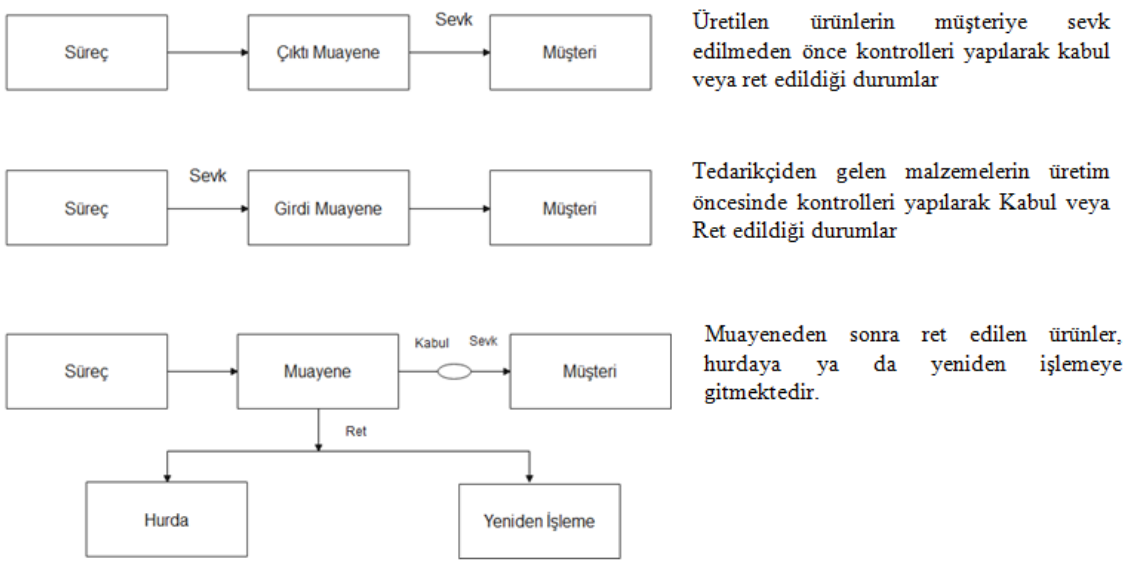
| | Örnekleme Planı | Kontrol Grafiği |
|---|---|---|
| Karar verirken | Kabul ya da ret et | Ayarla veya bırak |
| Etki alanı | Ürün | Süreç |
| İlgilendiği kısım | Geçmişteki ürünler | Gelecekteki ürünler |

Kabul örnekleme süreci Şekil 3.1'de gösterildiği şekilde gerçekleştirilmektedir. Kabul örneklemesindeki uygulamaya ait durumlar ise Şekil 3.2'de verilmiştir.




**Şekil 3.1:**Kabul Örneklemesi Süreci(Elevli,2020)

**Kabul örneklemesi uygulaması;**




**Şekil 3.2:** Kabul Örneklemesi Uygulaması (Elevli,2020)

Kabul Örneklemesinde işletmeye gelen tüm ürünlerin kontrol edilmesi yerine gelen ürünün tamamını temsil eden küçük miktarlar alınır. Ancak bu miktarlar, gelen ürünü tam olarak yansıtamama olasılığı bulunmaktadır. Bu duruma kabul örneklemesinde risk denir. Aşağıda yanlış karar alma riski istatistiksel olarak ifade edilmiştir.

Ho (Sıfır Hipotezi): Parti kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir.

H1 (Alternatif Hipotez) : Parti kalitesinin kötü olduğunu göstermektedir.

1.Tip hata ya da alfa hatası: Ho doğru iken ret edilmesidir. Diğer bir deyişle parti kalitesi iyi iken ret edilmesidir.
2.Tip hata ya da beta hatası: Ho yanlış iken kabul edilmesidir. Diğer bir deyişle parti kalitesi kötü iken kabul edilmesidir.

İşletmelerde, gelen partilere kabul örneklemesi yapılıp yapılmayacağı toplam maliyet göz önüne alınarak karar verilir. Bu karar; kontrol edilmeden partinin kabul edilmesi,kabul örneklemesi yapılması ya da %100 kontrol olmak üzere 3 şekilde olabilir. Bu karar aşağıdaki hesaplamalara göre verilmektedir.

**N=** Gelen partinin miktarı
**n=** Örneklemdeki miktar
**p=** Partinin kusurlu oranı
**A=** Kusurlu ürünün tespit edilememesi sonucu meydana gelen hasarın maliyeti
**I=** Birim başına kontrol maliyeti
**Pa**= İlgili partinin kabul olma olasılığı

**Tablo 3.2:** AQL- LTPD İlişkisi (Elevli,2020)

| Toplam Maliyet | |
|---|---|
| N*p*A | Kontrol edilmeden parti kabul edilir. |
| n.I+(N-n).p.A.Pa+(N-n).(1-Pa).I | Kabul örneklemesi yapılır. |
| N. I | %100 Kontrol yapılır. |

**Başabaş Noktası=**$P_b$= I/A

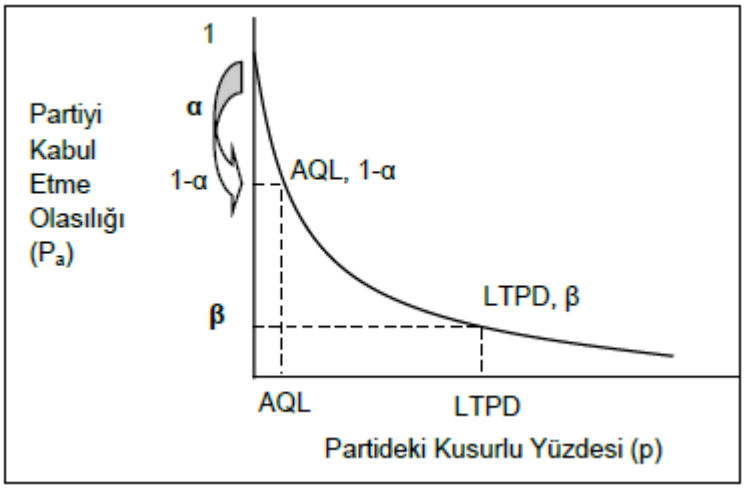
**p<pb** ise maliyet kabul örneklemesi ya da kontrol yapılmaması durumunda daha düşüktür.
**p>pb** ise tam kontrol uygulanmalıdır.

İşletmeye gelen belirli kusur oranına sahip partinin kabul ya da ret edilmesi ihtimalini OC eğrileri gösterir. OC eğrisi, üretici ve tüketici açısından riskin ölçülmesini sağlar. Partideki

kusurlu yüzdesi (p) ve gelen partiyi kabul etme olasılığı (Pa) olmak üzere bu değerlere karşı çizilen grafiğe OC eğrisi denir.

Bu grafik, üretici ve tüketici risklerini belirler. İlk önce uygun olmayan en yüksek kabul edilebilir ürün yüzdesini gösteren Kabul Edilebilir Kalite Seviyesi (Acceptable Quality Level) ve müşteri açısından minimum kabul olasılığına sahip olan kusurlu yüzdesini ifade eden Parti Toleransının (Lot Tolerance Percent Defective) belirlenmesi gerekir.

Genel olarak, üretici iyi partilerin kabul edilmesini isterken, tüketici ise kötü partinin ret edilmesini ister.




**Şekil 3.3:** AQL- LTPD İlişkisi (Elevli,2020)

Grafiğe göre;

-Kabul Edilebilir Kalite Seviyesi azaldığında alfa hatası da azalır.

- Parti Toleransı arttığında beta hatası azalır.

Bir partinin kabul olasılığı, kusurlu sayısının örnekte kabul sayısına eşit veya daha az olma ihtimalidir. Kabul olasılığı için hipergeometrik, binom ve poisson dağılımlarından faydalanılır.

İşletmelerde tekli ve çiftli olmak üzere iki tip kabul örneklemesi bulunmaktadır.

Tekli kabul örneklemesi için kabul planı $\begin{vmatrix} N \\ n \\ c \end{vmatrix}$ şeklindedir.

N= Parti Hacmi

n= Örnek Büyüklüğü

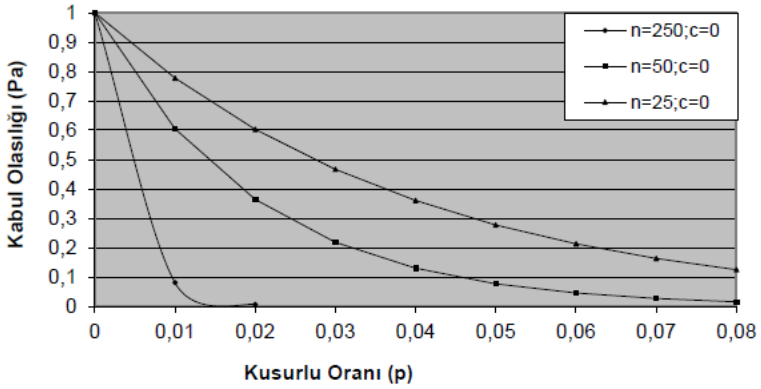
c= Kabul Sayısı

N birimlik partiden, n birimlik örnek alındığında meydana gelen kusurlu birim sayısı c ya da kabul edilebilir kusurlu sayıya eşit ya da az iseparti kabul edilir, aksi halde ret edilmektedir.

İkili kabul örneklemesi için kabul planı $\begin{bmatrix} N & \\ n_1 & c_1 \\ n_2 & c_2 \end{bmatrix}$ şeklindedir.

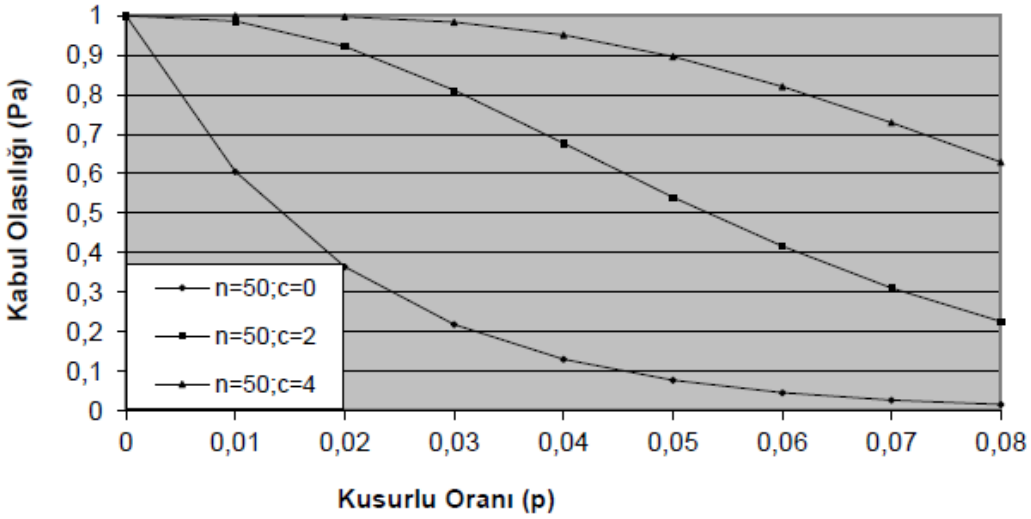
Tekli kabul örneklemesinden farklı olarak c bir kere reddedildikten sonra tekrar $n_2$ büyüklüğünde örnek alınır eğer c2 kabul edilirse parti kabul edilir, $c_2$ reddedilirse parti reddedilir.

Örnek büyüklüğü ve kabul sayısının OC eğrisi üzerinde etkisi bulunmaktadır.Bu etki Şekil 3.4 ‘de gösterilmektedir.




**Şekil 3.4**:Örnek Büyüklüğü ve Kabul Sayısının OC Eğrisi Üzerindeki Etkisi (Elevli,2020)

Örnek büyüklüğü artarsa, OC eğrisi daha dik olur. Örnek büyüklüğü arttıkça, kalite koruması yükselir ve üretici riski alfa artar, tüketici riski beta azalır. Üretici açısından alfa riskinin minimum, tüketici açısından ise beta riskinin minimum olduğu durum avantajlıdır.




**Şekil 3.5**:Örnek Büyüklüğü ve Kabul Sayısının OC Eğrisi Üzerindeki Etkisi 2 (Elevli,2020)

Kabul sayısı küçülürse, OC eğrisi daha dik olur ve tüketici için kalite koruması yükselir.

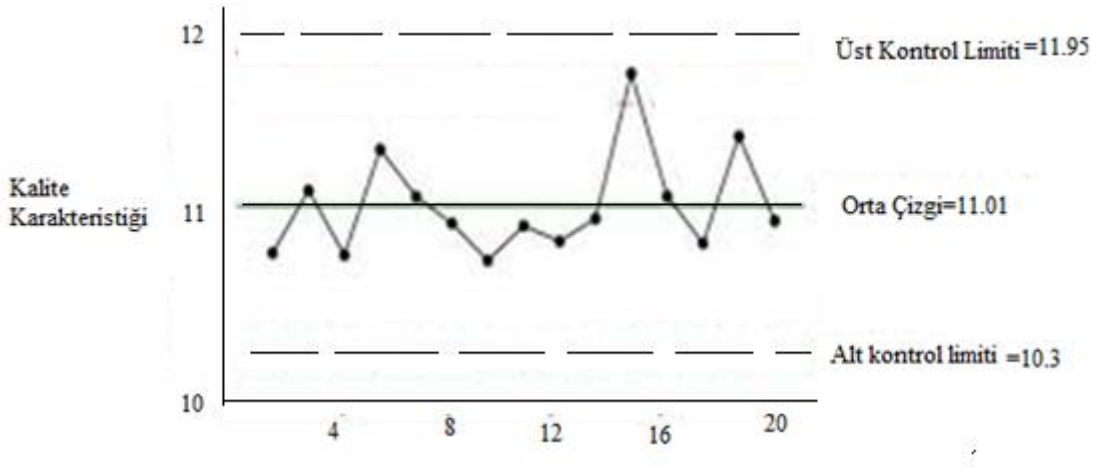
## 3.2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ

Günümüzde işletmelerin temel hedefleri müşteri memnuniyetini ve rekabet gücünü arttırmaktır. Bu hedefleri sağlayabilmenin en temel yolu üretim maliyetlerini minimize etmek ve ürünlerinin kalite standartlarını arttırmaktır. Geçmişte kaliteyi sağlamanın en kolay yolu, ürünlerin müşteriye gitmeden önce örnekleme yöntemiyle ürünlerin kaliteli olup olmadıklarını kontrol etmekti (Baray,2008). Ancak böyle bir kontrolde kaliteyi sağlamak için yapılabilecek tek şey hatalı ürünlerin tespit edilip müşteriye gitmesini engellemektir. Çünkü üretim gerçekleşmiştir. Böyle bir durumda yeterli bir ürün kalitesi elde edilemezken, aynı zamanda hatalı ürünler yüzünden üretim maliyetleri direkt olarak artmaktadır. Bu durum, işletmelerin rekabet etmesini ve müşteri memnuniyetini sağlamasını engellemektedir ve sorunun çözülebilmesi için süreç kontrolü yaklaşımı geliştirilmiştir.

Üretim esnasında fark edilmeyen hatalar kalite kontrolünü zorlaştırmaktadır. Bu yüzden üretim hatlarında sürecin istikrarlı olabilmesi ve sürece dahil olan her bir çalışanın (yönetimde dahil) süreci iyileştirmek ve hataya neden olan değişkenleri azaltmak için sürekli katkıda bulunmaları gerekir (Montgomery,2009).

Kalite, spesifikasyonlara göre değerlendirilir. Bir ürünün olması gereken kalite değeri o ürünün kalite karakteristiğinin spesifikasyonudur. Kalite karakteristiğinin sahip olması gereken değerine “hedef değer” denir. Üretim esnasında çeşitli nedenlerden dolayı varyasyonlar

meydana gelir ve bu varyasyonlar dikkate alınarak hedef değerlerin iki limit arasında değişmesine izin verilir. İzin verilen limitlerden büyük olana "Üst Spesifikasyon Limiti" ve küçük olana ise "Alt Spesifikasyon Limiti" denir. Her ürünün belirli özellikleri bulunmaktadır. Spesifikasyon limitleri, bir ürünün karakteristiksel özelliğinin sahip olduğu toleranslarını gösteren değerlerdir. Sürecin müşterinin isteklerini karşılayıp karşılayamadığını gösterirken kontrol limitleri, sürecin istatistiksel anlamda kontrol altında olup olmadığını göstermektedir.




**Şekil 3.6:** Alt ve Üst Kontrol Limitleri Örnek Gösterimi

Üretimin spesifikasyon limitleri içerisinde olup olmadığını anlamak varyasyonlar yüzünden zorlaşmaktadır. Buradaki öncelik, meydana gelen sapmaların üretim sırasında tespit ederek fazladan hammadde kullanımını engellemek ve hatalı ürün sayısını minimize etmektir. Sürecin kontrol altında olup olmadığını tespit etmek için muayene, ölçüm için gerekli cihazlar aletler, insan gücü, istatistiksel kalite kontrol diyagramları gibi araçlar kullanılmaktadır.

Bu araçların kullanılma amacı üretimin spesifikasyon limitleri dışına çıkmasına neden olan varyasyonların, belirlenip kabul edilebilir düzeylere çekilmesi ya da kaldırılmasını sağlamaktır. Süreçlerde belli limitler içerisinde üretim kabul edilebilir şekilde dağılım gösterirken, üretim bazı nedenlerden dolayı (operatör, malzeme vb.) bu limitlerin dışına çıkabilir (Baray,2008). Süreç istikrarsızlaştırdığı için bu durum istenmez.

Üretim sırasında ortaya çıkan varyasyonları minimize etmek için istatistiksel süreç kontrol diyagramları kullanılır ve 1920'lerden itibaren istatistiksel yöntemlerin sanayide kullanılması ile ortaya çıkmıştır.

İstatistiksel süreç kontrol, süreçte meydana gelen değişkenlerin nedenlerini belirlemek amacı ile istatistiği kullanır. Süreç kontrol altında ise, bu süreçte üretilen ürünlerinde kontrol altında

olduğu kabul edilir. Bundan dolayı, ürünlerin tek tek kontrol edilmesi yerine, örnekleme prosedürleri ile süreçler kontrol edilir Süreç kontrol etmek, ürünleri kontrol etmeye göre daha ucuz, uzun ömürlü ve daha kesin sonuçlar verir.

İstatistiksel süreç kontrol; sağlam prensiplere dayanması, kullanımı kolay olması, önemli etkiye sahip olması ve herhangi bir sürece uygulanabilmesi açısından yirminci yüzyılın en büyük teknolojik gelişmelerinden biridir (Montgomery,2009). "Muhteşem yedili" olarak da bilinen yedi temel aracı vardır. Bunlar;

1.Histogram

2.Kontrol diyagramları

3.Pareto analizi

4.Neden sonuç diyagramları

5.Serpilme diyagramları

6.Akış diyagramları

7.Balık kılçığı diyagramları

Bu yöntemler, istatistiksel süreç kontrolünün önemli parçaları olsa bile sadece teknik kısımlarını oluşturmaktadır.1920'lerde Bell Laboratories de çalışan Dr. Walter Shewhart tarafından "Olasılık çizelgeleri" geliştirildi ve bu çizelgeler istatistiksel kalite kontrollerinin temelini oluşturmuştur. Daha sonra yine Shewhart tarafından geliştirilen kontrol diyagramlarının endüstride kullanılmaya başlanması ile istatistiksel kalite kontrol süreci başlamıştır. İlk önce kontrol şemaları 2.dünya savaşı döneminde A.B.D' de kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra Japonya'nın savaş esnasında mağlup olması sonucunda, Japonya'nın telekomünikasyon sisteminin yetersiz olduğu fark edilmiştir. Hawthorne tesislerinde çalışan ve Shewhart diyagramlarını ya da kontrol şemalarını benimsemiş olan W.Edwards Deming tarafından Japon endüstrisinde istatistiksel kontrol şemalarının kullanımını yaygınlaştırarak diyagramlarının gelişmesini sağlamıştır. Dodge ve Romig tarafından geliştirilen " Örnekleme muayene " sistemleri ile istatistiksel süreç kontrolü günümüze kadar başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

### 3.2.1.Shewhart Kalite Kontrol Diyagramları

İstatistiksel süreç kontrollerinin amacı süreçte meydana gelen değişmeleri minimize etmek ya da ortadan kaldırmaktır. Değişkenler süreçlerin istikrarsız olmasına neden olur. İstatistiksel yöntemleri ilk defa süreçlerde uygulayan Shewhart'ın amacı, süreçteki değişkenleri kontrol altında tutmaktır. Shewhart süreçteki değişkenleri kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenler olarak iki grup altında toplamış ve kontrol diyagramlarını geliştirmiştir.

İngilizcesi "Control Chart" olan kontrol grafikleri, Shewhart şemaları, Süreç davranış grafiği, kontrol şemaları, kontrol diyagramları, kontrol kartları olarak ifade edilir. Kontrol diyagramları, eşit miktarda ve belirli zaman aralıklarında alınan örneklerden elde edilen verilerin zaman içerisindeki değişimlerini kontrol etmektedir. Bu grafikler süreçleri sürekli olarak izler ve izin verilen spesifikasyonların dışına çıkan değerlerin olup olmadığını tespit eder. Süreç kontrolleri, istenilen etkin bir sürecin elde edilmesi için son derece önemlidir.

Kontrol diyagramları; ağırlık, sıcaklık, bekleme süresi, uzunluk, genişlik gibi zaman içindeki bir kalite karakteristiğini gösteren grafiklerdir. Karakteristiğin ölçümü dikey eksende, örnek numaraları ise yatay eksende gösterilir. Örnek numaralarına alt grup da denir. Alınan örnekler zaman içerisindeki sürecin değişimini gözlemleyebilmek için kontrol diyagramlarında işaretlenir. Böylelikle, problemler meydana gelmeye başladığında üretimden sorumlu kişiler değişiklikleri kolaylıkla fark edebilir.

Kontrol diyagramları hızlı ve doğru şekilde süreç hakkında bilgi toplamanın en ideal yoludur. Aynı zamanda gerektiğinde düzeltici önlemler alınmasına yardımcı olur. Bir süreçte meydana gelen kolay varyasyonlar mevcut ise süreçler kararsızdır ve davranışları tahmin edilemez (Baray,2008). Düzeltici faaliyetler ile süreç kararlı hale getirilir ve kaymaların olup olmadığı kontrol edilir. Bir üretimde kolay varyasyon ansızın çıkmaz. Bu varyasyonlar konum ve yayılma ölçülerinde kendini belli eder. Bu yüzden, en temel süreç kontrol diyagramları olan $\overline{X}$-R ve $\overline{X}$-s diyagramlarında sürecin ortalaması ve yayılması takip edilir.

Klasik süreç kontrol diyagramlarında ortalama ve standart sapmalardan yararlanılır. Süreçte meydana gelen değişkenler bu aralıkların dışına çıktığı zaman tespit edilir. Bu tespit yapılırken aşağıdaki parametrelerden faydalanır;

X: Üretim miktarı

$\overline{X}$: Ortalama

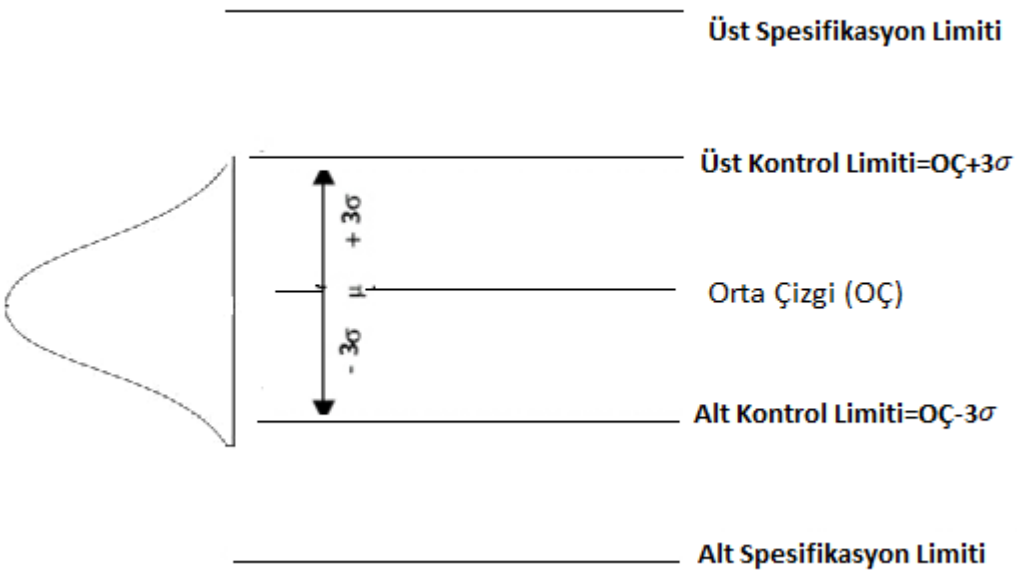
R: değişim aralığı

$\sigma$: standart sapma,

p: arıza yüzdesi

c:arıza sayısı

Burada kullanılan dağılımların ortalaması ve standart sapması mevcuttur.




**Şekil 3.7:**İstatistiksel Kontrol Limitleri

Kontrol diyagramları ortalaması ve +/- 3 standart sapma aralıkları ile düşey normal dağılımdır. Örneklemin ortalamasını temsil eden kontrol diyagramın merkezi normal dağılımın ortalamasına yaklaşır. Üst kontrol limitleri ve alt kontrol limitleri ise normal dağılımdaki ortalamadan +3 ve –3 sapma değerini temsil eder.

Kontrol limitleri, değerlendirilen kalite karakteristiğinin örnek ortalamalarının ortalamasında +3 ve –3 standart sapma olarak kabul edilir. Bu değer Shewhart'ın vermiş olduğu değerdir. k=3 alındığında ürünlerin üst kontrol limitinin üstünde ve alt kontrol limitinin altında olma olasılığı 0,00135'tir. İki olasılığın toplamı 0,0027 olarak bulunur. Eğer bu şartlar sağlanır ise süreç kontrol altındadır ve üretilen ürünlerin %99,73 'ünün bu aralık içerisinde kalacaktır. Sadece ürünlerin küçük bir miktarı sürecin dışında kalacaktır (%0,27). Bu noktada; süreçteki problemlerin, sürecin dışında kalan ürünlere neden olacağı kabul edilir. Temel olarak kontrol diyagramları da bu nedeni bulmak için kullanılır. Ancak kontrol diyagramlarında kullanılan veriler normal dağılıma uygun olmalıdır. Burada önemli olan diğer konu, alt kontrol limitleri

ve üst kontrol limitleri izin verilen değerler içerisinde değildir. Bu değerler sadece bir sürecin sahip olabileceği en yüksek limiti gösterir. Bu limitler dikkatli şekilde kontrol edilmelidir. Çünkü hatalı ürünler limitler üzerindeki değerlerden de kaynaklanabilir. Sürecin dışında kalan noktalara tesadüfi değişkenlerde denilir. Bu değişkenlerin oluşmasına neden olan sebeplerin özel bir durumundan kaynaklanma ihtimali yüksektir. Örneklerin ortalamasının ortalamasına +3 ve –3 standart sapma alınmasının nedeni merkezi limit teoremi ile açıklanmaktadır.

Merkezi limit teoremi; aynı dağılımı gösteren ve birbirinden bağımsız olan değişkenlerin aritmetik ortalamaları yaklaşık olarak normal dağılımı gösterecektir. Bu teoreme göre; ana kütle normal dağılıma sahipse ve varyansı biliniyorsa, örnek ortalamaların normal dağılacağını belirtir. Eğer ana kütlenin varyansı bilinmiyor ise n-1 serbestlik derecesi ve n> eşit 30 ise, t dağılımı gösteren örneklemin normal dağılıma yaklaşacağı için normal dağılım olduğu kabul edilir. Son olarak, eğer ana kütle normal dağılmıyor ve n>eşit 30 ise örneklemin normal dağıldığı kabul edilir. Burada varyansı bilip bilmemek önemli değildir. N<30 ise normal dağılıp dağılmadığı ile ilgili net bir ifade kullanılamaz.

Katsayının neden 3 olduğunu ifade etmeden önce bilinmesi gereken diğer bir konu ise süreçte meydana gelen 1.tip ve 2.tip hatadır.

İstatistiksel süreç kontrolü için yapılan istatistiksel çalışmalar iki tip hata meydana gelir.

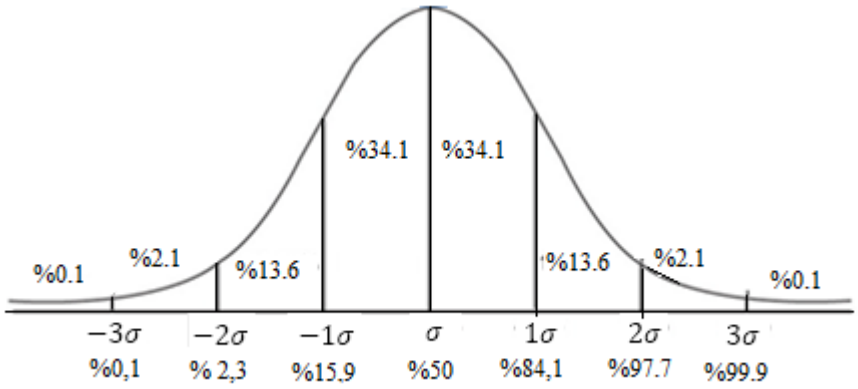
1.Tip hata diğer adı ile alfa hatası; hipotez doğru iken reddedilir. Burada sürece müdahale etmememiz gerektiği halde müdahale ederiz.

2.Tip hata ise diğer adı beta hatası; hipotez yanlış iken kabul edilir. Sürece müdahale etmemiz gerektiği halde müdahale etmediğimiz durumdur.

Özetle, kontrol diyagramlarında 1.Tip hata aslında süreç kontrol altında iken kontrol dışında gözükmesi ile meydana gelir. Burada meydana gelen hata düzgün çalışan bir sürece müdahale etmektir. 2.Tip hata ise gerçekte kontrol altında olmayan bir sürecin kontrol altında gibi gözükerek hataya neden olmasıdır. Bu durumda sürece müdahale edilmediği için kararsızlık artacaktır.

Merkezi limit teoremi dikkate alınarak sürecin normal dağılıp dağılmadığını tespit edilir. Süreç normal dağılım gösteriyor ise sürecin yayılımı ve konumu hakkında bilgi elde edebiliriz. Örnekleme yöntemleri kullanılarak yaklaşık olarak normal dağılım elde edilmesi ile süreçlere

normal dağılım kriterleri uygulanabilir. Bu kurala istatistikte ampirik kural ya da 68-95-99.7 kural denir.




**Şekil 3.8:**Ampirik Kuralı

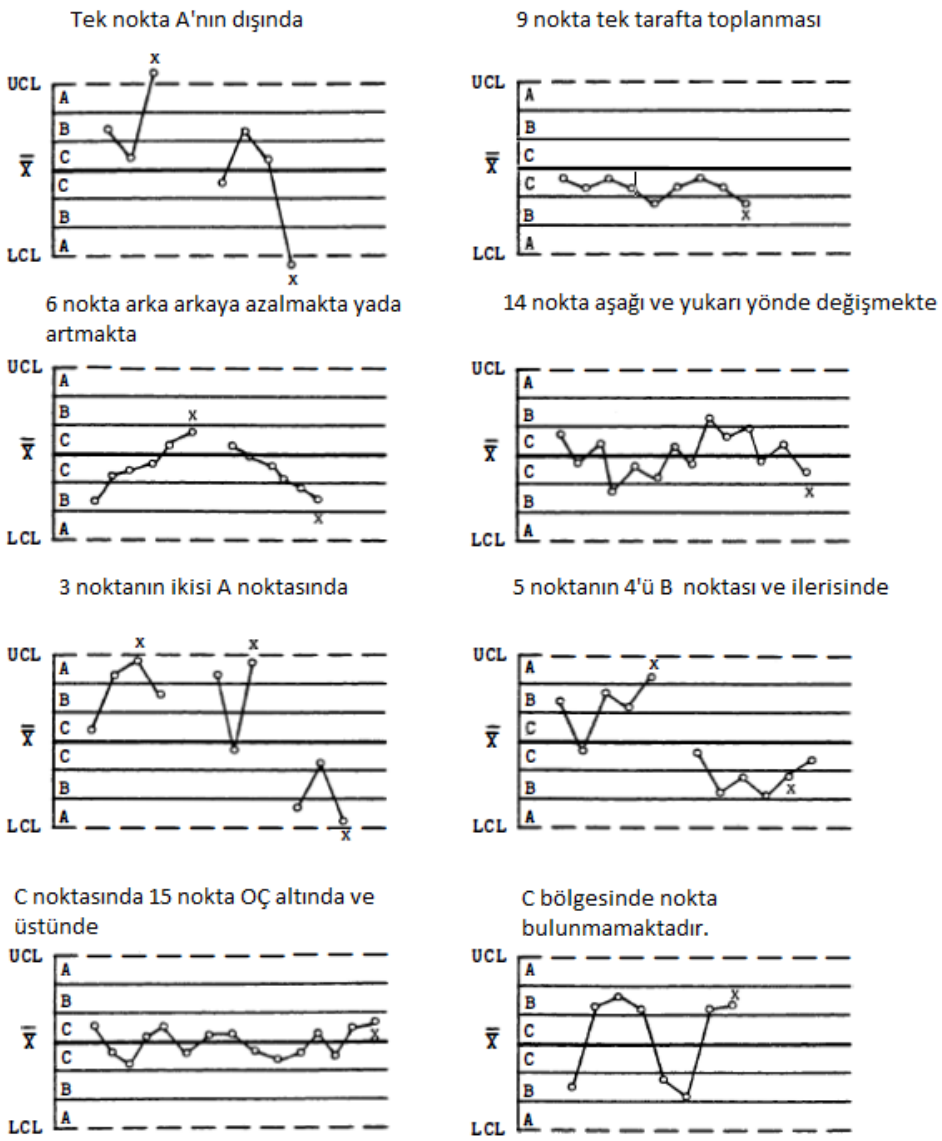
Kısacası bu kural, ürünlerin %68 'inin +1 ve- 1 standart sapma içinde yayıldığını, %95 'inin +2 ve- 2 standart sapma içinde yayıldığını, %99,7' inin +3 ve –3 standart sapma içinde yayıldığını gösterir. k=3 kabul edildiğinde ürünlerin %99,7' sinin belirlenen spesifikasyonlar içinde dağılacaktır. Ancak 1.Tip hata olan 10000 noktanın yaklaşık 27 'si ortada neden yok iken sürecin kontrol dışında olduğunu gösterecektir (Baray,2008). Bu sorunu çözmek için kontrol limitlerinin aralığı arttırılırsa bu seferde gerçekten meydana gelen kaymanın fark edilmemesine neden olacak (2.Tip hata).

Kontrol diyagramındaki değişkenlikler farklı nedenlerden kaynaklanabilir. Üretilen ürünlerin tıpatıp aynı özelliklerde olması son derece zordur. Bundan dolayı bir süreçte üretim başlamadan önce değişkenlerin saptanması ve kontrol altına alınması gerekir.

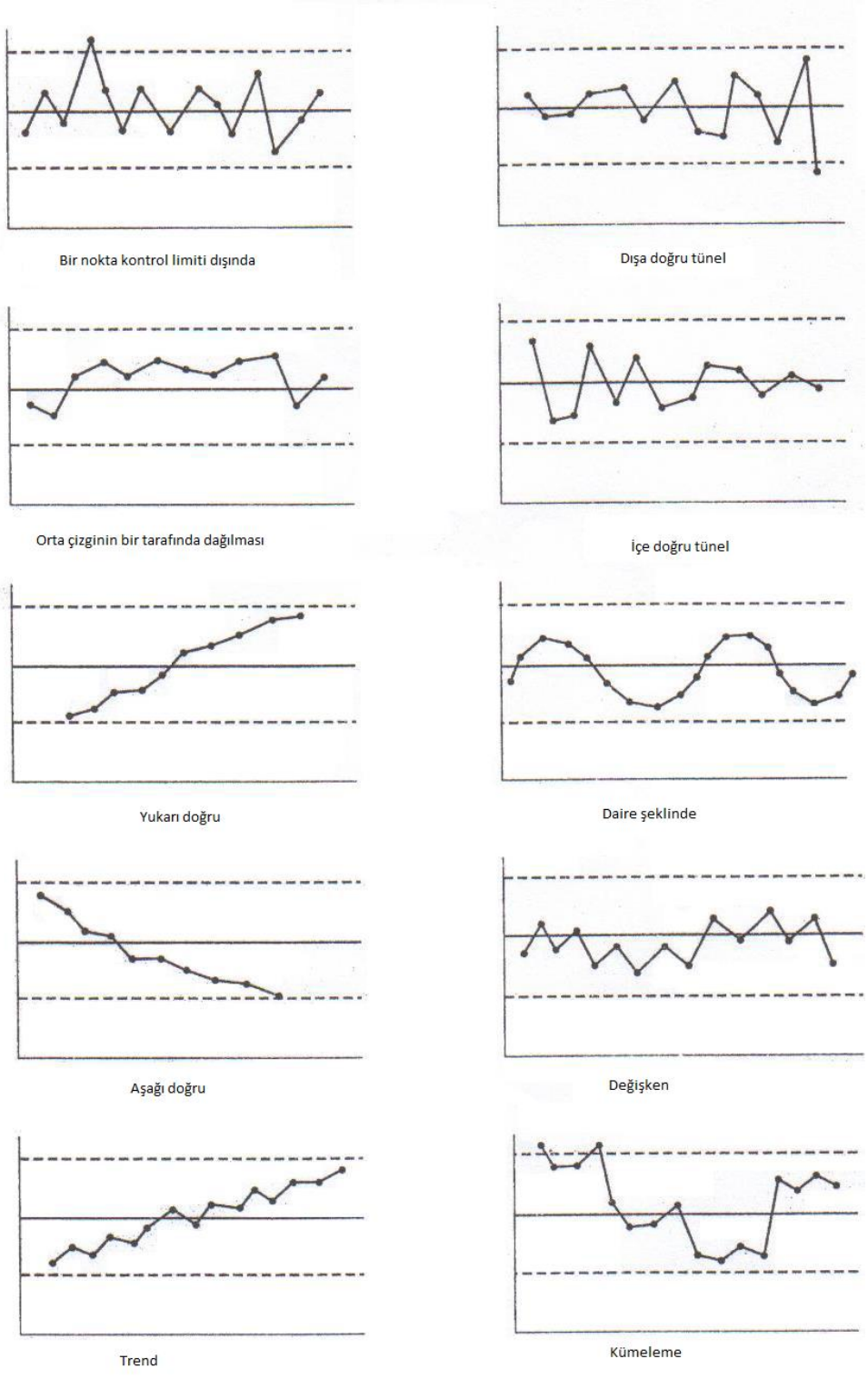
Genel anlamda bir üretim esnasında meydana gelebilecek değişiklikler; parçada, bir parçadan diğerine geçerken, zaman ile meydana gelen değişikliklerdir. Bu durumda genellikle süreçler, çevreler, operatörler, muayeneler ve malzemelerden kaynaklanır.
Bu değişiklikler sürecin kendisinden kaynaklandığından ve tesadüf eseri ortaya çıktıklarında dolayı tesadüfî nedenlerde denir.

**Sürecin kontrol dışında olduğu durumlar**

İstatistiksel kalite kontrol grafikleri, alt kontrol limiti ve üst kontrol limiti dışında kalan verilere sahipse süreç kontrol altında değildir. Ancak sürecin kontrol dışında olduğu farklı durumlarda mevcuttur. Örneğin, kontrol grafiğinde 9 noktanın tek tarafta toplanması,6 noktanın arka arkaya azalması veya artması gibi durumlarda da süreç kontrol dışındadır. Diğer olası durumlar Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da gösterilmektedir.




**Şekil 3.9:** Sürecin Kontrol Dışında Olduğu Durumlar (Nelson,1984)




**Şekil 3.10:** Sürecin Kontrol Dışında Olduğu Durumlar 2(Nelson,1984)

### *3.2.1.1.Ölçülebilen Özellikler için Klasik Süreç Kontrol Diyagramları*

Süreçlerdeki ürünlerin kalite karakteristiği ölçülebilir ise ölçülebilen özellikler için geliştirilmiş süreç kontrol diyagramları kullanılır. Bu ölçülebilen özellikler bir ürünün ağırlığı, çapı, boyu gibi aletler aracılığı ile ölçülebilen özelliklerdir.

***X-R Diyagramları***

Bu diyagramda dikkate alınan özelliğin zaman içerisindeki varyasyonu incelenir. Varyasyonun normal dağılıma uygun olduğu kabul edilir. Kullanılacak özelliğin sahip olduğu değerler, normal dağılıma ait parametreler olan konum ve yayılma ölçüleri ile takip edilir.

Alt örneklem hacmi 10'dan küçük olduğu durumlarda X-R diyagramlarında konum için ortalama X değer, yayılma içinde aralık R değeri kullanılır. Bu değerler kullanılarak orta çizgi, alt ve üst kontrol limitleri elde edilir ve limitlerin dışında kalan değerlerin olup olmadığı kontrol edilir.

***Grafik noktalarının hesaplanması***

- $\bar{X}$ Diyagramı;

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \quad (3.1)$$

- R Diyagramı;

$$R = X_{\text{En Yüksek}} - X_{\text{En Düşük}} \quad (3.2)$$

***Orta çizginin hesaplanması***

- R diyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n} \quad (3.3)$$

- $\bar{\bar{X}}$ diyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{X}_i}{n} \quad (3.4)$$

***Alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

- R için;

$$\text{ÜKL} = D_4 * \bar{R} \quad (3.5)$$

$$\text{AKL} = D_3 * \bar{R} \quad (3.6)$$

- $\overline{X}$ Diyagramları için;

ÜKL= $\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$ (3.7)

AKL=$\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$ (3.8)

**Tablo 3.3:**X-R Diyagramları (Wise ve Fair,1998)

| | $\overline{X}$ diyagramı | R diyagramı |
|---|---|---|
| OÇ | $\bar{\bar{X}}$ | $\bar{R}$ |
| AKL | $\bar{\bar{X}} - A2\ \bar{R}$ | D3*$\bar{R}$ |
| ÜKL | $\bar{\bar{X}}$ +A2 $\bar{R}$ | D4*$\bar{R}$ |

**X-s Diyagramları**

Burada uygulanan hesaplar X-R ile aynıdır. Alt örneklem 10'dan büyük olduğunda alt örnek ortalaması X ve alt örneklem standart sapması hesaplanır ve orta çizgi, alt ve üst kontrol limitleri elde edilir. Limitlerin dışında kalan değerlerin olup olmadığı kontrol edilir. X ve s diyagramları alt örneklem hacimlerinin eksik olduğu durumlarda da kullanılabilir.

***Orta çizginin hesaplanması***

- s diyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\bar{s}=\sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.9)$$

- $\overline{X}$ diyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\bar{\bar{X}}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\bar{X}_i}{n} \quad (3.10)$$

***Alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

- s için;

ÜKL=$B_{4*}s$ (3.11)

AKL= $B_{3*}\bar{s}$ (3.12)

- $\overline{X}$diyagramları için;

ÜKL= $\bar{\bar{X}} + A_3\bar{s}$ (3.13)

AKL=$\bar{\bar{X}} - A_3\bar{s}$ (3.14)

**Tablo 3.4:** X-s Diyagramları (Wise ve Fair)

| | $\overline{X}$ | S |
|---|---|---|
| OÇ | $\bar{\bar{X}}$ | $\bar{s}$ |
| AKL | $\bar{\bar{X}} - A3\ \bar{s}$ | B3*$\bar{s}$ |
| ÜKL | $\bar{\bar{X}}$ +A3 $\bar{s}$ | B4*$\bar{s}$ |

**MR-IX Diyagramları**

Alt örneklem hacmi 1 olduğunda kullanılır. Tahribatlı muayeneler, yüksek maliyetli ölçümlerin olduğu durumlarda kullanılır. İlk önce diğer iki diyagramda olduğu gibi sürecin yayılması takip edilir (MR diyagramları).Daha sonra tek bir ölçüyle elde edilen sürecin konumu takip edilir. Yapılacak ilk işlem sürecin yayılımını takip etmektir böylelikle sürecin kararlı olması sağlanır daha sonra buradaki veriler (süreçteki ortalama değerler) IX diyagramının limitlerini oluşturmak için kullanılır.

***Grafik noktalarının hesaplanması***

- $MR$ Diyagramı;

$$MR = |(IX)_i - (IX)_{i-1}| \quad (3.15)$$

- IX Diyagramı;

$$IX = X_i \quad (3.16)$$

***Orta çizginin hesaplanması***

- MR diyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{i=2}^{n} MR_i}{n-1} \quad (3.17)$$

- IX diyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\overline{IX} = \frac{\sum_{i=1}^{n} IX_i}{n} \quad (3.18)$$

***Alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

- MR için;

$$ÜKL = D_4 * \overline{MR} \quad (3.19)$$

$$AKL = D_3 * \overline{MR} \quad (3.20)$$

- IX Diyagramları için

ÜKL= $\bar{X} + A_2 \overline{MR}$ (3.21)

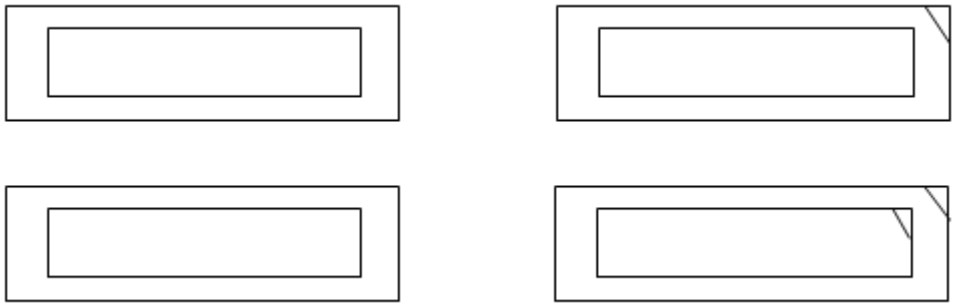
AKL=$\bar{X} - A_2 \overline{MR}$ (3.22)

**Tablo 3.5:**MR-IX Diyagramları (Wise ve Fair)

| | MR | IX |
|---|---|---|
| OÇ | $\overline{MR}$ | $\bar{X}$ |
| AKL | $D_{3*}\overline{MR}$ | $\bar{X} - A_2 \overline{MR}$ |
| ÜKL | $D_{4*}\overline{MR}$ | $\bar{X} + A_2 \overline{MR}$ |

### *3.2.1.2. Ölçülemeyen Özellikler için Klasik Süreç Kontrol Diyagramları*

Süreçlerdeki ürünlere ait olan kalite karakteristiği ölçülemiyor ise o zaman ölçülemeyen özellikler için geliştirilen süreç kontrol diyagramları kullanılır. Buradaki kalite karakteristiği genellikle hatalı-hatasız, bozuk-sağlam gibi ikili zıtlık şeklinde olur. Ancak buradaki özellikler için hatalı ürün ve hata sayısı kavramları çok önemlidir. Çünkü iki özelliğe göre kullanılan diyagramlar değişmektedir.Daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekil kullanılmıştır.



**Şekil 3.11.**Hata Sayısı ve Hatalı Ürün Arasındaki Fark

Üstte ve altta bulanan ilk resimler hatasız ürünleri temsil etmektedir. İkinci resimler ise hatalıdır. Burada ilk önce hatalı ürün kavramı açıklanacaktır. Her resim tek bir ürünü temsil etmektedir. Üstteki ve alttaki 2.resimde de hatalı ürün 1 tanedir. Hatanın kaç tane olduğunun bir önemi bulunmadığında hatalı ürün adedi 1'dir. Ancak hatalı sayısı önemli ise üstteki resimde hata sayısı 1 iken, alttaki hata sayısı 2'dir.

Ölçülemeyen özelliklerde nispeten büyük kaymaları belirlemek için hatalı ürünün dikkate alındığı n ve np diyagramları kullanılırken, hata sayılarının kaymalara etkisi dikkate alındığında c ve u diyagramları kullanılır.

**p Diyagramları -np Diyagramları**

Bu diyagram aslında bir oran diyagramıdır. Hem üretim için hem de hizmet sektörün de sıkça kullanılmaktadır. Bu dağılım orta çizgisi alt ve üst kontrol limitleri oluşturulurken binom dağılımı kullanılır. Bunun dışında np diyagramları da mevcuttur. Bu diyagramlar aynı p diyagramları gibidir. Bu diyagramlardan alınan alt örneklem hacimleri farklı olsa bile kullanılabilir.

$\hat{p}$=her alt örneklemdeki hatalı ürün yüzdesi

x= n hacimli alt örneklemdeki hatalı ürün sayısı

***p diyagramları için orta çizginin hesaplanması***

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{n} n*\hat{p}}{\sum_{i=1}^{n} n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x}{\sum_{i=1}^{n} n} \quad (3.23)$$

***Alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

$$\text{AKL} = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}\,(1-\bar{p}\,)}{n}} \quad (3.24)$$

$$\text{ÜKL} = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}\,(1-\bar{p}\,)}{n}} \quad (3.25)$$

***np diyagramları (hatalı ürün sayısı) için orta çizginin hesaplanması***

$$\text{OÇ} = n\bar{p} \quad (3.26)$$

***np diyagramları için alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

$$\text{AKL} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}\,(1-\bar{p}\,)} \quad (3.27)$$

$$\text{ÜKL} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}\,(1-\bar{p}\,)} \quad (3.28)$$

**c Diyagramları- u Diyagramları**

Süreçte hata sayıları kullanılacak ise bu diyagramlar kullanılır. Burada orta çizgi, alt ve üst kontrol limitleri oluşturulurken poisson dağılımları kullanılır. c diyagramlarının yanı sıra u diyagramları da bulunmaktadır. Eğer hata sayısı izlenecek ise c diyagramları, birim başına hata sayısı izlenecekse u diyagramları kullanılır. Özetle, c diyagramları örnekteki hataların tümü ile u diyagramları birim örnekteki hata sayısı ile ilgilidir.

***c diyagramları (Hata sayısı) için orta çizginin hesaplanması***

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{n} c}{k} \quad (3.29)$$

***c diyagramları için alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

AKL= $\bar{c}$-3$\sqrt{\bar{c}}$ (3.30)

ÜKL=$\bar{c}$+3$\sqrt{\bar{c}}$ (3.31)

***u diyagramları (Birim başına hata sayısı) için orta çizginin hesaplanması***

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^{n} c_i}{\sum_{i=1}^{n} n_i} \quad (3.32)$$

$c_i$=i.alt örneklemdeki hata sayısı

$n_i$= i.alt örneklem hacmi

***u diyagramları için alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

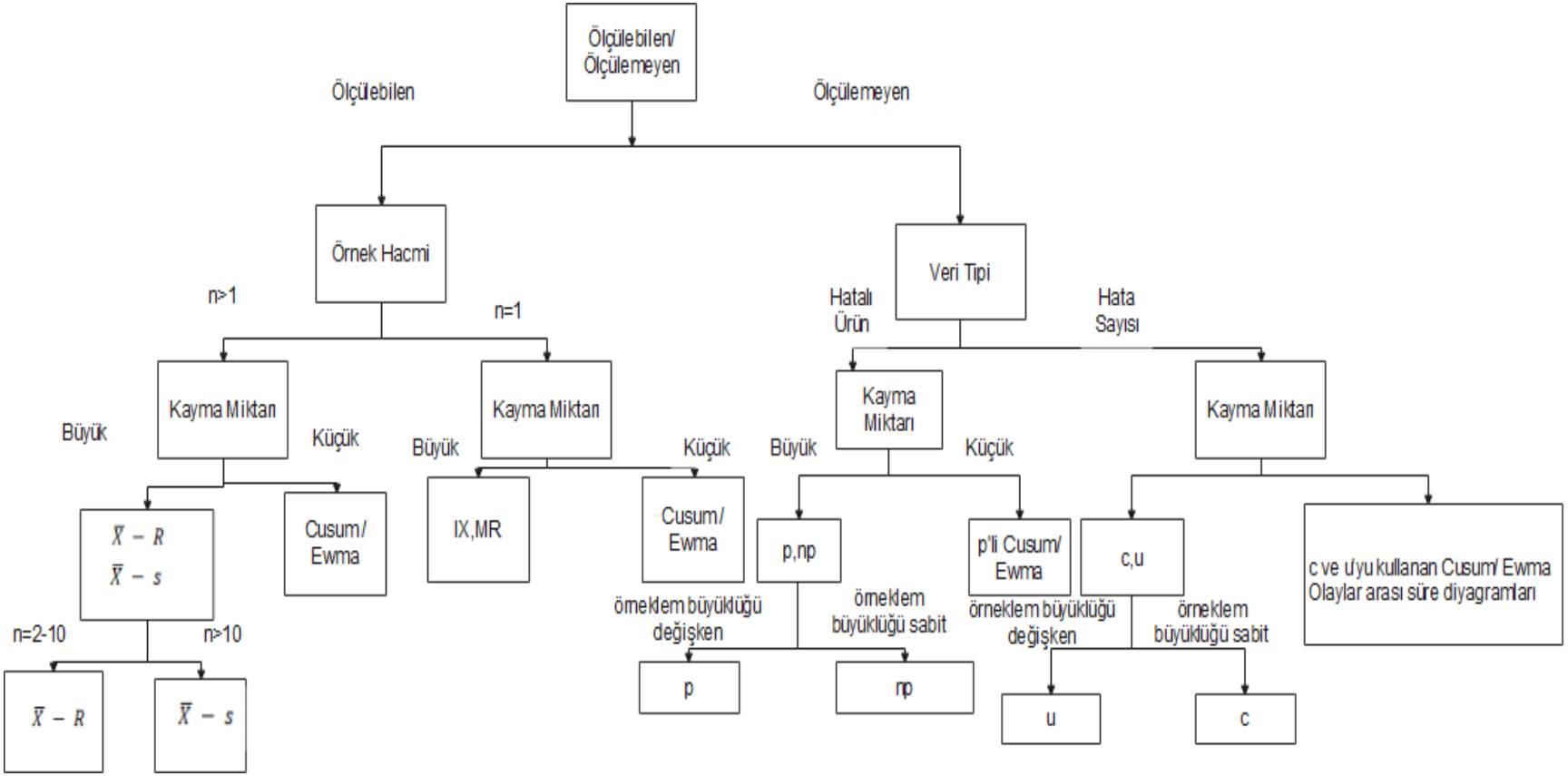
AKL=$\bar{u}$-3$\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$ (3.33)

ÜKL=$\bar{u}$+3$\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$ (3.34)

### 3.2.2.Uygun Kontrol Diyagramlarının Seçilmesi

Kontrol diyagramları ile hem tek bir kalite karakteristiğine ait varyasyon hem de birden fazla kalite karakteristiğine ait varyasyonlar incelenebilir.Tek bir kalite karakteristiğine ait varyasyonları inceleyen Shewhart tarafından geliştirilen klasik süreç kontrol diyagramlarının dışında, CUSUM, EWMA... gibi farklı süreç kontrol diyagramları da mevcuttur.

Diyagramların hangisinin ne zaman kullanılacağı son derece önemli bir konudur. Burada diyagramların aralarında otokorelasyon olup olmadığı, alt örneklem grubunun büyüklüğü, üretim esnasında kaymaların büyüklüğü gibi faktörler dikkate alınır.Otokorelasyon, aynı veri kümesinin ardışık değerleri arasındaki ilişkinin varlığıdır ve ilişki varsa n=1 kabul edilir. Aşağıdaki şemada aralarında otokorelasyon bulunmayan süreç kontrol diyagramlarının ne zaman kullanılabileceği hakkında bilgi verecek Montgomery tarafından geliştirilmiş önemli bir karar ağacıdır.




**Şekil 3.12:** Montgomery Karar Ağacı

### 3.2.3. Küçük Parti Üretim

Günümüzde maliyetlerin azaltılması için eş zamanlı olarak üretim ve stokların azaltılması önem kazanmıştır. Genellikle ürün partileri giderek daha küçük boyutlarda üretilmeye başlanmıştır. Üretim süreçlerindeki çeşitli adımların daha da yakın olmasını sağlarken, neyin ne zaman üretileceğinin tahmin edilmesi kritik önem arz etmektedir. Eski üretim sistemlerinde haftalık ya da aylık ürün yetiştirilmeye çalışılırken, şu anda ürün partileri gün içerisinde belirli saatlere kadar yetiştirilmeye çalışılmaktadır. Bu yüzden, tahmin edilebilirlik çok önemlidir ve kontrol edilemeyen değişken, üretim sürecini ciddi anlamda etkileyebilir.

Elbette ki, Shewhart diyagramları bizlere bir ürünün ne zaman üretilebileceği ile ilgili operasyonel tanımları vermektedir. Ancak sadece istatistiksel kontrol diyagramları mantıklı değerlere sahipse tahmin edilebilir olmaktadır.

Toyota tarafından ortaya konan "tam zamanında üretim" maliyetleri azaltmak için önemlidir. Ancak sadece mevcut istatistiksel kontrol kullanarak tam zamanında üretim için gerekli olan tahmin edilebilirlik elde edilemez. Diyelim ki, bir ürün farklı renklerde (siyah beyaz gri mor kırmızı) üretilecektir. Ürün, üretici tarafından bu şekilde montaj hattına ayarlanır. Ancak buradaki problem; üretici yukarıdaki sıra ile üretemiyor ise, istenilen zamanda istenilen şekilde ürünleri yetiştiremeyecektir.

Bu durumda üretici ürünlerinin stoklamak için depo inşa edebilir ya da daha önce stokladığı ürünleri montaj hattına sevk edebilir. Ancak üretim süreci kontrol dışındaysa ya da spesifikasyonları karşılamıyor ise, tam zamanında üretimi gerçekleştirebilmek için tek çözüm yolu stoktan üretim sistemine ürün göndermektir. Planlı üretim yapılabilmenin en önemli şartı ideal durumda üretim süreçlerine sahip olmaktır.

Bir sürecin kararlılığının ve tahmin edilebilirliğinin oluşması için, üretim sürecinin ideal durumda olması beklenir. İdeal durum için beklenen 4 önemli koşul aşağıda yer almaktadır (1991, Wheeler).

1. Bir süreç zaman içerisinde doğal olarak kararlı olmak zorundadır.

2.Üretici istikrarlı ve tutarlı bir şekilde süreci yönetmek zorundadır. Operasyon koşulları keyfi olarak seçilemez ya da değiştirilemez.

3. Uygun seviyelerde, sürecin amacı bulunmalı ve korunmalıdır.

4.Doğal süreç limitleri spesifikasyon limitleri içerisinde olmalıdır.

Tüm bu gereksinimler sadece istatistiksel süreç kontrol diyagramları ile elde edilemez. Küçük parti üretiminde meydana gelen değişkenlerin sürekli değişmesi, kontrol diyagramlarının uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Burada önemli olan konu, sürekli ve hassas süreç değişkenlerini oluşturan temel problemleri bulmaktır.

Tahmin edilebilirliği sağlamak ve yukarıda bulunan 4 gereksinimi elde edilebilmenin en önemli yolu hem süreç kararlılığını hem de devamlılığını sağlamaktır. Ancak bir üründen diğerine geçiş yapılırken sık değişimlerin meydana gelmesi bunu zorlaştırmaktadır. Küçük partili üretim, süreç kurumlarının fazla olduğunu ifade etmektedir.Bununla birlikte, ürüne ait verinin az ya da hiç olmaması, çeşitli ürünlerin az miktarda üretilmesi, tam zamanında üretimi benimsemiş düşük hacimli üretimlerin yapıldığı üretimler de küçük partili üretim olarak değerlendirilir.

#### *3.2.3.1. Kısa Dönemli Süreç yada Küçük Partili Üretim için Kullanılan Kontrol Diyagramları*

Shewhart'ın temellerini oluşturduğu klasik süreç kontrol diyagramlarının tam anlamı ile kullanılabilmesi için en az 25 alt örneklem hacmine ihtiyaç bulunmaktadır. Ancak günümüz şartlarında üretim hacimleri son derece düşük miktarlardadır. Bu durum hem tam zamanda üretimi benimseyen sürekli üretim sistemlerinde hem de sipariş miktarı kesikli ve bir parti oluşturabilecek büyüklükte olan kesikli üretim sistemlerinde de aynıdır. Durum bu şekilde olunca istenilen en az 25 alt örneklem elde edilememektedir. Bu yüzden günümüzde Shewhart temelli klasik süreç kontrol diyagramları yetersiz kalmaktadır. Bu sorunu çözmek amacı ile İngilizcesi "short run control charts" olan küçük kontrol diyagramları geliştirilmiştir.

Geleneksel SPC yöntemleri, aşağıdakiler gibi kısa süreli durumlarda sıklıkla işe yaramaz (Marques ve diğerleri,2015):

1) Çok çeşitli özel veya yarı özel parçaların üretildiği atölye işlemleri, bu kadar çeşitli ürünlerin izlenmesi, çoğu durumda pratik olmayan çok sayıda kontrol çizelgesi gerektirecektir.

2) Düşük stok seviyesine ihtiyaç duyulan tam zamanında (JIT) sistemler, kısa üretim işlemlerinde daha az miktarda parça üretilmesini talep eder.

3) Bir sürecin başlatılması veya yetersiz sayıda alt grubun bulunduğu yeni bir sürecin başlatılması, işlemin parametrelerinin doğru bir şekilde tahmin edilememesine neden olur.

Üretim süreçlerinde küçük parti ürünler kısa süre içerisinde üretilmektedir. Ancak burada farklı bir soru ortaya çıkmaktadır. Üretilecek miktar bir çivi üreticisi için 30000 adet küçük miktarken, bir araba üreticisi için 300 adet küçük bir miktardır. Bir ürünün birkaç özelliği değiştirilerek yeni ürünlerin olması yani tek tip ürünlerin olmaması ve gerekli olan kontrol limitlerinin oluşturacak yeterli veri olmamasından dolayı kısa süreli üretimler için istatistiksel süreç kontrollerinin elde edilebilmesinin yolu üretim sürecine odaklanmaktır. Günümüzde küçük parti veya kısa süreli üretimlerin son derece önem kazandığı kesindir.

Küçük partili üretim süreçlerinde istatistiksel kalite kontrol diyagramları kullanılırken aynı üretim süreçlerinde, farklı ürünlerin üretilmesi ele alınacaktır. Ölçülen değerlerin tek bir üründen alınmış bir değer gibi değerlendirilmesi için dönüşüm işlemi yapılır bu işleme kodlama denir (Griffith,1996).

Küçük partili üretim süreçlerinde temel olarak bu dönüşüm işlemini yapabilmek için iki kodlama şekli bulunmaktadır. Bunlar;

- Hedefe yönelik süreç kontrol diyagramları
  - ✓ $\bar{X}$-R Diyagramları
  - ✓ $\bar{X}$-s Diyagramları
  - ✓ MR-IX Diyagramları
- Standart hale getirilmiş süreç kontrol diyagramları

  -Ölçülebilen özellikler için
  - ✓ $\bar{X} - R$ Diyagramları
  - ✓ $\bar{X}$-s Diyagramları
  - ✓ IX-MR Diyagramları

  -Ölçülemeyen özellikler için
  - ✓ p diyagramları
  - ✓ c diyagramları
  - ✓ u diyagramları

***Hedefe Yönelik Süreç Kontrol Diyagramları***

Hedefe yönelik süreç kontrol diyagramlarına, fark diyagramları ya da DNOM diyagramları da denilir. Bu diyagramlar benzer özelliklere sahip farklı ürünlerde ve küçük miktarda üretilen

partilerde kullanıma uygundur. Hedefe yönelik SKD ‘ı oluşturulurken, Ölçülen değerden sabit bir değer çıkarılır ve elde edilen farklar klasik yöntemler ile elde edilecek süreç kontrol diyagramlarında veri olarak kullanılır. Burada fark alınan değerlerde değişiklik olamadığı için standart sapma değişmez. Çıkarılacak sabit sayı ölçülen özelliğin hedef değeri olan nominal ölçüsü olabilir, geçmişte elde edilen verilerin ortalaması olabilir, spesifikasyon limitlerinin kendisi olabilir ya da belirlenen başka bir değer olabilir (Baray, 2008).

Burada hedefe yönelik süreç kontrol diyagramları içerisinde;

- ✓ $\bar{X}$-R Diyagramları
- ✓ $\bar{X}$-s Diyagramları
- ✓ MR-IX Diyagramları

ele alınacaktır.

$\overline{X}$ grafiği tek başına kullanılması tercih edilmez. S ya da R grafiği ile birlikte kullanılması daha güvenilirdir. Örneğin $\overline{X}$-R diyagramlarında, R grafikleri kullanılarak ortalamada meydana değişiklikler fark edilemezken,$\overline{X}$ grafiği kullanılarak fark edilmektedir. Aynı şekilde değişkenlikte meydana gelen değişimler $\overline{X}$ grafiğinde fark edilmezken, R grafiğinde fark edilmektedir. Bu yüzden iki grafik birlikte kullanılmalıdır.

***X-R Diyagramları***

Hedefe yönelik küçük parti X-R diyagramları, tek tip ölçülen karakteristiğin ortalamalarında meydana gelen değişikliği takip etmek için kullanılır. Aynı ürünün tek bir özelliğindeki farklılık inceleneceği için üretim hacmi kararlı olup, standart sapmasının da aynı olacağı tahmin edilir. Böylelikle üretim aynı diyagramlarda kolaylıkla izlenebilir.

Örneğin, tek tip vana üretilen bir firmada, vanaların farklı basınçlarda açılacak şekilde üretilmesi planlanmaktadır. Böyle bir durumda X-R diyagramları kullanılır. Aynı vananın üretimi söz konusudur. Sadece vanaların ayarlandıkları basınçlar farklıdır. Üretim hacmi kararlı olup, standart sapmasının da tüm ayarlarda aynı olacağı tahmin edilir. Dolayısıyla, vanaların üretimi aynı diyagramlarda kolaylıkla izlenebilir.

Varyasyonun normal dağılama uyduğu kabul edilerek, normal dağılım parametreleri olan konum ve yayılma takip edilir. X-R diyagramlarında konum için ortalama, yayılma için de aralık(R) takip edilir. Aralık diyagramları alt örneklem boyutu küçük olduğu durumlarda alt örneklem standart sapmasını tahmin etmek için kullanılır.

***Alt örneklem***

Küçük partili üretimlerde, üretim süresi kısa ve üretim hacim az olduğu için genellikle alt örneklem 3 olarak alınır. Ancak 10 alt örneklemden küçük olan süreçler içinde kullanılır.

***Diyagram noktalarının hesaplanması***

Kontrol diyagramlarındaki R değerleri, alt örneklemdeki en yüksek değerden en düşük değerin çıkarılması ile elde edilir.

R= X en yüksek – X en düşük (3.35)

$$\text{Kodlu}\bar{\bar{X}}=\frac{\sum \text{kodlu } \bar{X}}{k} \quad (3.36)$$

k = alt örneklem sayısı

***Orta çizginin hesaplanması***

- R diyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{k} \quad (3.37)$$

- $\bar{X}$ *d*iyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\text{Kodlu}\bar{\bar{X}}=\frac{\text{Kodlu } \bar{X}}{k} \quad (3.38)$$

***Alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

- R için;

$$\text{ÜKL}=D_4 * \bar{R} \quad (3.39)$$

$$\text{AKL}=D_3 * \bar{R} \quad (3.40)$$

- $\bar{X}$ Diyagramları için

$$\text{ÜKL}= \text{Kodlu}\bar{\bar{X}}+A_{2*}\,\bar{R} \quad (3.41)$$

$$\text{AKL}=\text{Kodlu}\bar{\bar{X}}- A_{2*}\,\bar{R} \quad (3.42)$$

**Tablo 3.6:** Küçük Partili Üretim için X-R Kontrol Diyagramları (Wise veFair)

| | X diyagramı | R diyagramı |
|---|---|---|
| OÇ | $\frac{\text{Kodlu } \bar{X}}{k}$ | $\frac{\sum R}{k}$ |
| AKL | Kodlu$\bar{\bar{X}}$- A2* $\bar{R}$ | D3*$\bar{R}$ |
| ÜKL | Kodlu$\bar{\bar{X}}$+A2* $\bar{R}$ | D4* $\bar{R}$ |

***$\bar{X}$-s Diyagramları***

$\bar{X}$-R diyagramlarının ilkeleri ile aynıdır. Buradaki fark, altörnek hacmi 10'a eşit ya da daha büyük olduğunda veya değişken olduğu durumlarda hesaplama için $\bar{X}$-s Diyagramları kullanılır. Dikkate alınacak ürün sayısı önemli değildir.

$$\bar{s}=\sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.43)$$

$$\text{Kodlu } \bar{\bar{X}}=\frac{\sum \text{kodlu } \bar{X}}{k} \quad (3.44)$$

k = alt örneklem sayısı

***Orta çizginin hesaplanması***

- s diyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\bar{s} = \frac{\sum s}{k} \quad (3.45)$$

- $\bar{X}$diyagramları için orta çizginin hesaplanması

$$\text{Kodlu } \bar{\bar{X}} = \frac{\text{Kodlu } \bar{X}}{k} \quad (3.46)$$

***Alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

- $\bar{X}$ için;

$$\text{ÜKL}=\text{Kodlu}\bar{\bar{X}}+A_{3^*}\,\bar{s} \quad (3.47)$$

$$\text{AKL}=\text{Kodlu}\bar{\bar{X}}-A_{3^*}\,\bar{s} \quad (3.48)$$

- s Diyagramları için

$$\text{ÜKL}= B_4{}^*\,\bar{s} \quad (3.49)$$

AKL=$B_3$*$\bar{s}$ (3.50)

**Tablo 3.7:** Küçük Partili Üretim için X-S Kontrol Diyagramları (Wise ve Fair)

| | $\bar{X}$-diyagramı | s diyagramı |
|---|---|---|
| OÇ | Kodlu$\bar{\bar{X}}$=$\frac{\text{Kodlu } \bar{X}}{k}$ | $\bar{s} = \frac{\sum s}{k}$ |
| AKL | Kodlu$\bar{\bar{X}}$-A3* $\bar{s}$ | B3*$\bar{s}$ |
| ÜKL | Kodlu$\bar{\bar{X}}$+A3* $\bar{s}$ | B4*$\bar{s}$ |

***MR-IX Diyagramları***

MR-IX diyagramları süreçten tek bir ölçü almanın yeterli olduğu ve ya süreçten ancak bir ölçü alabildiğimiz durumlarda kullanılır. Ancak çoğu zaman küçük partili üretimlerde çeşitli parça numaraları süreç boyunca tekrar edilir. Bu yüzden küçük miktarlarda üretimin olduğu durumlar için bu diyagramların hedefe yönelik olarak kodlanması ile kullanılır. Kodlama işlemi, ölçülen değerden hedef değerin çıkarılması ile gerçekleştirilir. Bu diyagramlar, küçük partili üretim süreçlerinden alınan farklı boyutlardaki ürünlerin benzer özelliklerinin takip edilmesi için yararlanılır.

MR diyagramları (Hareketli Değişim Aralığı, The Moving Range), alınan iki ölçüm arasındaki farklarda meydana gelen değişmelerin izlenilmesi için kullanılmaktadır. Eğer MR diyagramlarında süreç kontrol altında ise, hedefe yönelik IX diyagramlarına geçilir. Eğer süreç kontrol atında değil ise, o zaman sürecin kontrol dışına çıkmasına neden olan noktalar belirlenir ve düzeltildikten sonra IX diyagramlarına geçilir.

***Alt örneklem***

Küçük partili üretim süreçlerinde sürecin değişimi takip edilirken MR diyagramları, tek bir ölçü alınarak elde edilen süreç konumları IX diyagramları ile belirlenir. MR diyagramları ile sürecin değişimi yani kararlılığı takip edilir. Çünkü bu diyagram IX diyagramlarının limitlerini oluşturmak için kullanılır. IX diyagramları tek bir ölçüm alınarak, MR diyagramları ardışık iki ardışık IX noktası ile hesaplanır. Ölçüm her seferinde bir kez yapılacağından alt örneklem hacmi n=1'dir. Alt örneklem n=1 olduğu için alt örneklemin kendi içerisinde bir varyasyon yoktur. Alt örneklem içerisindeki maksimum değer ile minimum değer arasındaki farka bakılarak ölçüm yapılamaz. Bu yüzden, birerli ölçümlerden oluşan değerler arasındaki varyasyona bakılır. Her bir ölçümün normal dağıldığı kabul edilir.

***Grafik noktalarının hesaplanması***

MR için;

$$\text{MR grafik noktası}=\left|(\text{IX}-\text{Hedef değeri})_{i}-(\text{IX}-\text{Hedef değeri})_{i-1}\right| \quad (3.51)$$

IX için;

$$\text{IX grafik noktası}=(\text{IX})i-\text{Hedef değer} \quad (3.52)$$

IX noktaları, alınan ölçüm değerlerinden her bir hedef değerinin çıkarılması ile elde edilirken, MR değerleri ise çıkarılarak elde edilen her bir değerin bir önceki çıkarılarak elde edilen değerlerin çıkarılması ile hesaplanır.

***Merkezi değerlerin ya da orta çizgilerin hesaplanması***

MR ve IX diyagramındaki tüm noktalar orta çizgilerin hesaplanması için kullanılır.

k = alt örneklem

MR orta çizginin hesaplanması

$$\overline{MR}=\frac{\sum_{i=2}^{k}\text{MRi}}{k-1} \quad (3.53)$$

IX orta çizginin hesaplanması

$$\text{Kodlu }\overline{IX}=\frac{\sum \text{kodlu IX}}{k} \quad (3.54)$$

***MR- IX alt kontrol limitleri ve üst kontrol limitlerinin hesaplanması***

- MR kontrol limitleri

  $$\text{ÜKL}=D_4 * \overline{MR} \quad (3.55)$$

  $$\text{AKL}= D_3 * \overline{MR} \quad (3.56)$$

- IX kontrol limitleri

  $$\text{ÜKL}= \text{Kodlu }\overline{IX}+A_{2*}\overline{MR} \quad (3.57)$$

  $$\text{AKL}=\text{Kodlu }\overline{IX}-A_{2*}\overline{MR} \quad (3.58)$$

Denklemdeki D3=0, D4=3.27, $A_2$=2.66 olduğu için son hesaplama şekli aşağıda bulunan tablodaki gibidir.

**Tablo 3.8:** Küçük Partili Üretim için MR-IX Kontrol Diyagramları (Wise veFair)

| | IX diyagramı | MR diyagramı |
|---|---|---|
| OÇ | $\frac{\sum \text{kodlu IX}}{k}$ | $\overline{MR}=\frac{\sum_{i=2}^{k} MRi}{k-1}$ |
| AKL | Kodlu $\overline{IX}$- 2,66* $\overline{MR}$ | 0 |
| ÜKL | Kodlu $\overline{IX}$+ 2,66* $\overline{MR}$ | 3,267*$\overline{MR}$ |

MR ve IX diyagramları benzer özelliklere sahip olan ürünleri bir diyagramda göstermek için idealdir. Ancak bu diyagramlar küçük partiler için kullanılan X- R diyagramları kadar süreçte meydana gelen ortalama değişikliklerini belirlemek için hassas değildir.

***Aralık Testi yadaFisher Testi***

Ölçülebilen özellikler için hedefe yönelik küçük parti süreç kontrol diyagramları kullanıldığında, diyagramda yer alan ürünlerden birinin diğerlerine göre farklı bir şekilde değiştiğinden şüphe edilmesi halinde Aralık testi ya da Fisher testi yapılır.

Aralık testinde şüphe edilen verilere ait aralık ortalaması ($R_{şüphe}$), tüm verilerin aralık ortalaması ($\bar{R}$) ile karşılaştırılır.

Şüphe edilen ürün genele göre kötü durumda olduğu düşünülüyor ise;

$$\frac{R_{şüphe}}{\bar{R}} \leq 1{,}33 \qquad (3.59)$$

Şüphe edilen ürün genele göre iyi durumda olduğu düşünülüyor ise;

$$\frac{\bar{R}}{R_{şüphe}} \leq 1{,}33 \qquad (3.60)$$

olması gerekir. Her iki durumda da 1,33 aşıldığında ilgili ürünün farklı bir diyagramda incelenmelidir.

**Standart Hale Getirilmiş Süreç Kontrol Diyagramları**

Standart hale getirilmiş süreç kontrol diyagramlarının hedefe yönelik süreç kontrol diyagramlarından farkı, diyagram çiftlerinin her ikisinin de kodlanmış olmasıdır.

***$\bar{X} - R$ Diyagramları***

Hedefe yönelik diyagramlarda ürünlerin varyasyonu aynı kabul edilir. Ancak süreçlerde meydana gelen değişkenliklerden dolayı bu durum tam olarak mümkün değildir. Bu yüzden standart hale getirilmiş kontrol $\bar{X} - R$ diyagramlarında hem X hem R kodlanmıştır.

***Alt örneklem***

Standart hale getirilmiş $\bar{X} - R$ Diyagramları, klasik $\bar{X} - R$ Diyagramları gibi alt örneklem hacmi 1-10 ve sabit miktarlarda olduğunda kullanıma uygundur.

***Orta çizginin hesaplanması***

- R diyagramları için Orta çizginin hesaplanması

$$R=1 \tag{3.61}$$

- $\bar{X}$ diyagramları için Orta çizginin hesaplanması

$$\bar{X}=0 \tag{3.62}$$

***Alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

- R için;

$$ÜKL=D_4 \tag{3.63}$$

$$AKL=D_3 \tag{3.64}$$

- $\bar{X}$ Diyagramları için

$$ÜKL= A_2 \tag{3.65}$$

$$AKL=- A_2 \tag{3.66}$$

***Grafik noktalarının hesaplanması***

$\bar{X}$ Diyagramı;

$$\text{Kodlu } \bar{X}=\frac{\bar{X}-\text{Hedefe yönelik } \bar{\bar{X}}}{\text{Hedefe yönelik } \bar{R}} \tag{3.67}$$

R Diyagramı;

$$\text{Kodlu R} =\frac{R}{\text{Hedefe yönelik } \bar{R}} \tag{3.68}$$

Yukarıdaki dönüşümler hesaplandıktan sonra, kodlu $\bar{X}$ değeri $\bar{X}$ diyagramını çizerken, kodlu R değeri R diyagramını çizerken kullanılır.

Hedefe yönelik $\bar{R}$ değeri, sürecin yayılması ile ilgili bilgi verir. 5 şekilde tahmin edilebilinir.

1.Süreç kontrol altında ise, orta noktası hedefe yönelik $\bar{X}$ olarak kabul edilir.

2. Kalite güvence personeli çıktıları temsil eden bir örneklemden ölçüm yaparak kayda almışsa, standart sapması hesaplanır ve aşağıdaki bağlantı kullanılır.

Hedefe yönelik $\overline{R}=\frac{d_2}{c_4} * s$ (3.69)

3.Eğer elde kontrol diyagramları ile ilgili veri bulunmuyor ise, benzer özelliklere sahip ürünlere bakılır. Bu ürünlere 1. veya 2. bağıntılar kullanılarak $Hedefe\ yönelik\ \bar{R}$ hesaplaması yapılır.

4.Süreci bilen bir uzman fikri alınır. Kişi yaklaşık bir değer verecektir bu değer bize sürecin doğal değişkenliğini verir. Standart sapması 6 'a bölünerek bulunur. Standart sapması hesaplandıktan sonra 2. bağlantı kullanılır.

5.Göz önüne alınan veriye ait iki spesifikasyon değeri var ise;

Hedefe yönelik $\bar{R}=\frac{d_2}{6}$ * (ÜSL-ASL) (3.70)

şeklinde hesaplanır.

Eğer sadece tek bir spesifikasyon bilgisi var ise;

Hedefe yönelik $\overline{R}=\frac{d_2}{3}$ * (Spesifikasyon limiti – Hedefe yönelik $\bar{\bar{X}}$) (3.71)
bağıntısı ile hesaplanır.

***$\bar{X} - s$ Diyagramları***

Hedefe yönelik diyagramlarda ürünlerin standart sapması aynı kabul edilir. Ancak süreçlerde meydana gelen değişkenliklerden dolayı bu durum tam olarak mümkün değildir. Bu yüzden standart hale getirilmiş kontrol $\bar{X} - s$ diyagramlarında hem X hem s kodlanmıştır.

***Alt örneklem***

Standart hale getirilmiş $\overline{X} - s$ Diyagramları, klasik $\overline{X} - s$ Diyagramları gibi alt örneklem hacmi 10'dan büyük ve değişken olduğunda kullanıma uygundur.

***Orta çizginin hesaplanması***

- s diyagramları için orta çizginin hesaplanması

  s=1 (3.72)

- $\overline{X}$ diyagramları için orta çizginin hesaplanması

  $\bar{X}$=0 (3.73)

***Alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

- s için;

ÜKL=$B_4$ (3.74)

AKL=$B_3$ (3.75)

- $\overline{X}$ diyagramları için

ÜKL= $A_3$ (3.76)

AKL=- $A_3$ (3.77)

**Tablo 3.9:** Standart Hale Getirilmiş X-S Diyagramları (Wise ve Fair)

| | $\bar{X}$ | S |
|---|---|---|
| OÇ | 0 | 1 |
| AKL | $-A_3$ | $B_3$ |
| ÜKL | $+ A_3$ | $B_4$ |

***Grafik noktalarının hesaplanması***

$\overline{X}$ Diyagramı;

$$\text{Kodlu } \bar{X} = \frac{\overline{X} - \text{Hedefe yönelik } \overline{\overline{X}}}{\text{Hedefe yönelik } \bar{s}} \quad (3.78)$$

s Diyagramı;

$$\text{Kodlu s} = \frac{s}{\text{Hedefe yönelik } \bar{s}} \quad (3.79)$$

**Tablo 3.10:** Standart Hale Getirilmiş X-S Diyagramları (Wise ve Fair)

| | |
|---|---|
| $\overline{X}$Diyagramı | Kodlu $\overline{X} = \frac{\overline{X} - \text{Hedefe yönelik } \overline{\overline{X}}}{\text{Hedefe yönelik } \bar{s}}$ |
| s Diyagramı | Kodlu s = $\frac{s}{\text{Hedefe yönelik } \bar{s}}$ |

Hedefe yönelik s değeri, standart sapmanın tahmini değeridir. Bu değeri hesaplamak için aşağıdaki yöntemler kullanılır.

1.Eğer süreç kontrol altında ise, buradan elde edilen s diyagramının orta noktası hedefe yönelik s olarak kullanılır.

2. Kalite güvence personeli çıktıları temsil eden bir örneklemden ölçüm yaparak kayda almışsa, standart sapması dönüşüm ile hedefe yönelik hale getirilir.

Hedefe yönelik $\bar{s}=\frac{s}{c_4}$ (3.80)

3.Eğer elde kontrol diyagramları ile ilgili veri bulunmuyor ise, benzer özelliklere sahip ürünlere bakılır. Bu ürünlere 1. veya 2. bağıntılar kullanılarakHedefe yönelik $\bar{s}$ hesaplaması yapılır.

4.Süreci bilen bir uzman fikri alınır. Kişi yaklaşık bir değer verecektir bu değer bize sürecin doğal değişkenliğini verir. Standart sapması 6'a bölünerek bulunur. Standart sapması hesaplandıktan sonra 2. bağlantı kullanılır.

5.Göz önüne alınan veriye ait iki spesifikasyon değeri var ise;

Hedefe yönelik $\bar{s}=\frac{c_4}{6}$ * (ÜSL-ASL) (3.81)

şeklinde hesaplanır.

Eğer sadece tek bir spesifikasyon bilgisi var ise;

Hedefe yönelik $\bar{s}=\frac{c_4}{3}$ * (Spesifikasyon limiti – Hedefe yönelik $\bar{\bar{X}}$) (3.82)
bağıntısı ile hesaplanır.

***MR-IX Süreç Kontrol Diyagramları***

Bu diyagramlar, klasik MR-IX diyagramlarında olduğu gibi alt örneklem hacmi 1 olduğu zaman kullanılır. Genellikle kimya ürünleri, pahalı ürünlerin üretiminde yaygın olarak bu diyagramlardan faydalanılır.

***Orta çizginin hesaplanması***

- IX diyagramları için orta çizginin hesaplanması

  IX=0 (3.83)

- $\overline{MR}$ diyagramları için orta çizginin hesaplanması

  $\overline{MR}$ = 1 (3.84)

***Alt kontrol limiti, üst kontrol limitinin hesaplanması***

- IX için;

ÜKL= +2,66 (3.85)

AKL= -2,66 (3.86)

- $\overline{MR}$ diyagramları için

ÜKL= 3,267 (3.87)

AKL= 0 (3.88)

**Tablo 3.11:** Standart Hale Getirilmiş MR-IX Diyagramları (Wise ve Fair)

| | $\overline{MR}$ | IX |
|---|---|---|
| OÇ | 1 | 0 |
| AKL | 0 | -2,66 |
| ÜKL | 3,267 | +2,66 |

***Grafik noktalarının hesaplanması***

**Tablo 3.12:** Standart Hale Getirilmiş MR-IX Diyagramları (Wise Ve Fair)

| | |
|---|---|
| IX | Kodlu IX=$\frac{\text{IX}-\text{Hedefe yönelik } \overline{\text{IX}}}{\text{Hedefe yönelik } \overline{\text{MR}}}$ |
| MR | Her ürün için ayrı olarak kodlu IX ardışık değerleri arasındaki farkın mutlak değeri alınarak belirlenir. |

***Standart Hale Getirilmiş Küçük Parti p Diyagramı***

Standart hale getirilmiş X-R, X-s ve IX-MR diyagramları ölçülebilen özellikler için kullanılan yöntemlerdir. Bu bölümde anlatılacak olan p (hatalı ürün oranı) diyagramları ölçülemeyen özellikler için kullanılan yöntemdir. Daha önce ölçülemeyen bölümler kısmında bu diyagramlar açıklanmıştır. Ancak kısaca tekrar ifade edilirse;

Ölçülemeyen ürünler; istatistikte hatalı-hatasız, bozuk- sağlam, geçer- geçmez gibi karşıt iki durumu anlatmaktadır. Eğer hatalı ürünler için bir hesaplama yapılacak ise p diyagramları kullanılır. Eğer hata sayısı için hesaplamalar yapılacak ise c ve u diyagramları kullanılır.

Bu diyagramlarda kullanılan orta çizgi, alt kontrol limit, üst kontrol limit değerleri sabittir.

Sırasıyla;

Orta çizgi:0

AKL :-3

ÜKL :+3

Bu diyagramlarda, her diyagramda işaretlenecek noktalar için standart hale getirme işlemi uygulanır. Kodlu p olarak işaretlenecek bu noktaların AKL =-3,ÜKL=+3 aralığında olup olmadığı kontrol edilir.

kodlu p değerin hesaplanması şu şekildedir.

$$\text{Kodlu p}=\frac{\text{pi}-\bar{\text{p}}\text{igeçmiş}}{\sigma_{\text{p,igeçmiş}}} \qquad (3.89)$$

Kodlu p = i sürecinin diyagrama işaretlenecek değerini

$p_i$ =i sürecinde son hesaplanan p değerini

$\bar{p}igeçmiş$ = i sürecinin geçmişteki p ortalaması

$\sigma_{p,igeçmiş}$ =i sürecinin geçmişteki standart sapmasını

belirtmektedir. Kodlu p değerinin hesaplanmasında kullanılan standart sapma ise;

$$\sigma_{p,igeçmiş} = \sqrt{\frac{\bar{\text{p}}(1-\bar{\text{p}})}{\text{n}}} \qquad (3.90)$$

şeklinde hesaplanır.

$\bar{p}$=i sürecinin en son güncellenmiş ortalamasını

n= i sürecinden alınan sabit örnek hacmi

***Standart Hale Getirilmiş Küçük Parti c (Hata Sayısı) Diyagramı***

Bu bölümde anlatılacak olan c (hata sayısı) diyagramları ölçülemeyen özellikler için kullanılan yöntemdir. Tıpkı p diyagramlarında olduğu gibi bu diyagramlarda kullanılan orta çizgi, alt kontrol limit, üst kontrol limit değerleri sabittir.

Sırasıyla;

Orta çizgi:0

AKL :-3

ÜKL :+3

Bu diyagramlarda, her diyagramda işaretlenecek noktalar için standart hale getirme işlemi uygulanır. Kodlu c olarak işaretlenecek bu noktaların AKL =-3 ÜKL:+3 aralığında olup olmadığı kontrol edilir.

Kodlu c değerin hesaplanması şu şekildedir.

$$\text{Kodlu c}=\frac{\text{ci}-\bar{\text{c}}\text{igeçmiş}}{\sigma_{\text{c,igeçmiş}}} \quad (3.91)$$

Kodlu c = i sürecinin diyagrama işaretlenecek değerini

$c_i$ =i sürecinin son altörnekleminde belirlenen hata sayısı

$\bar{c}igeçmiş$ = i sürecinin geçmişteki ortalama hata sayısı

$\sigma_{c,igeçmiş}$ = i sürecinin geçmişteki standart sapmasını

belirtmektedir. Kodlu c değerinin hesaplanmasında kullanılan standart sapma ise;

$$\sigma_{\text{c,igeçmiş}} =\sqrt{\bar{\text{c}}_{\text{igeçgün}}} \quad (3.92)$$

şeklinde hesaplanır.

$\bar{c}_{igeçgün}$=i sürecinin güncellenmiş geçmişine göre hesaplanan ortalama hata sayısı.

***Standart Hale Getirilmiş Küçük Parti u (Birim Başına Hata Sayısı) Diyagramı***

Bu bölümde anlatılacak olan u (birim başına hata sayısı) diyagramları ölçülemeyen özellikler için kullanılan yöntemdir. Tıpkı p diyagramlarında olduğu gibi bu diyagramlarda kullanılan orta çizgi, alt kontrol limit, üst kontrol limit değerleri sabittir.

Sırasıyla;

Orta çizgi:0

AKL :-3

ÜKL :+3

Bu diyagramlarda, her diyagramda işaretlenecek noktalar için standart hale getirme işlemi uygulanır. Kodlu u olarak işaretlenecek bu noktaların AKL =-3 ÜKL=+3 aralığında olup olmadığı kontrol edilir.

Kodlu u değerin hesaplanması şu şekildedir.

$$\text{Kodlu u}=\frac{\text{ui}-\bar{\text{u}}\text{igeçmiş}}{\sigma_{\text{u,igeçmiş}}} \quad (3.93)$$

Kodlu u = i sürecinin diyagrama işaretlenecek değerini

$u_i$ =i sürecinin son alt örneklemde belirlenen birim başına hata sayısı

$\bar{u}igeçmiş$ = i sürecinin u'larının geçmiştekisüreç ortalaması

$\sigma_{u,igeçmiş}$ = i sürecinin u'larının geçmişteki standart sapmasını

belirtmektedir. Kodlu u değerinin hesaplanmasında kullanılan standart sapma ise;

$$\sigma_{u,igeçmiş} = \sqrt{\frac{\bar{u}_{igeçgün}}{n}} \quad (3.94)$$

şeklinde hesaplanır.

$\bar{u}_{igeçgün}$=i sürecinin güncellenmiş geçmişine göre hesaplanan ortalaması

n= süreçten alınan alt örneklem sabit hacmi

### 3.2.4. Süreçteki Küçük Kaymaların Belirlenmesi: CUSUM ve EWMA Süreç Kontrol Diyagramları

#### *3.2.4.1.CUSUM Süreç Kontrol Diyagramları*

CUSUM diyagramları, süreçteki küçük değişmeleri ve trendleri belirlemede kullanılmaktadır. Shewhart diyagramlarında kolay olarak belirtilen varyasyonları ayırt edilmesi için kullanılır. CUSUM diyagramları ise dinamik süreç ortalamaları dikkate alındığında kullanılan diyagramlardır. Bu yüzden CUSUM diyagramları izlenmesi zor olarak kabul edilen varyasyonların izlenmesi için tercih edilir. Ardışık birçok aşamayı içeren CUSUM diyagramlarında, kolay varyasyon bulunduğu sırada önceden bilinemeyen büyüklükteki kaymaların bu ardışık aşamalarda incelenmesi çokta güvenilir olmadığı ortadadır. Bu yüzden kolay varyasyon söz konusu olduğu zaman V maskesi, Karar Aralıkları veya Shewhart'a benzetilmiş CUSUM diyagramları yöntemlerinden birinin kullanılması önerilir.

$$S_n=\sum_{i=1}^{n}(\overline{Xi}-\mu o) \quad (3.95)$$

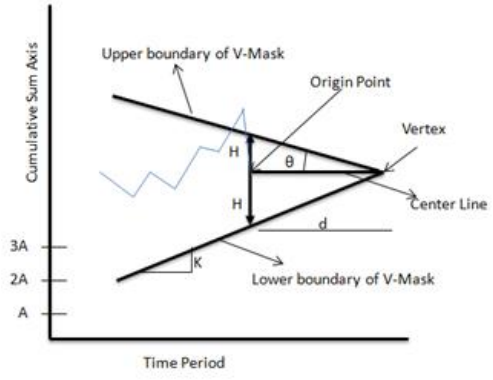
$S_n$=n. Değerin CUSUM değeri

$\overline{Xi}$=i. Örneğin değerini

$\mu o$= Hedeflenen değer

$S_n$, diyagram üzerine işaretlenecek CUSUM değerleridir. Bu diyagramların süreç kontrol diyagramları olabilmesi için limitlerinin de olması gerekir. Limitlerin oluşturulması için V maskesi, Karar Aralıkları veya Shewhart'a benzetilmiş CUSUM diyagramları kullanılır.

**V Maskesi Yöntemi**
V harfi şeklindeki bir maske CUSUM diyagramlarına uygulanılır.




**Şekil 3.13:** V maskesi yöntemi

A değerleri, düşey ölçek biriminin yatay ölçek birimine oranını gösteren ölçek faktörüdür.

Başlangıç noktası diyagrama son işlenen noktanın üzerinde olmalı ve merkez çizgi şekildeki gibi oluşturulmalıdır. Süreçte anlamlı bir değişme var ise, V maskesinin kollarından biri noktayı kapatacaktır. Bu nokta giderilmesi kolay bir varyasyon olduğu düşünülerek neden araştırılmalıdır. Tüm noktalar V maskesi kolları arasında ise süreç kontrol altındadır.

Burada $\theta$ $ve$ $d$ olmak üzere iki parametre söz konusudur. Bu parametreler hata tiplerine göre belirlenir. 1. Tip hatanın olasılığı (α), süreç kontrol altında iken süreç kontrol dışında olduğu sonucuna varma riskine eşittir. 2. Tip hata ($\beta$) ise süreç kontrol altında değilken süreç kontrol altında olduğu sonucuna varma riskine eşittir.

$$\text{duzaklığı}=\frac{2}{\delta^2}\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right) \quad (3.96)$$

2.tip hata olasılığı küçük seçilirse;

$$\text{d uzaklığı}=\frac{2}{\delta^2}\ln(\alpha) \quad (3.97)$$

$$\delta=\frac{\Delta}{\sigma_{\bar{x}}} \quad (3.98)$$

Δ, belirlenmek istenen süreç ortalamasındaki kayma miktarını,$\sigma_{\bar{x}}, \bar{x}$ lerin standart sapmasıdır.

Aradaki açı:$\theta=\text{arctg}\left(\frac{\Delta}{2A}\right)$A, önceden de belirtildiği gibi ölçek sabitidir. (3.99)

**Karar Aralıkları Yöntemi**

Montgomery, V maskesi yönteminde kullanılan $\alpha \; ve \; \beta$ parametrelerinin belirlenmesinin zorluğundan dolayı kullanılmasını uygun görmemektedir. Excelde dahi kullanıma uygun olan karar aralıkları yöntemi firmalara ek maliyet getirmemesinden dolayı önerilmektedir.

Süreç kontrol yöntemi olan karar aralıkları yönteminde $S_H(i)$, i. Periyot için bir taraflı üst CUSUM ve $S_l(i)$ i. Periyot için bir taraflı alt CUSUM hesaplanır.

$S_H(i)$= maks [0,$\overline{Xi}$-($\mu o + K$)+ $S_H(i-1)$] (3.100)

$S_L(i)$= maks [0, ($\mu o + K$)−$\overline{Xi}$ + $S_L(i-1)$] (3.101)

$\mu 1 = \mu o + \delta\sigma$ K=$\frac{\delta\sigma}{2}$ olarak hesaplanır. $\Delta = \delta\sigma$ olmaktadır. (3.102)

Bu yöntemde 0'dan büyük $S_H(i)$ ve $S_L(i)$'lerin belli bir H sabit değerini geçmesi durumunda sürecin kontrol dışına çıktığı sonucuna varılır. H sabiti, karar aralığı adını almaktadır.

H= h$\sigma$ (3.103)

h genelde 4 yada 5 alınmaktadır. Bu değerler ortalama çalışma uzunluğu temel alınarak hesaplanmış en ideal değerlerdir.

Süreç küçükte olsa hedeften değerden kaydığı zaman gerekli ayarlamalar yapılarak sürecin hedefte kalmasını sağlamaktadır.

**Shewhart'a Benzetilmiş CUSUMDiyagramları**

Bu diyagramlarda Shewhart diyagramlarında kullanılan orta çizgi, alt kontrol limitleri ve üst kontrol limitleri bulunmaktadır. Diyagram üzerinde gösterilen noktalar dönüşüm yapılarak standart hale getirilir.

Alt örneklem hacmi 1 olduğu zaman;

$Z_i = \frac{Xi-\mu 0}{\sigma}$ (3.104)

Her $Z_i$ 'nin varyansı 1 olduğundan k tanesinin varyansı 1*k=k dır.

$S_k^* = \frac{küm(Zi)}{\sqrt{k}}$ (3.105)

$S_k^*$ değerleri, 0ç=0, AKL=-3, ÜKL=3 iken diyagrama yerleştirilir ve kontrol dışında olan nokta olup olmadığı tespit edilir.

Alt örneklem hacmi 1'den büyük ve sabit kontrol limitli iken;

OÇ=0, AKL=-3, ÜKL=3

$\overline{Xı}$ değerleri aşağıdaki bağıntıyı kullanılarak elde edilir.

Küm.$(\frac{\overline{Xı}-\bar{\bar{X}}}{\sigma_{\bar{x}}\sqrt{n}})$ (3.106)

Dönüşüm X inin kümülatifi alınacaktır. Elde edilen veriler diyagramda gösterilir.

Alt örneklem hacmi 1'den büyük ve değişken kontrol limitli iken;

OÇ:0

AKL $=\bar{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{x}}\sqrt{k}$ (3.107)

ÜKL $=\bar{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{x}}\sqrt{k}$ (3.108)

$\overline{Xı}$ değerleri aşağıdaki bağıntıyı kullanılarak elde edilir.

Küm.$(\overline{X}ı - \bar{\bar{X}})$ (3.109)

### *3.2.4.2. EWMA Süreç Kontrol Diyagramları*

CUSUM diyagramlarında olduğu gibi süreçteki küçük kaymaların tespiti için kullanılmaktadır. Türkçesi Üstel Ağırlıklandırılmış Hareketli Ortalamadır.EWMA diyagramları, tüm geçmişin ve güncel gözlemlerin ağırlandırılmış ortalaması olduğu için normallik varsayımına duyarsızdır. Bu yüzden alt örneklem hacmi 1 olduğu durumlar için idealdir (Baray,2008).EWMA diyagramları için orta çizgi, alt kontrol limiti ve üst kontrol limiti hesaplanması;

OÇ: $\mu o$ (3.110)

AKL: $\mu o - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}[1-(1-\lambda)^{2i}]$ (3.111)

ÜKL: $\mu o + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}[1-(1-\lambda)^{2i}]$ (3.112)

L= kontrol limitlerinin genişliği

λ= Bir sabit ve $0 < \lambda \leq 1$

i değeri büyüdükçe $[1-(1-\lambda)^{2i}]$ değeri kararlı hale gelir ve aşağıdaki denklemler kullanılır.

OÇ: $\mu o$

AKL: $\mu o - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$ (3.113)

ÜKL: $\mu o + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}$ (3.114)

EWMA diyagramlarında, L ve λ olmak üzere iki parametre vardır. Çalışmalar incelendiğinde $0{,}05 \leq \lambda \leq 0{,}25$ değerlerinin iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir. $\lambda = 0{,}05, \lambda = 0{,}10, \lambda = 0{,}20$ en sık kullanılan değerlerdir. Küçük kaymaların tespitinde λ değerinin küçük olması iyi sonuçlar vermektedir. Aynı zamanda L=3 alındığında λdeğerinin büyük alınması daha iyi sonuç vermektedir. $\lambda \leq 0{,}10$ gibi küçük değerlerde $2{,}6 \leq L \leq 2{,}8$ değerleri ile daraltmak iyi olmaktadır. Bu değerlerin seçim kriteri ortalama çalışma uzunluğuna bağlıdır.EWMA diyagramlarının dezavantajı ise, orta çizginin bir tarafından diğer tarafına bir kayma olduğunda λ değeri küçük olduğunda birkaç periyot sonra tepki vermesidir. Bu küçük λ değerinin yeni veri üzerinde etkisinin az olmasından kaynaklanır. EWMA küçük kaymaları iyi tepki vermektedir. Ancak büyük kaymalara da iyi tepki verebilmesi için Shewhart diyagramları ile birlikte kullanılmalıdır.

### 3.2.5. Süreç Yeterlilik Analizi

Sürecin müşteri ihtiyaçlarını karşılamaya yeteneğine süreç yeterliliği denir. Bu analiz standart sapma ve süreç ortalamasını, ilgili spesifikasyonlarla ilişkilendirerek prosesin müşteri ihtiyaçlarına uygun şekilde ürün oluşturma yeteneğinin analiz edilmesidir.

Süreç yeterlilik analizlerinde aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır;

1. Süreçlerde değişkenlik kontrol altında olmalı ve bu şekilde süreç istikrarlılığı sağlanmalıdır. Değişkenlik kontrol altında olmadığında ürünün uygunluğu ve yeterlilik tahminleri doğru şekilde hesaplanamaz.
2. Süreç dağılımının normal dağılması gerekir.

Süreç yetenek analizleri; prosesin spesifikasyonları karşılama yeteneği incelenmesinde, varyasyonların sürekli olarak azalmasını sağlamak, süreç iyileşmelerini gözlemek, iyileştirilmesi gereken süreçlerin veya kalite karakteristiklerin belirlenmesi için kullanılır.

### *3.2.5.1. Cp İndeksi (Sürecin Potansiyel Yeterliliği)*

Süreçteki gerçek sapmaların ölçülmesiyle spesifikasyon limitlerinin kabullenilebilir yayılmalarını gösteren indekstir. Proses çıktısının %99,73 'ünün üretebileceği minimum aralıktır.

$$Cp=\frac{ÜSL-ASL}{6\sigma} \qquad (3.115)$$

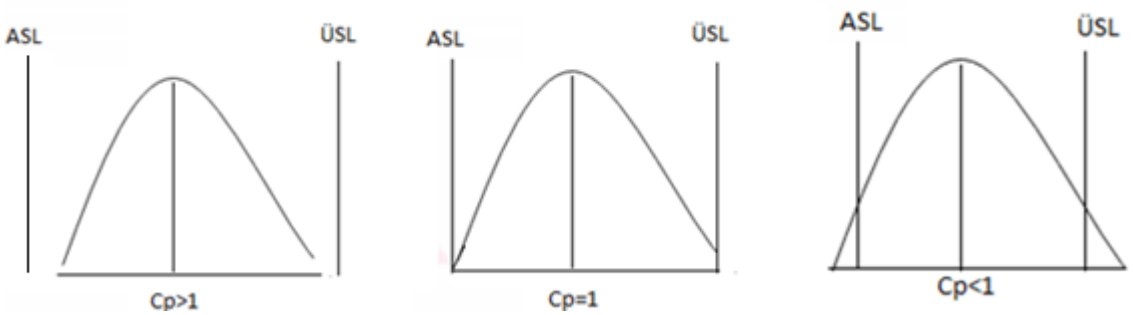
Cp> 1 ise ÜSL- ASL> gerçekleşen yayılmadır. Süreç düzgün bir merkezleşme ile en az %99,73 oranında kusursuz ürün üretme yeteneğine sahiptir.

Cp= 1 ise ÜSL- ASL = gerçekleşen yayılmadır. Süreç düzgün bir merkezleşme ile en fazla %99,73 oranında kusursuz ürün üretme yeteneğine sahiptir.

Cp<1 ise ÜSL- ASL> gerçekleşen yayılmadır. Minimum gereksinin karşılanamayıp, süreç düzgün bir merkezlenmiş olsa bile %99,73 oranında kusursuz ürün üretme yeteneğine sahip değildir.

Cp, sürecin dağılımıyla spesifikasyon aralığı ilişkisini göstersede süreç ortalamasının hedeflenen değerle ilişkisine bakamaz. Önemli olan Cp indeksinde tolerans içine (ÜSL-ASL) $6\sigma$ 'nın sığmasıdır. Bu yüzden Cp indeksi genellikle potansiyel bir süreç ölçümü olarak kullanılır.

Süreç ortalamasının spesifikasyon limitlerinin hedef değere eşit ve sürecin istatistiksel anlamda kontrol altında olduğunu kabul eden Cp indeksi, sürecin potansiyel yeterliliğini göstermektedir. Ancak genellikle ortalama değer, hedef değer olmadığından değişimi ve süreç ortalamasını kullanan Cpk indeksi tercih edilmelidir.




**Şekil 3.14:** Cp indeksleri

### *3.2.5.2. Cpk İndeksi (Sürecin Fiili Yeterliliği)*

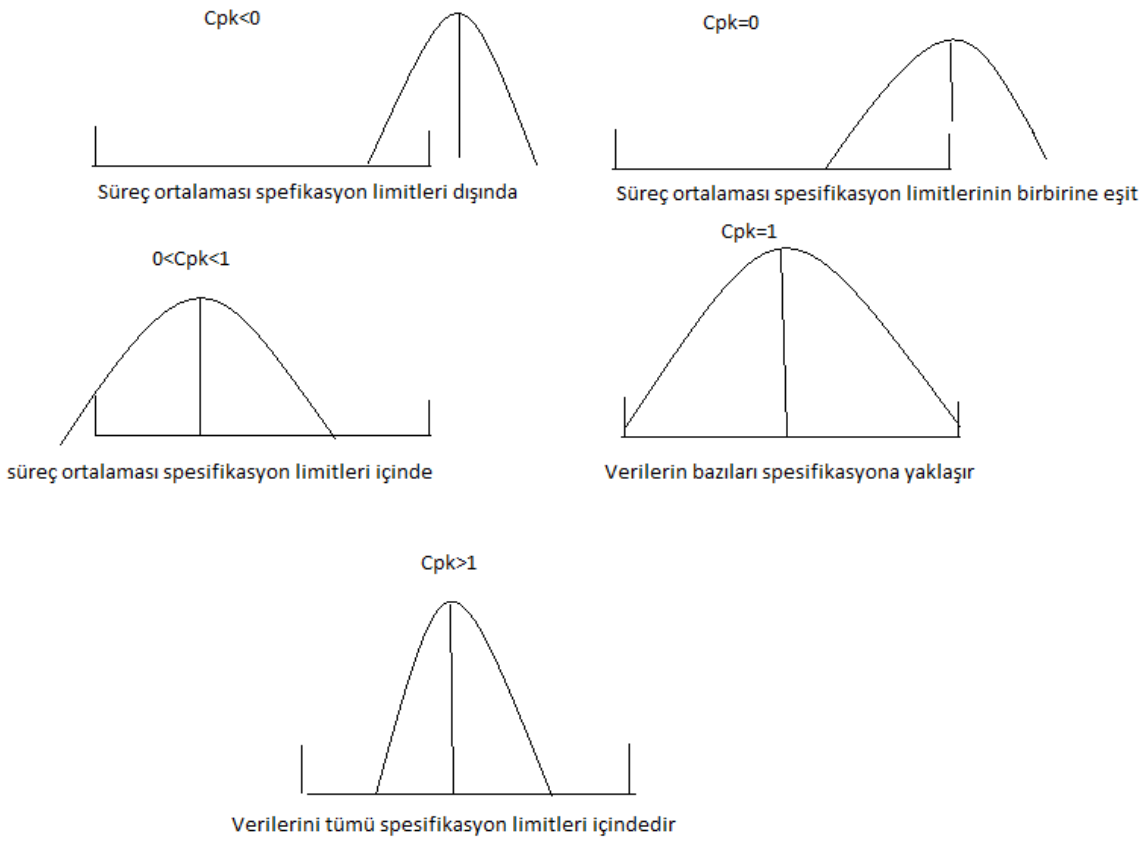
Sürecin ortalamasını ve yayılmasını dikkate alan indekstir. Cpk, mevcut süreç ortalamasının üst spesifikasyon limiti ve alt spesifikasyon limitine yakınlığını yansıtır.

$$Cpk=\min\left[\frac{\mu-ASL}{3\sigma} - \frac{ÜSL-\mu}{3\sigma}\right] \quad (3.116)$$

Cpk> 1 proses en az %99,73 oranında kusursuz ürün üretme yeteneğine sahiptir.

Cpk= 1 proses en fazla %99,73 oranında kusursuz ürün üretme yeteneğine sahiptir.

Cpk<1 minimum gereksinin karşılanamayıp, süreç%99,73 oranında kusursuz ürün üretme yeteneğine sahip değildir.




**Şekil 3.15:** Cpk indeksleri

### *3.2.5.3. Ppk Analizi*

Ölçülemeyen özellikler için Ppk analizi kullanılır.

Ppk analizi için milyon fırsat başına kusur sayısı hesaplanır (DPMO).

DPMO=(1000000* Hatalı ürün sayısı)/ Üretim miktarı (3.117)

p=DPMO/1000000 (3.118)

Buradan 1-p hesaplanır ve elde edilen değerin Z tablosundan karşılığı bulunur.

Ppk=(Z+1,5)/3 (3.119)

Elde edilen yorumu Cp ile aynıdır.

### 3.2.6. Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode Effect Analyse – FMEA)

Bu yöntem askeriye de kullanılmak amacı ile Amerika da geliştirilmiştir. Süreç ve kullanılan ekipmanların hatalarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Bir üretim sisteminde çok sayıda hata meydana gelebilir. Bu hataların tek tek değerlendirilmesi yerine, FMEA süreçte en büyük hataya neden olan hata türünü belirler ve onu önceliklendiren analizdir. FMEA'nın amacı, süreçte oluşabilecek hata türlerini ve etkilerini belirlemek, belirledikten sonra tekrar aynı hatanın oluşmaması için düzeltmeler yapmak ve olası hataları oluşmadan önce belirleyerek hatanın oluşmasını engellemektir. Hataları önlemesinden dolayı hata maliyetlerinin azaltılmasını ve ürün risklerinin azaltılmasını ve güvenirliğinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. FMEA'nın tasarım, süreç, servis ve sistem olmak üzere 4 çeşidi bulunmaktadır (Baysal ve diğerleri,2002).

Tasarım FMEA: üretimden önce tasarım aşamasında kullanılır. Üretim aşamalarında, tasarımdan kaynaklı hataların belirlenmesini sağlar.

Süreç FMEA: Süreç yetersizliklerinden dolayı meydana gelen hata türleri üzerine odaklanır. Hatasız ürün üretmek için süreçlerde kullanılan ekipmanların (makine, alet vb.) etkilerini analiz ederek üretim süreçlerinin analiz edilmesine yardımcı olur.

Servis FMEA: iş akışının, süreç analizlerinin etkin bir şekilde yapılabilmesi için servisin müşterilere ulaşmasından önce analiz edilmesidir. Analiz yapıldıktan sonra sistem ve süreci takip etmek için liste oluşturulur. Kritik ve önemli iş vesüreçlerinin risk önceliklendirme sayıları ile ağırlıklandırılmış listesini kullanarak servisle ilgili hataların ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır.

Sistem FMEA: Müşterilerin beklentilerini, ihtiyaçlarını dikkate alarak operasyonel faktörler ve ekonomik faktörler arasında denge kurmaya çalışmaktır. Tasarım ve ilk ürün geliştirme

kısmında sistemlerin analiz edilmesinde kullanılır. Sistem yetersizliğinden kaynaklanan sistemin fonksiyonları arasındaki olası hata türlerine odaklanır.

4 çeşit FMEA olmasına rağmen temel olarak HTEA Ürün – Tasarım bazında, HTEA Ürün – Süreç bazında olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

Hata türü ve etkileri analizi metodunda gerçekleşme ihtimali olan risklerin ifade edilmesi gerekir. Olası hataların risk esasına göre kritik olma derecesi belirlenir. Tespit edilmesinde kullanılan ölçüt, risk faktörlerinin olasılıkları kullanılarak hesaplanan Risk Öncelik Göstergesidir.Uygulamada kolaylık sağlamak için kritiklik, olasılık yerine sayısal olarak gösterilir.

Risk Öncelik Göstergesi veya Risk Öncelik Sayısı, hataların kritiklik açısından sıralanmasını ve karşılaştırılmasını sağlar.

RÖS: Etki* Olasılık* Saptanabilirlik olarak hesaplanır. (3.120)

Etki: Hatanın müşteride meydana getirdiği sonuçlarını ifade eder. Hatanın etkisi arttıkça önemi de buna bağlı olarak artar. Hata türlerinin muhtemel sonuçlarını ölçebilmek amacı ile sınıflandırma yapılır. Etki sınıflandırması, analiz edilen her ürünün ya da sistemin hata türünün sonuçlarının kayıp olarak ifade edilmesidir. Kayıplar sistemin zarar görmesi, fonksiyonunun kaybetmesi şeklindedir. Kayıp miktar, hata etkisinin derecesini belirler.

Olasılık: Olası nedenin ve yol açtığı hata türünün gerçekleşme olasılığıdır. Belirlenmesi için iki yaklaşım bulunmaktadır. İlki, bir hata nedeninin ortaya çıkma olasılık değerini belirlemektir. Diğeri ise, olasılık değerinin hata nedeni ile onun sonucunda ortaya çıkan hata türünün ilişkilendirilmesi ile bulunur. Neden oluşur ise, hata türünün de oluşacağı esas alınır. Bu durumda olasılık değeri, hata nedeni ortaya çıkma olasılığı P1 ile hata nedeni oluştuktan sonra bunun hata türüne yol açması koşullu olasılığı, P2/1'in çarpımı ile bulunur.

Saptanabilirlik: Hata sebebinin müşteriye ulaşabilme olasılığı tespit edilir.

Risk önceliklendirme sayısı ile her hata türü için riskler belirlendiğinden maksimum RÖS'e sahip olandan başlanılarak uzun dönemde ortadan kaldırılması kısa dönemde minimum hale getirilmesi için düzeltici önlemler belirlenir.

Olasılık, etki ve saptanabilirlik değerleri için standart yoktur. En sık kullanılan iki aralık 1–5 ile 1–10 aralıklarıdır.1-5 aralığı hassas olmadığı için sık kullanılan aralık 1–10 'dur. Bu aralık için "1" minimum "10" maksimum önemi ifade eder.Bu değerlerin olasılıkları ve sözel ifadeleri işletmenin yapısına ve müşterilerin isteklerine göre değişir.

### 3.2.7. Önerilen FMEA Tabanlı Süreç Kontrol Modeli

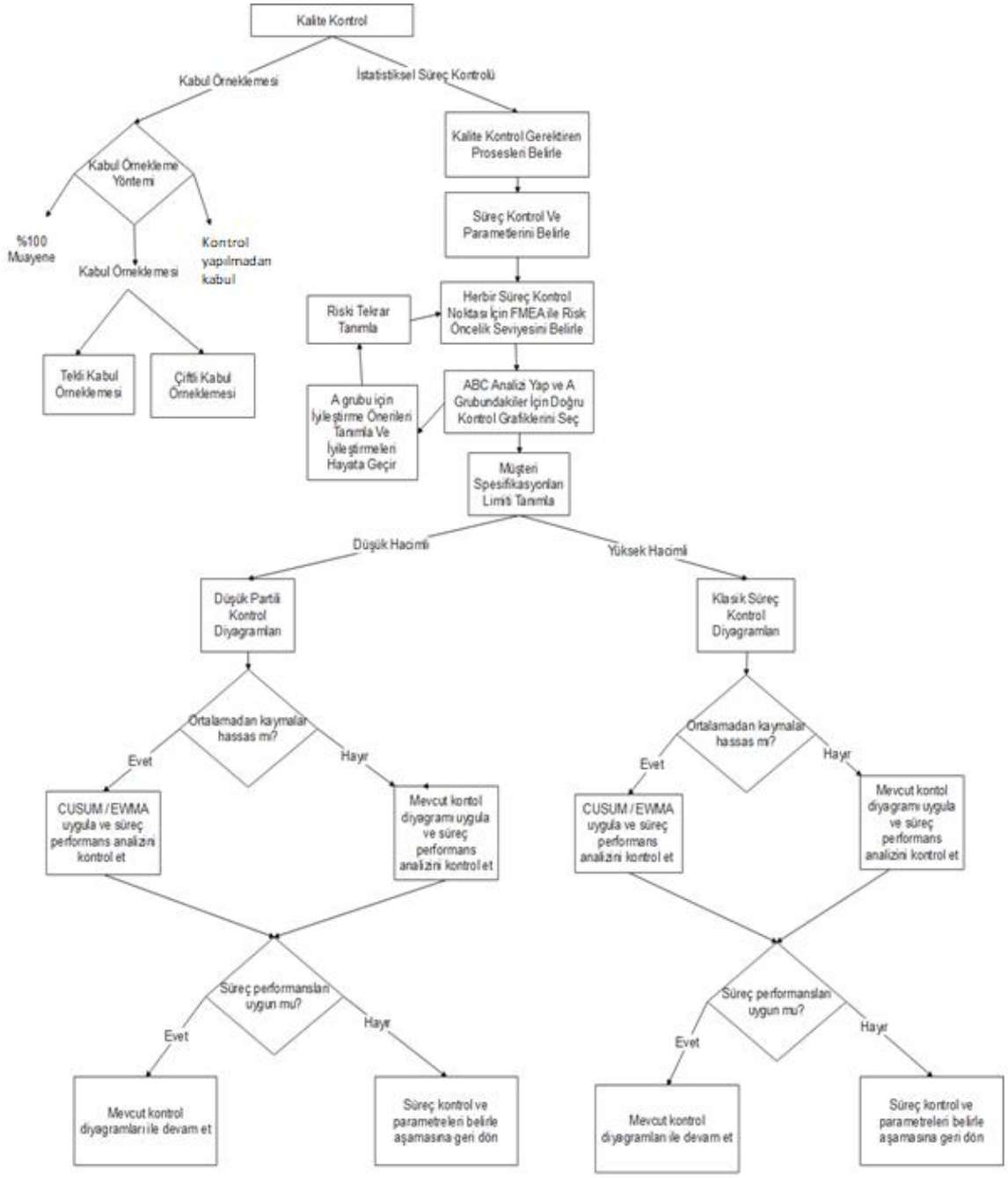
İşletmelerin üretim sistemleri çok sayıda süreçlerden oluşmaktadır. Üretim süreçlerinin kontrol altında olup olmadığını belirlemek için istatistiksel kontrol diyagramları kullanılmaktadır.Ancak istatistiksel kontrol diyagramlarının her bir sürece uygulanması gerçekte çokta mümkün olmamaktadır. Çünkü işletmelerde kısıtlı kontrol elemanları, kısıtlı ölçüm aletleri, kısıtlı sermaye, kısıtlı zaman gibi sınırlı kaynaklar söz konusudur. Hem maliyeti düşürmek hem de müşteri isteklerine hızlı tepki verebilmek için işletme için kritik olan süreçlerin belirlenerek önceliklendirilmesi gerekmektedir. Süreçlerin kendine ait varyasyonları olduğu içinher bir süreçte hatanın olma olasılığı aynı değildir. Proseslerde meydana gelen hatanın olasılıkları, saptanabilirlikleri ve etkileri farklıdır.

Her bir sürecin kontrol edilmesi yerine yüksek riske sahip süreçlerin ilk önce kontrol edilmesi, işletmelerin çok büyük ölçüde hatalı ürün üretme riskini azaltmasına katkıda bulunmaktadır. Aynı zamanda ekstra kontrol maliyetlerinin de azalmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı, HTEA ya da FMEA analizi ile riski yüksek olan süreçler belirlenerek ve risklere göre süreçler sıralandırılarak istatistiksel süreç kontrolünün uygulanması için risk esaslı planlanmanın yapılması gerekmektedir. Hangi süreçlerin daha riskli olduğuna karar verildikten sonra, seçilen süreçlerin istatistiksel anlamda kontrol altında olup olmadığının istatistiksel süreç kontrol grafikleri yardımı ile analiz edilmesi gerekmektedir. Bu sayede beklenmedik maliyete neden olan hataların kolaylıkla belirlenmesi amaçlanmaktadır.

FMEA analizi için gerekli olan veriler, işletmelerin geçmiş verilerinden ve işletmede çalışan uzmanların tecrübesinden elde edilen 1-10 arasındaki değerlerdir. FMEA analizi sonucunda risklerine göre süreçler en yüksekten en düşüğe doğru sıralandıktan sonra kaç tane sürece kontrol diyagramının uygulanması gerektiğine karar verilmelidir. Bu sorunun çözümü için

ABC analizi diğer bir deyişle 80/20 kuralı kullanılmıştır.Bu analize göre maliyetlerin %80'i %20'lik kısımdan oluşmaktadır.Bu yüzden, en yüksek riskli grubu temsil eden A grubuna istatistiksel kontrol diyagramları uygulanmıştır. Son olarak, süreçlere yeterlilik analizi yapılmaktadır. Bu tez kapsamında 20 süreçten oluşan 100 kontrol noktasına sahip bir üretim sistemine ait veriler kullanılmıştır. Tezin amacı, FMEA analizi sonucu elde edilen yüksek riskli süreçler için Montgomery seçim kriteri dikkate alınarak en uygun klasik süreç kontrol diyagramları ve küçük partili süreç kontrol diyagramlarının seçilmesidir.

Şekil 3.16.'da önerilen modele ait akış şeması gösterilmektedir.




**Şekil 3.16:**Önerilen Modele Ait Akış Şeması

Kalite kontrol, kabul örneklemesi ve istatiksel süreç kontrol diyagramları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.Kabul örneklemesi yöntemi, toplam maliyet dikkate alınarak %100 muayene,kabul örneklemesi ve gelen mamulun kontrol edilmeden kabul edilmesi şeklinde gerçekleşir.Kabul örneklemesi yapılacak ise gelen malzemenin yada ürünün kritik malzeme olup olmadığına bakılır.Eğer kritik ve çok değişken ise çift kabul örneklemesi,malzeme yada ürün kritik yada çok değişken değil ise tek kabul örnekleme yapılır.

İstatistiksel süreç kontrol kısmı için süreç kalite kontrol gerektiren prosesler belirlenmelidir.Daha sonra süreç kontrol noktaları ve parametreleri belirlenir.Herbir kontrol noktası için FMEA ile risk öncelik seviyesi hesaplanır.Risk öncelik seviyesi hatanın etkisi,saptanabilirliği ve olasılığı ile hesaplanır.RÖS değerleri en yüksekten en düşüğe kadar sıralanır.ABC analizi sonucunda en kritik olan A grubu için kontrol diyagramları belirlenir.Burada döngü iki kısımda ilerler.İlkinde belirlenen A grubu için iyileştirmeler yapılır ve iyileştirme işlemi sonucunda RÖS değerlerinin değişip değişmediğini kontrol etmek için riskler tekrar tanımlanır.Son olarak döngüye şekildeki gibi bağlanır.İkinci kısımda ise doğru kontrol diyagramları seçildikten sonra müşteri spesifikasyonları belirlenir. Düşük yada yüksek hacimli üretim olmasına göre küçük partili süreç kontrol diyagramları yada klasik süreç kontrol diyagramları kullanılır.Bu kararda verildikten sonra süreç ortalamalarından kaymalar hassas ise CUSUM/EWMA değil ise mevcut kontrol diyagramları kullanılır.Kontrol diyagramları kullanıldıktan sonra süreç performans analizi yapılır.Süreç performansı yeterli ise mevcut kontrol diyagramları kullanılmaya devam edilir.Süreç performansı yeterli değil ise müşteri spesifikasyonlarını,süreç parametrelerini ve kontrol diyagramlarını kontrol etmek için süreç kontrol ve parametrelerini belirle aşamasına geri dönülür.

# 4.BULGULAR

## 4.1.Problemde Kullanılan Veriler ve FMEA analizi

İstatistiksel süreç kontrol diyagramlarının seçimi yapılmadan önce hangi süreçlere uygulanacağını belirlemek amacı ile FMEA analizi yapılır. Bu analizin yapılması için her bir süreçte hatanın meydana gelme olasılığı,saptanabilirliği ve hata meydana geldiği zaman ürünün kalitesine etkisini gösteren veriler; işletmedeki veriler ve tecrübeli uzman kişiler tarafından elde edilir.

FMEA analizinin aşamaları; ilk önce işletmeye ait dokümanlar hazırlanarak, RÖS analizi için oluşturulan ekibi bilgilendirme amacıyla sunumlar yapılır. Süreçlerde meydana gelen hata çeşitlerinin temel sebeplerini belirlenmek için kullanılan İshikawa diyagramları hakkında bilgi vermek amacı ile oluşturulan ekibe eğitimler verilir. Daha sonra süreçlerde en çok meydana gelen hata türleri tespit edilir.Son olarak,Ekip, 1-10 arasında kullandıkları ölçüt ile hataların meydana gelme olasılığı, etkisi ve saptanabilirliğini puanlar. 1-10 aralığının etki, olasılık ve saptanabilirlik açısından anlamı Tablo 4.1., Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.' de gösterilmiştir.Süreçlerin isimleri gizli tutulmak üzere veriler ve RÖS değerlerinin hesaplanması Tablo 4.4.'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada, çok farklı süreçlerde hangi kontrol diyagramlarının kullanılması gerektiğini belirlemek için bir karar modeli geliştirilmiştir.Karar modelinin uygulanması için çok sayıda farklı özelliklere ait süreçlere ihtiyaç duyulmaktadır.Bir işletmede karar modelinde kullanılan ölçülebilir ve ölçülemeyen seri ve küçük partili üretimlerde kullanılan çok farklı süreçlerin meydana gelme ihtimali olmadığı için birkaç firma ve akademik çalışmalardaki kalite kontrol süreçlerinden yararlanılarak veri seti oluşturulmuştur.Veri seti,20 süreç ve herbir süreçte 5 kontrol noktası olmak üzere toplamda 100 süreç kontrol noktasından oluşmaktadır.Veri seti analizi yapılırken,Excel ve Minitab programları kullanılmıştır.

**Tablo 4.1:**HTEA Etkisinin Derecesi ve Kriterleri

| Etki | Şiddet Derecesi | Kriter |
|---|---|---|
| Yok | 1 | Müşteride memnuniyetsizlik oluşmamaktadır. |
| Çok Önemsiz | 2 | Oluşan etkiden müşteri rahatsız olmamaktadır. |
| Önemsiz | 3 | Oluşan etki müşteriler tarafından fark edilebilir. |
| Küçük | 4 | Müşteri memnun kalmayabilir. |
| Orta | 5 | Müşteri kullanırken rahatsızdır. Ürün çalışır ancak ürünlerin performansı düşüktür. |
| Önemli | 6 | Ürünün çalışmasında kullanılan sistemler müşteriyi rahatsız eder ve ürün performansı düşüktür. |
| Büyük | 7 | Cihaz çok düşük performansta çalışır ve müşteri hiç memnun değildir. |
| Çok Büyük | 8 | Cihaz çalışamaz duruma gelir ancak emniyetlidir. |
| Ciddi | 9 | Arızanın uyarılı şekilde emniyetli kullanımı etkilediği ve yasala aykırı düştüğü durum |
| Tehlikeli | 10 | Arızanın uyarısız şekilde emniyetli kullanımı etkilediği ve yasala aykırı düştüğü durum |

**Tablo 4.2:**HTEA Olasılığının Derecesi ve Kriterleri(Sönmez,2017)

| Olasılık | Derece | Kriter/1000 üründe hata meydana gelme ihtimali |
|---|---|---|
| Yok | 1 | Yok |
| Düşük | 2 | 0,001 |
| Düşük | 3 | 0,01 |
| Orta | 4 | 0,1 |
| Orta | 5 | 0,5 |
| Yüksek | 6 | 2 |
| Yüksek | 7 | 10 |
| Yüksek | 8 | 20 |
| Çok yüksek | 9 | 50 |
| Çok yüksek | 10 | 100 ve daha fazla |

**Tablo 4.3:**HTEA Saptanabilirliğinin Derecesi ve Kriterleri

| Saptanabilirlik | Derece | Kriter |
|---|---|---|
| Kesin | 1 | Hata oluştuğunda hemen fark edilir. |
| Çok Yüksek | 2 | Çok yüksek saptanabilirliğe sahip uygunsuz parça geçemez. |
| Yüksek | 3 | Var olan kontroller ile tespit edilmesi yüksektir. |
| Orta şiddette yüksek | 4 | Var olan kontroller ile tespit edilmesi orta seviyenin üstündedir. |
| Orta | 5 | Var olan kontrollerin tespit etmesi orta derecededir. |
| Düşük | 6 | Var olan kontrollerin tespit etmesi düşük derecededir. |
| Çok düşük | 7 | Var olan kontrollerin tespit etmesi çok düşük derecededir. |
| Uzak | 8 | Var olan kontrollerin tespit etmesi zordur. |
| Çok uzak ihtimal | 9 | Var olan kontrollerin tespit etmesi çok zordur. |
| İmkânsız gibi | 10 | Hata fark edilemez |

Örnek olarak, 6.süreç 27.kontrol noktası için RÖS = 10*7*9=630

Buna göre en yüksek riskli olan süreç 27.kontrol noktasıdır. Belirlenen hatanın gerçekleşme olasılığı 10 üzerinden 7, hatanın saptanabirliliği 9 ve bir hata meydana geldiğinde ürünün kalitesi üzerinde etkisi 10'dur.

**Tablo 4.4.**Üretimdeki Süreçler, Kontrol Noktaları ve RÖS Değerleri

| Süreç | Süreç Kontrol Noktası | Etkisi | Hatanın Gerçekleşme Olasılığı | Saptanabilirlik | RÖS |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 5 | 6 | 30 |
| | 2 | 3 | 7 | 6 | 126 |
| | 3 | 1 | 5 | 1 | 5 |
| | 4 | 6 | 3 | 4 | 72 |
| | 5 | 3 | 5 | 2 | 30 |
| 2 | 6 | 8 | 1 | 4 | 32 |
| | 7 | 1 | 2 | 4 | 8 |
| | 8 | 1 | 3 | 7 | 21 |
| | 9 | 7 | 5 | 1 | 35 |
| | 10 | 3 | 5 | 7 | 105 |
| 3 | 11 | 10 | 1 | 6 | 60 |
| | 12 | 10 | 3 | 8 | 240 |
| | 13 | 8 | 2 | 6 | 96 |
| | 14 | 3 | 4 | 5 | 60 |
| | 15 | 0 | 4 | 5 | 0 |
| 4 | 16 | 1 | 4 | 6 | 24 |
| | 17 | 5 | 4 | 5 | 100 |
| | 18 | 6 | 7 | 7 | 294 |
| | 19 | 10 | 4 | 1 | 40 |
| | 20 | 3 | 7 | 9 | 189 |
| 5 | 21 | 7 | 4 | 3 | 84 |
| | 22 | 1 | 7 | 9 | 63 |
| | 23 | 10 | 3 | 2 | 60 |
| | 24 | 8 | 5 | 1 | 40 |
| | 25 | 3 | 5 | 7 | 105 |

**Tablo 4.4(devam).**Üretimdeki Süreçler, Kontrol Noktaları ve RÖS Değerleri

| Süreç | Süreç Kontrol Noktası | Etkisi | Hatanın Gerçekleşme Olasılığı | Saptanabilirlik | RÖS |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 26 | 8 | 4 | 8 | 256 |
| | 27 | 10 | 7 | 9 | 630 |
| | 28 | 10 | 7 | 7 | 490 |
| | 29 | 5 | 7 | 8 | 280 |
| | 30 | 8 | 4 | 5 | 160 |
| 7 | 31 | 3 | 3 | 7 | 63 |
| | 32 | 4 | 2 | 7 | 56 |
| | 33 | 9 | 5 | 3 | 135 |
| | 34 | 4 | 2 | 7 | 56 |
| | 35 | 8 | 2 | 2 | 32 |
| 8 | 36 | 4 | 5 | 6 | 120 |
| | 37 | 2 | 2 | 9 | 36 |
| | 38 | 5 | 7 | 10 | 350 |
| | 39 | 2 | 6 | 4 | 48 |
| | 40 | 8 | 1 | 10 | 80 |
| 9 | 41 | 1 | 1 | 7 | 7 |
| | 42 | 7 | 1 | 9 | 63 |
| | 43 | 6 | 2 | 2 | 24 |
| | 44 | 4 | 2 | 6 | 48 |
| | 45 | 3 | 2 | 1 | 6 |
| 10 | 46 | 9 | 7 | 2 | 126 |
| | 47 | 6 | 6 | 4 | 144 |
| | 48 | 9 | 5 | 1 | 45 |
| | 49 | 9 | 4 | 7 | 252 |
| | 50 | 5 | 6 | 5 | 150 |
| 11 | 51 | 4 | 2 | 1 | 8 |
| | 52 | 2 | 7 | 6 | 84 |
| | 53 | 3 | 6 | 9 | 162 |
| | 54 | 4 | 6 | 2 | 48 |
| | 55 | 1 | 1 | 7 | 7 |

**Tablo 4.4.(devam):**Üretimdeki Süreçler, Kontrol Noktaları ve RÖS Değerleri

| Süreç | Süreç Kontrol Noktası | Etkisi | Hatanın Gerçekleşme Olasılığı | Saptanabilirlik | RÖS |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 56 | 3 | 2 | 10 | 60 |
| | 57 | 5 | 5 | 6 | 150 |
| | 58 | 6 | 7 | 10 | 420 |
| | 59 | 4 | 4 | 3 | 48 |
| | 60 | 5 | 7 | 4 | 140 |
| 13 | 61 | 2 | 4 | 6 | 48 |
| | 62 | 8 | 5 | 8 | 320 |
| | 63 | 10 | 4 | 5 | 200 |
| | 64 | 9 | 2 | 2 | 36 |
| | 65 | 2 | 7 | 3 | 42 |
| 16 | 76 | 2 | 7 | 8 | 112 |
| | 77 | 10 | 2 | 7 | 140 |
| | 78 | 5 | 6 | 2 | 60 |
| | 79 | 1 | 1 | 5 | 5 |
| | 80 | 9 | 5 | 7 | 315 |
| 17 | 81 | 6 | 2 | 1 | 12 |
| | 82 | 9 | 5 | 8 | 360 |
| | 83 | 1 | 3 | 7 | 21 |
| | 84 | 7 | 2 | 9 | 126 |
| | 85 | 8 | 7 | 4 | 224 |
| 18 | 86 | 4 | 2 | 3 | 24 |
| | 87 | 9 | 4 | 3 | 108 |
| | 88 | 4 | 6 | 5 | 120 |
| | 89 | 4 | 5 | 5 | 100 |
| | 90 | 4 | 2 | 8 | 64 |
| 19 | 91 | 4 | 6 | 4 | 96 |
| | 92 | 2 | 7 | 10 | 140 |
| | 93 | 4 | 2 | 6 | 48 |
| | 94 | 9 | 5 | 2 | 90 |
| | 95 | 7 | 1 | 7 | 49 |

**Tablo 4.4(devam):**Üretimdeki Süreçler, Kontrol Noktaları ve RÖS Değerleri

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 96 | 10 | 2 | 4 | 80 |
| | 97 | 2 | 2 | 3 | 12 |
| | 98 | 8 | 7 | 1 | 56 |
| | 99 | 7 | 5 | 1 | 35 |
| | 100 | 7 | 3 | 8 | 168 |

**Tablo 4.5:** Kritik Süreç Kontrol Noktaları

| ABC Analizi Sonucu Seçilen En Yüksek Riskli Süreç Sıralaması | En Yüksek RÖS Değerleri | Kritik Süreç Kontrol Noktaları |
|---|---|---|
| 1 | 630 | 27 |
| 2 | 490 | 28 |
| 3 | 420 | 58 |
| 4 | 392 | 72 |
| 5 | 360 | 82 |
| 6 | 350 | 38 |
| 7 | 320 | 62 |
| 8 | 315 | 80 |
| 9 | 294 | 18 |
| 10 | 280 | 29 |
| 11 | 256 | 26 |
| 12 | 252 | 49 |
| 13 | 240 | 12 |
| 14 | 224 | 85 |
| 15 | 216 | 67 |
| 16 | 200 | 63 |
| 17 | 189 | 20 |
| 18 | 168 | 100 |
| 19 | 162 | 53 |
| 20 | 160 | 30 |

## 4.2. Uygun Süreç Kontrol Diyagramlarının Seçilmesi ve Süreç Yetenek Analizi

FMEA analizi sonucunda belirlenmiş olan ilk 20 süreç için idealsüreç kontrol diyagramları seçilerek süreçlerin kontrol altında olup olmadığı analiz edilmiştir ve süreç yetenek analizi yapılmıştır.

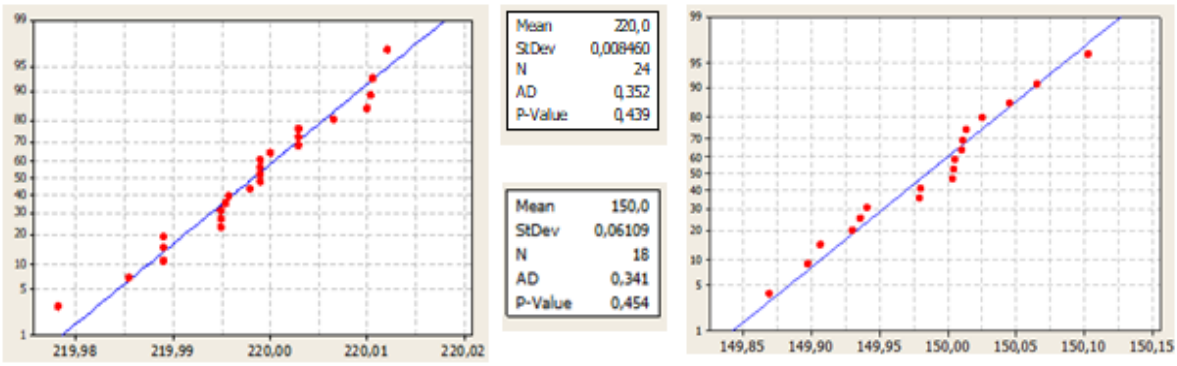
### 4.2.1.27. Kritik Süreç Kontrol Noktası

27. kontrol noktası en yüksek riske sahip olan süreçtir. Burada meydana gelecek bir hatanın işletmeye ekstra maliyet getirme olasılığı yüksektir. Bundan dolayı,27. sürecin kontrol altında olup olmadığının takip edilmesi son derece önemlidir.

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 2 tip ürün ve 3 alt örneklemden oluşan 14 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı küçük partili X-R kontrol diyagramıdır. Bu süreçte hedefe yönelik kısa dönemli X-R kontrol diyagramı kullanılmıştır.

**Tablo 4.6:** 27.Süreç Kontrol Noktası

| Sıra | X1 | X2 | X3 | X ortalama | Hedef | Ortalama- Hedef | Aralık |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 219,998 | 219,999 | 219,995 | 220,00 | 220,00 | -0,003 | 0,004 |
| 2 | 219,995 | 219,978 | 219,989 | 219,99 | 220,00 | -0,013 | 0,017 |
| 3 | 220,000 | 220,003 | 219,996 | 220,00 | 220,00 | 0,000 | 0,007 |
| 4 | 220,011 | 219,995 | 220,003 | 220,00 | 220,00 | 0,003 | 0,015 |
| 5 | 219,999 | 220,003 | 219,989 | 220,00 | 220,00 | -0,003 | 0,014 |
| 6 | 219,999 | 220,012 | 220,010 | 220,01 | 220,00 | 0,007 | 0,013 |
| 7 | 219,995 | 219,999 | 220,010 | 220,00 | 220,00 | 0,001 | 0,015 |
| 8 | 220,006 | 219,989 | 219,985 | 219,99 | 220,00 | -0,006 | 0,021 |
| 9 | 150,003 | 150,046 | 149,980 | 150,01 | 150,00 | 0,010 | 0,066 |
| 10 | 150,025 | 149,979 | 150,014 | 150,01 | 150,00 | 0,006 | 0,046 |
| 11 | 150,011 | 149,930 | 150,006 | 149,98 | 150,00 | -0,018 | 0,082 |
| 12 | 149,936 | 150,103 | 149,907 | 149,98 | 150,00 | -0,018 | 0,196 |
| 13 | 149,869 | 149,941 | 150,010 | 149,94 | 150,00 | -0,060 | 0,141 |
| 14 | 150,004 | 150,066 | 149,898 | 149,99 | 150,00 | -0,011 | 0,168 |




**Şekil 4.1:**27.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

R diyagramı için;

OÇ = (0,0040+0,0169+0,0073+0,0152+0,0140+0,0131+0,0154+0,0211+0,0657+0,0457 +0,0815+0,1958+0,1405+0,1678) /14=0,06

AKL=0 (D3=0 ve D4=2,574)

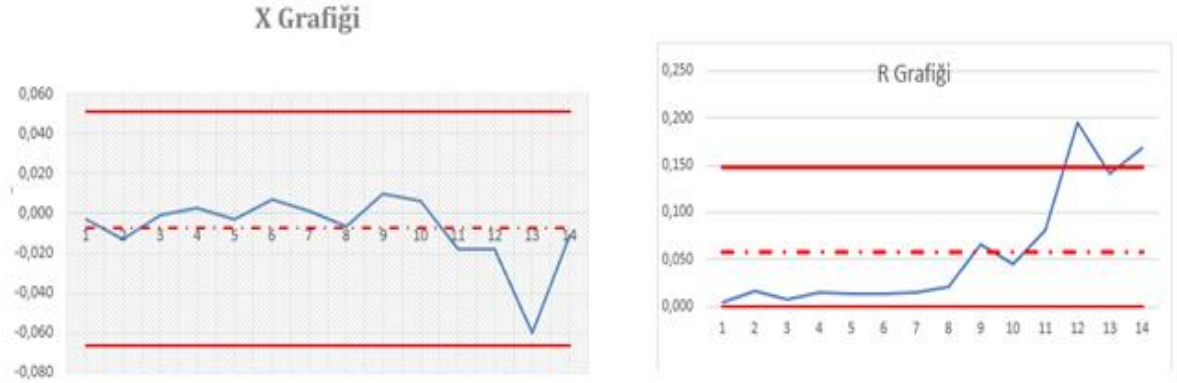
ÜKL=2,574*0,06=0,15

X diyagramı için;

OÇ = (-0,0027-0,0126-0,0004+0,0030-0,0030+0,0070+0,0015-0,0064+0,0098+0,0061 -0,0177-0,0181-0,0598-0,0108) /14=-0,01

AKL=-0,01-1,023*0,06=-0,07 (A2=1,023)

ÜKL=-0,01+1,023*0,06=0,05




**Şekil 4.2:**27.Süreç Kontrol Noktası X-R Grafiği

**Tablo 4.7:**27.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değeri

| Hedef Değeri 220 | | Hedef Değeri 150 | |
|---|---|---|---|
| Standart sapma | 0,01 | Standart sapma | 0,07 |
| ÜSL | 220,10 | ÜSL | 150,90 |
| ASL | 219,95 | ASL | 149,50 |
| Cp | 3,16 | Cp | 3,40 |
| Cpk | 2,03 | Cpk | 2,36 |

Standart Sapma

Rortalama/d2

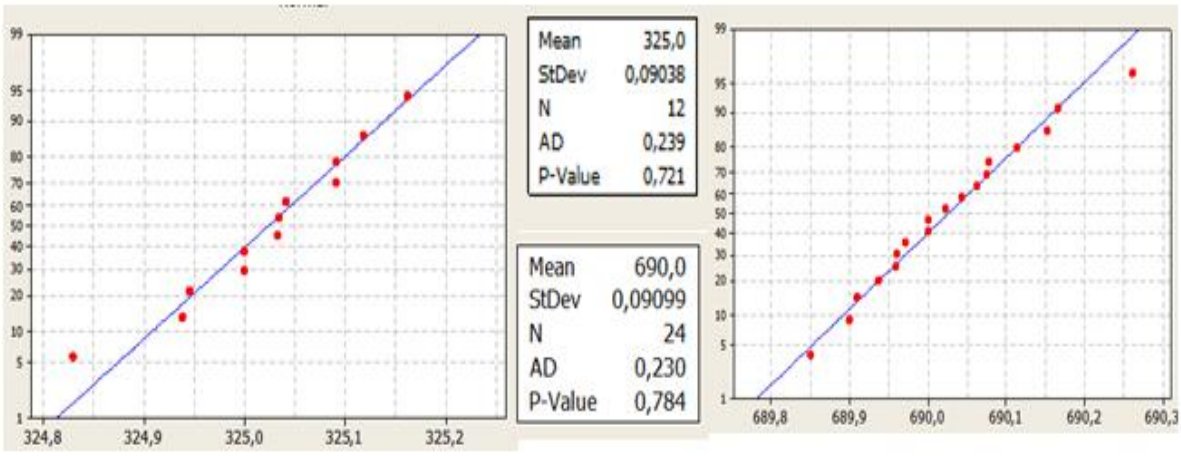
Alt örneklem için d2=1,693

### 4.2.2.28.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 2 tip ürün ve 3 alt örneklemden oluşan 10 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı küçük partili X-R kontrol diyagramıdır. Bu süreçte hedefe yönelik küçük partili X-R kontrol diyagramı kullanılmıştır.

**Tablo 4.8:**28.Süreç Kontrol Noktası

| Sıra | X1 | X2 | X3 | X ortalama | Hedef | Ortalama -Hedef | Aralık |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 689,85 | 689,97 | 690,26 | 690,03 | 690,00 | 0,03 | 0,41 |
| 2 | 689,96 | 689,90 | 690,08 | 689,98 | 690,00 | -0,02 | 0,18 |
| 3 | 689,94 | 690,07 | 690,17 | 690,06 | 690,00 | 0,06 | 0,23 |
| 4 | 690,11 | 690,06 | 689,91 | 690,03 | 690,00 | 0,03 | 0,20 |
| 5 | 690,15 | 690,04 | 689,96 | 690,05 | 690,00 | 0,05 | 0,19 |
| 6 | 690,00 | 690,00 | 690,02 | 690,01 | 690,00 | 0,01 | 0,02 |
| 7 | 325,00 | 325,00 | 325,0 | 325,03 | 325,00 | 0,03 | 0,04 |
| 8 | 325,00 | 324,90 | 324,8 | 324,92 | 325,00 | -0,08 | 0,17 |
| 9 | 325,10 | 325,00 | 324,9 | 325,03 | 325,00 | 0,03 | 0,18 |
| 10 | 325,10 | 325,10 | 325,2 | 325,11 | 325,00 | 0,11 | 0,07 |




**Şekil 4.3:** 28.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

R diyagramı için;

OÇ = (0,41+0,18+0,23+0,20+0,19+0,02+0,04+0,17+0,18+0,07) /10=0,17

AKL=0

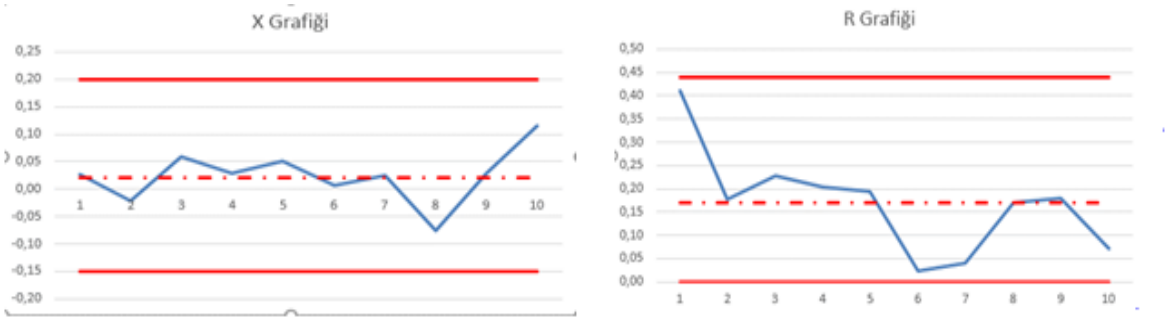
ÜKL=2,574*0,17=0,44

X diyagramı için;

OÇ = (0,03-0,02+0,06+0,03+0,05+0,01+0,03-0,08+0,03+0,11) /10=0,02

AKL=0,02-1,023*0,17=-0,15

ÜKL=0,02+1,023*0,17=0,20




**Şekil 4.4:**28.Süreç Noktası X-R Grafiği

**Tablo 4.9:**28.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri

| Hedef Değer 690,00 | | Hedef Değer 325,00 | |
|---|---|---|---|
| Standart sapma | 0,12 | Standart sapma | 0,07 |
| ÜSL | 690,40 | ÜSL | 325,30 |
| ASL | 689,60 | ASL | 324,70 |
| Cp | 1,10 | Cp | 1,46 |
| Cpk | 1,02 | Cpk | 1,46 |

Standart Sapma

Rortalama/d2

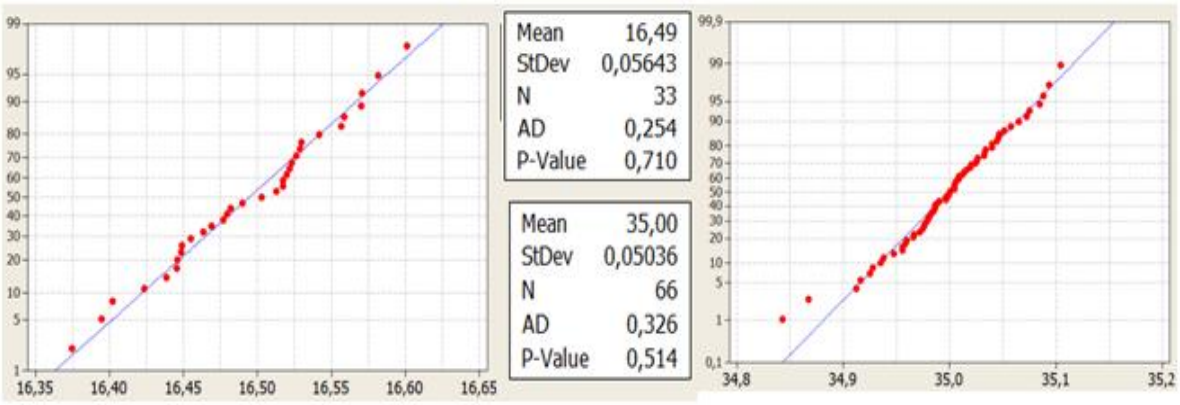
Alt örneklem için d2=1,693

### 4.2.3.58.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 2 tip ürün ve 11 alt örneklemden oluşan 9 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı küçük partili X-s kontrol diyagramıdır. Bu süreçte hedefe yönelik kısa dönemli X-s kontrol diyagramı kullanılmıştır.

**Tablo 4.10:** 58.Süreç Kontrol Noktası

| Sıra | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 35,03 | 34,96 | 34,96 | 35,04 | 34,91 | 34,84 | 35,02 | 35,04 | 35,00 | 35,00 | 35,03 |
| 2 | 35,03 | 35,07 | 35,01 | 34,99 | 35,03 | 35,06 | 34,94 | 35,07 | 34,98 | 34,98 | 35,01 |
| 3 | 34,96 | 34,97 | 35,04 | 35,00 | 35,09 | 34,99 | 35,00 | 35,05 | 35,00 | 35,02 | 35,03 |
| 4 | 35,01 | 34,97 | 34,95 | 34,97 | 34,98 | 34,93 | 35,10 | 34,98 | 34,99 | 35,02 | 34,98 |
| 5 | 35,05 | 34,98 | 34,87 | 34,97 | 34,99 | 35,05 | 35,02 | 34,92 | 35,01 | 34,96 | 35,08 |
| 6 | 35,00 | 35,00 | 35,00 | 35,09 | 35,08 | 35,01 | 34,94 | 35,01 | 34,93 | 34,98 | 34,99 |
| 7 | 16,52 | 16,45 | 16,39 | 16,50 | 16,52 | 16,57 | 16,53 | 16,52 | 16,44 | 16,45 | 16,60 |
| 8 | 16,45 | 16,45 | 16,49 | 16,45 | 16,58 | 16,56 | 16,56 | 16,57 | 16,51 | 16,48 | 16,40 |
| 9 | 16,46 | 16,53 | 16,52 | 16,48 | 16,53 | 16,54 | 16,47 | 16,37 | 16,48 | 16,52 | 16,42 |




**Şekil 4.5:** 58.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

**Tablo 4.10(devam):** 58.Süreç Kontrol Noktası

| Xortalama | Hedef | Xortalama- Hedef | s |
|---|---|---|---|
| 34,98 | 35,00 | -0,02 | 0,06 |
| 35,02 | 35,00 | 0,02 | 0,04 |
| 35,01 | 35,00 | 0,01 | 0,04 |
| 34,99 | 35,00 | -0,01 | 0,05 |
| 34,99 | 35,00 | -0,01 | 0,06 |
| 35,00 | 35,00 | 0,00 | 0,05 |
| 16,50 | 16,50 | 0,00 | 0,06 |
| 16,50 | 16,50 | 0,00 | 0,06 |
| 16,48 | 16,50 | -0,02 | 0,05 |

s diyagramı için;

OÇ = (0,06+0,04+0,04+0,05+0,06+0,05+0,06+0,06+0,05) /9=0,05

AKL=0,321*0,05=0,02 (B3=0,321 ve B4=1,679)

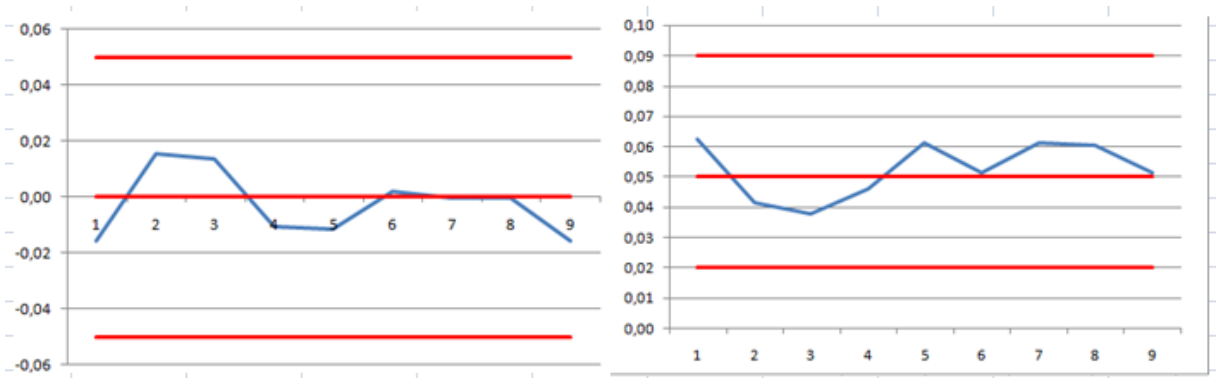
ÜKL=1,679*0,05=0,09

X diyagramı için;

OÇ = ( -0,02+0,02+0,01-0,01-0,01+0,00+0,00+0,00-0,02) /9=0,00

AKL=0,0-0,927*0,05=-0,05 (A3=0,927)

ÜKL=0,0+0,927*0,05=+0,05




**Şekil 4.6:**58.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı

**Tablo 4.11:**58.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Hesaplaması

| Hedef Değeri 35 | | Hedef Değeri 16,5 | |
|---|---|---|---|
| Standart sapma | 0,05 | Standart sapma | 0,06 |
| ÜSL | 35,5 | ÜSL | 16,70 |
| ASL | 34,7 | ASL | 16,00 |
| Cp | 2,60 | Cp | 1,98 |
| Cpk | 1,95 | Cpk | 1,13 |

Standart Sapma

s ortalama/c4

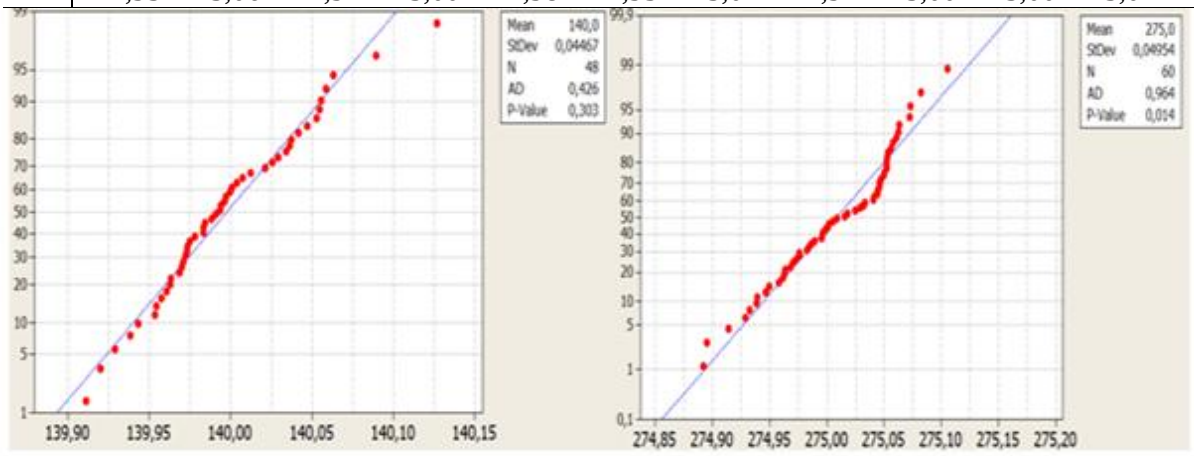
Alt örneklem için c4=0,9754

### 4.2.4.72. Kritik Süreç Kontrol Noktası

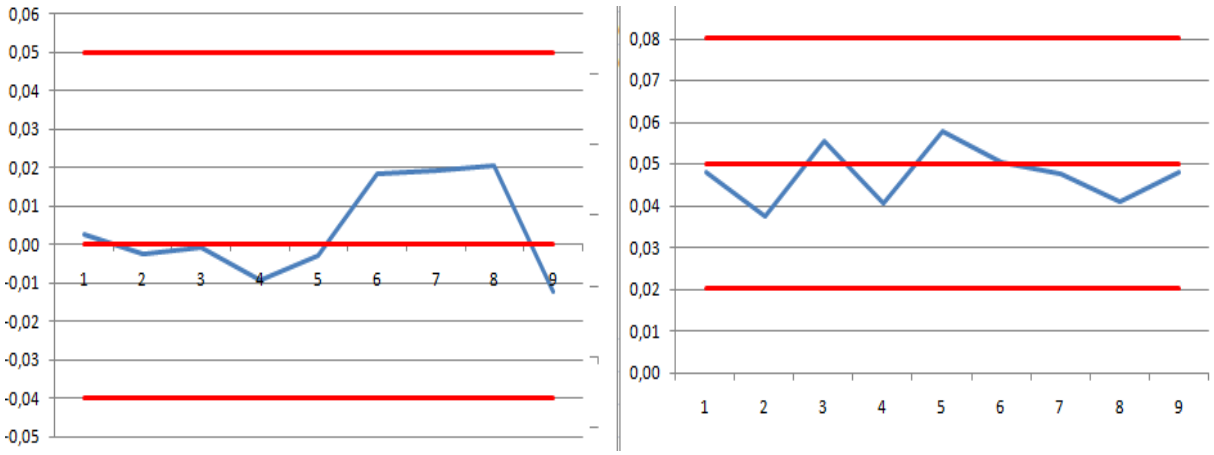
Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 2 tip ürün ve 12 alt örneklemden oluşan 9 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı kısa dönemli X-s kontrol diyagramıdır. Bu süreçte hedefe yönelik kısa dönemli X-s kontrol diyagramı kullanılmıştır.

**Tablo 4.12:**72.Süreç Kontrol Noktası

| Sıra | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 | X12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 140,01 | 140,01 | 140,06 | 140,03 | 139,98 | 139,97 | 140,09 | 139,98 | 139,91 | 139,95 | 140,04 | 139,99 |
| 2 | 140,00 | 140,05 | 139,98 | 140,06 | 139,96 | 139,97 | 139,97 | 139,96 | 140,00 | 139,96 | 140,05 | 140,00 |
| 3 | 140,13 | 140,04 | 139,98 | 140,05 | 139,97 | 139,99 | 139,99 | 139,92 | 139,97 | 139,94 | 140,03 | 139,97 |
| 4 | 140,03 | 140,06 | 139,94 | 140,02 | 139,93 | 139,99 | 139,97 | 140,00 | 140,04 | 139,96 | 139,95 | 140,00 |
| 5 | 275,05 | 275,02 | 275,04 | 275,00 | 274,90 | 275,05 | 274,93 | 275,03 | 274,89 | 275,03 | 275,00 | 275,03 |
| 6 | 274,97 | 275,05 | 275,11 | 274,95 | 274,98 | 275,05 | 275,05 | 275,06 | 275,03 | 274,96 | 275,05 | 274,96 |
| 7 | 275,06 | 275,05 | 274,94 | 275,08 | 274,94 | 275,05 | 274,98 | 275,01 | 275,00 | 275,06 | 275,01 | 275,04 |
| 8 | 274,99 | 275,04 | 274,96 | 274,98 | 275,05 | 275,05 | 275,05 | 274,99 | 275,04 | 275,07 | 274,97 | 275,06 |
| 9 | 274,95 | 275,06 | 274,91 | 275,00 | 274,98 | 274,93 | 275,07 | 274,97 | 275,00 | 275,00 | 275,02 | 274,96 |




**Şekil 4.7:** 72.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi



**Şekil 4.8:**72.Süreç Kontrol Noktası X-s Grafiği

Bir önceki aşama ile hesaplama şekli aynıdır.Alt örneklem hacmi farklı olduğu için A3=0,886,B3=0,354 ve B4=1,646'dır.

**Tablo 4.13:**72.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri

| Hedef Değeri 140 | | Hedef Değeri 275 | |
|---|---|---|---|
| Standart sapma | 0,05 | Standart sapma | 0,06 |
| ÜSL | 140,20 | ÜSL | 275,20 |
| ASL | 139,80 | ASL | 274,80 |
| Cp | 1,43 | Cp | 1,33 |
| Cpk | 1,43 | Cpk | 1,33 |

Standart Sapma

s ortalama/c4

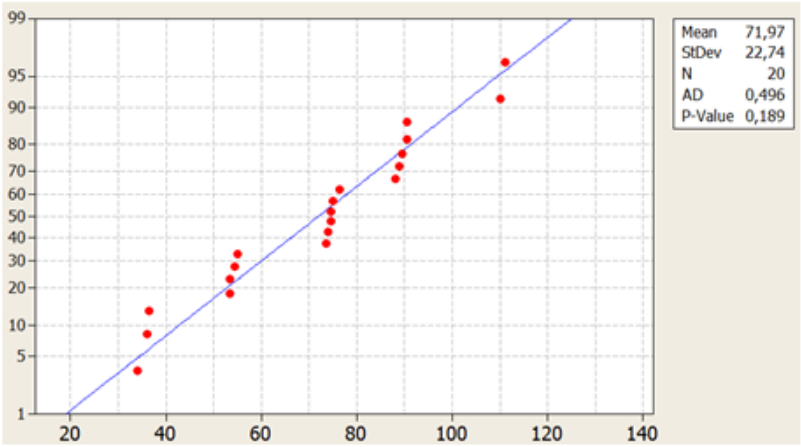
Alt örneklem için c4=0,9776

### 4.2.5.82.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 5 tip ürün ve 1 alt örneklemden oluşan 20 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı kısa dönemli IX-MR kontrol diyagramıdır. Bu süreçte hedefe yönelik küçük partili IX-MR kontrol diyagramı kullanılmıştır.

**Tablo 4.14:**82.Süreç Kontrol Noktası

| Sıra | X1 | Hedef | X1- Hedef | MR | Mutlak MR |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 53,5 | 55,00 | -1,50 | | |
| 2 | 90,5 | 90,00 | 0,50 | 2,00 | 2,00 |
| 3 | 90,5 | 90,00 | 0,50 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 53,5 | 55,00 | -1,50 | -2,00 | 2,00 |
| 5 | 74,0 | 75,00 | -1,00 | 0,50 | 0,50 |
| 6 | 89,5 | 90,00 | -0,50 | 0,50 | 0,50 |
| 7 | 89,0 | 90,00 | -1,00 | -0,50 | 0,50 |
| 8 | 74,5 | 75,00 | -0,50 | 0,50 | 0,50 |
| 9 | 74,5 | 75,00 | -0,50 | 0,00 | 0,00 |
| 10 | 55,0 | 55,00 | 0,00 | 0,50 | 0,50 |
| 11 | 54,5 | 55,00 | -0,50 | -0,50 | 0,50 |
| 12 | 73,5 | 75,00 | -1,50 | -1,00 | 1,00 |
| 13 | 88,0 | 90,00 | -2,00 | -0,50 | 0,50 |
| 14 | 34,0 | 35,00 | -1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 15 | 110,0 | 110,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| 16 | 76,5 | 75,00 | 1,50 | 1,50 | 1,50 |
| 17 | 75,0 | 75,00 | 0,00 | -1,50 | 1,50 |
| 18 | 111,0 | 110,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 19 | 36,5 | 35,00 | 1,50 | 0,50 | 0,50 |
| 20 | 36,0 | 35,00 | 1,00 | -0,50 | 0,50 |




**Şekil 4.9:** 82.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

MR diyagramı için;

OÇ= (2+0+2+0,5+0,5+0,5+0,5+0+0,5+0,5+1+0,5+1+1+1,5+1,5+1+0,5+0,5) /19=0,82

AKL=0 ( D3=0 ve D4=3,267)

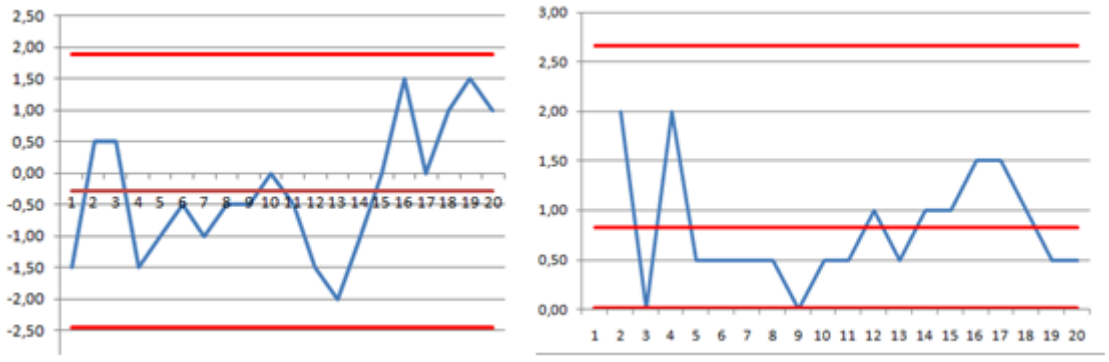
ÜKL=3,267*0,82=2,67

X diyagramı için;

OÇ= (-1,5+0,5+0,5-1,5-1-0,5-1-0,5-0,5+0+-0,5-1,5-2-1+0+1,5+0+1+1,5+1) /20=-0,28

AKL=-0,28-2,66*0,82=-2,445 (A2=2,66)

ÜKL=-0,28+2,66*0,82=1,895



**Şekil 4.10:**82. Süreç Kontrol Noktası IX-MR Diyagramı

**Tablo 4.15:** 82.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri

| Hedef Değer 35 | | Hedef Değer 55 | | Hedef Değer 75 | | Hedef Değer 90 | | Hedef Değer 110 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\sigma$ | 0,59 | $\sigma$ | 0,89 | $\sigma$ | 0,74 | $\sigma$ | 0,62 | $\sigma$ | 0,89 |
| ÜSL | 37 | ÜSL | 57,5 | ÜSL | 77 | ÜSL | 92 | ÜSL | 113 |
| ASL | 33,5 | ASL | 52,5 | ASL | 73 | ASL | 88 | ASL | 109 |
| Cp | 0,99 | Cp | 0,93 | Cp | 0,90 | Cp | 1,07 | Cp | 0,75 |
| Cpk | 0,84 | Cpk | 0,60 | Cpk | 0,74 | Cpk | 0,80 | Cpk | 0,56 |

Standart Sapma

$|\overline{MR}|$ /d2

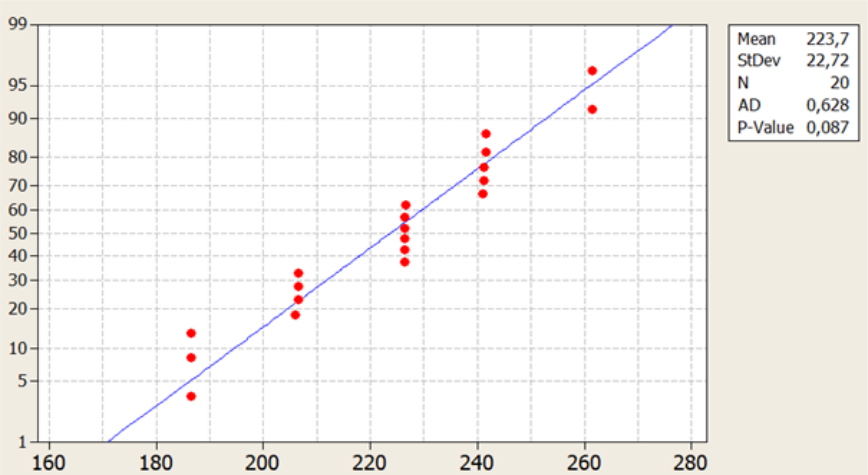
Alt örneklem için d2=1,128

### 4.2.6.38.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 5 tip ürün ve 1 alt örneklemden oluşan 20 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı kısa dönemli IX-MR kontrol diyagramıdır. Bu süreçte hedefe yönelik kısa dönemli IX-MR kontrol diyagramı kullanılmıştır.

**Tablo 4.16:** 38.Süreç Noktası

| Sıra | X1 | Hedef | X1- Hedef | Mutlak MR |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 206,0 | 206,5 | -0,50 | |
| 2 | 241,3 | 241,5 | -0,20 | 0,30 |
| 3 | 241,5 | 241,5 | 0,02 | 0,22 |
| 4 | 206,6 | 206,5 | 0,06 | 0,04 |
| 5 | 226,5 | 226,5 | - 0,02 | 0,08 |
| 6 | 241,0 | 241,5 | -0,50 | 0,48 |
| 7 | 241,3 | 241,5 | -0,20 | 0,30 |
| 8 | 226,5 | 226,5 | 0,01 | 0,21 |
| 9 | 226,4 | 226,5 | -0,10 | 0,11 |
| 10 | 206,5 | 206,5 | 0,00 | 0,10 |
| 11 | 206,5 | 206,5 | 0,00 | 0,00 |
| 12 | 226,5 | 226,5 | 0,02 | 0,02 |
| 13 | 241,5 | 241,5 | 0,03 | 0,01 |
| 14 | 186,5 | 186,5 | 0,02 | 0,01 |
| 15 | 261,5 | 261,5 | 0,01 | 0,01 |
| 16 | 226,5 | 226,5 | -0,01 | 0,02 |
| 17 | 226,5 | 226,5 | 0,00 | 0,01 |
| 18 | 261,5 | 261,5 | 0,04 | 0,04 |
| 19 | 186,6 | 186,5 | 0,09 | 0,05 |
| 20 | 186,5 | 186,5 | 0,01 | 0,08 |




**Şekil 4.11:**38.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

MR diyagramı için;

OÇ=(0,3+0,22+0,04+0,08+0,48+0,3+0,21+0,11+0,1+0+0,02+0,01+0,01+0,01+0,02+0,01+0,04+0,05+0,08) /19=0,11

AKL=0

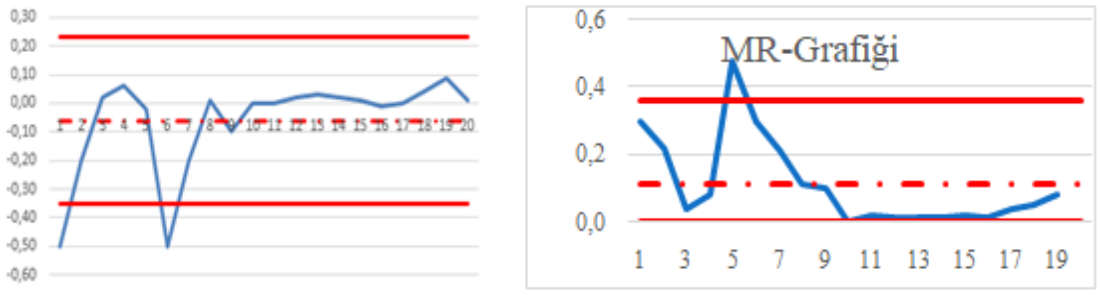
ÜKL=3,267*0,1=0,359

X diyagramı için;

OÇ= (-0,5-0,2+0,02+0,06-0,02-0,5-0,2+0,01-0,1+0+0+0,02+0,03+0,02+0,01-0,01+0+0,04+0,09 +0,01) /20=-0,06

AKL=-0,06-2,66*0,1=-0,35

ÜKL=-0,06+2,66*0,1=0,23




**Şekil 4.12:**38.Süreç Kontrol Noktası IX-MR Diyagramı

**Tablo 4.17:**38.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değeri

| Hedef Değer 186,5 | | Hedef Değer 206,5 | | Hedef Değer 226,5 | | Hedef Değer 241,5 | | Hedef Değer 261,5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\sigma$ | 0,04 | $\sigma$ | 0,04 | $\sigma$ | 0,07 | $\sigma$ | 0,23 | $\sigma$ | 0,02 |
| ÜSL | 186,90 | ÜSL | 206,70 | ÜSL | 226,80 | ÜSL | 242,00 | ÜSL | 261,70 |
| ASL | 186,10 | ASL | 206,30 | ASL | 226,10 | ASL | 241,00 | ASL | 261,40 |
| Cp | 3,22 | Cp | 1,61 | Cp | 1,75 | Cp | 0,72 | Cp | 2,26 |
| Cpk | 1,61 | Cpk | -1,6 | Cpk | 1,5 | Cpk | 0,71 | Cpk | 1,5 |

Standart Sapma

$|\overline{MR}|$ /d2

Alt örneklem için d2=1,128

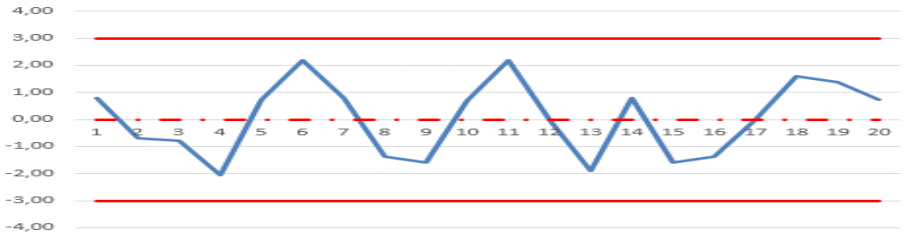
### 4.2.7.62.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülemeyen özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 3 tip ürün ve sabit 10 alt örneklemden oluşan 20 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı küçük partili p kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.18:**62.Süreç Kontrol Noktası

| Sıra | Alt örneklemHacmi | Hatalı Ürün Sayısı | Ürün | Geçmişteki Ortalama | Geçmişteki Standart Sapma | P | Kodlu P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 3 | A | 0,20 | 0,13 | 0,30 | 0,79 |
| 2 | 10 | 2 | B | 0,30 | 0,14 | 0,20 | -0,69 |
| 3 | 10 | 1 | A | 0,20 | 0,13 | 0,10 | -0,79 |
| 4 | 10 | 0 | B | 0,30 | 0,14 | 0,00 | -2,07 |
| 5 | 10 | 1 | C | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,73 |
| 6 | 10 | 2 | C | 0,05 | 0,07 | 0,20 | 2,18 |
| 7 | 10 | 3 | A | 0,20 | 0,13 | 0,30 | 0,79 |
| 8 | 10 | 1 | B | 0,30 | 0,14 | 0,10 | -1,38 |
| 9 | 10 | 0 | A | 0,20 | 0,13 | 0,00 | -1,58 |
| 10 | 10 | 4 | B | 0,30 | 0,14 | 0,40 | 0,69 |
| 11 | 10 | 2 | C | 0,05 | 0,07 | 0,20 | 2,18 |
| 12 | 10 | 1 | C | 1,00 | 0,00 | 0,10 | 0,00 |
| 13 | 10 | 2 | C | 0,50 | 0,16 | 0,20 | -1,90 |
| 14 | 10 | 3 | A | 0,20 | 0,13 | 0,30 | 0,79 |
| 15 | 10 | 0 | A | 0,20 | 0,13 | 0,00 | -1,58 |
| 16 | 10 | 1 | B | 0,30 | 0,14 | 0,10 | -1,38 |
| 17 | 10 | 3 | B | 0,30 | 0,14 | 0,30 | 0,00 |
| 18 | 10 | 4 | A | 0,20 | 0,13 | 0,40 | 1,58 |
| 19 | 10 | 5 | B | 0,30 | 0,14 | 0,50 | 1,38 |
| 20 | 10 | 1 | C | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,73 |

OÇ:0, AKL:-3, ÜKL:+3 olmak üzere p diyagramı Şekil 4.13.'de gösterilmektedir.




**Şekil 4.13:** 62.Süreç Kontrol Noktası p Diyagramı

**Tablo 4.19:** 62.Süreç Kontrol Noktası Ppk Değeri

| Ppk Değeri | |
|---|---|
| Dpu | 0,195 (39/200) |
| 1-Dpu | 0,805 |
| Zeşdeğeri | 0,86 |
| Zst=Zst+1,5 | 2,36 |
| Ppk | 0,79 |

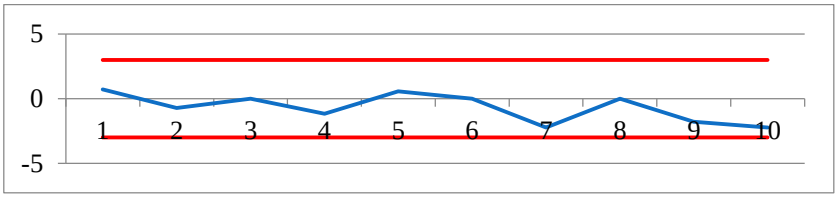
### 4.2.8.80.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülemeyen özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 3 tip ürüne ait 10 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı kısa dönemli c kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.20:** 80.süreç kontrol noktası

| Tarih | Hata Sayısı | Ürün | Geçmişteki Ortalama | Geçmişteki Standart Sapma | Kodlu C |
|---|---|---|---|---|---|
| 1/3 | 3 | A | 2,00 | 1,41 | 0,707107 |
| 1/4 | 1 | A | 2,00 | 1,41 | -0,70711 |
| 1/5 | 2 | A | 2,00 | 1,41 | 0 |
| 1/6 | 1 | B | 3,00 | 1,73 | -1,1547 |
| 1/7 | 4 | B | 3,00 | 1,73 | 0,57735 |
| 1/8 | 3 | B | 3,00 | 1,73 | 0 |
| 1/9 | 0 | C | 5,00 | 2,24 | -2,23607 |
| 1/10 | 5 | C | 5,00 | 2,24 | 0 |
| 1/11 | 1 | C | 5,00 | 2,24 | -1,78885 |
| 1/12 | 0 | C | 5,00 | 2,24 | -2,23607 |

OÇ:0, AKL: -3, ÜKL: +3 olmak üzere c diyagramı Şekil 4.14.'de gösterilmektedir.




**Şekil 4.14:** 80.Süreç Kontrol Noktası c Diyagramı

**Tablo 4.21:** 80.Süreç Kontrol Noktası Ppk Değeri

| Ppk Değeri | |
|---|---|
| Dpu | 0,20 (20/100) |
| 1-Dpu | 0,80 |
| Zeşdeğer | 0,85 |
| Zst=Zst+1,5 | 2,35 |
| Ppk | 0,78 |

Toplam alınan ürün sayısı 100.

### 4.2.9.18.Kritik Süreç Kontrol Noktası

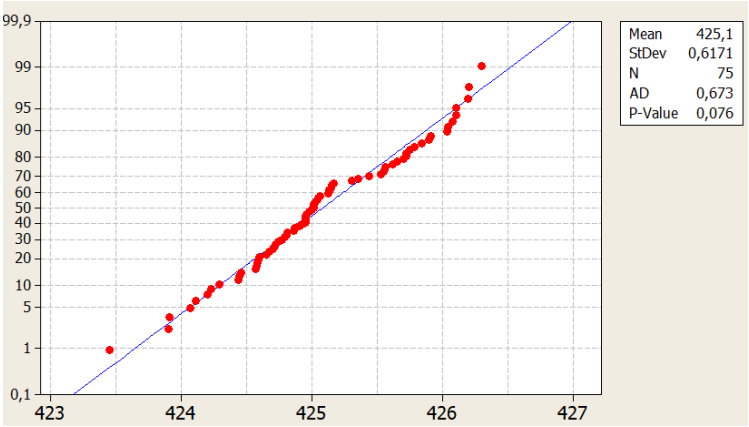
Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte tek tip ürün ve 3 alt örneklemden oluşan 25 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı klasik X-R kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.22:** 18.Süreç Kontrol Noktası

| | 1 | 2 | 3 | Xortalama | R |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 424,873 | 425,913 | 424,206 | 424,998 | 1,708 |
| 2 | 424,459 | 425,752 | 425,790 | 425,333 | 1,331 |
| 3 | 424,601 | 425,553 | 424,954 | 425,036 | 0,952 |
| 4 | 426,036 | 425,053 | 424,816 | 425,301 | 1,220 |
| 5 | 425,312 | 424,707 | 426,043 | 425,354 | 1,337 |
| 6 | 424,924 | 424,952 | 425,723 | 425,200 | 0,799 |
| 7 | 424,656 | 426,081 | 425,529 | 425,422 | 1,425 |
| 8 | 426,106 | 424,576 | 425,152 | 425,278 | 1,530 |
| 9 | 424,725 | 425,704 | 424,979 | 425,136 | 0,979 |
| 10 | 424,447 | 425,065 | 424,958 | 424,823 | 0,618 |
| 11 | 424,953 | 426,208 | 424,744 | 425,302 | 1,463 |
| 12 | 425,557 | 425,725 | 425,897 | 425,726 | 0,340 |
| 13 | 425,568 | 424,234 | 424,806 | 424,869 | 1,335 |
| 14 | 424,951 | 424,774 | 424,572 | 424,766 | 0,379 |
| 15 | 425,145 | 424,908 | 425,129 | 425,061 | 0,237 |
| 16 | 425,442 | 426,105 | 424,720 | 425,422 | 1,385 |
| 17 | 424,073 | 425,045 | 423,455 | 424,191 | 1,590 |
| 18 | 424,110 | 424,594 | 425,844 | 424,849 | 1,734 |

**Tablo 4.22 (devam):** 18.Süreç Kontrol Noktası

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 425,001 | 425,624 | 424,437 | 425,021 | 1,186 |
| 20 | 424,791 | 424,678 | 426,197 | 425,222 | 1,519 |
| 21 | 424,290 | 424,582 | 426,299 | 425,057 | 2,009 |
| 22 | 425,017 | 425,135 | 425,015 | 425,055 | 0,120 |
| 23 | 425,655 | 425,169 | 425,132 | 425,319 | 0,523 |
| 24 | 425,013 | 424,862 | 423,913 | 424,596 | 1,100 |
| 25 | 423,901 | 425,357 | 425,030 | 424,762 | 1,456 |




**Şekil 4.15:** 18.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

R diyagramı için;

OÇ= (1,7075+1,3307+0,9517+1,2202+…+0,1201+0,5232+1,1005+1,4557) /25 =1,131

AKL=0 (D3=0 ve D4=2,574)

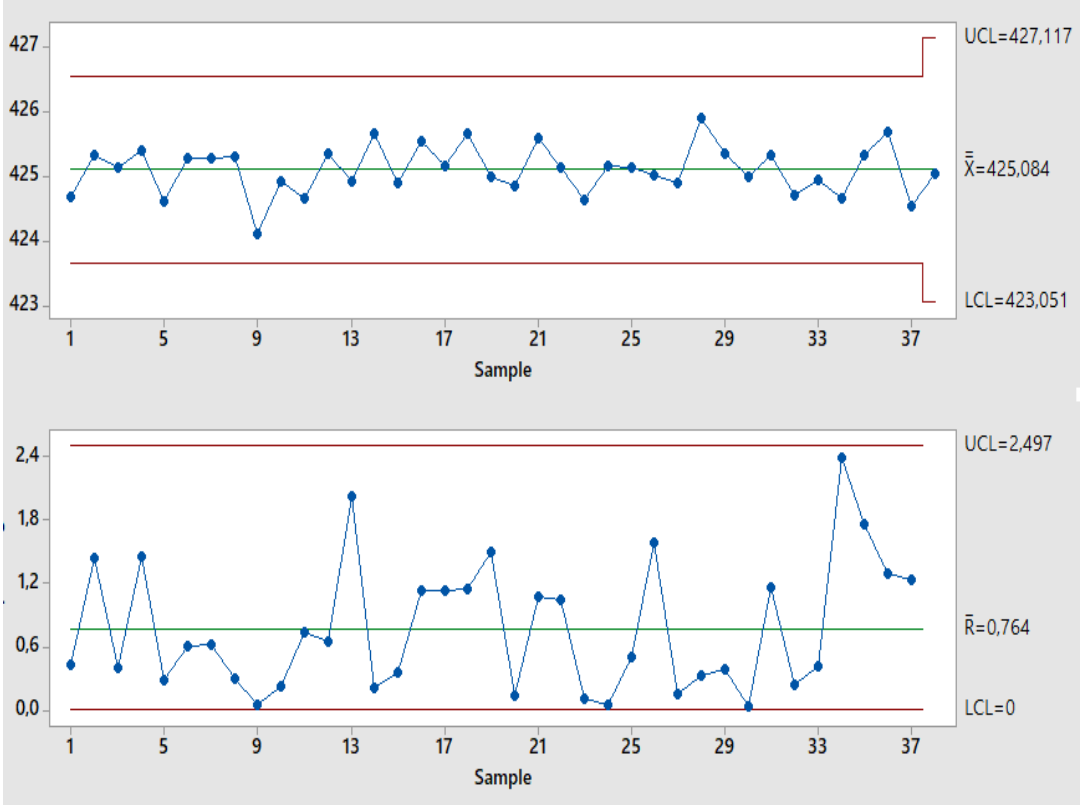
ÜKL=2,574*1,131=2,91

Xdiyagramı için;

OÇ= (424,998+425,333+425,036+…+424,596+424,762) /25=425,084

AKL=425,084-1,023*1,13=423,927 (A2=1,023)

ÜKL=425,084+1,023*1,13=426,241




**Şekil 4.16:** 18.Süreç Kontrol Noktası X-RDiyagramı

**Tablo 4.23:** 18.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri

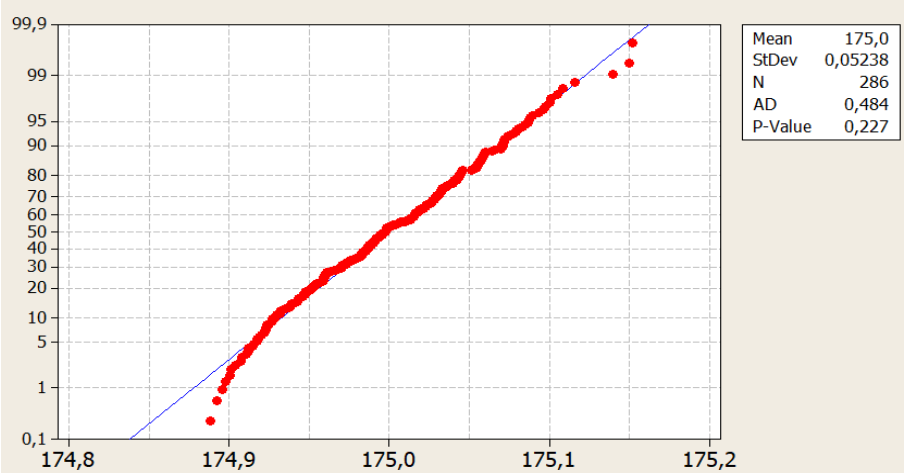
| Hedef Değer 425 | |
|---|---|
| Standart sapma | 0,67 |
| ÜSL | 427,00 |
| ASL | 423,00 |
| Cp | 1,00 |
| Cpk | 0,95 |

### 4.2.10.29.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte tek tip ürün ve 11 alt örneklemden oluşan 26 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı klasik X-s kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.24:** 29.Süreç Kontrol Noktası

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 174,92 | 175,02 | 175,04 | 175,02 | 175,15 | 174,99 | 174,92 | 175,04 | 175,04 | 175,02 | 174,97 |
| 2 | 175,02 | 174,98 | 175,07 | 175,03 | 175,03 | 174,96 | 175,12 | 175,00 | 175,00 | 175,06 | 174,99 |
| 3 | 175,00 | 174,99 | 175,02 | 174,97 | 174,94 | 174,95 | 174,99 | 175,02 | 174,97 | 175,10 | 175,00 |
| 4 | 175,04 | 175,06 | 174,92 | 174,93 | 175,03 | 174,96 | 175,08 | 174,98 | 175,02 | 175,05 | 174,95 |
| 5 | 174,98 | 175,04 | 174,94 | 174,99 | 174,90 | 174,96 | 174,98 | 175,07 | 174,95 | 174,96 | 174,99 |
| 6 | 175,06 | 174,93 | 175,02 | 175,09 | 175,01 | 174,96 | 175,06 | 175,11 | 175,06 | 174,92 | 174,99 |
| 7 | 174,92 | 174,94 | 174,95 | 175,03 | 174,99 | 175,07 | 174,99 | 175,06 | 175,04 | 174,92 | 175,00 |
| 8 | 175,06 | 175,05 | 174,95 | 175,03 | 174,96 | 175,04 | 174,97 | 175,00 | 174,97 | 174,97 | 175,00 |
| 9 | 175,06 | 175,00 | 174,99 | 174,98 | 175,04 | 174,96 | 174,97 | 174,95 | 174,98 | 174,90 | 175,01 |
| 10 | 174,91 | 175,04 | 175,06 | 175,03 | 175,06 | 174,94 | 174,94 | 175,01 | 174,98 | 174,96 | 175,00 |
| 11 | 174,94 | 175,15 | 175,10 | 175,02 | 174,96 | 174,98 | 174,93 | 174,99 | 175,09 | 174,96 | 174,90 |
| 12 | 174,98 | 175,02 | 175,03 | 175,14 | 174,95 | 175,02 | 174,94 | 174,97 | 174,95 | 174,99 | 175,08 |
| 13 | 175,02 | 174,95 | 175,04 | 174,99 | 175,03 | 175,01 | 174,99 | 175,03 | 174,91 | 174,97 | 175,01 |
| 14 | 175,07 | 174,94 | 175,02 | 174,96 | 175,04 | 174,99 | 174,95 | 175,10 | 175,03 | 175,02 | 174,92 |
| 15 | 174,93 | 175,02 | 174,91 | 174,93 | 174,92 | 174,99 | 174,93 | 174,91 | 175,04 | 175,03 | 174,95 |
| 16 | 174,94 | 174,96 | 175,07 | 174,93 | 174,94 | 174,98 | 174,95 | 174,99 | 174,95 | 175,02 | 175,04 |
| 17 | 175,05 | 174,92 | 175,01 | 174,98 | 175,10 | 174,97 | 175,00 | 175,01 | 175,01 | 175,02 | 175,04 |
| 18 | 174,99 | 175,01 | 175,06 | 174,99 | 175,03 | 175,00 | 174,94 | 174,91 | 175,09 | 175,02 | 175,03 |
| 19 | 174,90 | 175,05 | 174,91 | 175,04 | 174,94 | 175,09 | 175,01 | 174,99 | 175,07 | 175,02 | 175,03 |
| 20 | 174,99 | 174,95 | 174,89 | 174,89 | 175,00 | 175,03 | 174,99 | 175,07 | 174,93 | 175,03 | 175,07 |
| 21 | 175,00 | 175,03 | 175,05 | 175,11 | 175,06 | 174,93 | 175,06 | 175,06 | 174,96 | 174,92 | 175,07 |
| 22 | 174,98 | 174,95 | 175,08 | 175,07 | 174,95 | 174,96 | 175,02 | 175,07 | 174,98 | 174,99 | 175,05 |
| 23 | 175,04 | 174,96 | 174,97 | 174,93 | 174,96 | 175,03 | 175,08 | 174,98 | 174,99 | 175,03 | 174,97 |
| 24 | 175,04 | 174,97 | 174,93 | 175,02 | 174,99 | 174,96 | 175,03 | 175,08 | 174,99 | 175,00 | 175,09 |
| 25 | 174,99 | 174,90 | 175,00 | 175,03 | 174,97 | 175,01 | 175,06 | 175,00 | 175,00 | 174,92 | 175,03 |
| 26 | 174,98 | 175,03 | 175,04 | 174,98 | 175,08 | 175,03 | 174,99 | 175,01 | 175,04 | 175,06 | 175,00 |




**Şekil 4.17**. 29.SüreçKontrol Noktası için Normallik Testi

**Tablo 4.24(devam):** 29.süreç kontrol noktası

| X ortalama | S |
|---|---|
| 175,013 | 0,06 |
| 175,023 | 0,05 |
| 174,995 | 0,04 |
| 175,002 | 0,06 |
| 174,977 | 0,05 |
| 175,017 | 0,06 |
| 174,993 | 0,05 |
| 175,000 | 0,04 |
| 174,986 | 0,04 |
| 174,995 | 0,05 |
| 175,001 | 0,08 |
| 175,007 | 0,06 |
| 174,995 | 0,04 |
| 175,004 | 0,06 |
| 174,960 | 0,05 |
| 174,979 | 0,05 |
| 175,010 | 0,05 |
| 175,008 | 0,05 |
| 175,004 | 0,06 |
| 174,986 | 0,06 |
| 175,020 | 0,06 |
| 175,010 | 0,05 |
| 174,996 | 0,04 |
| 175,010 | 0,05 |
| 174,990 | 0,05 |
| 175,022 | 0,03 |

s diyagramı için:

OÇ=(0,06+0,05+0,04+…+0,05+0,05+0,03) /26= 0,05

AKL: 0,321*0,05=0,017 (B3=0,321 ve B4=1,679)

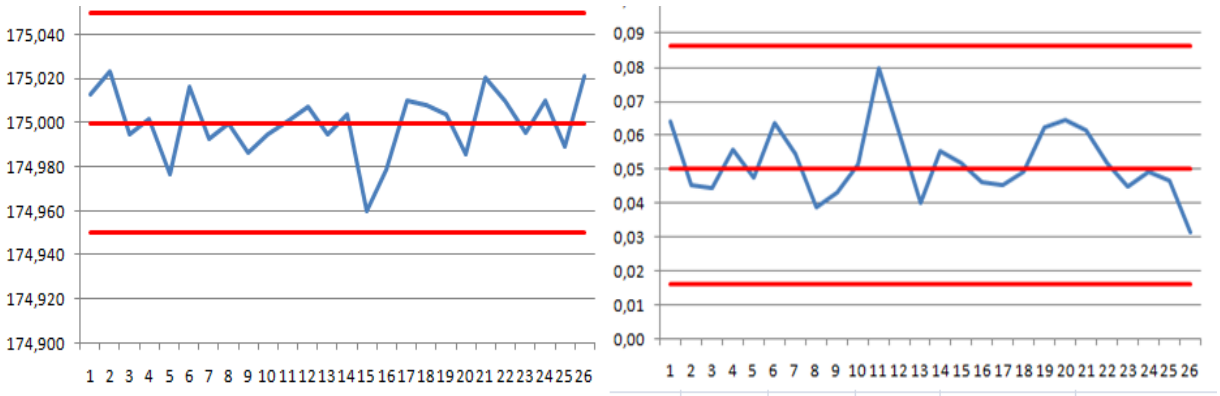
ÜKL: 1,679*0,05=0,087

X diyagramı için:

OÇ = (175,01+175,02+175,00+175,00+…+175,00+175,01+174,99+175,02) /26 =175,0

AKL:175,0-0,927*0,05=174,95 (A3=0,927)

ÜKL: 175,0+0,927*0,05=175,05




**Şekil 4.18:** 29.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı

**Tablo 4.25:** 29.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri

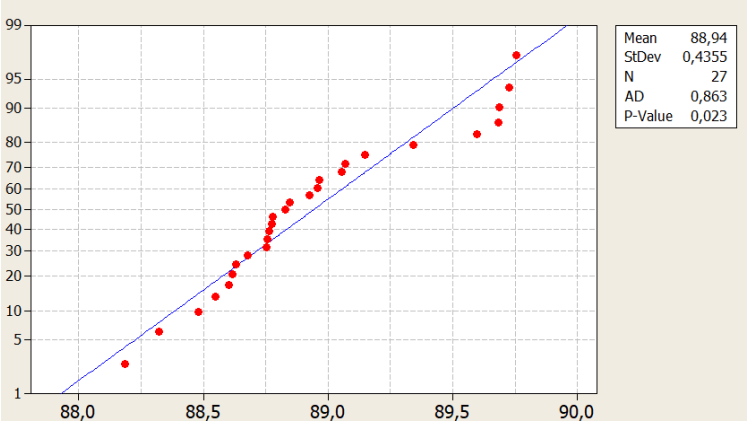
| Hedef değer 175 | |
|---|---|
| Standart sapma | 0,05 |
| ÜSL | 175,3 |
| ASL | 174,7 |
| Cp | 2 |
| Cpk | 2 |

### 4.2.11.26.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte tek tip ürün ve 1 alt örneklemden oluşan 27 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı klasik IX-MR kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.26:** 26.Süreç Kontrol Noktası

| | 1 | MR |
|---|---|---|
| 1 | 88,680 | - |
| 2 | 89,598 | 0,918 |
| 3 | 88,618 | 0,980 |
| 4 | 88,324 | 0,294 |
| 5 | 89,057 | 0,733 |
| 6 | 89,727 | 0,670 |
| 7 | 88,186 | 1,541 |
| 8 | 88,633 | 0,448 |
| 9 | 88,479 | 0,154 |
| 10 | 89,683 | 1,204 |
| 11 | 88,828 | 0,855 |
| 12 | 89,689 | 0,861 |
| 13 | 88,925 | 0,764 |
| 14 | 88,758 | 0,166 |
| 15 | 88,964 | 0,206 |
| 16 | 89,069 | 0,105 |
| 17 | 88,766 | 0,303 |
| 18 | 88,774 | 0,008 |
| 19 | 88,753 | 0,021 |
| 20 | 88,848 | 0,095 |
| 21 | 89,754 | 0,906 |
| 22 | 89,343 | 0,411 |
| 23 | 89,149 | 0,194 |
| 24 | 88,778 | 0,371 |
| 25 | 88,601 | 0,177 |
| 26 | 88,960 | 0,359 |
| 27 | 88,549 | 0,411 |




**Şekil 4.19:** 26.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

MR diyagramı için;

OÇ= (0,918+0,980+0,294+…0,177+0,359+0,411) /26=0,506

AKL=0

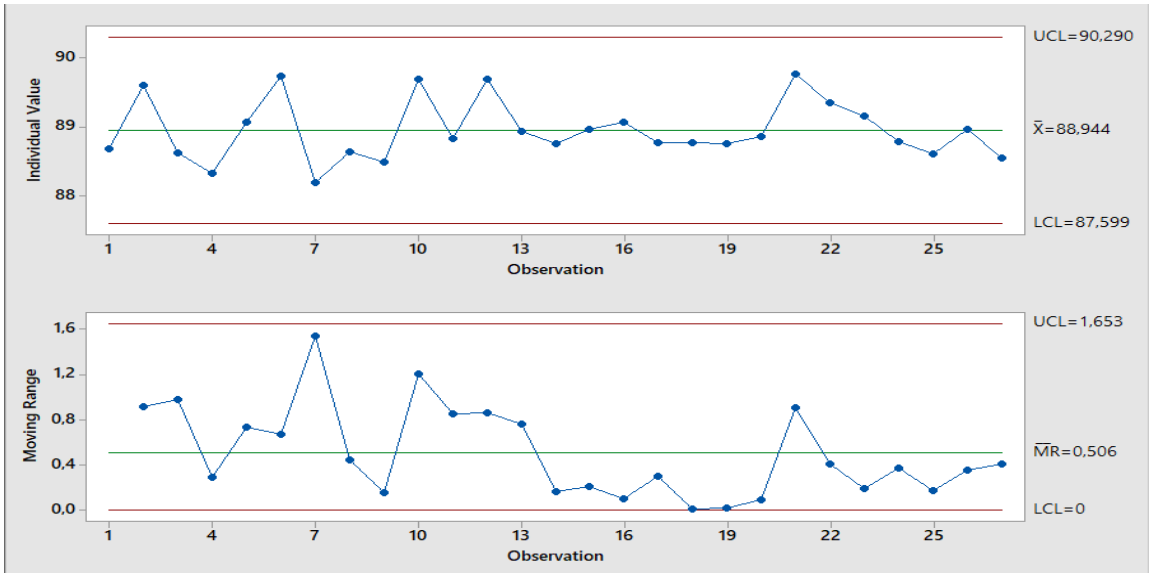
ÜKL= 3,267*0,506=1,65

IX diyagramı için;

OÇ= (88,680+89,598+89,618+…+88,601+88,960+88,549) /27 =88,944

AKL=88,944-2,66*0,506=87,59

ÜKL=88,944+2,66*0,506=90,28




**Şekil 4.20:**26.Süreç Kontrol Noktası IX-MR Diyagramı

**Tablo 4.27:** 26.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri

| Hedef Değer 89 | |
|---|---|
| Standart sapma | 0,45 |
| ÜSL | 90 |
| ASL | 87 |
| Cp | 1,11 |
| Cpk | 0,74 |

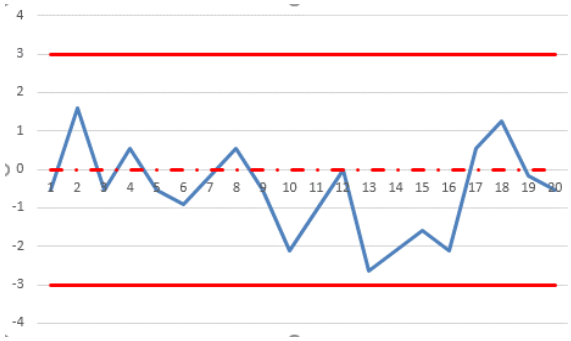
### 4.2.12.49.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülemeyen özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 3 tip ürün ve sabit 15 alt örneklemden oluşan 20 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı kısa dönemli p kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.28:** 49.Süreç Kontrol Noktası

| Sıra | Alt örneklem Hacmi | Hatalı Ürün Sayısı | Ürün | Geçmişteki Ortalama | Geçmişteki Standart Sapma | P | Kodlu P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15 | 5 | A | 0,40 | 0,13 | 0,333333 | -0,52705 |
| 2 | 15 | 9 | A | 0,40 | 0,13 | 0,6 | 1,581139 |
| 3 | 15 | 5 | A | 0,40 | 0,13 | 0,333333 | -0,52705 |
| 4 | 15 | 10 | B | 0,60 | 0,13 | 0,666667 | 0,527046 |
| 5 | 15 | 8 | B | 0,60 | 0,13 | 0,533333 | -0,52705 |
| 6 | 15 | 1 | C | 0,15 | 0,09 | 0,066667 | -0,90388 |
| 7 | 15 | 2 | C | 0,15 | 0,09 | 0,133333 | -0,18078 |
| 8 | 15 | 3 | C | 0,15 | 0,09 | 0,2 | 0,542326 |
| 9 | 15 | 8 | B | 0,60 | 0,13 | 0,533333 | -0,52705 |
| 10 | 15 | 5 | B | 0,60 | 0,13 | 0,333333 | -2,10819 |
| 11 | 15 | 7 | B | 0,60 | 0,13 | 0,466667 | -1,05409 |
| 12 | 15 | 5 | A | 0,40 | 0,13 | 0,333333 | 0 |
| 13 | 15 | 1 | A | 0,40 | 0,13 | 0,066667 | -2,63523 |
| 14 | 15 | 2 | A | 0,40 | 0,13 | 0,133333 | -2,10819 |
| 15 | 15 | 6 | B | 0,60 | 0,13 | 0,4 | -1,58114 |
| 16 | 15 | 5 | B | 0,60 | 0,13 | 0,333333 | -2,10819 |
| 17 | 15 | 3 | C | 0,15 | 0,09 | 0,2 | 0,542326 |
| 18 | 15 | 4 | C | 0,15 | 0,09 | 0,266667 | 1,265428 |
| 19 | 15 | 2 | C | 0,15 | 0,09 | 0,133333 | -0,18078 |
| 20 | 15 | 5 | A | 0,40 | 0,13 | 0,333333 | -0,52705 |

OÇ:0, AKL: -3, ÜKL: +3 olmak üzere p diyagramı Şekil 4.21.'de gösterilmektedir.




**Şekil 4.21:**49.Süreç Kontrol Noktası p Diyagramı

**Tablo 4.29:**49.Süreç Kontrol Noktası Ppk Değeri

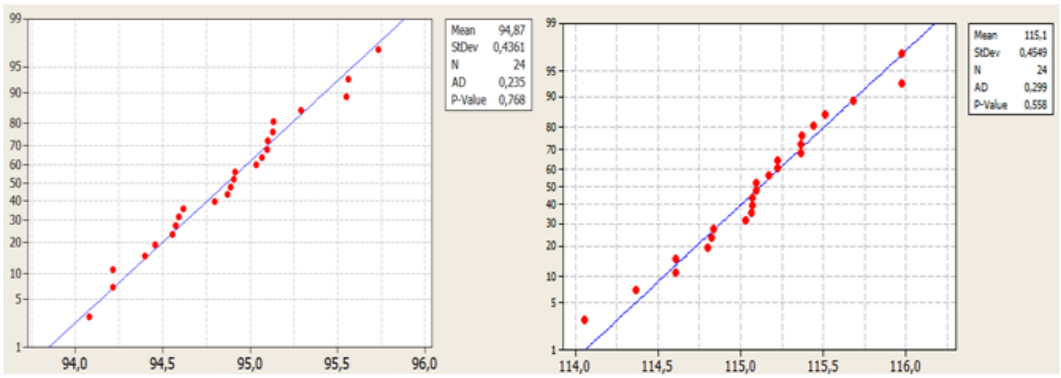
| Ppk Değeri | |
|---|---|
| Dpu | 0,32 |
| 1-Dpu | 0,68 |
| Z | 0,47 |
| Z+1,5 | 1,97 |
| Ppk | 0,66 |

### 4.2.13.12.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte tek tip üreten ve 3 alt örneklemden oluşan 14 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı kısa dönemli X-R kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.30:** 12.Süreç Kontrol Noktası Klasik X-R Diyagramı

| Sıra | X1 | X2 | X3 | X ortalama | Hedef | Ortalama – Hedef | Aralık |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 95,550 | 94,906 | 94,796 | 95,08 | 95,00 | 0,08 | 0,75 |
| 2 | 95,563 | 94,215 | 94,916 | 94,90 | 95,00 | -0,10 | 1,35 |
| 3 | 95,036 | 94,619 | 95,070 | 94,91 | 95,00 | -0,09 | 0,45 |
| 4 | 95,098 | 94,575 | 95,129 | 94,93 | 95,00 | -0,07 | 0,55 |
| 5 | 94,216 | 95,134 | 94,083 | 94,48 | 95,00 | -0,52 | 1,05 |
| 6 | 95,734 | 94,400 | 94,460 | 94,86 | 95,00 | -0,14 | 1,33 |
| 7 | 95,101 | 94,593 | 95,292 | 95,00 | 95,00 | 0,00 | 0,70 |
| 8 | 94,869 | 94,888 | 94,558 | 94,77 | 95,00 | -0,23 | 0,33 |
| 9 | 115,678 | 114,834 | 115,222 | 115,24 | 115,00 | 0,24 | 0,84 |
| 10 | 115,062 | 115,030 | 115,975 | 115,36 | 115,00 | 0,36 | 0,94 |
| 11 | 115,172 | 115,513 | 115,367 | 115,35 | 115,00 | 0,35 | 0,34 |
| 12 | 114,802 | 114,363 | 115,095 | 114,75 | 115,00 | -0,25 | 0,73 |
| 13 | 115,371 | 114,825 | 115,071 | 115,09 | 115,00 | 0,09 | 0,55 |
| 14 | 114,053 | 115,442 | 114,609 | 114,70 | 115,00 | -0,30 | 1,39 |




**Şekil 4.22:** 12.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

R diyagramı için;

OÇ:(0,75+1,35+0,45+0,55+1,05+1,33+…+0,73+0,55+1,39) /14=0,81

AKL=0

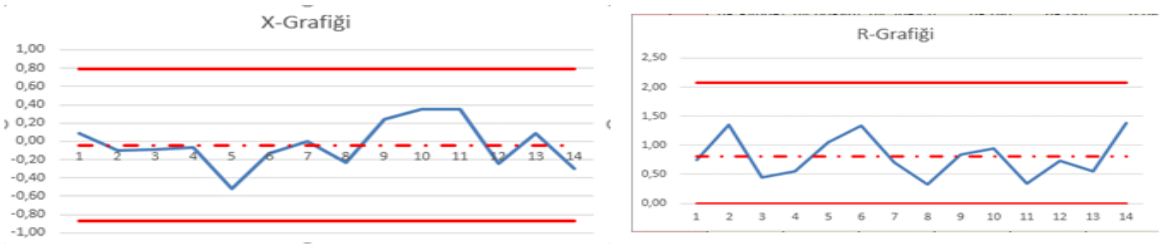
ÜKL=2,574*0,81=2,08

X diyagramı için;

OÇ: (0,08-0,10-0,09-0,07-0,52+…+0,09-0,30) /14=-0,04

AKL=-0,04-1,023*0,81=-0,87

ÜKL=-0,04+1,023*0,81=0,79




**Şekil 4.23:**12.süreç kontrol noktası X-R diyagramı

**Tablo 4.31:** 12.Süreç Kontrol Noktası X-R Noktası

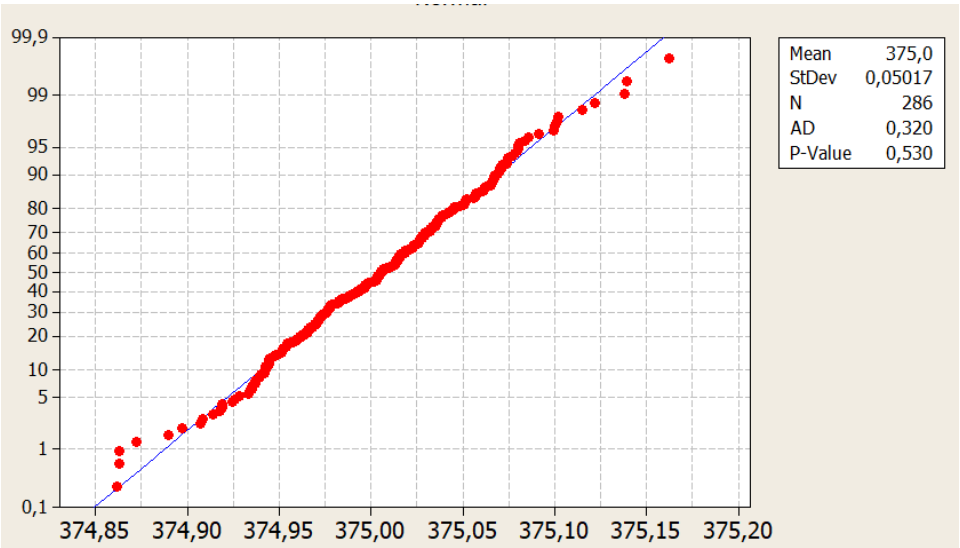
| Hedef Değer 95 | | Hedef Değer 115 | |
|---|---|---|---|
| Standart sapma | 0,48 | Standart sapma | 0,47 |
| ÜSL | 96,50 | ÜSL | 117,00 |
| ASL | 93,50 | ASL | 114,00 |
| Cp | 1,04 | Cp | 1,06 |
| Cpk | 1,04 | Cpk | 0,71 |

### 4.2.14.85.Kritik Süreç Kontrol Noktası

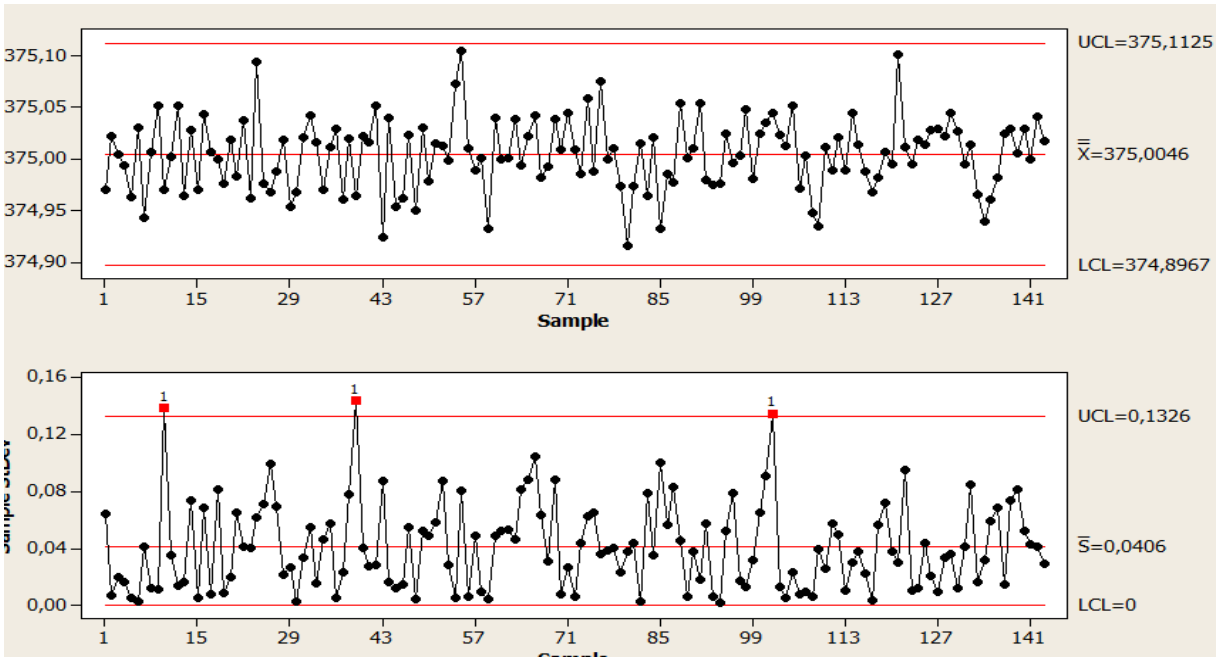
Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte tek tip üreten ve 11 alt örneklemden oluşan 26 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı küçük partili X-s kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.32:** 85.Süreç Kontrol Noktası

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 375,02 | 374,92 | 375,02 | 375,03 | 374,99 | 375,02 | 374,98 | 375,01 | 374,96 | 374,97 | 375,03 |
| 2 | 374,97 | 374,91 | 375,02 | 375,00 | 375,04 | 375,06 | 375,07 | 374,87 | 374,98 | 375,03 | 375,04 |
| 3 | 374,98 | 374,95 | 375,08 | 374,98 | 374,97 | 374,97 | 375,09 | 375,00 | 375,01 | 375,00 | 374,94 |
| 4 | 374,98 | 374,97 | 375,01 | 375,03 | 375,03 | 374,94 | 375,01 | 375,07 | 374,99 | 374,93 | 375,14 |
| 5 | 374,93 | 375,03 | 374,90 | 375,04 | 375,04 | 374,94 | 375,03 | 375,00 | 374,94 | 374,97 | 374,97 |
| 6 | 375,04 | 375,00 | 375,08 | 375,00 | 375,01 | 375,03 | 375,00 | 374,94 | 374,97 | 375,05 | 375,03 |
| 7 | 374,98 | 374,94 | 374,97 | 375,07 | 374,86 | 375,07 | 374,99 | 375,05 | 375,04 | 375,00 | 375,03 |
| 8 | 374,99 | 374,86 | 375,05 | 375,03 | 374,96 | 374,94 | 374,95 | 374,97 | 375,06 | 374,98 | 374,95 |
| 9 | 375,07 | 374,99 | 375,01 | 374,94 | 375,06 | 374,97 | 374,95 | 375,07 | 375,02 | 374,98 | 375,08 |
| 10 | 375,05 | 375,16 | 375,02 | 375,01 | 374,95 | 375,02 | 374,99 | 375,01 | 374,94 | 374,93 | 375,01 |
| 11 | 374,96 | 375,04 | 374,96 | 375,04 | 375,07 | 375,01 | 374,94 | 375,05 | 375,08 | 374,96 | 374,97 |
| 12 | 374,94 | 375,03 | 374,97 | 375,01 | 375,10 | 374,98 | 375,02 | 375,00 | 375,06 | 375,03 | 375,01 |
| 13 | 375,02 | 374,95 | 375,01 | 375,10 | 375,03 | 374,94 | 375,10 | 375,05 | 374,97 | 375,03 | 375,04 |
| 14 | 375,06 | 375,06 | 375,05 | 374,97 | 375,03 | 375,07 | 374,95 | 375,07 | 375,07 | 375,12 | 375,01 |
| 15 | 375,03 | 374,98 | 374,99 | 374,96 | 374,94 | 374,89 | 374,94 | 375,00 | 375,01 | 375,02 | 374,91 |
| 16 | 375,02 | 375,00 | 375,05 | 374,86 | 375,00 | 375,03 | 374,95 | 374,92 | 375,04 | 375,09 | 375,02 |
| 17 | 375,00 | 375,00 | 375,04 | 374,98 | 375,04 | 375,07 | 374,94 | 375,02 | 374,97 | 374,98 | 374,98 |
| 18 | 374,98 | 374,99 | 375,06 | 374,94 | 375,05 | 375,02 | 374,99 | 375,06 | 375,04 | 375,00 | 374,96 |
| 19 | 375,07 | 374,98 | 375,10 | 374,97 | 375,14 | 374,95 | 375,03 | 375,01 | 375,02 | 375,01 | 375,04 |
| 20 | 375,07 | 374,97 | 374,98 | 375,00 | 375,01 | 374,94 | 374,95 | 374,91 | 374,96 | 374,99 | 375,03 |
| 21 | 375,03 | 374,95 | 375,06 | 374,99 | 375,00 | 374,98 | 375,02 | 375,07 | 374,99 | 375,04 | 374,97 |
| 22 | 375,00 | 374,97 | 374,97 | 375,02 | 374,94 | 375,06 | 374,96 | 375,02 | 374,97 | 375,08 | 375,12 |
| 23 | 375,08 | 374,94 | 375,00 | 374,99 | 375,01 | 375,03 | 374,98 | 375,04 | 375,04 | 375,01 | 375,04 |
| 24 | 375,02 | 375,00 | 375,05 | 375,07 | 375,02 | 375,02 | 375,04 | 374,97 | 375,02 | 374,95 | 375,07 |
| 25 | 374,95 | 374,98 | 374,96 | 374,92 | 374,92 | 375,00 | 375,03 | 374,93 | 375,04 | 375,01 | 375,08 |
| 26 | 374,98 | 374,95 | 375,06 | 374,99 | 375,07 | 375,03 | 374,97 | 375,01 | 375,07 | 375,00 | 375,04 |




**Şekil 4.24:**85.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi




**Şekil 4.25:**85.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı

**Tablo 4.33:**85.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Hesaplanması

| Hedef Değer 375 | |
|---|---|
| Standart sapma | 0,05 |
| ÜSL | 375,3 |
| ASL | 374,9 |
| Cp | 1,33 |
| Cpk | 0,66 |

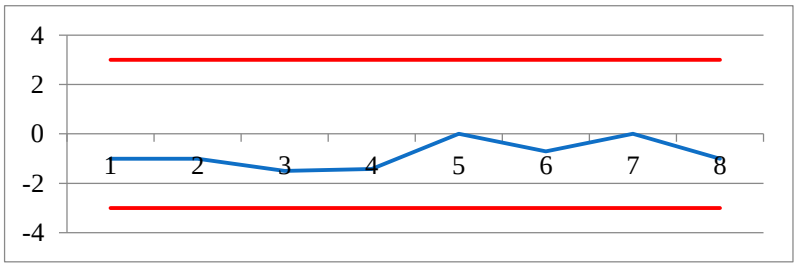
### 4.2.15.67.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülemeyen özelliğe sahiptir. Bu süreçte 3 farklı tip özelliklere sahip olan aynı ürüne ait 8 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı kısa dönemli c kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.34:** 67.Süreç Kontrol Noktası

| Tarih | Hata Sayısı | Ürün | Geçmişteki Ortalama | Geçmişteki Standart Sapma | Kodlu C |
|---|---|---|---|---|---|
| 1/1 | 2 | A | 4,00 | 2,00 | -1 |
| 2/1 | 2 | A | 4,00 | 2,00 | -1 |
| 3/1 | 1 | A | 4,00 | 2,00 | -1,5 |
| 4/1 | 0 | B | 2,00 | 1,41 | -1,41 |
| 5/1 | 2 | B | 2,00 | 1,41 | 0 |
| 6/1 | 1 | B | 2,00 | 1,41 | -0,71 |
| 7/1 | 1 | C | 1,00 | 1,00 | 0 |
| 8/1 | 0 | C | 1,00 | 1,00 | -1 |

OÇ:0, AKL: -3, ÜKL: +3 olmak üzere p diyagramı Şekil 4.26.'de gösterilmektedir.




**Şekil 4.26:** 67.Süreç Kontrol Noktası c Diyagramı

**Tablo 4.35:** 67.Süreç Kontrol Noktası Ppk Değeri

| Ppk Değeri | |
|---|---|
| Dpu | 0,1125(9/80) |
| 1-Dpu | 0,8875 |
| Z | 1,215 |
| z+1,5 | 2,715 |
| Ppk | 0,905 |

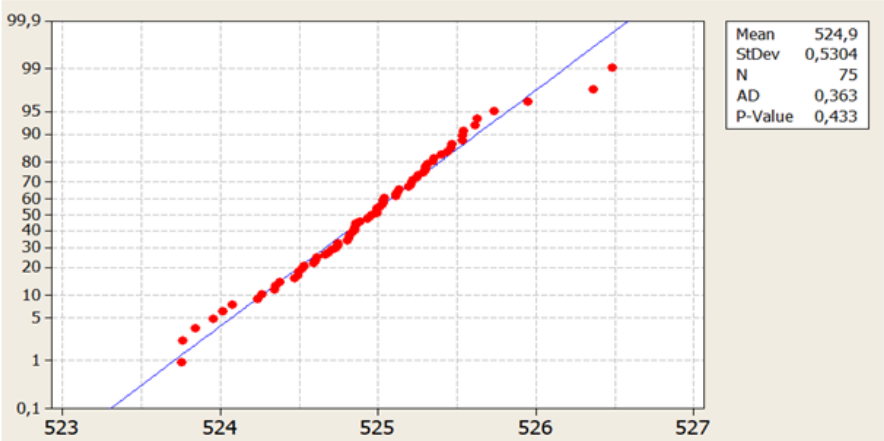
Toplam alınan hacim 80.

### 4.2.16.63. Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte tek tip ürün ait 3 alt örneklemden oluşan 25 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı klasik X-R kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.36:**63.Süreç Kontrol Noktası

| | 1 | 2 | 3 | X ortalama | R |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 525,2894 | 525,4615 | 526,3660 | 525,7056 | 1,0766 |
| 2 | 525,1294 | 524,4972 | 525,3030 | 524,9765 | 0,8058 |
| 3 | 524,8579 | 524,6671 | 525,2553 | 524,9268 | 0,5882 |
| 4 | 524,7448 | 524,3518 | 524,9331 | 524,6766 | 0,5812 |
| 5 | 524,5193 | 524,5310 | 525,2146 | 524,7550 | 0,6953 |
| 6 | 525,9489 | 525,4405 | 524,6049 | 525,3314 | 1,3440 |
| 7 | 524,7357 | 525,0326 | 523,7576 | 524,5087 | 1,2750 |
| 8 | 524,2660 | 525,4032 | 525,3114 | 524,9935 | 1,1372 |
| 9 | 525,4685 | 524,6841 | 524,3481 | 524,8335 | 1,1203 |
| 10 | 524,7079 | 525,2443 | 525,2236 | 525,0586 | 0,5364 |
| 11 | 525,3502 | 524,8363 | 525,5435 | 525,2433 | 0,7071 |
| 12 | 524,5905 | 524,9966 | 524,8206 | 524,8026 | 0,4061 |
| 13 | 525,3512 | 524,7482 | 526,4829 | 525,5274 | 1,7347 |
| 14 | 525,0371 | 525,5341 | 524,9925 | 525,1879 | 0,5416 |
| 15 | 524,0788 | 524,2363 | 524,9911 | 524,4354 | 0,9123 |
| 16 | 524,0165 | 525,1317 | 524,8086 | 524,6522 | 1,1152 |
| 17 | 525,0101 | 525,6147 | 524,9432 | 525,1893 | 0,6715 |
| 18 | 525,6254 | 525,1104 | 523,8436 | 524,8598 | 1,7819 |
| 19 | 524,8252 | 525,3018 | 525,2096 | 525,1122 | 0,4766 |
| 20 | 524,6120 | 525,1951 | 524,3796 | 524,7289 | 0,8155 |
| 21 | 524,8130 | 524,8543 | 525,0319 | 524,8997 | 0,2189 |
| 22 | 524,4898 | 525,1144 | 525,7325 | 525,1122 | 1,2427 |
| 23 | 524,8844 | 525,0236 | 524,8609 | 524,9230 | 0,1627 |
| 24 | 523,9564 | 524,8515 | 524,4711 | 524,4263 | 0,8951 |
| 25 | 524,9626 | 523,7634 | 525,5347 | 524,7536 | 1,7714 |




**Şekil 4.27:**63.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

R diyagramı için;

OÇ:( 1,07658+0,80579+0,58825+0,58125+…+0,1627+0,8951+1,7714) /25=0,90

AKL:0

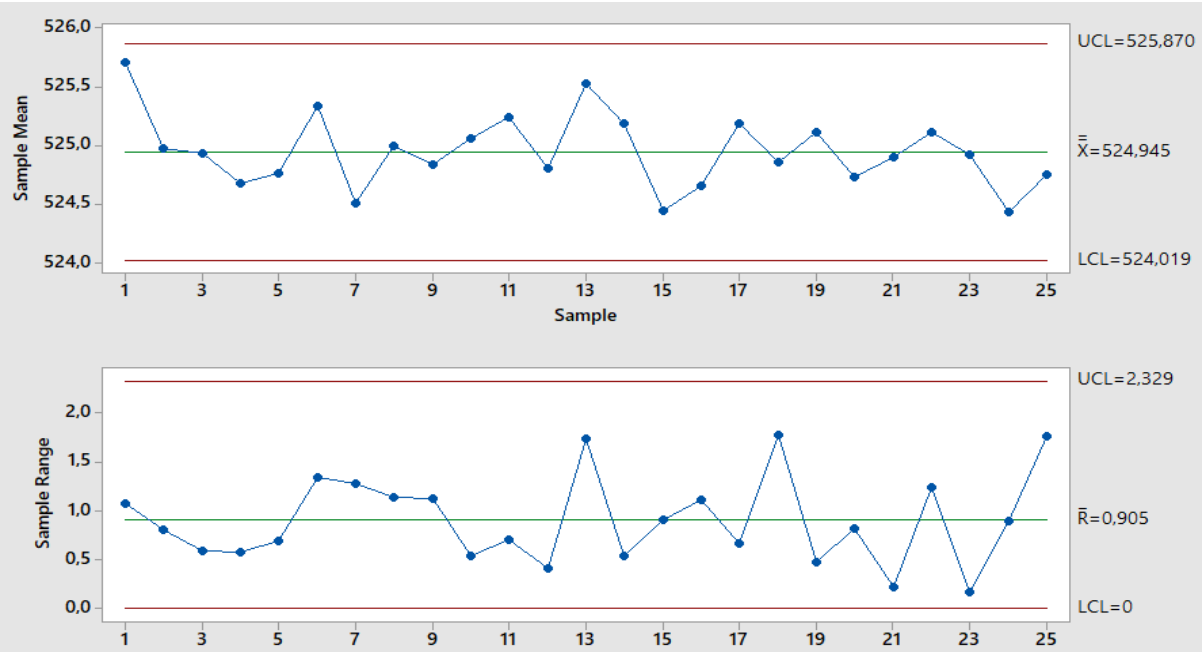
ÜKL:2,574*0,90=2,33

X diyagramı için;

OÇ: (525,7056+524,9765+524,9268+…+525,1122+524,9230+524,4263+524,7536)/25=524,944

AKL: 524,944-1,023*0,90=524,019

ÜKL: 524,944+1,023*0,90=525,870




**Şekil 4.28:** 63.Süreç Kontrol Noktasına ait X-R Diyagramı

**Tablo 4.37:** 63.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri

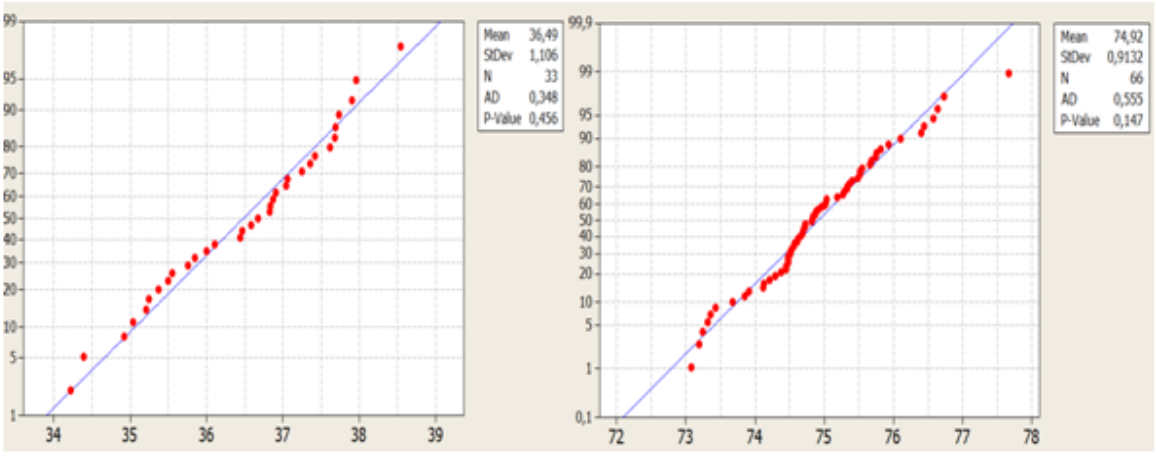
| | |
|---|---|
| Standart sapma | 0,53 |
| ÜSL | 527,00 |
| ASL | 523,00 |
| Cp | 1,26 |
| Cpk | 1,26 |

### 4.2.17.20.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte 2 farklı tip özelliklere sahip olan aynı ürüne ait 11 alt örneklemden oluşan 9 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı kısa dönemli X-s kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.38:** 20.Süreç Kontrol Noktası X-S Diyagramı

| Sıra | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 74,51 | 75,08 | 75,39 | 75,31 | 75,16 | 75,06 | 74,96 | 74,88 | 75,10 | 75,09 | 75,06 |
| 2 | 75,46 | 74,73 | 74,43 | 74,49 | 76,49 | 75,25 | 74,91 | 74,91 | 74,94 | 75,13 | 74,90 |
| 3 | 74,63 | 75,40 | 75,27 | 75,26 | 74,40 | 74,96 | 75,13 | 74,95 | 75,02 | 75,06 | 74,98 |
| 4 | 74,60 | 75,29 | 75,14 | 74,85 | 75,13 | 74,19 | 75,12 | 75,00 | 74,92 | 74,88 | 74,80 |
| 5 | 74,42 | 76,16 | 75,19 | 75,44 | 74,73 | 74,75 | 74,91 | 75,03 | 75,07 | 75,01 | 75,03 |
| 6 | 75,48 | 75,41 | 74,79 | 75,71 | 74,39 | 74,99 | 74,99 | 75,06 | 74,96 | 75,01 | 75,06 |
| 7 | 36,74 | 37,49 | 36,62 | 36,19 | 37,52 | 37,04 | 36,71 | 36,40 | 36,52 | 36,41 | 36,48 |
| 8 | 37,08 | 36,41 | 36,43 | 36,57 | 35,99 | 37,31 | 36,37 | 36,49 | 36,56 | 36,67 | 36,44 |
| 9 | 36,93 | 37,10 | 37,55 | 37,10 | 36,76 | 36,44 | 36,49 | 36,44 | 36,29 | 36,52 | 36,63 |




**Şekil 4.29:**20.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

**Tablo 4.38 (Devam):** 20.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı

| Xortalama | Hedef | Ortalama- Hedef | s |
|---|---|---|---|
| 75,06 | 75,00 | 0,06 | 0,23 |
| 75,06 | 75,00 | 0,06 | 0,56 |
| 75,01 | 75,00 | 0,01 | 0,29 |
| 74,90 | 75,00 | -0,10 | 0,30 |
| 75,07 | 75,00 | 0,07 | 0,45 |
| 75,08 | 75,00 | 0,08 | 0,36 |
| 36,74 | 36,50 | 0,24 | 0,44 |
| 36,58 | 36,50 | 0,08 | 0,35 |
| 36,75 | 36,50 | 0,25 | 0,38 |

S diyagramı için;

OÇ= (0,23+0,56+0,29+…+0,44+0,35+0,38) /9=0,37

AKL:0,321*0,37=0,12

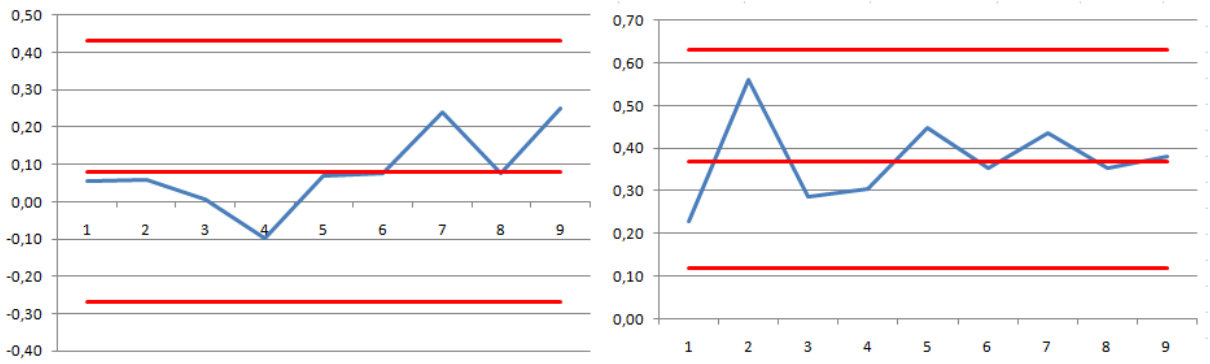
ÜKL:1,679*0,37=0,63

X diyagramı için;

OÇ= (0,06+0,06+0,01-0,10+…+0,24+0,08+0,25) /9=0,08

AKL:0,08-0,927*0,37=-0,27

ÜKL: 0,08+0,927*0,37=0,43




**Şekil 4.30:** 20.Süreç Kontrol Noktası X-s Diyagramı

**Tablo 4.39:**20.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri

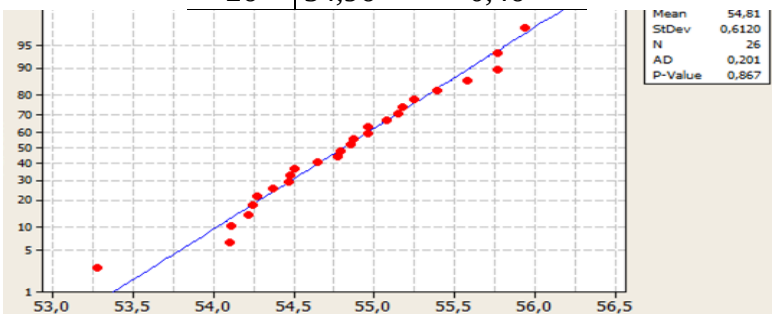
| Hedef Değer 75 | | Hedef Değer 36,5 | |
|---|---|---|---|
| Standart sapma | 0,37 | Standart sapma | 0,40 |
| ÜSL | 76,00 | ÜSL | 37,50 |
| ASL | 73,00 | ASL | 35,00 |
| Cp | 1,34 | Cp | 1,04 |
| Cpk | 0,89 | Cpk | 0,67 |

### 4.2.18.100. Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte tek tip ürün ve 1 alt örneklemden oluşan 26 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı klasik IX-MR kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.40:** 100.Süreç Kontrol Noktası

| | 1 | MR |
|---|---|---|
| 1 | 55,08 | - |
| 2 | 54,78 | 0,30 |
| 3 | 54,24 | 0,53 |
| 4 | 55,77 | 1,52 |
| 5 | 54,37 | 1,39 |
| 6 | 54,48 | 0,11 |
| 7 | 54,11 | 0,37 |
| 8 | 55,57 | 1,47 |
| 9 | 53,28 | 2,29 |
| 10 | 55,93 | 2,65 |
| 11 | 54,87 | 1,06 |
| 12 | 54,64 | 0,23 |
| 13 | 54,79 | 0,15 |
| 14 | 54,85 | 0,07 |
| 15 | 55,24 | 0,39 |
| 16 | 54,96 | 0,28 |
| 17 | 54,11 | 0,85 |
| 18 | 55,15 | 1,04 |
| 19 | 54,27 | 0,88 |
| 20 | 55,17 | 0,90 |
| 21 | 55,38 | 0,22 |
| 22 | 54,22 | 1,17 |
| 23 | 55,76 | 1,54 |
| 24 | 54,47 | 1,29 |
| 25 | 54,50 | 0,03 |
| 26 | 54,96 | 0,46 |




**Şekil 4.31**: 100.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

MR diyagramı için;

OÇ:(0,30+0,53+1,52+1,39+0,11+…+1,17+ 1,54+1,29+0,03+0,46) /26=0,85

AKL:0

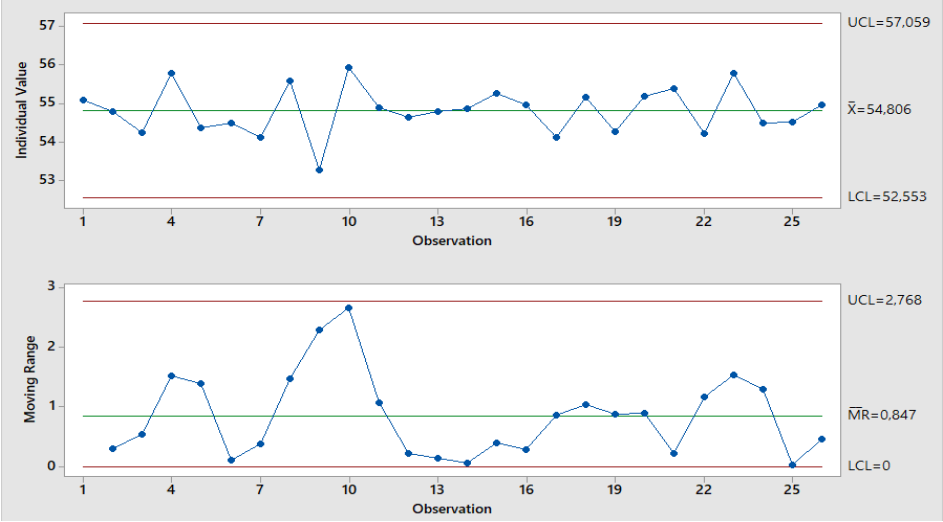
ÜKL:3,267*0,85=2,77

IX diyagramı için;

OÇ: (55,08+54,78+54,24+55,77+54,37+54,48+55,76+…+54,47+ 54,50+54,96)/26=54,81

AKL:54,81-2,66*0,85=52,55

ÜKL: 54,81+2,66*0,85=57,059

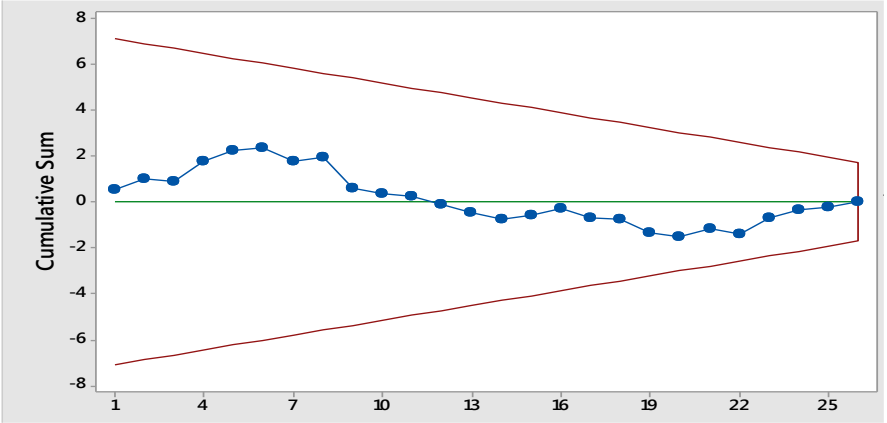



**Şekil 4.32:** 100.Süreç Kontrol Noktası Klasik IX-MR Süreç Kontrol Diyagramı

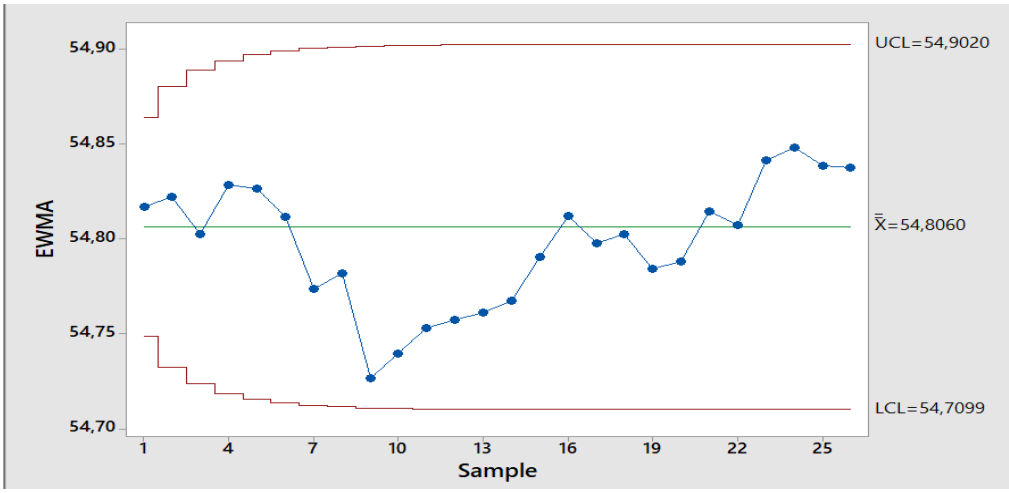
**Tablo 4.41:**100 Süreç Kontrol Noktası için Cp ve Cpk Değerleri

| Hedef Değer 100 | |
|---|---|
| Standart sapma | 0,75 |
| ÜSL | 57,00 |
| ASL | 52,00 |
| Cp | 1,11 |
| Cpk | 0,97 |

Klasik IX-MR diyagramlarında kayma miktarları küçük olduğundan dolayı bu grafikleri karşılaştırmak amacı ile CUSUM ve EWMA analizlerinin yapılması sonucun doğruluğunu test etmek için kullanılabilir. Bu veri setine CUSUM ve EWMA testi Minitab programı kullanılarak uygulanmıştır.




**Şekil 4.33:** CUSUM Diyagramı



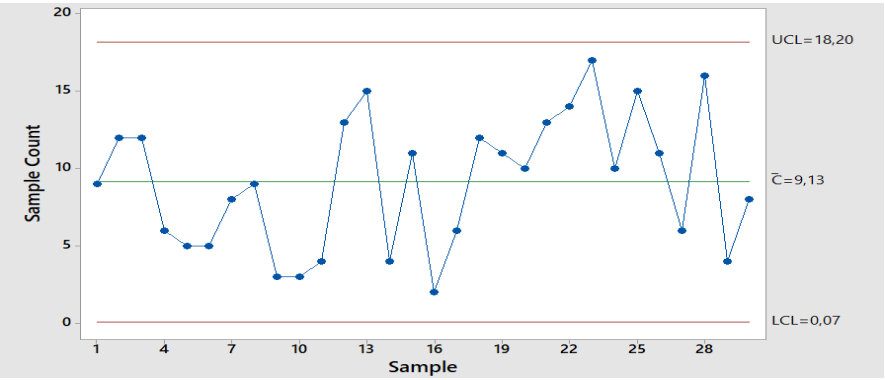

**Şekil 4.34:** EWMA Diyagramı

### 4.2.19.53.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülemeyen özelliğe sahiptir. Bu süreçte tek tip ürün oluşan 30 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı klasik c kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.42:** 53.Süreç Kontrol Noktası

| Tarih | c |
|---|---|
| 1/1 | 9 |
| 15/1 | 12 |
| 25/1 | 12 |
| 1/2 | 6 |
| 10/2 | 5 |
| 25/2 | 5 |
| 1/3 | 8 |
| 15/3 | 9 |
| 25/3 | 3 |
| 1/4 | 3 |
| 15/4 | 4 |
| 25/4 | 13 |
| 1/5 | 15 |
| 15/5 | 4 |
| 25/5 | 11 |
| 1/6 | 2 |
| 15/6 | 6 |
| 25/6 | 12 |
| 1/7 | 11 |
| 15/7 | 10 |
| 25/7 | 13 |
| 1/8 | 14 |
| 15/8 | 17 |
| 25/8 | 10 |
| 1/9 | 15 |
| 15/9 | 11 |
| 25/9 | 6 |
| 1/10 | 16 |
| 15/10 | 4 |
| 25/10 | 8 |




**Şekil 4.35:** 53.Süreç Kontrol Diyagramı için c Diyagramı

**Tablo 4.43:** Ppk Değeri

| Ppk Değeri | |
|---|---|
| Dpu | 0,23 (274/1200) |
| 1-Dpu | 0,77 |
| Z | 0,74 |
| z+1,5 | 2,24 |
| Ppk | 0,74 |

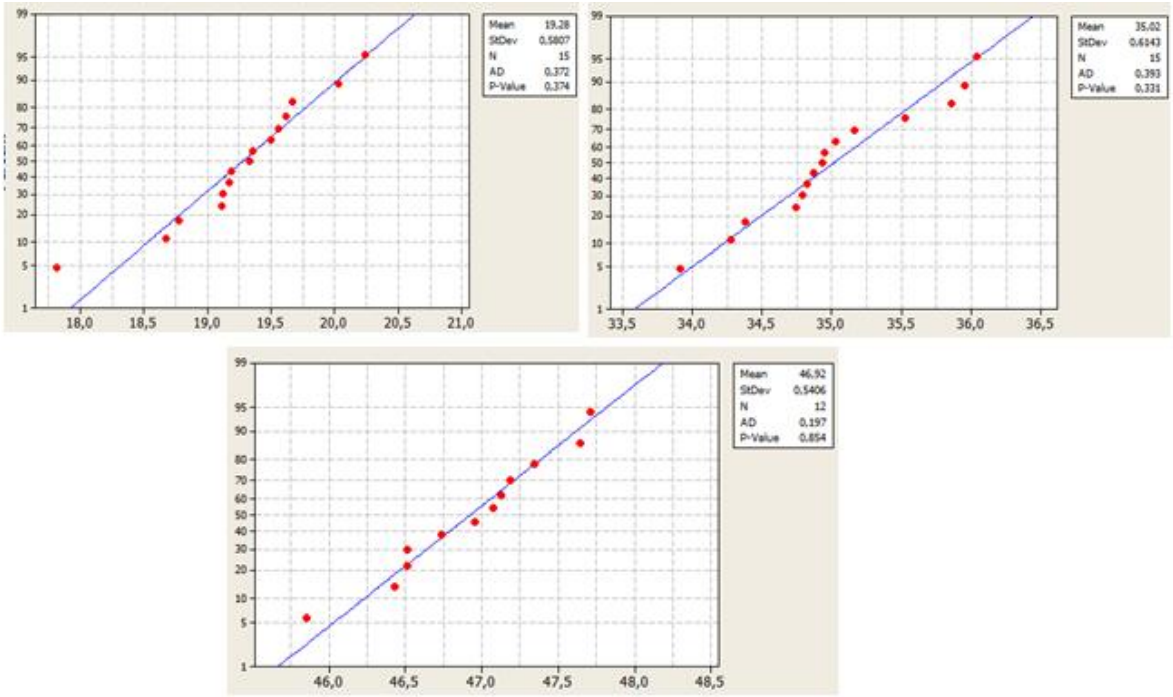
Toplam alınan alt örneklem 1200.

### 4.2.20.30.Kritik Süreç Kontrol Noktası

Bu noktada üretilen ürün ölçülebilir özelliğe sahiptir. Bu süreçte aynı ürüne ait farklı özelliklere sahip 3 tip ürün ve 3 alt örneklemden oluşan 14 veri mevcuttur. Montgomery karar ağacına göre, bu özelliklere sahip veriler için en doğru süreç kontrol diyagramı küçük partili X-R kontrol diyagramıdır.

**Tablo 4.44:** 30.Süreç Kontrol Noktası X-R Diyagramı

| Sıra | X1 | X2 | X3 | Xortalama | Hedef | Ortalama- Hedef | Aralık |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 19,114 | 20,032 | 19,354 | 19,50 | 19,00 | 0,50 | 0,92 |
| 2 | 19,501 | 19,191 | 19,331 | 19,34 | 19,00 | 0,34 | 0,31 |
| 3 | 19,175 | 20,243 | 19,556 | 19,66 | 19,00 | 0,66 | 1,07 |
| 4 | 19,617 | 18,776 | 19,668 | 19,35 | 19,00 | 0,35 | 0,89 |
| 5 | 19,118 | 17,817 | 18,676 | 18,54 | 19,00 | -0,46 | 1,30 |
| 6 | 36,040 | 35,953 | 34,382 | 35,46 | 35,00 | 0,46 | 1,66 |
| 7 | 34,936 | 33,911 | 35,027 | 34,62 | 35,00 | -0,38 | 1,12 |
| 8 | 34,820 | 34,742 | 34,868 | 34,81 | 35,00 | -0,19 | 0,13 |
| 9 | 34,790 | 35,861 | 34,280 | 34,98 | 35,00 | -0,02 | 1,58 |
| 10 | 34,951 | 35,527 | 35,160 | 35,21 | 35,00 | 0,21 | 0,58 |
| 11 | 45,850 | 46,740 | 47,341 | 46,64 | 47,00 | -0,36 | 1,49 |
| 12 | 46,510 | 47,076 | 47,714 | 47,10 | 47,00 | 0,10 | 1,20 |
| 13 | 47,643 | 47,126 | 46,433 | 47,07 | 47,00 | 0,07 | 1,21 |
| 14 | 47,188 | 46,957 | 46,515 | 46,89 | 47,00 | -0,11 | 0,67 |




**Şekil 4.36:** 30.Süreç Kontrol Noktası için Normallik Testi

R diyagramı için;

OÇ=(0,92+0,31+1,07+0,89+1,30+1,66+1,12+0,13+1,58+0,58+1,49+1,20+1,21+0,67)/14=1,0

AKL=0

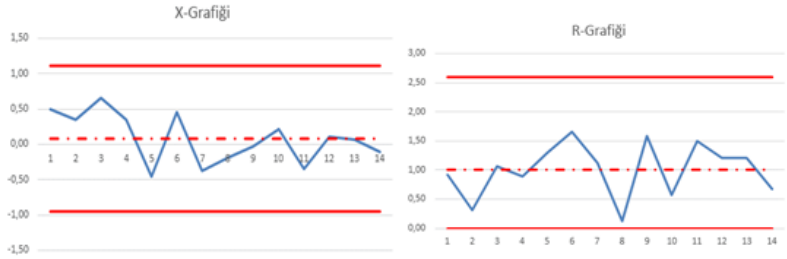
ÜKL=2,574*1,01=2,6

X diyagramı için;

OÇ: (0,50+0,34+0,66+0,35-0,46+0,46-0,38-0,19-0,02+0,21-0,36+0,10+0,07-0,11) /14=0,08

AKL=0,08-1,023*1,01=0,95

ÜKL=0,08+1,023*1,01=1,115




**Şekil 4.37:** 30.Süreç Kontrol Noktasına ait X-R Diyagramı

**Tablo 4.45:** 30.Süreç Kontrol Noktası Cp ve Cpk Değerleri

| Hedef Değer 19 | | Hedef Değer 35 | | Hedef Değer 47 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Standart sapma | 0,53 | Standart sapma | 0,60 | Standart sapma | 0,68 |
| ÜSL | 21,0 | ÜSL | 37,0 | ÜSL | 49,0 |
| ASL | 17,0 | ASL | 33,0 | ASL | 45,0 |
| Cp | 1,26 | Cp | 1,12 | Cp | 1,00 |
| Cpk | 1,08 | Cpk | 1,12 | Cpk | 0,94 |

# 5. SONUÇLAR

İşletmelerin amacı müşteri memnuniyetini ve rekabet gücünü arttırmaktır. Bu amacı gerçekleştirmenin en temel yolu üretim maliyetlerini minimize etmek ve ürünlerinin kalitesini arttırmaktır. Maliyetleri düşürmek için üretimde meydana gelebilecek ekstra faaliyetlerin (yeniden işleme vb.) engellenmesi son derece önemlidir. Bu yüzden, istatistiksel süreç kontrolü diyagramları, süreçlerde istenilen kalite karakteristiğine ait ürünlerin üretilip üretilemediğini kontrol etmek için kullanılır.

Shewhart klasik süreç kontrol diyagramları, üretimde yer alan süreçlerin kontrol altında olup olmadığını tespit etmek için kullanılır. Bu diyagramlar için en az 25 veri alınması gerekir. Ancak bu kadar veriyi toplamak her zaman mümkün olmayabilir. 25 verinin elde edilemediği süreçler için klasik süreç kontrol diyagramları uygulandığında çıkan sonuç doğru olmayabilir. Bu yüzden, az verinin olduğu süreçler için kısa dönemli süreç kontrol diyagramlarının kullanılması önerilmemektedir.

Bir işletmede çok sayıda süreç ve kalite kontrol noktası bulunmaktadır.Bu noktalarda tam kontrol gerçekleştirilmesi uygulamada zaman ve maliyet dikkate alındığında kabul edilebilir değildir.İşletmeler mevcut kaynakları (insan,ekipman vb.) ile önemli olan noktalarda süreç kontrollerini gerçekleştirmelidir.Yapılan çalışma ile ilk önce en kritik noktalar tespit edilmiş ve önceliklendirilmiştir.

Süreç kontrol noktalarında uygulanabilen çok sayıda kontrol diyagramları mevcuttur.Bu kontrol diyagramların ne zaman ve hangi süreçlerde kullanılması gerektiğine karar vermek işletmelerde karmaşıklığa neden olmaktadır.Yapılan çalışmada hangi süreç kontrol noktasında hangi kontrol diyagramının kullanılması gerektiğine yönelik Montgomery seçim kriterini kullanan FMEA tabanlı süreç karar modeli ortaya konulmuştur. Üretim şeklini(seri-küçük partili),ölçülebilir-ölçülemeyen verileri,altörneklem hacmini dikkate alarak süreçlerde otokorelasyon ilişkisinin bulunmadığı Montgomery seçim kriteri kullanılmıştır.

Son olarak süreçlerde süreç performans analizi gerçekliştirilerek süreçlerin yeterli olup olmadığı kontrol edilir.Sürecin bir iyileştirmeye ihtiyacı olup olmadığı bu çalışma ile ortaya konulmaktadır ve doğru noktalarda iyileştirme faaliyetlerinin başlanmasını sağlamaktadır.Bu durum müşteri,işletme, zaman ve maliyet açısından bir katma değer sağlamaktadır.Bu tez kapsamında hem klasik hem de küçük partili süreç kontrol diyagramları uygulanmıştır. Kontrol dışında kalan süreçler için süreç iyileştirme faaliyetlerinin yapılması önerilmektedir.

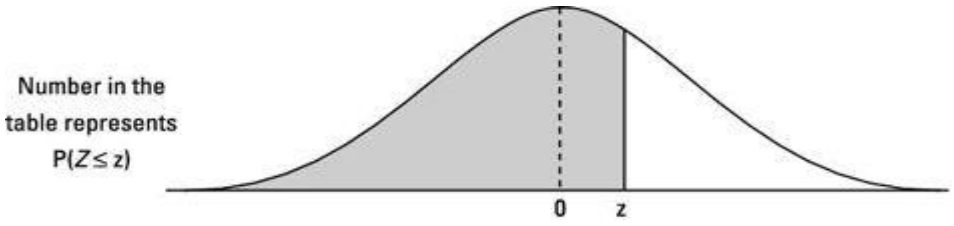
Kısa dönemli süreç kontrol diyagramları için bu tez haricinde farklı diyagramlarda mevcuttur. Gelecek çalışmalar kapsamında Q diyagramları, Z-MR diyagramları,Zed diyagramları ve $\bar{Z}$ diyagramları üzerine de çalışmalar yapılabilir. Bunun dışında yapay zeka özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme kullanılarak en uygun kontrol diyagramlarının seçilip uygulanması üzerine çalışmalar gerçekleştirilebilir.

# EKLER

**EK 1.**İstatistiksel Kontrol Diyagramları için Kullanılan Sabitler

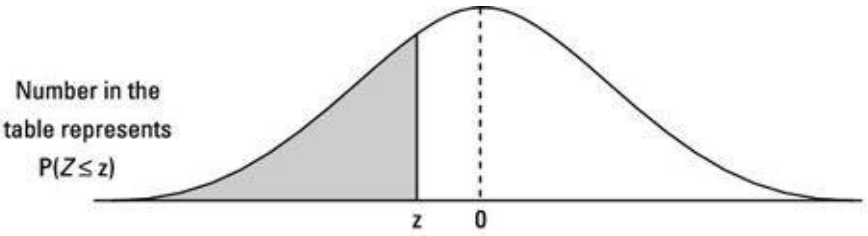
| Sample Size = m | $A_2$ | $A_3$ | $d_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $B_3$ | $B_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.880 | 2.659 | 1.128 | 0 | 3.267 | 0 | 3.267 |
| 3 | 1.023 | 1.954 | 1.693 | 0 | 2.574 | 0 | 2.568 |
| 4 | 0.729 | 1.628 | 2.059 | 0 | 2.282 | 0 | 2.266 |
| 5 | 0.577 | 1.427 | 2.326 | 0 | 2.114 | 0 | 2.089 |
| 6 | 0.483 | 1.287 | 2.534 | 0 | 2.004 | 0.030 | 1.970 |
| 7 | 0.419 | 1.182 | 2.704 | 0.076 | 1.924 | 0.118 | 1.882 |
| 8 | 0.373 | 1.099 | 2.847 | 0.136 | 1.864 | 0.185 | 1.815 |
| 9 | 0.337 | 1.032 | 2.970 | 0.184 | 1.816 | 0.239 | 1.761 |
| 10 | 0.308 | 0.975 | 3.078 | 0.223 | 1.777 | 0.284 | 1.716 |
| 11 | 0.285 | 0.927 | 3.173 | 0.256 | 1.744 | 0.321 | 1.679 |
| 12 | 0.266 | 0.886 | 3.258 | 0.283 | 1.717 | 0.354 | 1.646 |
| 13 | 0.249 | 0.850 | 3.336 | 0.307 | 1.693 | 0.382 | 1.618 |
| 14 | 0.235 | 0.817 | 3.407 | 0.328 | 1.672 | 0.406 | 1.594 |
| 15 | 0.223 | 0.789 | 3.472 | 0.347 | 1.653 | 0.428 | 1.572 |
| 16 | 0.212 | 0.763 | 3.532 | 0.363 | 1.637 | 0.448 | 1.552 |
| 17 | 0.203 | 0.739 | 3.588 | 0.378 | 1.622 | 0.466 | 1.534 |
| 18 | 0.194 | 0.718 | 3.640 | 0.391 | 1.608 | 0.482 | 1.518 |
| 19 | 0.187 | 0.698 | 3.689 | 0.403 | 1.597 | 0.497 | 1.503 |
| 20 | 0.180 | 0.680 | 3.735 | 0.415 | 1.585 | 0.510 | 1.490 |
| 21 | 0.173 | 0.663 | 3.778 | 0.425 | 1.575 | 0.523 | 1.477 |
| 22 | 0.167 | 0.647 | 3.819 | 0.434 | 1.566 | 0.534 | 1.466 |
| 23 | 0.162 | 0.633 | 3.858 | 0.443 | 1.557 | 0.545 | 1.455 |
| 24 | 0.157 | 0.619 | 3.895 | 0.451 | 1.548 | 0.555 | 1.445 |
| 25 | 0.153 | 0.606 | 3.931 | 0.459 | 1.541 | 0.565 | 1.435 |

**EK2.** Z tablosu




| z | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 | .5000 | .5040 | .5080 | .5120 | .5160 | .5199 | .5239 | .5279 | .5319 | .5359 |
| 0.1 | .5398 | .5438 | .5478 | .5517 | .5557 | .5596 | .5636 | .5675 | .5714 | .5753 |
| 0.2 | .5793 | .5832 | .5871 | .5910 | .5948 | .5987 | .6026 | .6064 | .6103 | .6141 |
| 0.3 | .6179 | .6217 | .6255 | .6293 | .6331 | .6368 | .6406 | .6443 | .6480 | .6517 |
| 0.4 | .6554 | .6591 | .6628 | .6664 | .6700 | .6736 | .6772 | .6808 | .6844 | .6879 |
| 0.5 | .6915 | .6950 | .6985 | .7019 | .7054 | .7088 | .7123 | .7157 | .7190 | .7224 |
| 0.6 | .7257 | .7291 | .7324 | .7357 | .7389 | .7422 | .7454 | .7486 | .7517 | .7549 |
| 0.7 | .7580 | .7611 | .7642 | .7673 | .7704 | .7734 | .7764 | .7794 | .7823 | .7852 |
| 0.8 | .7881 | .7910 | .7939 | .7967 | .7995 | .8023 | .8051 | .8078 | .8106 | .8133 |
| 0.9 | .8159 | .8186 | .8212 | .8238 | .8264 | .8289 | .8315 | .8340 | .8365 | .8389 |
| 1.0 | .8413 | .8438 | .8461 | .8485 | .8508 | .8531 | .8554 | .8577 | .8599 | .8621 |
| 1.1 | .8643 | .8665 | .8686 | .8708 | .8729 | .8749 | .8770 | .8790 | .8810 | .8830 |
| 1.2 | .8849 | .8869 | .8888 | .8907 | .8925 | .8944 | .8962 | .8980 | .8997 | .9015 |
| 1.3 | .9032 | .9049 | .9066 | .9082 | .9099 | .9115 | .9131 | .9147 | .9162 | .9177 |
| 1.4 | .9192 | .9207 | .9222 | .9236 | .9251 | .9265 | .9279 | .9292 | .9306 | .9319 |
| 1.5 | .9332 | .9345 | .9357 | .9370 | .9382 | .9394 | .9406 | .9418 | .9429 | .9441 |
| 1.6 | .9452 | .9463 | .9474 | .9484 | .9495 | .9505 | .9515 | .9525 | .9535 | .9545 |
| 1.7 | .9554 | .9564 | .9573 | .9582 | .9591 | .9599 | .9608 | .9616 | .9625 | .9633 |
| 1.8 | .9641 | .9649 | .9656 | .9664 | .9671 | .9678 | .9686 | .9693 | .9699 | .9706 |
| 1.9 | .9713 | .9719 | .9726 | .9732 | .9738 | .9744 | .9750 | .9756 | .9761 | .9767 |
| 2.0 | .9772 | .9778 | .9783 | .9788 | .9793 | .9798 | .9803 | .9808 | .9812 | .9817 |
| 2.1 | .9821 | .9826 | .9830 | .9834 | .9838 | .9842 | .9846 | .9850 | .9854 | .9857 |
| 2.2 | .9861 | .9864 | .9868 | .9871 | .9875 | .9878 | .9881 | .9884 | .9887 | .9890 |
| 2.3 | .9893 | .9896 | .9898 | .9901 | .9904 | .9906 | .9909 | .9911 | .9913 | .9916 |
| 2.4 | .9918 | .9920 | .9922 | .9925 | .9927 | .9929 | .9931 | .9932 | .9934 | .9936 |
| 2.5 | .9938 | .9940 | .9941 | .9943 | .9945 | .9946 | .9948 | .9949 | .9951 | .9952 |
| 2.6 | .9953 | .9955 | .9956 | .9957 | .9959 | .9960 | .9961 | .9962 | .9963 | .9964 |
| 2.7 | .9965 | .9966 | .9967 | .9968 | .9969 | .9970 | .9971 | .9972 | .9973 | .9974 |
| 2.8 | .9974 | .9975 | .9976 | .9977 | .9977 | .9978 | .9979 | .9979 | .9980 | .9981 |
| 2.9 | .9981 | .9982 | .9982 | .9983 | .9984 | .9984 | .9985 | .9985 | .9986 | .9986 |
| 3.0 | .9987 | .9987 | .9987 | .9988 | .9988 | .9989 | .9989 | .9989 | .9990 | .9990 |
| 3.1 | .9990 | .9991 | .9991 | .9991 | .9992 | .9992 | .9992 | .9992 | .9993 | .9993 |
| 3.2 | .9993 | .9993 | .9994 | .9994 | .9994 | .9994 | .9994 | .9995 | .9995 | .9995 |
| 3.3 | .9995 | .9995 | .9995 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9997 |
| 3.4 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9998 |

**EK 3.**Z tablosu




| z | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **–3.6** | .0002 | .0002 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 |
| **–3.5** | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 |
| **–3.4** | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0002 |
| **–3.3** | .0005 | .0005 | .0005 | .0004 | .0004 | .0004 | .0004 | .0004 | .0004 | .0003 |
| **–3.2** | .0007 | .0007 | .0006 | .0006 | .0006 | .0006 | .0006 | .0005 | .0005 | .0005 |
| **–3.1** | .0010 | .0009 | .0009 | .0009 | .0008 | .0008 | .0008 | .0008 | .0007 | .0007 |
| **–3.0** | .0013 | .0013 | .0013 | .0012 | .0012 | .0011 | .0011 | .0011 | .0010 | .0010 |
| **–2.9** | .0019 | .0018 | .0018 | .0017 | .0016 | .0016 | .0015 | .0015 | .0014 | .0014 |
| **–2.8** | .0026 | .0025 | .0024 | .0023 | .0023 | .0022 | .0021 | .0021 | .0020 | .0019 |
| **–2.7** | .0035 | .0034 | .0033 | .0032 | .0031 | .0030 | .0029 | .0028 | .0027 | .0026 |
| **–2.6** | .0047 | .0045 | .0044 | .0043 | .0041 | .0040 | .0039 | .0038 | .0037 | .0036 |
| **–2.5** | .0062 | .0060 | .0059 | .0057 | .0055 | .0054 | .0052 | .0051 | .0049 | .0048 |
| **–2.4** | .0082 | .0080 | .0078 | .0075 | .0073 | .0071 | .0069 | .0068 | .0066 | .0064 |
| **–2.3** | .0107 | .0104 | .0102 | .0099 | .0096 | .0094 | .0091 | .0089 | .0087 | .0084 |
| **–2.2** | .0139 | .0136 | .0132 | .0129 | .0125 | .0122 | .0119 | .0116 | .0113 | .0110 |
| **–2.1** | .0179 | .0174 | .0170 | .0166 | .0162 | .0158 | .0154 | .0150 | .0146 | .0143 |
| **–2.0** | .0228 | .0222 | .0217 | .0212 | .0207 | .0202 | .0197 | .0192 | .0188 | .0183 |
| **–1.9** | .0287 | .0281 | .0274 | .0268 | .0262 | .0256 | .0250 | .0244 | .0239 | .0233 |
| **–1.8** | .0359 | .0351 | .0344 | .0336 | .0329 | .0322 | .0314 | .0307 | .0301 | .0294 |
| **–1.7** | .0446 | .0436 | .0427 | .0418 | .0409 | .0401 | .0392 | .0384 | .0375 | .0367 |
| **–1.6** | .0548 | .0537 | .0526 | .0516 | .0505 | .0495 | .0485 | .0475 | .0465 | .0455 |
| **–1.5** | .0668 | .0655 | .0643 | .0630 | .0618 | .0606 | .0594 | .0582 | .0571 | .0559 |
| **–1.4** | .0808 | .0793 | .0778 | .0764 | .0749 | .0735 | .0721 | .0708 | .0694 | .0681 |
| **–1.3** | .0968 | .0951 | .0934 | .0918 | .0901 | .0885 | .0869 | .0853 | .0838 | .0823 |
| **–1.2** | .1151 | .1131 | .1112 | .1093 | .1075 | .1056 | .1038 | .1020 | .1003 | .0985 |
| **–1.1** | .1357 | .1335 | .1314 | .1292 | .1271 | .1251 | .1230 | .1210 | .1190 | .1170 |
| **–1.0** | .1587 | .1562 | .1539 | .1515 | .1492 | .1469 | .1446 | .1423 | .1401 | .1379 |
| **–0.9** | .1841 | .1814 | .1788 | .1762 | .1736 | .1711 | .1685 | .1660 | .1635 | .1611 |
| **–0.8** | .2119 | .2090 | .2061 | .2033 | .2005 | .1977 | .1949 | .1922 | .1894 | .1867 |
| **–0.7** | .2420 | .2389 | .2358 | .2327 | .2296 | .2266 | .2236 | .2206 | .2177 | .2148 |
| **–0.6** | .2743 | .2709 | .2676 | .2643 | .2611 | .2578 | .2546 | .2514 | .2483 | .2451 |
| **–0.5** | .3085 | .3050 | .3015 | .2981 | .2946 | .2912 | .2877 | .2843 | .2810 | .2776 |
| **–0.4** | .3446 | .3409 | .3372 | .3336 | .3300 | .3264 | .3228 | .3192 | .3156 | .3121 |
| **–0.3** | .3821 | .3783 | .3745 | .3707 | .3669 | .3632 | .3594 | .3557 | .3520 | .3483 |
| **–0.2** | .4207 | .4168 | .4129 | .4090 | .4052 | .4013 | .3974 | .3936 | .3897 | .3859 |

**KAYNAKLAR**

Akgül, E.(2014).Süreç Kontrol Diyagramlarının Gaz Armatürleri İmalatında Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Baray, Ş. Alp(2008). Üretimde Varyasyon İstatistiksel Yaklaşım.İstanbul:Çağlayan Kitabevi.

Baysal,M.E,Canıyılmaz,E.,Eren,T.(2002).Otomotiv Yan Sanayinde Hata Türü ve Etkileri Analizi,Teknoloji, Yıl5,Sayı 1-2,83-90.

Celano, G., Castagliola, P., Trovato, E., &Fichera, S. (2011). Shewhart And EWMA,T Control Charts For Monitoring Short Production Runs. Quality And Reliability Engineering International, 27(3), 313–326

E. D. Castillo And D. C. Montgomery(1994). "Short Run Statistical Process Control: Q-Chart Enhancements And Alternative Methods" Quality And Reliability Engineering International, Vol. 10, No. 2, Pp. 87-97.

Elevli,S.(2020),End 304 Kalite Kontrol [PDF Belgesi].Erişim Adresi: Https://Personel.Omu.Edu.Tr/Docs/Ders_Dokumanlari/9529_14889_1535.Pdf.

Griffith,G.K.(1996):Statistical Process Control Methods For Long And Short Runs,2nd Ed., ASQC Quality Press.

Hamrol, A. (2009). *Zarządzanie jakością z przykładami*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

Hawkins. TI. M. (1987). "Self-Starting CUSUM Charts For Location And Scale," The Statistician. 36, 299-315.

Hawkins, D. M., And Zamba, K. D. (2005), "A Change Point Model for a Shift in Variance," Journal Of Quality Technology, 37, 21–31.

Hillier, F.S., (1964). Chart Control Limits Based On a Small Number Of Subgroups. Industrial Quality Control 20 (8), 24–29.

Hillier, F.S, (1967). Small Sample Probability Limits for the Range Chart. Journal of the American Statistical Association 62, 1488–1493.

Hillier, F.S., (1969). X-Bar And R Chart Control Limits Based On a Small Number of Subgroups. Journal of Quality Technology 1 (1), 17–26.

Koh, C.K., Chin, J.F. & Kamaruddin,(2018). S. Modified Short-Run Statistical Process Control for Test and Measurement Process. Int J Adv Manuf Technol 100, 1531–1548.

Marques PA, Cardeira CB, Paranhos P, Ribeiro S, Gouveia H (2015) Selection of the Most Suitable Statistical Process Control Approach For Short Production Runs: A Decision-Model. Int J Inform Educ Technol 5(4):303–310.

Montgomery, D.C. (2009). Introduction To Statistical Quality Control, 6th Edition. United States of America, New York, John Wiley and Sons.

M. Aminnayeri, E. A. Torkamani, M. Davodi, And M. Ramtin(2010) "Short-Run Process Control Based on Non-Conformity Degree" in Proc. World Congress in Engineering. Vol. 3, London, UK, Pp. 2273-2276.

Nelson, L. S. (1984). "The Shewhart Control Chart-Tests For Special Causes"". Journal of Quality Technology: Vol. 16, No. 4, Pp. 237-239.

Pedro A. Marques, Carlos B. Cardeira, Paula Paranhos, Sousa Ribeiro, And Helena Gouveia(2015).Selection of the Most Suitable Statistical Process Control Approach for Short Production Runs: a Decision-Model,International Journal of Information and Education Technology.Vol. 5, No. 4.

Sönmez,Y.,Ünğan M.C.,(2017),' Hata Türü Etkileri Analizi ve Otomotiv Parçaları Üretiminde Bir Uygulama',İşletme Bilimi Dergisi (JOBS), 5(2): 217-245.

Teoh WL, Chuah SK, Khoo MBC, Castagliola P, Yeong WC (2017) Optimal Designs of the Synthetic t Chart With Estimated Process Mean. Comput Ind Eng 112:409–425

Trovato ,E.Castagliola ,P. Celano, G. Fichera,S(2010). Economic Design Of İnspection Strategiest Monitor Dispersion İn Short Production Runs ,Computers&Industrial Engineering 59,887–897.

Quesenberry, C.P.(1991). SPC Q Charts For Start-Up Processes And Shortor Long Runs. Journal Of Quality Technology 23 (3), 213–224.

Yang, C.H., Hillier, F.S.(1970). Mean And Variance Chart Control Limits Based On A Small Number of Subgroups. Journal of Quality Technology 2 (1), 916–926.

Wheeler, D. J. (1991). Short Run SPC, SPC Press, Knoxville, Tennessee.

Wise,S.A. Ve Fair,D.C. (1998):İnnovative Control Charting–Practical SPC Solutions for Today's Manufacturing Environment,ASQ Quality Press.

Zhou X, Govindaraju K, Jones G (2017) Monitoring Fractional Nonconformance for Short-Run Production. Qual Eng. https://doi.org/10.1080/08982112.2017.1360499