

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ: BİR HASTANE  
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hafize YILMAZ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2012**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ: BİR HASTANE  
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hafize YILMAZ  
507091161**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Endüstri Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN**

**HAZİRAN 2012**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507091161 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hafize YILMAZ** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ: BİR HASTANE UYGULAMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Sıtkı GÖZLÜ**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Umut ASAN**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **4 Mayıs 2012**

**Savunma Tarihi :**      **6 Haziran 2012**



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, bir devlet hastanesindeki müşteri memnuniyeti düzeyi ve yoğun bakım bölümünün performansını görüntülemek için çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolü teknikleri uygulanmıştır.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana destek olan ve yol gösteren danışman hocam Sayın Cengiz Kahraman'a çok teşekkür ederim. Tez yazma deneyimini paylaşarak yardımcı olan ve manevi destek veren Sait Gül'e, Seçil Ercan'a ve hayatımın her döneminde bana destek vererek yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez benim için akademik yaşama attığım ilk adım olarak büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmaların gelecekte bu konu ile ilgili yapılacak çalışmalarda yol gösterici olmasını temenni ederim.

Mayıs 2012

Hafize YILMAZ  
Endüstri Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Akış Diyagramı.....	5
2.2 Sebep - Sonuç Diyagramı.....	6
2.3 Kontrol Listeleri.....	7
2.4 Histogram.....	7
2.5 Pareto Diyagramı.....	8
2.6 Serpme Diyagramı.....	8
2.7 Kontrol Grafikleri.....	9
2.7.1 Ortalama çalışma uzunluğu (ARL).....	10
<b>3. TEK DEĞİŞKENLİ SÜREÇ KONTROLÜ.....</b>	<b>11</b>
3.1 Niceliksel Ölçüler İçin Kontrol Grafikleri.....	13
3.1.1 $\bar{X} - R$ kontrol grafikleri.....	14
3.1.2 $\bar{X} - s$ kontrol grafikleri.....	15
3.1.3 Birimler kontrol grafiği.....	16
3.1.4 Hareketli ortalamalar kontrol grafiği.....	17
3.2 Niteliksel Ölçüler İçin Kontrol Grafikleri.....	17
3.2.1 Kusurlu oranı (p) kontrol grafiği.....	18
3.2.2 Kusurlu birim sayısı (np) kontrol grafiği.....	19
3.2.3 Kusur sayısı (c) kontrol grafiği.....	19
3.2.4 Birim için kusur sayısı (u) kontrol grafiği.....	20
3.3 Süreçteki Küçük Kaymalar İçin Kontrol Grafikleri.....	21
3.3.1 Birikimli toplam (CUSUM) kontrol grafikleri.....	21
3.3.2 Üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (EWMA) kontrol grafikleri... 21	
<b>4. ÇOK DEĞİŞKENLİ SÜREÇ KONTROLÜ.....</b>	<b>23</b>
4.1 Çok Değişkenli Veriyi Tanımlama.....	26
4.1.1 Çok değişkenli normal dağılım.....	26
4.1.2 Örnek ortalama vektörü ve kovaryans matrisi.....	27
4.2 Çok Değişkenli Kontrol Grafikleri.....	28
4.2.1 Hotelling $T^2$ kontrol grafiği.....	28
4.2.1.1 $T^2$ dağılım özellikleri.....	28
4.2.1.2 Altörnekli veri.....	29
4.2.1.3 Tekli Gözlemler.....	33
4.2.2 Çok değişkenli EWMA kontrol grafiği.....	34

4.2.3 Çok değişkenli birikimli toplam (MCUSUM) kontrol grafiği.....	35
4.2.4 Regresyon düzenlemesi.....	36
4.2.5 Değişkenliği görüntüleyen kontrol grafikleri.....	37
4.2.6 Temel bileşenler kontrol grafiği.....	38
4.3 Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Kontrol Dışı Sinyallerin Yorumlanması .....	39
4.3.1 Step-down uygulamaları .....	40
4.3.2 Grafikselsel teknikler.....	40
4.3.2.1 Yıldız diyagramları .....	41
4.3.2.2 Çok değişkenli profil grafikleri (MP).....	41
4.3.3 MYT ayrıştırması .....	41
4.4 T <sup>2</sup> Kontrol Grafiklerinde Varsayımların Sağlanması.....	43
4.4.1 Çok değişkenli normal dağılım varsayımı .....	43
4.4.1.1 Verilerin normalleştirilmesi .....	45
4.4.2 Örnek büyüklüğünün belirlenmesi .....	45
4.4.3 Gözlem değerlerinin bağımsızlık varsayımı .....	46
4.4.4 Kalite karakteristikleri arasında bağımsızlık ve doğrusallık varsayımı ....	46
4.5 Süreç Yeterlilik Analizi.....	47
<b>5. ÇOK DEĞİŞKENLİ SÜREÇ KONTROLÜNDE DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>49</b>
<b>6. UYGULAMA .....</b>	<b>59</b>
6.1 Uygulamanın Amacı.....	59
6.2 Kalite Karakteristiklerinin Belirlenmesi.....	60
6.3 Kullanılan Yazılım: Qualstat.....	63
6.4 Geçmiş Veri Kümesinin Oluşturulması.....	65
6.4.1 Öncül veri .....	65
6.4.1.1 Potansiyel veri kalitesi problemleri.....	67
6.4.2 Çoklu doğrusallık probleminin kontrol edilmesi .....	72
6.4.3 Otokorelasyon probleminin kontrol edilmesi.....	74
6.5 Birinci Faz .....	77
6.6 İkinci Faz .....	80
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>91</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>93</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>99</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>115</b>

## KISALTMALAR

<b>ASQ</b>	: Amerikan Kalite Derneği
<b>MYT</b>	: Mason Young Tracy
<b>OÇ</b>	: Orta Çizgi
<b>ÜKL</b>	: Üst Kontrol Limiti
<b>AKL</b>	: Alt Kontrol Limiti
<b>ARL</b>	: Avarage Run Leght (Ortalama Çalışma Uzunluğu)
<b>MR</b>	: Moving Range (Hareketli Değişim Aralığı)
<b>CUSUM</b>	: Cumulative Sum (Birikimli Toplam)
<b>EWMA</b>	: Exponentially Weighted Moving Average (Üstel Ağırlıklandırılmış Hareketli Ortalama)
<b>MCUSUM</b>	: Multivariate Cumulative Sum (Çok Değişkenli Birikimli Toplam)
<b>MEWMA</b>	: Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (Çok Değişkenli Üstel Ağırlıklandırılmış Hareketli Ortalama)
<b>ARIMA</b>	: Autoregressive Integrated Moving Average (Birleştireilmiş Otoregresif Hareketli Ortalama)
<b>QFD</b>	: Quality Function Deployment (Kalite Fonksiyon Göçerimi)
<b>PCA</b>	: Principal Component Analysis (Temel Bileşenler Analizi)
<b>GLR</b>	: Generalized Likelihood Ratio (Genelleştirilmiş Olabilirlik Oranı)



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Bir kontrol listesi örneği.....	7
<b>Çizelge 3.1</b> : Uygulama çeşidine göre sınıflandırılan kontrol grafikleri. ....	13
<b>Çizelge 3.2</b> : Veri tipine göre kontrol grafikleri .....	13
<b>Çizelge 6.1</b> : İncelenen çalışmalarda sağlık sektöründe performans görüntülemeye kullanılan kalite karakteristikleri.....	61
<b>Çizelge 6.2</b> : Hasta memnuniyeti ve kalış süresine ilişkin açıklayıcı istatistikler .....	65
<b>Çizelge 6.3</b> : Hasta memnuniyeti ve kalış süresine ilişkin varyans/kovaryans matrisi	65
<b>Çizelge 6.4</b> : Hasta memnuniyeti ve kalış süresine ilişkin korelasyon matrisi.....	65
<b>Çizelge 6.5</b> : Değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı.....	66
<b>Çizelge 6.6</b> : Yoğun bakım için belirlenen kalite karakteristiklerine ilişkin açıklayıcı istatistikler.....	66
<b>Çizelge 6.7</b> : Yoğun bakım için belirlenen kalite karakteristiklerine ilişkin varyans/kovaryans matrisi .....	66
<b>Çizelge 6.8</b> : Yoğun bakım için belirlenen kalite karakteristiklerine ilişkin korelasyon matrisi .....	67
<b>Çizelge 6.9</b> : Yoğun bakım kalite karakteristikleri arasındaki anlamlı korelasyon katsayıları .....	67
<b>Çizelge 6.10</b> : Hasta memnuniyeti ve kalış süresi için yapılan Shapiro Wilks' ve Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testlerinin sonuçları .....	69
<b>Çizelge 6.11</b> : Yoğun bakım kalite karakteristikleri için yapılan Shapiro Wilks' ve Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testlerinin sonuçları .....	70
<b>Çizelge 6.12</b> : Düzenlenmiş yoğun bakım kalite karakteristikleri için yapılan Shapiro Wilks' ve Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testlerinin sonuçları .....	71
<b>Çizelge 6.13</b> : Düzenlenmiş yoğun bakım kalite karakteristikleri için korelasyon matrisi .....	72
<b>Çizelge 6.14</b> : Düzenlenmiş yoğun bakım kalite karakteristikleri için varyans/kovaryans matrisi .....	72
<b>Çizelge 6.15</b> : Hasta memnuniyeti ve kalış süresi için yapılan temel bileşenler analizi .....	73
<b>Çizelge 6.16</b> : Hasta memnuniyeti ve kalış süresi için temel bileşenler .....	73
<b>Çizelge 6.17</b> : Yoğun bakım kalite karakteristiklerine ilişkin temel bileşenler analizi sonuçları.....	73
<b>Çizelge 6.18</b> : Yoğun bakım kalite karakteristikleri için temel bileşenler .....	74
<b>Çizelge 6.19</b> : Yoğun bakım temel bileşenleri için hesaplanan koşul indisleri .....	74
<b>Çizelge 6.20</b> : Yoğun bakım kalite karakteristiklerine ilişkin Mann-Kendall testi sonuçları .....	76
<b>Çizelge 6.21</b> : Aykırı değer atılmasının ardından yoğun bakım karakteristiklerine ilişkin korelasyon matrisi .....	80

<b>Çizelge 6.22</b> : 1. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	81
<b>Çizelge 6.23</b> : 14. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	82
<b>Çizelge 6.24</b> : 18. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	83
<b>Çizelge 6.25</b> : 22. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	83
<b>Çizelge 6.26</b> : 36. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	84
<b>Çizelge 6.27</b> : 37. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	84
<b>Çizelge 6.28</b> : 38. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	85
<b>Çizelge 6.29</b> : 42. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	86
<b>Çizelge 6.30</b> : 2. Gözlem için kısmi MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	87
<b>Çizelge 6.31</b> : 4. Gözlem için kısmi MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	87
<b>Çizelge 6.32</b> : 9. Gözlem için kısmi MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	88
<b>Çizelge 6.33</b> : 10. Gözlem için kısmi MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	88
<b>Çizelge 6.34</b> : 17. Gözlem için kısmi MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	89
<b>Çizelge 6.35</b> : 18. Gözlem için kısmi MYT ayrıştırması tablo sonucu.....	89

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Değişkenlik çeşitleri ve rassal değişkenliğin olası nedenleri. ....	3
Şekil 2.1 : Bir akış diyagramı örneği .....	6
Şekil 2.2 : Bir sebep-sonuç diyagramı örneği.....	6
Şekil 2.3 : Bir histogram örneği.....	7
Şekil 2.4 : Bir pareto diyagramı örneği .....	8
Şekil 2.5 : Bir serpmme diyagramı örneği.....	8
Şekil 2.6 : Bir kontrol grafiği örneği .....	9
Şekil 3.1 : Kontrol grafiği kullanarak süreç iyileştirme .....	12
Şekil 3.2 : Süreç kontrol diyagramlarının seçim kriterleri .....	12
Şekil 4.1 : $X_1$ ve $X_2$ için tek değişkenli kontrol grafikleri .....	24
Şekil 4.2 : $X_1$ ve $X_2$ için oluşturulan ortak grafik .....	24
Şekil 4.3 : $x_1$ ve $x_2$ rassal değişkenleri için kontrol elipsi.....	29
Şekil 4.4 : Korelasyon ve elipsler .....	30
Şekil 4.5 : Kontrol elipslerinin kullanımı .....	30
Şekil 4.6 : Gerilim dayanımı ve çap için oluşturulmuş Hotelling $T^2$ kontrol grafiği	33
Şekil 4.7 : Sırasıyla $T^2_{2,1}$ ve $T^2_{2,1}$ koşullu bileşenlerinin yorumu .....	43
Şekil 6.1 : Hasta memnuniyeti için normal olasılık grafiği .....	68
Şekil 6.2 : Kalış süresi için normal olasılık grafiği. ....	68
Şekil 6.3 : Yoğun bakım mortalite oranına ait normal olasılık grafiği.....	69
Şekil 6.4 : Yoğun bakım enfeksiyon hızına ait normal olasılık grafiği.....	69
Şekil 6.5 : Yoğun bakım tekrar yatış oranına ait normal olasılık grafiği .....	70
Şekil 6.6 : Cerrahi alan enfeksiyon hızına ait normal olasılık grafiği .....	70
Şekil 6.7 : Düzenlenmiş yoğun bakım mortalite oranına ait normal olasılık grafiği.	71
Şekil 6.8 : Düzenlenmiş yoğun bakım enfeksiyon hızına ait normal olasılık grafiği	71
Şekil 6.9 : Düzenlenmiş yoğun bakım tekrar yatış oranına ait normal olasılık grafiği	71
.....	71
Şekil 6.10 : Düzenlenmiş cerrahi alan enfeksiyon hızına ait normal olasılık grafiği	71
Şekil 6.11 : Hasta memnuniyeti için trend analizi.....	75
Şekil 6.12 : Hastanede kalış süresi için trend analizi.....	75
Şekil 6.13 : Yoğun bakım hasta ölüm oranı için trend analizi.....	75
Şekil 6.14 : Yoğun bakım enfeksiyon hızı için trend analizi.....	76
Şekil 6.15 : Yoğun bakım tekrar yatış oranı için trend analizi .....	76
Şekil 6.16 : Cerrahi enfeksiyon hızı için trend analizi.....	76
Şekil 6.17 : Hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresine ait Hotelling $T^2$	
kontrol grafiği.....	77
Şekil 6.18 : Hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresine ilişkin Q-Q grafiği.....	78
Şekil 6.19 : Yoğun bakım karakteristikelerine ait birinci faz Hotelling $T^2$ kontrol	
grafiği .....	79
Şekil 6.20 : Aykırı değer atıldıktan sonra yoğun bakım karakteristikelerine ait	
birinci faz Hotelling $T^2$ kontrol grafiği .....	79
Şekil 6.21 : Yoğun bakım karakteristikelerine ilişkin Q-Q grafiği .....	80

<b>Şekil 6.22</b> : Hasta memnuniyet ve hastanede kalış süresine ilişkin yeni alınmış gözlemlerle oluşturulmuş ikinci faz Hotelling $T^2$ kontrol grafiği .....	81
<b>Şekil 6.23</b> : 1. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	82
<b>Şekil 6.24</b> : 14. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	82
<b>Şekil 6.25</b> : 18. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	83
<b>Şekil 6.26</b> : 22. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	83
<b>Şekil 6.27</b> : 36. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	84
<b>Şekil 6.28</b> : 37. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	85
<b>Şekil 6.29</b> : 38. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	85
<b>Şekil 6.30</b> : 42. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	86
<b>Şekil 6.31</b> : Yoğun bakım karakteristiklerine ait ikinci faz $T^2$ kontrol grafiği .....	87
<b>Şekil 6.32</b> : 2. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	87
<b>Şekil 6.33</b> : 4. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	88
<b>Şekil 6.34</b> : 9. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	88
<b>Şekil 6.35</b> : 10. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	89
<b>Şekil 6.36</b> : 17. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	89
<b>Şekil 6.37</b> : 18. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.....	90

## ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ: BİR HASTANE UYGULAMASI

### ÖZET

Küreselleşen dünyada kalite, işletmelerin müşteri ihtiyaçlarına cevap vererek yoğun rekabet ortamında ayakta kalmalarına yardımcı olan en önemli faktörlerden biri olarak görülmektedir. Bununla birlikte kalite anlayışı, bugüne kadar genelde üretim işletmeleri için uygulanan bir çalışma iken günümüzde, giderek artan bir hızla hizmet işletmelerinde de kalite bilinci yerleşmeye ve işletmeler, hizmet kalitelerini arttırmanın yollarını aramaya başlamışlardır. Kalite, işletmelerin maliyetlerini düşürerek müşteri beklentilerini karşılamalarına yardımcı olmaktadır.

Sağlık sektörü için kalite, işletme (operasyon) maliyetlerin düşürülmesinin yanında sağlık hizmetinin doğası gereği insan hayatı ile doğrudan ilişkili olması bakımından özel bir öneme sahip olan sağlık sistemlerinin iyileştirilmesini de kapsamaktadır. Sağlık sektörünün en önemli kurumu olan hastanelerde hizmet kalitesinin arttırılması, önemi yeni anlaşılmaya başlanmış bir konudur. Kuşkusuz bu önemin nedeni, yapılacak bir hatanın veya süreçlerdeki bozulmaların doğrudan insan yaşamını tehlikeye sokabilecek olması ve aynı zamanda bir hizmet işletmesi olarak insanlarla sürekli etkileşim ve iletişim halinde olunmasıdır.

Son dönemde, hastanelerdeki süreçleri görüntülemek amacıyla yapılan tek değişkenli istatistiksel süreç kontrolü çalışmaları artış göstermektedir. Bununla birlikte, tek değişkenli istatistiksel süreç kontrolü için belirlenen kalite karakteristikleri, genellikle bu yöntemle dikkate alınmayan diğer bazı karakteristiklerle de ilişki halindedir ve bu ilişkiler ihmal edilerek yapılan analizler yanıltıcı sonuçlara neden olabilmektedir.

Bu araştırmanın amacı, hastaneler için belirlenen kalite karakteristiklerinin birbiri ile olan ilişkilerini göz önüne alarak hastanelerdeki hizmet performansını görüntülemek, diğer bir deyişle sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını denetlemek ve kontrol dışında ise buna neden olan kalite karakteristiklerini veya karakteristiklerini belirlemektir.

Bu çalışmada, bir devlet hastanesindeki müşteri memnuniyeti düzeyini ve yoğun bakım bölümünün performansını görüntülemek için çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolü tekniklerinden yararlanılmaktadır. Bu amaçla, Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği ve kontrol dışında olduğu belirlenen gözlemlerin nedenlerini ortaya çıkarmak için ise Mason-Young-Tracy (MYT) Ayrıştırması tekniği kullanılmaktadır.

Çalışma sonuçları incelendiğinde, çok değişkenli Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinin hastane performansını görüntülemeye başarılı bir yöntem olduğu belirlenmiş ve MYT Ayrıştırması tekniği ile de kontrol dışı duruma neden olan değişkenler ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışma, çok değişkenli kontrol grafiklerinin hizmet sektöründe kullanılması açısından diğer çalışmalardan ayrılmakta ve alanında öncülük etmektedir.



# MULTIVARIATE STATISTICAL PROCESS CONTROL: A HOSPITAL APPLICATION

## SUMMARY

In globalising world in quality is considered as one of the most important focus that helps responding customer requirements in order to survive in competitive environment. The perception of quality is usually applied to manufacturing enterprises, however nowadays service enterprises start to be aware of the quality and enterprises are looking for options to improve service quality. Quality helps businesses by reducing costs to meet customer expectations.

Quality in healthcare systems has a special importance in terms of being directly related to human life. Improving the service quality in hospitals which are the most important institutions in the health care systems, is an issue with increasing importance all over the world. Undoubtedly, this is because of, an error caused directly endanger human life, and also that it did not intertwined with the people as a service organization.

In recent years, studies with multivariate statistical process control in health care systems are extended. However, quality characteristics for univariate statistical process control are usually associated with other characteristics and analysis without taking into account these relationships can provide misleading results. This study aims to monitor hospital performance taking into consideration correlations among the quality characteristics. In other words, whether or not under the control of the process to ensure statistically controlled, to determine the quality characteristics who caused the out of control signal.

In this study, multivariate statistical process control techniques were applied for monitoring the level of patient satisfaction and hospital intensive care department of a state hospital. Hotelling's  $T^2$  control chart is used for monitoring the process and Mason-Young-Tracy (MYT) decomposition technique are also used for out-of control signal interpretation.

In chapter 1, the main goal of the study and the importance of monitoring hospital processes are emphasized.

Chapter 2 contains detailed explanations regarding to purpose and definition of statistical process control and gives information about the tools of statistical process control including flow chart, cause-effect diagram, check sheets, pareto diagram, histogram, scatter chart and control charts.

Chapter 3 is based on univariate statistical process control. The definition of univariate statistical process control and its usage for process improvement are explained. Univariate control charts which are the most important statistical process control tool are classified according to the type of application and data type. Afterwards, the univariate control charts are examined individually and given information on construction and usage of these control charts.

In chapter 4, multivariate statistical process control is emphasized. Firstly, the importance and requirement of multivariate statistical process control are explained and differences of multivariate and univariate process control are emphasized. Multivariate data is defined and then the multivariate control chart types are examined one by one in more detail. Additionally assumptions for constructing multivariate Hotelling  $T^2$  control charts including multivariate normality, multicollinearity and autocorrelation are explained. The decomposition and interpretation of an out-of-control signal in multivariate statistical process control are a larger area of research and there are various methods and approaches in its application. Therefore, out of control signal interpretation methods are explained one by one in more detail.

In chapter 5, literature review on academic studies about multivariate statistical process control and statistical process control applications in hospitals is introduced. Basically studies are separated into two parts as application and theoretical studies. Initially studies providing information on the history of multivariate process control, new approaches developing and application studies are examined respectively. Last part of the literature review includes statistical process control studies in health care systems.

In chapter 6, proposed method for monitoring hospital processes and interpretation of out of control signals is introduced below systematically. At the end of the chapter, the findings as the result of the application are given. Proposed method has four phases.

The initial step of the multivariate statistical process control is the decision concerning the variables that will be used in the control procedures. However, assigning hospital performance is a complicated process. Therefore, monitoring hospital processes are divided into subgroups by taking into consideration investigated academic studies and selected two subgroups (patient satisfactory level and hospital intensive care unit performance) are examined. Patient satisfactory level scores and length of stay variables are chosen for monitoring patient satisfactory level process. Patient satisfactory level is the average of the scores gathered from patient satisfactory surveys and it has an obvious relation with the length of stay. Intensive care mortality rates, infection rates and re-hospitalization rate in intensive care surgery infection rate are chosen as variables for intensive care processes.

In this study, the multivariate statistical analysis performed using Qualstat software package. Although there are already a few software packages for multivariate statistical process control, Qualstat make a difference with wide multivariate statistical process control procedures based on Hotelling  $T^2$  control chart, decomposition technique of out of control signals and it does not need individual programming.

The next step in the multivariate statistical process control is the construction of multivariate control chart. Hotelling  $T^2$  control chart which is one of the most popular control charts is constructed for monitoring said multivariate processes. Initially, an historical data set, an in control preliminary data set for the future stages of the procedure formed. This step is called Phase I. The step of formation a historical data set include the collection of preliminary data set for selected quality characteristics (variables), detecting potential data quality problems such as multicollinearity and autocorrelation, and detection and removal of outliers. Principal component analysis are conducted and condition index of these components are

computed for testing multicollinearity. Trend tests are applied to all quality characteristics for detecting autocorrelation. Hotelling  $T^2$  control charts are constructed to detect and removal of outliers at the end of Phase I and remaining data are used for computing Phase II Hotelling  $T^2$  control chart parameters. The multivariate normality is also checked during charting of Phase I  $T^2$  control chart by Q-Q plots checks beta distribution of  $T^2$  values computed while  $T^2$  control chart construction.

The last step of the multivariate statistical process control is constructing Hotelling  $T^2$  control charts for the new observations taken on the same process variables from the process after the end of Phase I and assessing Phase II Hotelling  $T^2$  control chart parameters. It is discovered that there are out of control observations for both processes which means the monitoring processes are not under the statistical control.

The detected signals by Phase II Hotelling  $T^2$  control chart are decomposed by using the signal decomposition tool of Qualstat. The decomposed out of control signals showed that the relationship between patient satisfactory level and length of stay causes out of control signal for patient satisfactory level process while infection rates and re-hospitalization rate in intensive care causes out of control signals for intensive care processes. The assigned signaling variables must be investigated and the improvement efforts must be conducted to eliminate special variability. However re-hospitalization rate in intensive care indicates greater variability in the intensive care processes. Therefore it is proposed to initiate improvements with this characteristic.

Study results showed that Hotelling's  $T^2$  control chart is a successful method for monitoring hospital performance. MYT decomposition technique is also revealed variables caused the out of control signal. The study is unique with the approach that using multivariate control charts for monitoring service sector process.

This study is completed by specifying the improvement possibilities of proposed method for future studies. Multivariate  $T^2$  control charts can be constructed for different departments of the hospital (department of new-born, etc.) in the future studies. Besides that decomposition and interpretation of the out of control signals might be accomplished by the different methods provided in the literature and results may be compared.



## 1. GİRİŞ

Bir ürün veya hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özellikler toplamına kalite denir (TSE, 1994).

Garvin (1984), kalitenin sekiz boyutunu aşağıdaki gibi belirtmektedir:

- Performans: Ürünün birincil özellikleri.
- Diğer Unsurlar: Ürünün çekiciliğini sağlayan ikincil karakteristikler.
- Uygunluk: Spesifikasyonlara, belgelere ve standardizasyonlara uygunluk.
- Güvenilirlik: Ürünün kullanım ömrü içinde performans özelliklerinin sürekliliği.
- Dayanıklılık: Ürünün kullanılabilirlik özelliği.
- Servis Görebilirlik: Ürüne ilişkin soru ve şikâyetlerin kolay çözülebilirliği.
- Estetik: Ürünün çekiciliği ve duylara seslenebilme yeteneği.
- Algılanan Kalite: Ürünün reklamlar, kabul görmesi veya diğer markalara göre sezgisel olarak değerlendirilmesi.

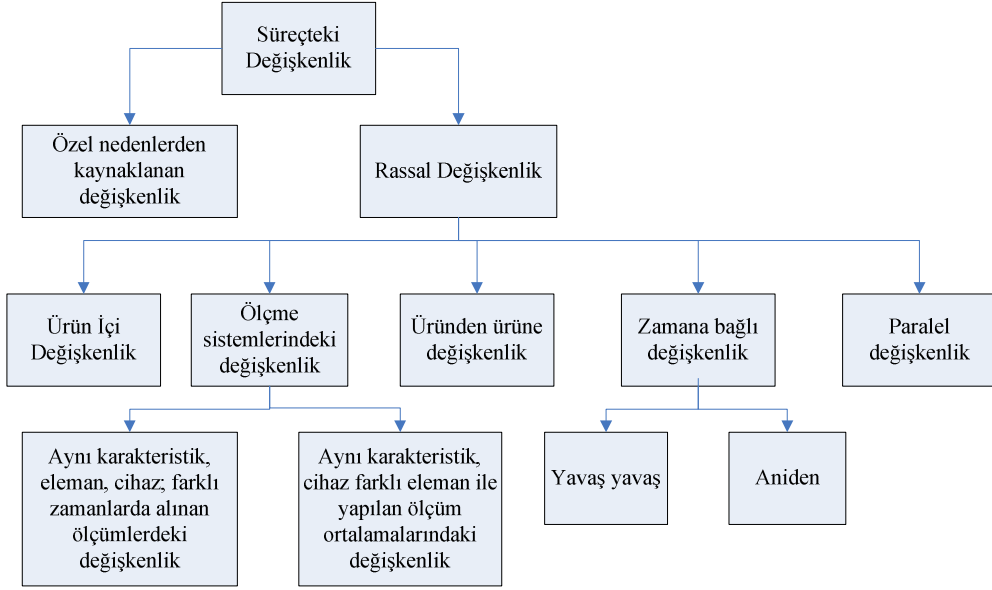
Tüketicinin ürün hakkındaki düşüncesini oluşturan özelliklere o ürünün kalite karakteristiği adı verilir. Amerikan Kalite Derneği (ASQ)'nin sözlüğünde de kalite karakteristiği; ürün, sistem veya sürecin herhangi bir ihtiyaçla ilgili iç özelliği ya da ayırıcı özelliği olarak tanımlanmaktadır. Uzunluk, ağırlık, sıcaklık gibi fiziksel kalite karakteristikleri olabileceği gibi; görünüm, tat, renk gibi duygusal veya dayanıklılık gibi zamana bağlı kalite karakteristiklerinden de söz edilebilir (Montgomery, 2005, s. 6).

Bir süreçte, çeşitli faktörlerin etkisiyle farklı sonuçların alınması o süreçte var olan değişkenliği işaret etmektedir. Tüm süreçlerde değişkenlik mevcuttur ve değişkenliği azaltmak, kalite iyileştirmenin temelidir. Ürünün, sürecin veya sistemin bünyesindeki değişkenlik farklı ölçülerde olabilmekte; ancak daima varlığını korumaktadır. Shewhart (1924), süreçlerdeki değişkenliğin rassal ve özel nedenlerden kaynaklanan

değişkenlik olmak üzere iki bileşeni olduğunu belirtmektedir. İlk bileşen olan rassal değişkenlik, süreçte günlük işlemler sırasında oluşan çok sayıdaki belirlenemeyen değişimin sonucu oluşmaktadır. Sistemdeki bu değişimler doğaldır ve sistemde kontrol edilemeyen rassal bir değişkenlik meydana getirmektedirler. İkinci bileşen olan özel nedenlerden kaynaklanan değişkenlik ise belirlenebilen sebeplerden kaynaklanan değişkenliktir.

Rassal değişkenliğin özel nedenlerden kaynaklı değişkenlik olduğunun düşünülmesi durumunda, bu değişkenliğin ortadan kaldırılması için gereksiz yere zaman, emek ve para harcanarak maliyetlerde artışlar görülebilmektedir. Bu nedenle karşılaşılan değişkenlik tipinin belirlenmesi, üretim esnasında çözülmesi gereken en önemli problemlerden biri olarak görülmektedir (Baray, 2008, s. 59). İstatistiksel süreç kontrol grafikleri, süreçteki rassal ve özel nedenlerden kaynaklı değişkenliğin belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Örnek kütleden alınan değerlerle oluşturulan kontrol limitleri arasında kalan bölge süreçteki rassal değişkenliği gösterirken, kontrol limitleri dışında çıkan her nokta ise özel nedenlerden kaynaklanan bir değişkenliği işaret etmektedir (Farnum, 1994, s. 17). Şekil 1.1'de değişkenlik çeşitleri ve rassal değişkenliğin olası nedenleri gösterilmektedir.

Kalite karakteristiklerinin ideal performans seviyesi belirlenirken, bu seviyeye ulaşmada bir esneklik payı bırakılmaktadır. Spesifikasyon limitleri olarak adlandırılan bu limitler arasındaki değerler, istenilen seviyeye yeterince yakın kabul edilmekte ve süreç performansında bir sorun oluşmadığı düşünülmektedir. Kalite karakteristiğinin alabileceği en büyük değer üst spesifikasyon limiti, en küçük değer de alt spesifikasyon limiti olarak adlandırılmaktadır (Farnum, 1994, s. 7). Spesifikasyon limitleri sürecin olması istenen durumunu gösterirken, süreç limitleri sürecin gerçekte nasıl bir davranış gösterdiğini, diğer bir deyişle süreç ölçülerinin çoğunun bulunma eğiliminde oldukları bölgeyi göstermektedir.



**Şekil 1.1:** Değişkenlik çeşitleri ve rassal değişkenliğin olası nedenleri (Bothe, 2002).

Bu çalışmada, bir hastanedeki süreçlerdeki değişkenliğin incelenmesi ve müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi amacıyla belirlenen kalite karakteristikleri ve bunların birbiri ile olan ilişkileri dikkate alınarak, çok değişkenli süreç kontrol yöntemlerinden faydalanılarak sürecin mevcut durumu incelenmiş ve belirlenen kontrol dışı gözlem veya gözlemlerin nedenlerinin ortaya çıkarılmıştır.

Bu araştırmanın amacı, hastaneler için belirlenen kalite karakteristiklerinin birbiri ile olan ilişkilerini göz önünde bulundurarak hastanelerdeki hizmet performansını görüntülemek, diğer bir deyişle sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını denetlemek ve kontrol dışında ise buna neden olan kalite karakteristiğini veya karakteristiklerini çok değişkenli süreç kontrol teknikleri yoluyla belirlemektir. Bu sayede, hastane gibi insan hayatı açısından çok önemli olan hizmet işletmelerinde süreçlerin iyileştirilmesi ve meydana gelebilecek olası hataların önlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde istatistiksel süreç kontrolünün tanımı ve kullanım amacı ile ilgili bilgiler verilmiş ve istatistiksel süreç kontrolünün araçları olan akış diyagramı, neden – sonuç diyagramı, kontrol listeleri, pareto diyagramı, histogram, serpmeye diyagramı ve kontrol grafikleri hakkında bilgiler sunulmaktadır.

Üçüncü bölümünde, “tek değişkenli süreç kontrolü” üzerinde durulmaktadır. Tek değişkenli süreç kontrolünün tanımı, önemi ve süreç iyileştirmesinde kullanımı hakkında bilgiler verildikten sonra, en önemli süreç kontrolü aracı olan kontrol grafiklerinin uygulama çeşidine ve veri tipine göre sınıflandırılmaları

gösterilmektedir. Ardından ise, tek değişkenli kontrol grafikleri teker teker incelenerek oluşturulmaları ve kullanım yerleri ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Dördüncü bölümde, “çok değişkenli süreç kontrolü” üzerinde durulmaktadır. İlk olarak çok değişkenli süreç kontrolünün önemi ve tek değişkenli süreç kontrolünden ayrıldığı noktalar açıklanmakta ve çok değişkenli veri hakkında genel bilgiler verilmektedir. Ardından çok değişkenli kontrol grafiği türleri, teker teker ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Çok değişkenli kontrol grafiklerinde, kontrol dışı olduğu belirlenen bir gözlemin yorumlanması, en önemli konulardan birisidir. Bu nedenle dördüncü bölümün son kısmında çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı gözlemlerin yorumlanmasında kullanılan yöntemler açıklanmaktadır.

Beşinci bölümde, çok değişkenli süreç kontrolü ile ilgili literatürde daha önce yapılan araştırmalar sunulmaktadır. Yazında yer alan çalışmalar temelde uygulama ve teorik çalışmalar olarak ikiye ayrılmaktadır. Başlangıçta çok değişkenli süreç kontrolü ve tarihçesiyle ilgili bilgi veren araştırmalar, ardından çok değişkenli süreç kontrolünde geliştirilen yeni yaklaşımlar ve en son olarak da uygulama çalışmaları incelenmiştir. Bölümün son kısmında ise literatürde, hastanelerde uygulanan süreç kontrol çalışmalarına yer verilmiştir.

Altıncı bölümde, çalışmanın uygulaması yer almaktadır. Bu bölümde öncelikle çalışmanın amacı verilmekte, ardından bir hastanede çok değişkenli süreç kontrolü çalışması yapılmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak incelenecek kalite karakteristikleri belirlenmektedir.  $T^2$  kontrol grafiğinin oluşturulması için gerekli varsayımların kontrol edilmesinin ardından, belirlenen kalite karakteristikleri için  $T^2$  kontrol grafiği oluşturulmaktadır. Uygulamanın son aşamasında ise, MYT ayrıştırması ile kontrol dışı gözlemlere neden olan kalite karakteristikleri belirlenmektedir.

Yedinci bölümde ise, çalışmanın uygulamasından elde edilen sonuçlar tartışılmakta ve çalışmanın ilerleyen zamanlarda nasıl geliştirilebileceği ve gerçekleştirilebilecek değişiklikler konusunda öneriler sunulmaktadır.

## 2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ

İstatistiksel süreç kontrolü, bir sürecin olağan olarak devam edip etmediğinin istatistiksel yöntemlerle kontrolü, bununla birlikte olağan dışı bir durum mevcut ise bunun fark edilmesi ve nedenlerinin belirlenerek ortadan kaldırılmasıdır. Burada istatistik, gerçek problemlerin sürecin doğasında var olan değişkenliklerden ayırt edilerek gereksiz müdahalelerin önüne geçilmesini sağlamaktadır (Burnak, 1997, s. 61).

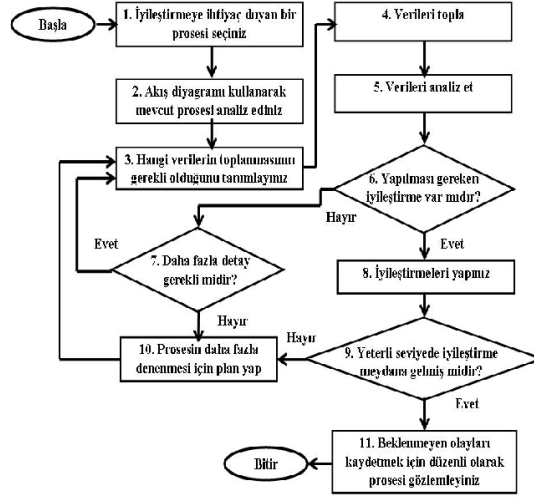
Burnak (1997, s. 61), istatistiksel süreç kontrolünün temel amaçlarını aşağıda görüldüğü şekilde sıralamaktadır.

- Sürecin olağan biçimde devam edip etmediğinin istatistiksel yöntemlerle kontrol edilmesi; olağan dışı bir durum varsa bunun fark edilmesi ve sebeplerinin belirlenerek giderilmesi
- Kalite karakteristiklerindeki değişkenliğin sistematik olarak azaltılması

İstatistiksel süreç kontrolünde problem çözmek için yedi temel araç bulunmaktadır. Bunlar; akış diyagramı, neden - sonuç (Ishikawa, balık kılıcı) diyagramı, kontrol listesi, pareto diyagramı, histogram, serpm (serpilme) diyagramı ve kontrol grafiğidir (Montgomery, 2005, s. 169).

### 2.1 Akış Diyagramı

Akış diyagramı, bir süreçteki adımları, bir diğer deyişle bir girdiyi, diğer adım için çıktıya dönüştüren olayları gösterir. Sürecin olması istenen haliyle mevcut durumu arasındaki farkın ortaya çıkmasını sağladığından süreci analiz etmede oldukça etkili bir araçtır.

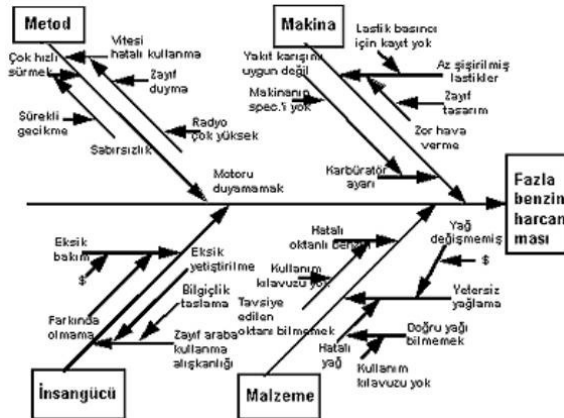


Şekil 2.1: Bir akış diyagramı örneği.

## 2.2 Sebep - Sonuç Diyagramı

Ishikawa veya balık kılıcı diyagramı olarak da bilinen bu diyagramlar, bir olayın ortaya çıkma nedenleri ile ilgilenilen olayın şekilsel gösterimi sebep-sonuç diyagramı olarak adlandırılmaktadır. İlgilenilen olayın sebeplerinin araştırılmasına sistematik bir yaklaşım getiren bu diyagramlar oluşturulurken; her sonuca ilişkin yöntem, malzeme, işgücü, ölçüm, donanım ve çevre ana başlıklarında toplanan nedenlerden söz edilebileceği gibi her bir neden de bir dizi alt nedene ayrıştırılabilmektedir. Bu nedenlerin ortaya çıkarılmasında beyin fırtınası tekniği kullanılabilir (Burnak, 1997, s. 46).

Sebep - sonuç diyagramları genellikle süreç kaynakları bilinmediğinde ve farklı yaklaşımlar geliştirmek için yaratıcı düşünmeye ihtiyaç duyulduğunda kullanılmaktadır (Farnum, 1994, s. 87).



Şekil 2.2: Bir sebep-sonuç diyagramı örneği.

### 2.3 Kontrol Listeleri

Kontrol listeleri, kararların gerçek veriler üzerinden verilmesini sağlamak amacıyla verilerin derlenmesinde kullanılan basit bir yöntemdir. Kontrol listelerindeki kısımlar birbirinden ayrı olmalı ve tüm olası kategorileri içermelidir.

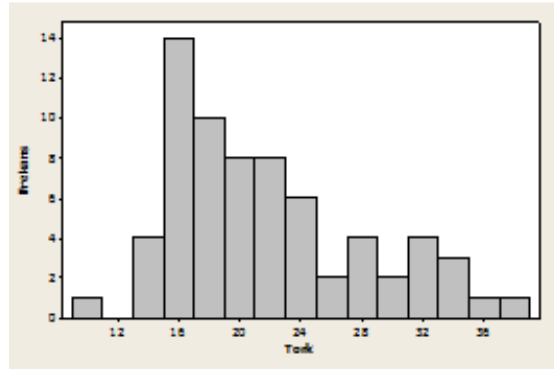
**Çizelge 2.1:** Bir kontrol listesi örneği.

Kusurun Nedeni	Kusur Türleri			TOPLAM
	Eksik Sayfalar	Bozuk Kopyalar	Arkaya Geçme	
Makinanın Çalışmaması	2	1	3	6
Nem	1	12	-	13
Toner	8	-	-	8
Orijinal Dökümanın Durumu	5	-	1	6
Diğer	-	-	-	-

### 2.4 Histogram

Bir konuda derlenmiş sayısal verilerin belirli aralıklarda yer alan sayılarının grafik şeklinde gösterimi histogram olarak adlandırılır. Histogramlar, ölçüm değerlerinin dağılımını gösteren ve bu dağılımın standart limitlerine göre durumunu belirten bir çubuk diyagram kartlarıdır. Histogramları oluşturan dikdörtgenlerin taban genişlikleri sınıf aralıklarına eşit, alanları ise frekansları ile doğru orantılıdır. Histogramda belirli bir ölçünün kendi içerisindeki dağılımı gösterilmektedir.

Histogramlar genellikle bir olayın oluş sıklığını incelemek, belirlenen zaman aralığında tanımlanan problemin meydana gelme olasılığını belirlemek ve ortaya çıkan dağılım şeklini araştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Her histogramda sadece bir tek özellik ölçülmektedir (Akın ve Öztürk, 2005).

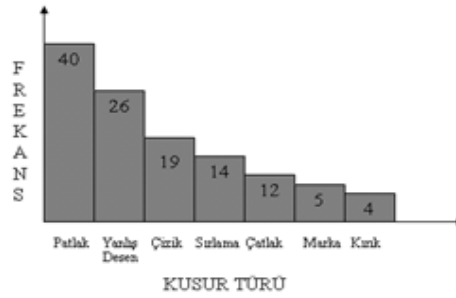


**Şekil 2.3:** Bir histogram örneği.

## 2.5 Pareto Diyagramı

Bir sorunu oluşturan nedenlerin önem derecelerine göre sıralanmasıyla elde edilen histogram türüne pareto diyagramı adı verilmektedir. Soruna yol açan nedenler önem veya büyüklük derecelerine göre sıralandığından, düzeltici eylemlerin öncelikle hangi alanlara yönlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmakta ve buna bağlı olarak bu kusurun sürecin hangi aşamasından kaynaklanabileceği araştırılmaktadır (Burnak, 1997, s. 50).

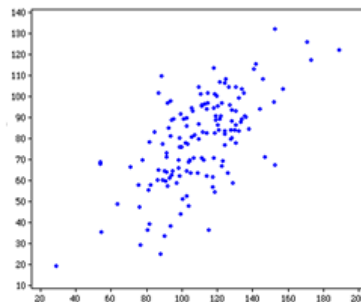
Pareto diyagramı niceliksel veriler baz alınarak oluşturulmaktadır. İncelenen problemin nedenleri grafiğin yatay ekseninde gruplara ayrılmış bir şekilde kategoriler halinde bulunmakta ve bu kategorilerin sıklığına bakılarak yatay ekseninde çoktan aza doğru sıralanmaktadır (Farnum, 1994, s. 93).



Şekil 2.4: Bir pareto diyagramı örneği.

## 2.6 Serpme Diyagramı

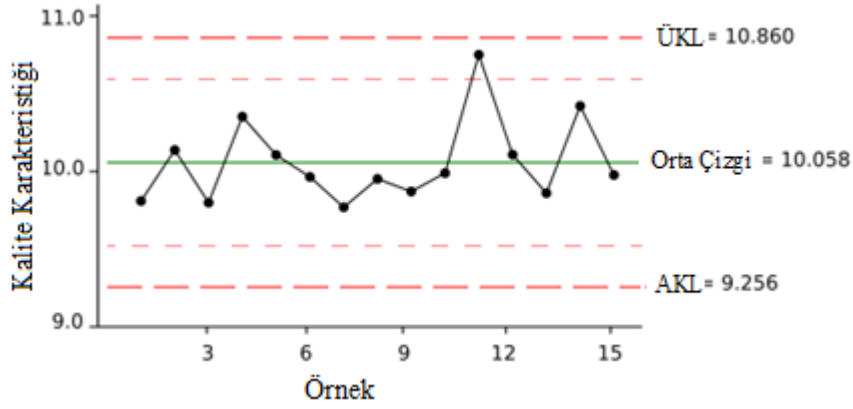
Serpme diyagramları, iki veya daha fazla parametre arasındaki ilişkiyi inceleyen grafiksel bir tekniktir. Sonuç ve sebep olarak kabul edilen karakteristik birer değişken olarak tanımlandığında, varsa aralarındaki ilişkinin yönü ve derecesi görülmektedir. Serpme diyagramıyla değişkenler arasındaki ilişkinin yönünün ortaya çıkmasına karşılık, bu ilişkinin derecesi sayısal değerlerle ifade edilememektedir (Burnak, 2007, s. 58).



Şekil 2.5: Bir serpme diyagramı örneği.

## 2.7 Kontrol Grafikleri

Kontrol grafikleri, süreçten alınan sıralı örneklerden oluşturulmaktadır. Bu örneklerin, bir ortalama değer etrafında belirli bir varyansla rassal olarak dağılması beklenmektedir. Temelini Shewhart'ın attığı tüm kontrol grafiklerinin mantığı aynı olmakla birlikte her kontrol grafiğinin bir orta çizgisi (OÇ), bir alt kontrol limiti (AKL) ve bir de üst kontrol limiti (ÜKL) bulunmaktadır (Baray, 2008, s. 62). İlgili kontrol limitleri, ortalama ve varyanstan elde edilmekte ve süreçten alınan örneklerin, süreci etkileyen özel nedenler olmadıkça kontrol limitlerini aşmaması beklenmektedir. Kontrol limitleri dışında bir örnek gözlemlenmesi, sürecin doğal değişkenlik göstermediğini ve süreci etkileyen özel nedenlerin olduğunu göstermektedir (Burnak, 1997, s. 67).



Şekil 2.6: Bir kontrol grafiği örneği.

Kontrol grafikleri rassal ve özel nedenlerden kaynaklanan değişkenliği ayırt etmekle birlikte, üretim sürecinin spesifikasyon limitlerine uygun bir yetenek sergileyip sergilemediğinin kontrolünde de kullanılan istatistiksel araçlardır (Gitlow ve diğ., 1995, s. 115).

Üretimden belirli aralıklarla çekilen örnekler altörnek olarak isimlendirilmektedir. Kontrol grafiklerini ilk geliştiren kişi olan Walter Shewhart, her seferinde alınacak altörneklerin üretim sürecini iyi yansıtmaları ve belli yöntem, aralık ve miktarlarda alınması gerektiğini öne sürmüştür. Altörnek içindeki değişkenlik kontrol limitlerini belirlemede, altörnekler arasındaki değişkenlik ise sürecin uzun dönem kararlılığını incelemeye rol oynamaktadır. Shewhart'a göre, bir üretim sürecinde özel nedenlerden kaynaklanan bir değişkenlik olması halinde, altörnek içindeki değişkenlik minimum, altörnekler arasındaki değişkenlik ise maksimum olmasını sağlayacak şekilde altörnek seçimi gerekmektedir (Baray, 2008, s. 66).

### 2.7.1 Ortalama çalışma uzunluğu (ARL)

İncelenmekte olan kalite karakteristiğine ait noktaların grafik üzerinde ilk kez kontrol limitleri dışına çıkana kadar işaretlenen sayısı, ortalama çalışma uzunluğu (ARL) olarak ifade edilmektedir. Diğer bir deyişle süreç kontrol altında kalmaya devam etse bile, her ARL değeri kadar alınan altörnekten biri kontrol dışı sinyal vermektedir (Baray, 2008, s. 69).

Bir kalite karakteristiğini temsil eden noktanın kontrol limitleri dışına çıkma olasılığı  $p$  ile gösterildiğinde, ilk noktanın kontrol limitleri dışına çıkma olasılığı (2.1)'de verilmiştir.

$$P(\text{çalışma uzunluğu} = 1) = p \quad (2.1)$$

İlk noktanın kontrol limitleri içinde, 2. noktanın limitlerin dışında kalması olasılığı denklem 2.2a ve 2.2b'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Burrill ve Ledoter, 1999).

$$P(\text{çalışma uzunluğu} = 2) = (1 - p)p \quad (2.2a)$$

⋮

$$P(\text{çalışma uzunluğu} = k) = p(1 - p)^{1-k} \quad k = 1, 2, \dots \quad (2.2b).$$

Bu dağılımın ortalaması, ortalama çalışma uzunluğu (ARL) adını alıp aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (2.3)$$

Süreç kontrol dışına çıktığında, kontrol grafiğinin bu durumu yakalama çabukluğu kontrol grafiklerinin performansının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Literatürde küçük ARL'ye sahip kontrol grafiklerinin performansı daha iyi kabul edilmektedir. Bununla birlikte bu konuya ilişkin eleştiriler de mevcuttur (Baray, 2008, s. 70).

### 3. TEK DEĞİŞKENLİ SÜREÇ KONTROLÜ

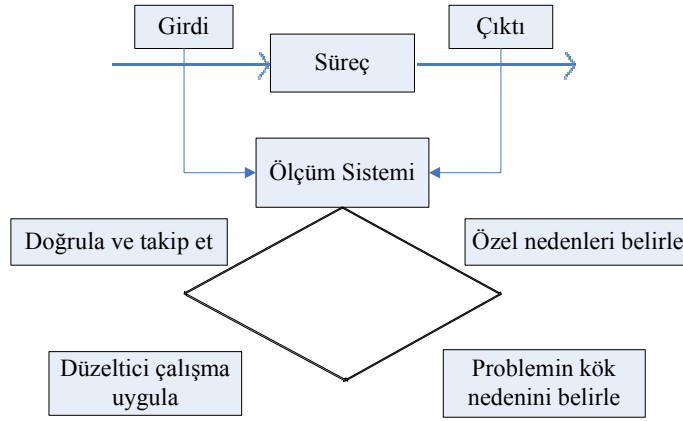
Kontrol grafikleri, istatistiksel süreç kontrolünün temel aracıdır (Burnak, 1997, s. 61). Shewhart grafikleri genellikle bağımsız olan ve diğer kalite karakteristiklerinden etkilenmeyen kalite karakteristiklerindeki doğal olmayan değişkenliği belirlemede kullanılmaktadır. Endüstriyel sistemlerde bu tür değişimlere sıkça rastlanmaktadır. Örnek olarak, büyük bir kimyasal endüstrinin ana laboratuvarı ele alındığında bu tesise ar-ge'den ürün kalitesine kadar birçok görev atanmakta, gerekli kimyasal maddelerin birçoğu farklı tip ekipmanlar kullanılarak elde edilmektedir. Ekipmanlar tarafından üretilen maddenin kararlılığının, hedef değere olan yakınlığını test etmek için genellikle Shewhart kontrol grafiği oluşturulmaktadır. Bir maddenin konsantrasyonunun ölçüldüğü düşünüldüğünde, sonuç Shewhart kontrol grafiğinin kontrol limitleri içinde olursa ekipmanın normal olduğu kabul edilmektedir. Sonuç kontrol limitlerini aşarsa ekipman tamir edilmekte, kalibrasyonu yapılmakta ve ardından yeni bir Shewhart grafiği oluşturulmaktadır (Masonve Young, 2002, s. 4).

Montgomery (2005, s. 157), kontrol grafiklerinin yaygın kullanım nedenlerini aşağıdaki gibi belirtmektedir.

1. Kontrol grafikleri, üretkenliği arttırmada etkili olduğu kanıtlanmış bir tekniktir. Başarılı bir kontrol grafiği, herhangi bir süreçteki başlıca üretkenlik azaltıcı etkenler olan tekrar işleme ve hurda oranını azaltmaktadır.
2. Kontrol grafikleri, hatanın önlenmesinde etkili bir yöntemdir. Süreci kontrol altında tutarlar ve “ ilk seferde doğru yap ” felsefesine uygunluk gösterirler.
3. Kontrol grafikleri, özel nedenlerden kaynaklanan değişkenlik ile rassal değişkenlik arasındaki farkı ayırt edebildiklerinden gereksiz süreç düzenlemelerinin önüne geçmektedirler.
4. Kontrol grafikleri tanısal bilgi sağlayarak operatöre veya mühendise süreç performansını iyileştirecek bir uygulama yapma olanağı sunmaktadır.
5. Kontrol grafikleri, önemli süreç parametreleri ve bunların zaman içindeki kararlılıkları hakkında bilgi verdiklerinden süreç yeterliliği hakkında tahmin yapılmasına imkân sağlamaktadır.

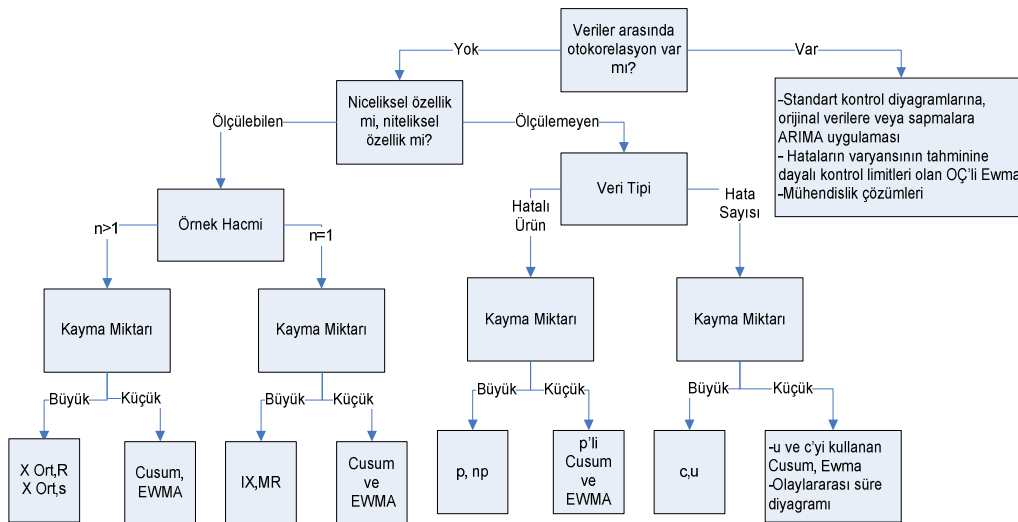
Kontrol grafiklerinin en önemli kullanım sebebi, süreci iyileştirmektir. Süreçlerin çoğu istatistiksel olarak kontrol altında değildir ve kontrol grafiklerinin rutin olarak kullanımıyla özel nedenler ortaya çıkarılabilmektedir. Bu nedenler ortadan kaldırıldığında ise değişkenlik azalacak ve süreç iyileştirilecektir (Montgomery, 2005, s. 154). Kontrol grafiği yardımıyla süreç iyileştirme işlemi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Özel nedenlerin belirlenip ortadan kaldırılması işleminde geçici çözümler uzun süreli ve gerçek bir süreç iyileştirme sağlamadığından, problemin kök nedenlerinin belirlenmesi çok önemlidir (Montgomery, 2005, s. 154). İyileştirme çalışması için etkili bir sistem geliştirmek ise, istatistiksel süreç kontrolünün yadsınamaz bir bileşenidir.



Şekil 3.1: Kontrol grafiği kullanarak süreç iyileştirme (Montgomery, 2005, s. 154).

Şekil 3.2’de bir kalite karakteristiğini incelenmesinde kontrol grafiği seçimini gösteren karar ağacı verilmiştir.



Şekil 3.2: Süreç kontrol diyagramlarının seçim kriterleri (Montgomery, 2005).

Bir süreci incelerken hangi tür kontrol grafiğinin kullanılacağı kararını altküme büyüklüğü, örnek sıklığı, veri tipi, süreç karakteristiği ve süreç limitleri gibi etkenler etkilemektedir. Çizelge 3.1’de uygulamanın çeşidine göre sınıflandırılan kontrol grafikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** Uygulama çeşidine göre sınıflandırılan kontrol grafikleri (Farnum,1994, s. 164).

Kontrol Edilecek Karakteristik	Kontrol Grafiği Tipi
Süreç Ortalaması	$\bar{X}$ , $\tilde{X}$ , x, CUSUM, EWMA
Süreç Değişkenliği	R, s, MR
Özellik nonconforming	p
Kusurlu sayısı	np
Kusur sayısı	c, u, CUSUM

Kontrol grafikleri veri tipine göre niteliksel ve niceliksel ölçüler için kontrol grafikleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

**Çizelge 3.2:** Veri tipine göre kontrol grafikleri (Farnum, 1994, s. 164)

Niceliksel Kontrol Grafikleri	Niteliksel Kontrol Grafikleri
$\bar{X}$ , örnek ortalaması	P
$\tilde{X}$ , örnek medyan	Np
X, tekli ölçümler	C
R, örnek aralığı	U
S, örnek standart sapma	CUSUM
MR, hareketli ortalama	
CUSUM, birikimli toplam	
EWMA	

### 3.1 Niceliksel Ölçüler İçin Kontrol Grafikleri

İncelenilen kalite karakteristiği boyut, ağırlık veya hacim gibi sayısal bir ölçüyle ifade edilebiliyor veya sürekli bir ölçüm skalasıyla gösterilebiliyorsa, oluşturulan kontrol grafiği niceliksel kontrol grafiği olarak adlandırılır. Niceliksel ölçüler için düzenlenen kontrol grafikleri, değişkenler için kontrol grafiği olarak da bilinmektedirler (Burnak, 1997, s. 73).  $\bar{x}$  kontrol grafiği merkezi eğilimi, örnek standart sapma ve örnek değişim aralığı kontrol grafikleri ise süreç değişkenliğini kontrol etmek için kullanılan en yaygın kontrol grafikleridir (Montgomery, 2005, s. 195).

### 3.1.1 $\bar{X} - R$ kontrol grafikleri

Bir kalite karakteristiğinin ortalaması  $\mu$  ve standart sapması  $\sigma$  olan normal dağılıma uyduğu ve süreç parametrelerinin ( $\mu$  ve  $\sigma$ ) bilindiği kabul edildiğinde,  $n$  örnek büyüklüğüne sahip örnek ortalaması aşağıdaki gibidir:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3.1)$$

$\bar{x}$ ,  $\mu$  ortalama ve  $\sigma_x = \sigma/\sqrt{n}$  standart sapmasına sahip normal dağılıma uymaktadır.  $\mu$  ve  $\sigma$ 'nın bilinmediği durumlarda ise bu değerler, sürecin kontrol altında olduğu düşünüldüğünde alınan altörneklerle tahmin edilmektedir. Yapılacak bu tahminler için örnek büyüklüğü en az 20 olmalıdır. Her biri  $n$  adet gözleme sahip  $m$  adet örnek olduğu var sayıldığında,  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$  her örneğin ortalaması iken süreç ortalaması aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (3.2)$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$   $n$  büyüklüğünde bir örnek olduğunda, en büyük ve en küçük gözlem arasındaki örnek değişim aralığı ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (3.3)$$

$R_1, R_2, \dots, R_m$   $m$  örneğin değişim aralığı iken, ortalama değişim aralığı aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad (3.4)$$

$\bar{x}$  kontrol grafiğine ait orta çizgi (OÇ), üst kontrol limiti (ÜKL) ve alt kontrol limiti (AKL) formülleri aşağıda verilmiştir:

$$\text{ÜKL} = \bar{x} + A_2 \bar{R} \quad (3.5a)$$

$$\text{OÇ} = \bar{x} \quad (3.5c)$$

$$\text{AKL} = \bar{x} - A_2 \bar{R} \quad (3.5c)$$

Süreç değişkenliği, örnek değişim aralığı  $R$ 'nin kontrol grafiğinde gösterilmesiyle görüntülenebilir.  $R$  kontrol grafiğinin orta çizgi ve kontrol limitleri aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\text{ÜKL} = D_4 \bar{R} \quad (3.6a)$$

$$\text{OÇ} = \bar{R} \quad (3.6b)$$

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

$A_2, D_4$  ve  $D_3$  değerleri Ek A'da verilen tablodan elde edilmektedir.

$\bar{x}$  kontrol grafiği sürecin ortalama kalite düzeyini, R kontrol grafiği ise örnek içindeki değişkenliği ölçmektedir. Bu nedenle seçilen örnekler arasında sadece rassal değişkenlik olmalıdır. Başka bir deyişle  $\bar{x}$  örnekler arası değişkenliği gösterirken, R kontrol grafiği örnekler içindeki değişkenliği göstermektedir.

### 3.1.2 $\bar{X} - S$ kontrol grafikleri

$\bar{X} - S$  kontrol grafikleri daha çok örnek hacminin  $(n) \geq 10$  veya değişken olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Eğer  $\sigma^2$  bilinmiyorsa, bunun yerine yansız tahminleyicisi  $s^2$  kullanılabilir.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3.7)$$

Süreç parametreleri bilindiğinde oluşturulacak s kontrol grafiğinin limitleri ve OÇ'si aşağıda verildiği gibidir:

$$\bar{ÜKL} = B_6 \sigma \quad (3.8a)$$

$$OÇ = c_4 \sigma \quad (3.8b)$$

$$AKL = B_5 \sigma \quad (3.8c)$$

Süreç parametrelerinin bilinmediği durumlarda ise  $\sigma$ , geçmiş veriler analiz edilerek oluşturulmalıdır. n büyüklüğünde m adet öncül örnek varken  $s_i$ 'nin i. örneğin standart sapması olduğu kabul edildiğinde, m adet standart sapmanın ortalaması aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{s} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i \quad (3.9)$$

Bu durumda oluşturulacak s kontrol grafiğinin OÇ ve kontrol limitleri aşağıda verilmiştir.

$$\bar{ÜKL} = B_4 \bar{s} \quad (3.10a)$$

$$OÇ = \bar{s} \quad (3.10b)$$

$$AKL = B_3 \bar{s} \quad (3.10c)$$

Oluşturulacak  $\bar{x}$  kontrol grafiğinin parametreleri de aşağıda verilmiştir.

$$\dot{U}KL = \bar{x} + A_3 \bar{s} \quad (3.11a)$$

$$O\check{C} = \bar{x} \quad (3.12b)$$

$$AKL = \bar{x} - A_3 \bar{s} \quad (3.13c)$$

İlgili  $A_3, B_3, B_4, B_5$  ve  $B_6$  değerleri Ek A'da verilen tablodan elde edilmektedir.

### 3.1.3 Birimler kontrol grafiği

Tahribatlı muayenelerin olduğu ve seyrek aralıklarla ölçüm yapıldığı veya kimyasal süreçler gibi tek bir ölçümün yeterli olduğu durumlarda altgrup örnek hacmi (n) 1'e eşit olmakta ve gözlem tek bir birim içermektedir. Bu gibi durumlarda tekli birimler için kontrol grafikleri kullanılması faydalıdır. Bu durumda MR (Hareketli Değişim Aralığı) ve IX (individual X) grafikleri birlikte kullanılmaktadırlar. MR grafiğiyle sürecin değişimi takip edilirken, IX diyagramıyla da tek bir ölçü alımıyla ortaya çıkan sürecin konumu takip edilmektedir.

Birimler kontrol grafiklerinde ardışık iki değer arasındaki farkın mutlak değerine bakılmaktadır. Hareketli değişim aralığı adı verilen bu mutlak fark aşığıdaki gibi gösterilmektedir.

$$MR = |X_i - X_{i-1}| \quad (3.14)$$

Bu aralıkların ortalaması MR kontrol grafiğinin orta çizgisi olup, k adet gözlemin yapıldığı bir süreçte (k-1) tane MR değeri olacaktır.

$$O\check{C} = \overline{MR} = \frac{\sum MR}{k-1} \quad (3.15)$$

IX kontrol grafiğinin kontrol limitleri ve OÇ değerleri aşığıda verilmiştir:

$$\dot{U}KL = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3.16a)$$

$$O\check{C} = \bar{x} \quad (3.16b)$$

$$AKL = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3.16c)$$

MR kontrol grafiğinin limitleri ve OÇ'si de aşığıdaki gibidir:

$$\dot{U}KL = D_4 \overline{MR} \quad (3.17a)$$

$$O\check{C} = \overline{MR} \quad (3.17b)$$

$$AKL = D_3 \overline{MR} \quad (3.17c)$$

$d_2$  değerlerini gösteren tablo Ek A'da verilen tablodan elde edilmektedir.

### 3.1.4 Hareketli ortalamalar kontrol grafiği

$\bar{x}$  kontrol grafiği süreç ortalamasında olabilecek küçük sapmalara karşı duyarlılığı azdır. Küçük sapmaları belirleyebilmek amacıyla geliştirilen kontrol grafiklerinden biri de hareketli ortalamalar (moving average) kontrol grafiğidir. Özellikle kimyasal maddeler endüstrisi gibi uzun sürede tek bir birimin üretilbildiği süreçlerde kullanılmaktadır.

Hareketli ortalamanın hesaplanmasında kaç tane birimin alınacağı konusu önem kazanmaktadır. Bu sayının küçük olması gerekmektedir.

Bu kontrol grafiklerinin yanında, regresyon, medyan ve değişim katsayısı kontrol grafikleri de niceliksel kontrol grafikleri içinde kullanılmaktadır.

### 3.2 Niteliksel ller için Kontrol Grafikleri

Birçok kalite karakteristiği niceliksel skalayla ölçülememektedir. Bu durumda her birim üründeki hata sayıları sayılabilir veya ürünler tek tek istenilen özellikleri sağlayıp sağlamamasına göre incelenebilir. Bu gibi, süreç karakteristiği ölçülemeyen; ancak sayılabilen değerlere göre oluşturulan kontrol grafiklerine niteliksel kontrol grafikleri adı verilir.

Niteliksel ller için oluşturulan kontrol diyagramları binom ve poisson gibi kesikli dağılımlardan yararlanılarak oluşturulmaktadır. Her iki dağılım da birer parametrelidir oldukları için kontrol grafiği sayıları da iki parametrelidir normal dağılıma dayalı  $\bar{X} - S$  ve  $\bar{X} - R$  gibi iki değil, birdir (Law ve Kelton, 2000).

İlgilenilen kalite karakteristiğinin ölçülebilir olmadığı durumlarda hatalı ürün sayısı ve hata sayısına göre iki şekilde kontrol grafikleri oluşturulmaktadır. Hatalı rn sayısı ile ilgilenildiğinde süreçteki büyük kaymaları belirlemek için kusurlu oranı (p) ve kusurlu birim sayısı (np) süreç kontrol grafiklerine ihtiyaç duyulurken, hata sayısı ile ilgilenildiğinde süreçteki nispeten büyük kaymaları belirlemek için de kusur sayısı (c) ve birim için kusur sayısı (u) süreç kontrol grafiklerine ihtiyaç duyulmaktadır (Baray, 2008, s. 142).

### 3.2.1 Kusurlu oranı (p) kontrol grafiği

Kusurlu oranı, bir anaküttelede spesifikasyonları sağlamayan birimlerin sayısının anakütteledeki birim sayısına oranı olarak tanımlanmaktadır. Sembollerle gösterildiğinde;

N: Anakütle birim sayısı

D: Anaküttelede spesifikasyonları sağlamayan birim sayısı

n: Örnekteki birim sayısı

d: Örnekte spesifikasyonları sağlamayan birim sayısı olmak üzere, anakütle ve örnek kusurlu oranları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$p' = \frac{D}{N} \quad (3.18a)$$

$$p = \frac{d}{n} \quad (3.18b)$$

Kusurlu oranı kontrol grafiği süreç çıktılarının ölçülebildikleri halde, geçer-geçmez olarak sınıflandırılarak veya bir başka biçimde muayene edilmesi işleminde uygulanabilecek bir kontrol grafiğidir. Süreç çıktılarının muayene veya test sonucunda iki farklı sınıfa ayrılabil-diği durumlarda, arzu edilmeyen sınıfa giren çıktıların oranı p kontrol grafiğiyle izlenebilir.

Kusurlu oranı kontrol grafiğinin oluşturulmasında Binom dağılımı ve ilgili varsayımlarından faydalanılır. İlgilenilen sürecin veya ankütlenin kusuru oranı  $p'$  iken, kusurlu oranın ortalaması ve varyansı sırasıyla;  $\mu = p'$  ve  $\sigma_p^2 = \frac{p'(1-p')}{n}$  'dir.

Sürecin kusurlu oranı  $p'$  ve standart sapması  $\sigma_{p'}$  ise p kontrol grafiğinin limitleri ve orta çizgisi aşağıda verilmiştir.

$$\text{ÜKL}_p = p' + 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{n}} \quad (3.19a)$$

$$OC_p = p' \quad (3.19b)$$

$$AKL_p = p' - 3\sqrt{\frac{p'(1-p')}{n}} \quad (3.19c)$$

### 3.2.2 Kusurlu birim sayısı (np) kontrol grafiği

Sürecin kusurlu oranı için düzenlenen p kontrol grafiğinin yorumlanması uygulayıcının yeterli yöntem bilgisine sahip olmadığı durumlarda problem yaratmaktadır. Bu nedenle özellikle örnek büyüklüğünün sabit olduğu durumlarda, kusurlu birim sayısını kontrol etmek daha yararlı olabilmektedir. Bu amaca yönelik olarak da kusurlu birim sayısı kontrol grafiği kullanılmaktadır.

Süreçten alınan n birimlik örneklerdeki kusurlu birim sayısı  $D_i$  ve sürecin beklenen kusurlu oranı  $p_i$  olmak üzere  $D_i$ 'lerin dağılım parametreleri aşağıda verilmiştir.

$$\mu = np \quad (3.20)$$

$$\sigma = \sqrt{np(1-p)} \quad (3.21)$$

Bu durumda np kontrol grafiğinin parametreleri aşağıda verilmiştir.

$$\text{ÜKL} = np + 3\sqrt{np(1-p)} \quad (3.21a)$$

$$OÇ = np \quad (3.21b)$$

$$AKL = np - 3\sqrt{np(1-p)} \quad (3.21c)$$

### 3.2.3 Kusur sayısı (c) kontrol grafiği

Bazı ürünler, o ürün için belirlenen spesifikasyonlardan bir veya daha fazlasını sağlamayabilirler. Bu gibi durumlarda ürün için olan kusur sayısının izlenmesi gerekmektedir.

Ürünlerdeki kusurlar birlikte ya da ayrı ayrı ele alınarak kontrol edilebilmektedir. Bununla birlikte, kusurun oluşacağı uzunluk, alan gibi ölçü birimi değışmemek koşuluyla, belirli sayıda birimdeki ortalama kusur sayısı da kontrol edilebilir. Kusur sayısını kontrol etmek amacıyla geliştirilen kontrol grafikleri, ilgili varsayımlarıyla birlikte Poisson dağılımını temel almaktadır.

Kusur sayısı kontrol grafiğinde ortalama kusur sayısı  $c'$  olmak üzere kontrol limitleri denklem 3.22'de verilmektedir.

$$\text{ÜKL} = c' + 3\sqrt{c'} \quad (3.22a)$$

$$OÇ = c' \quad (3.22b)$$

$$AKL = c' - 3\sqrt{c'} \quad (3.22c)$$

Eğer  $c'$  değeri bilinmiyorsa, örneklerin kusur sayılarından hareketle ortalama kusur sayısı belirlenir.  $c_i$ ,  $i$ . örnekteki birimlerin kusur sayısı,  $m$  örnek sayısı olmak üzere ortalama kusur sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m} \quad (3.23)$$

Buna bağlı kontrol grafinin ilgili limitleri ise aşağıda verilmiştir.

$$\dot{ÜKL} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.24a)$$

$$OÇ = \bar{c} \quad (3.24b)$$

$$AKL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.24c)$$

### 3.2.4 Birim için kusur sayısı (u) kontrol grafiği

Muayene edilen örnekteki kusur sayısı  $c$ , örnek tek birimden oluştuğunda hem kusur sayısı, hem de birime düşen kusur sayısı anlamındadır. Fakat birimler, kusur olması şansının sabit kalması için birbirinin aynı olmalıdır.

Kusurun oluşabileceği alan örnekten örneğe değişim gösterdiğinde, kusur sayısı için  $c$  kontrol grafiği uygulanamaz. Örnekteki birim sayılarının farklılık gösterdiği durumlarda, bir birime düşen kusur sayısını kontrol istatistiği olarak almak amaca daha uygun olacaktır.

$n$  muayene birimine sahip  $i$ . örnekteki kusur sayısı  $c_i$  iken, bir birime düşen ortalama kusur sayısı  $u_i$  aşağıda verilmiştir.

$$u_i = \frac{c_i}{n} \quad (3.25)$$

$u$  istatistiği Poisson dağılımın varsayımlarını sağlamaktadır. Bir birime düşen ortalama kusur sayısının kontrolü için geliştirilen  $u$  kontrol grafiğinde,  $u_i$  birime düşen ortalama kusur sayısı ve  $m$  örnek sayısı olmak üzere  $\bar{u}$  (3.26)'da verilmiştir.

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m u_i}{m} \quad (3.26)$$

Buna bağlı olarak  $u$  kontrol grafiğinin limitleri aşağıda verilmiştir.

$$\dot{ÜKL} = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n} \quad (3.27a)$$

$$OÇ = \bar{u} \quad (3.27b)$$

$$AKL = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n} \quad (3.27c)$$

Birime düşen ortalama kusur sayısı için  $u'$  gibi bir standart değer verildiğinde, grafiğin oluşturulmasında  $\bar{u}$  yerine  $u'$  değeri kullanılmaktadır.

### **3.3 Süreçteki Küçük Kaymalar İçin Kontrol Grafikleri**

Shewhart kontrol grafikleri sürecin kontrol altında olup olmadığını ve sürecin kontrol altında olmamasına neden olan özel nedenlerin belirlenmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte Shewhart grafikleri, grafik üzerinde işaretlenen son noktanın değerlendirmesini yapmaktadır ve sürecin tüm yapısını yansıtmamaktadır. Bu nedenle bu grafikler, süreçteki yaklaşık  $1,5 \sigma$  ve altındaki değişimlere duyarsızlık göstermektedirler (Mongomery, 2005, s. 386). Bu sorunu çözmek için süreçteki küçük değişimlerle ilgilenildiğinde birikimli toplam (CUSUM) ve üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (EWMA) kontrol grafikleri kullanılmaktadır.

#### **3.3.1 Birikimli toplam (CUSUM) kontrol grafikleri**

Cusum kontrol grafikleri süreçteki küçük değişimleri ve eğilimleri (trendleri) belirlemede kullanılan en güçlü araçlardan biridir (Healy, 1987). Shewhart temelli kontrol grafiklerinde süreçten alınan bir miktar örnek kullanılırken, Cusum kontrol grafiklerinde eldeki tüm bilgi kullanılmaktadır. Bununla birlikte Shewhart kontrol diyagramlarında rassal ve özel nedenlere bağlı değişkenlik ayırt edilmektedir. Cusum grafikleri ise dinamik süreç ortalamaları söz konusu olduğunda bunları izlemede kullanılan grafiklerdir. Yapı itibariyle ardışık bir dizi hipotez testinden ibaret olan Cusum grafiklerinde, özel nedenlere bağlı değişkenlik söz konusu olduğunda önceden bilinmeyen büyüklükte kaymaların bu ardışık hipotez testleriyle incelenmesinin çok da güvenilir olmadığı ortadadır. Bu nedenle Cusum grafikleriyle kolay değişkenlik incelenirken literatürde önerilen yöntemlerden birinin uygulanması gerekmektedir.

#### **3.3.2 Üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (EWMA) kontrol grafikleri**

EWMA, Cusum gibi süreçteki küçük kaymaları belirlemede kullanılan ağırlıklandırılmış bir hareketli ortalama grafiğidir. Süreçteki küçük sapmalar bu grafik tarafından da belirlenirken, Cusum ile yaklaşık olarak aynı sonuçları vermektedir ve bazı yönlerden kullanımı daha kolay olarak görülmektedir (Montgomery, 2005, s. 405).

EWMA, ağırlıklandırılmış bir hareketli ortalamalar yöntemidir. Ancak burada, örnek ortalaması eskidikçe ağırlıklar da geometrik olarak azalmaktadır.

$$Z_i = \lambda + (1 - \lambda)Z_{i-1}X_i \quad (3.28)$$

Burada  $\lambda$  bir sabit olup  $0 < \lambda \leq 1$ 'dir.  $i = 1$  iken  $Z_{i-1} = Z_0$  olacağından ve hangi değer alacağı bilinmediğinden  $Z_0 = \mu_0$  kabul edilmektedir. Buradaki  $\mu_0$ , sürecin hedeflenen değeridir. Ön verilerin ortalaması EWMA'nın başlangıcında kullanıldığında ise da  $Z_0 = \bar{X}$  olarak kabul edilecektir.

EWMA kontrol grafikleri, süreç kontrolünün dışında zaman serilerinin analizinde ve tahminlerde sıklıkla kullanılmaktadır. EWMA, tüm geçmişin ve mevcut gözlemin ağırlıklandırılmış ortalaması olarak düşünülebilmektedir. Bu nedenle normallik varsayımına karşı duyarsızdır ve altörnek hacminin bire eşit olduğu durumlar için de idealdir (Baray, 2008, s. 198).

Bu durumlarda  $X_i$  gözlemleri  $\sigma^2$  varyanslı bağımsız değişkenler ise,  $Z_i$ 'nin varyansı aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_{Z_i}^2 = \sigma^2 \left( \frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \quad (3.29)$$

$i$  örnek aralığı veya zaman ile  $Z_i$ 'ye göre çizilen EWMA grafiğinin kontrol limitleri aşağıdaki gibidir.

$$\text{ÜKL} = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\left( \frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (3.30a)$$

$$OÇ = \mu_0 \quad (3.30b)$$

$$\text{AKL} = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\left( \frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (3.30c)$$

$[1 - (1 - \lambda)^{2i}]$  terimi  $i$  büyüdükçe kararlı hale gelmeye başlamaktadır. Bu durumdaki kontrol limitleri aşağıdaki gibidir.

$$\text{ÜKL} = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\left( \frac{\lambda}{2-\lambda} \right)} \quad (3.31a)$$

$$OÇ = \mu_0 \quad (3.31b)$$

$$\text{AKL} = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\left( \frac{\lambda}{2-\lambda} \right)} \quad (3.31c)$$

#### 4. ÇOK DEĞİŞKENLİ SÜREÇ KONTROLÜ

İstatistiksel süreç kontrolü, normal bir süreçten alınan veriler temel alınarak “normal süreç” kavramının tanımlanması ve ardından var olan süreçten alınan örnek verilerin tanımlanan normal süreç parametreleriyle karşılaştırılarak mevcut sürecin durumunun belirlenmesidir (Yang ve Trewn, 2004, s. 243).

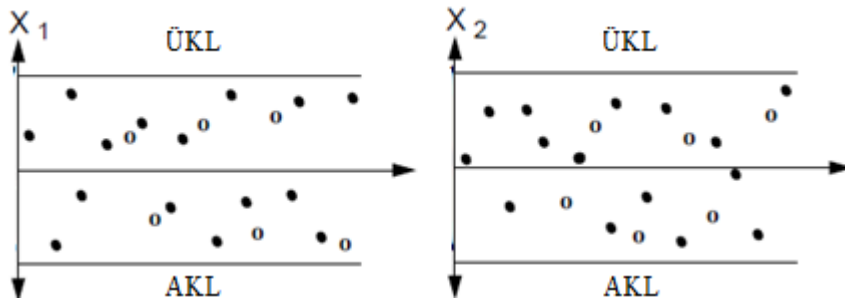
Tek değişkenli durumlarda görüntülenecek ve kontrol edilecek sadece bir değişken mevcuttur. Bu durum, literatürde çok yaygın olarak işlenen bir konu olmakla birlikte, gerçek hayatta kontrol edilecek süreç değişkeni bir taneye sınırlı kalmamaktadır (Montgomery, 2005, s. 486). Çoğu veri yapısal olarak çok değişkenlidir, üretim işletmelerinde parçaların fiziksel boyutlarının birkaç farklı noktadan ölçülmesi gerekebilmekte veya bir sistemin çeşitli parametreleri eşzamanlı olarak elde edilebilmektedir (Fuchs ve Kenett, 1998, s.11).

Çok değişkenli süreç kontrolünde, eşzamanlı görüntüleme sayesinde kalite karakteristikleri hakkında daha çok bilgi elde edilebilmekte ve değişkenler arasındaki korelasyon belirlenebilmektedir. Tek değişkenli kontrol grafiklerinde ise değişkenlerin bağımsız oldukları varsayılmakla birlikte, gerçekte, değişkenler arası ilişkiler sürecin tanımlanmasında önemli bir rol üstlenmektedir.

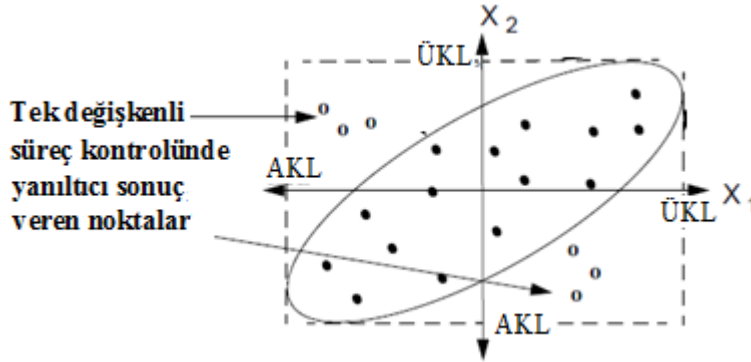
Eşzamanlı görüntülemenin ya da iki veya daha fazla kalite karakteristiğinin kontrolünün gerekli olduğu durumlarda, kalite karakteristiklerini birbirinden bağımsız olarak incelemek yanıltıcı sonuçlara neden olabilmektedir. Birbirleriyle ilişkileri bulunan kalite karakteristikleri, farklı kontrol grafikleri kullanılarak ayrı ayrı incelendiğinde süreç kontrol altında görünürken, değişkenler eşzamanlı olarak incelendiğinde, kalite karakteristiklerinin normal olmayan davranış gösterdiği görülebilmektedir (Montgomery, 2005, s. 510).

Değişkenler arasında varolan ilişkiler dikkate alındığında tek değişkenli kontrol grafiklerinin yanıltıcı sonuçlar verebildiği Şekil 4.2’de gösterilmektedir.  $x_1$  ve  $x_2$  olmak üzere iki kalite karakteristiği bulunduğu varsayalım. Süreç istatistiksel olarak kontrol altında olduğunda  $x_1$  ve  $x_2$  çok değişkenli normal dağılıma uymaktadır ve değişkenler arası ilişki Şekil 4.2’deki ortak grafikte gösterilmektedir. Elips, %95

güven seviyesindeki kontrol limitleri içinde kalan kontrol altındaki süreci temsil etmekte; ( ) ve (o) simgeleri, süreçteki gözlem değerlerini göstermektedir. Aynı gözlemler Şekil 4.1’de gösterilen tek değişkenli Shewhart kontrol grafiğinde %97 güven seviyesindeki alt ve üst kontrol limitlerine karşılık gelecek şekilde işaretlenmiştir. Şekil incelendiğinde tek değişkenli kontrol grafiğine göre sürecin kontrol altında olduğu görülmektedir. Ancak bu durumda müşterilerin ürün veya hizmet performansı hakkında şikayetçi olma olasılıkları bulunmaktadır. Çünkü gerçek durum, çok değişkenli kontrol grafiği çizildiğinde ortaya çıkmaktadır. (o) noktaları ortak kontrol bölgesinin dışındadır, yani süreç kontrol altında değildir (Chen ve diğ., 2001).



**Şekil 4.1:**  $X_1$  ve  $X_2$  için tek değişkenli kontrol grafikleri (Chen ve diğ., 2001).



**Şekil 4.2:**  $X_1$  ve  $X_2$  için oluşturulan ortak grafik (Chen ve diğ., 2001).

Gerçek hayatta süreçler, birden fazla karakteristik içermekte ve bu durum, farklı ölçümlerin tek bir değerle ifade edilmesini gerektirmektedir. Bu tür süreçlere bir kalite karakteristiğine göre süreç kontrol yöntemlerinin uygulanması  $\alpha$  ve  $\beta$  olasılıklarının değişmesine sebep olmaktadır (Baray, 2008, s. 204). Bununla birlikte özelliklerin ayrı ayrı incelenmesi 1. tip hata olan  $\alpha$  hatasında yanlış hesaplamalara neden olabilmektedir. Süreç görüntüleme yöntemindeki bu yanlış, kalite karakteristiği sayısı arttıkça daha da artmaktadır. Genellikle, belirli bir üretim için p adet istatistiksel olarak bağımsız kalite karakteristiği bulunduğunda ve herbirinin 1.

tip hata olasılığı  $\alpha$ 'ya eşit olan  $\bar{x}$  kontrol grafikleri oluşturulduğunda, ortak kontrol yönteminin süreç kontrol altındayken kontrol dışında olarak görünme olasılığı olan gerçek 1. tip hata, (4.1)'de verilen denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$\alpha' = 1 - (1 - \alpha)^p \quad (4.1)$$

Süreç kontrol altında iken tüm  $p$  ortalamalarının eşzamanlı kontrol grafiklerinin kontrol limitleri içinde olma olasılığı ise (4.2)'de verilmiştir.

$$P = (1 - \alpha)^p \quad (4.2)$$

Ortak kontrol prosedüründeki yanlış hesaplama,  $p$  ortalama civarında değerler aldığı anda dahi çok fazla olabilmektedir. Bununla birlikte kalite karakteristikleri bağımsız olmadığı anda, yukarıda verilen eşitlikler kullanılamaz ve ortak kontrol prosedüründeki bozulma ölçülemez (Montgomery, 2005, s. 509). Genellikle literatürde, veriler ilişkili olduğunda çok değişkenli kontrol grafiklerinin kullanımı daha önemli olarak görülmektedir; ancak, tek değişkenli kontrol grafikleri de bunların tamamlayıcısı olarak oluşturulabilmektedir (Fuchs ve Kenett, 1998, s. 77).

Mason ve Young (2002, s. 9), çok değişkenli kontrol prosedürünün beş özelliği olduğunu belirtmektedirler.

- Görüntülenen istatistik, grafikte gösterimi kolay ve süreç trendlerini tanımlamada yararlı olmalıdır.
- Değişkenler, kontrol dışı noktalar fark edildiğinde, bunun nedenini belirlemeyi sağlayacak bileşenler olmalıdır.
- Prosedür, uygulamada esnek olmalıdır.
- Prosedür, küçük ancak tutarlı süreç değişimlerine karşı duyarlı olmalıdır.
- Prosedür, süreci hem çevrimiçi hem çevrimdışı iken görüntüleme kapasitesine sahip olmalıdır.

Diğer bir deyişle, iyi bir grafik oluşturma yönteminin, kontrol dışı bir durumu hızlı bir şekilde fark etmeyi sağlamanın yanında süreç trendlerini de tanımlaması beklenmektedir. Kontrol prosedürünü anlayabilmek için yorum evrensel olmalı, sadece belirli bir veri kümesine bağımlı olmamalı, bunların yanında oluşabilecek kontrol dışı durumların işaretini önceden verebilmelidir (Young ve Mason, 2002, s. 9). Ayrıca hem bağımsız hem de zamana bağımlı değişkenlerle çalışabilmeli ve aynı zamanda hem sürekli, hem de yığın süreçlere uygulanabilmelidir.

Jackson (1991), çok değişkenli süreç kontrolü uygulamasının aşağıdaki koşulları sağlaması gerektiğini belirtmektedir.

- Sürecin kontrol altında olup olmadığı söylenebilmelidir.
- Prosedürün kontrol dışı bir durumu hata sonucu teşhis etme olayı için genel bir olasılık belirlenmelidir.
- Değişkenler veya özellikler arasındaki ilişkiler dikkate alınmalıdır.
- Süreç kontrol dışında ise problemin kaynağı belirlenebilmelidir.

Çok değişkenli süreç kontrolü çalışmaları yoğun matematiksel işlemler gerektirmektedir. Ancak son zamanlardaki hızlı teknolojik ilerlemeler sayesinde niteliksel ve niceliksel verilere kolaylıkla ulaşılabilmektedir. Bu verilerin çoğu birbiri ile ilişkili ve çok değişkenli verilerdir. Bu nedenle çok değişkenli süreç kontrolüne olan ihtiyaç her geçen gün artmakta ve modern bilgisayarların işlem kapasitelerindeki niceliksel artış ile çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol çalışmalarının uygulanmasını gittikçe kolaylaőmaktadır (Yang ve Trewn, 2004, s. 244).

## 4.1 Çok Değişkenli Veriyi Tanımlama

### 4.1.1 Çok değişkenli normal dağılım

Tek değişkenli süreç kontrolünde normal dağılım genellikle sürekli kalite karakteristiklerini tanımlamada kullanılmaktadır. Tek değişkenli normal olasılık yoğunluk fonksiyonu (4.3)'te verilmektedir.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty \quad (4.3)$$

Normal dağılımın ortalaması  $\mu$  ve varyansı  $\sigma^2$  dir.

$$(x - \mu)(\sigma^2)^{-1}(x - \mu) \quad (4.4)$$

(4.4) formülü, x değerlerinin ortalama  $\mu$ 'ye olan uzaklıklarının standardize edilmiş halinin karelerini göstermektedir.

Aynı yaklaşım çok değişkenli durumlarda da kullanılabilir.  $(x_1, x_2, \dots, x_p)$  olarak p adet değişken olduğunda oluşacak p bileşen vektörü  $x' = [x_1, x_2, \dots, x_p]$ 'dir.  $\bar{X}$  vektörü ise;  $\mu' = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p]$  ve x rassal değişkenlerinin varyans ve kovaryanslarını içeren  $p \times p$  boyutlu kovaryans matrisi  $\Sigma$  olsun.  $\Sigma$ 'nın ana köşegeni

x'lerin varyanslarını gösterirken, köşegen dışı elemanlar kovaryansları göstermektedir.

Çok değişkenli normal dağılımda x ile  $\mu$  arasındaki standardize uzaklığının karesi (4.5)'te verilmektedir.

$$(x - \mu)' \Sigma^{-1} (x - \mu) \quad (4.5)$$

Çok değişkenli normal olasılık yoğunluk fonksiyonu ise (4.6)'da verilmektedir.

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)' \Sigma^{-1} (x-\mu)} \quad -\infty < x_j < \infty, \quad j=1,2,\dots,p \quad (4.6)$$

Çok değişkenli analizlerde verinin normal dağıldığı varsayımı kabul edilmektedir (Montgomery, 2005, s. 511).

#### 4.1.2 Örnek ortalama vektörü ve kovaryans matrisi

n adet normal dağılım gösteren rassal değişkenin  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  i. örnek vektörü  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$  gözlemlerini içermektedir. Örnek ortalama vektörü (4.7)'de, örnek kovaryans matrisi (4.8)'te verilmiştir.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.7)$$

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})' \quad (4.8)$$

S'nin köşegeni örnek varyanslarını vermektedir. Bir kovaryans uygun standart sapma tarafından standardize edildiğinde, korelasyon katsayılarının tahmini değerleri iki değişken arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Fuchs ve Kenett, 1998, s. 16). S'nin ana köşegeninin örnek varyansı (4.9)'da örnek kovaryansları ise (4.10)'da verilmiştir.

$$S_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad (4.9)$$

$$S_{jk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k) \quad (4.10)$$

Örnek ortalama vektörü ve örnek kovaryans matrisi süreç ortalamasının ve süreç kovaryans matrisinin yansız tahminleyicisidir (Montgomery, 2005, s. 516).

$$E(x) = \mu \quad (4.11a)$$

$$E(S) = \Sigma \quad (4.11b)$$

## 4.2 Çok Değişkenli Kontrol Grafikleri

### 4.2.1 Hotelling $T^2$ kontrol grafiği

Geometrik olarak  $T^2$ , hedef değeri çevreleyen elipsten eşit uzaklıktaki noktalar ile çok değişkenli gözlem arasındaki uzaklığın karesidir. Yüksek  $T^2$  değeri gözlemin hedeften uzak olduğunu göstermektedir. Hedef değerler referans örnekten belirlenebileceği gibi dışardan, referans örneklerle bağlantısı olmadan da belirlenebilir (Fuchs ve Kenett, 1998, s. 6).

Tek değişkenli t testinin gücü çok değişkenli testten daha azdır. Çok sayıdaki tek değişkenli testin karşılaştırılmasında ise anlamlılık düzeyleri belirlendiğinde birleşim problemi yaşanmaktadır. Bu nedenle bu yöntemlerdense tek değişkenli Shewhart  $\bar{x}$  kontrol grafiğinin çok değişkenliliğe uyarlanmış hali olan Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği tercih edilmektedir (Fuchs ve Kenett, 1998, s. 22).

Young ve Mason (2002, s. 33), Hotelling  $T^2$  kontrol istatistiğini kullanmak için bazı varsayımlar yapılması ve gerekli koşullar sağlanması gerektiğini ileri sürmüşlerdir:

1. Rassal gözlem örnekleri seçmek
2. Sinyal tespitinde kullanmak için bir üst kontrol limiti belirlemek
3. Yeterli örnek büyüklüğü kullanmak
4. Değişkenler için tutarlı bir kovaryans matris tahminleyicisi elde etmek

#### 4.2.1.1 $T^2$ dağılım özellikleri

Hotelling  $T^2$  istatistiğinde p değişkenli örnek gözlemler tek bir veriye dönüştürülmektedir. Orjinal değişkenler rassal olduğu için, bu yeni  $T^2$  değerleri de rassaldır ve uygun bir olasılık dağılımına göre dağılım göstermektedirler.

$T^2$  temel varsayımlarından biri kovaryans matrisi  $\Sigma$  ve ortalama vektörü  $\mu$  olan p değişkenli bir normal popülasyondan alınan örneklerle  $T^2$  istatistiğinin oluşturulmasıdır. Bu nedenle bağımsız gözlemlerin davranışları, parametrelerin bilinip bilinmediği durumlara göre farklılık gösteren olasılık dağılımlarıyla açıklanabilmektedir. Parametreler bilinmediğinde, süreç kontrol altındayken alınan bir veri kümesi olduğu kabul edilmekte ve süreç parametreleri bu verilerden elde edilmektedir (Young ve Mason, 2002, s. 54).

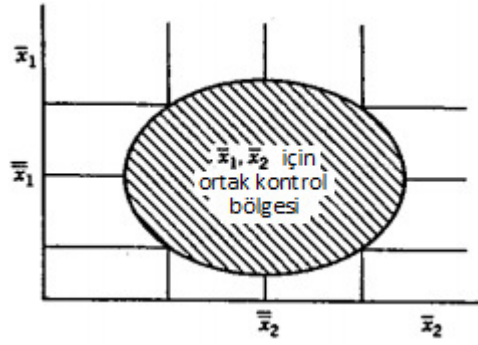
#### 4.2.1.2 Altörnekli veri

İki adet kalite karakteristiğinin  $(x_1, x_2)$  olduğu, bunların ortalamalarının sırasıyla  $\mu_1, \mu_2$ , standart sapmalarının  $\sigma_1, \sigma_2$ , kovaryanslarının  $\sigma_{12}$  ve bu karakteristiklerin normal dağılıma uyduğu farz edildiğinde bu değişkenler 2 serbestlik dereceli ki - kare dağılımına uymaktadır.

$$\chi_0^2 = \frac{n}{\sigma_1^2 \sigma_2^2 - \sigma_{12}^2} [\sigma_2^2 (\bar{x}_1 - \mu_1)^2 + \sigma_1^2 (\bar{x}_2 - \mu_2)^2 - 2\sigma_{12} (\bar{x}_1 - \mu_1)(\bar{x}_2 - \mu_2)] \quad (4.12)$$

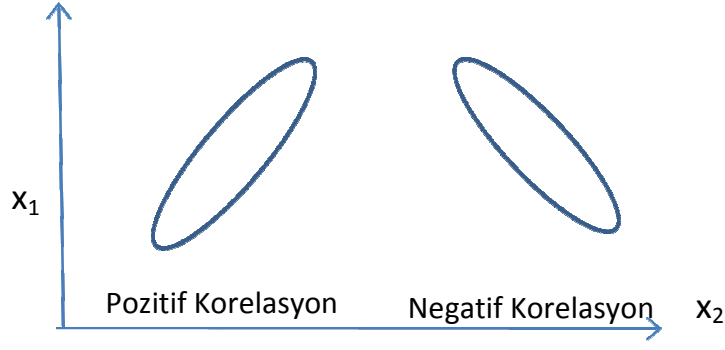
Süreç ortalamaları  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  olarak kaldığı sürece  $\chi_0^2$  değerleri, 2 serbestlik dereceli ki-kare dağılımının  $\alpha$  yüzdesine ( $\chi_{\alpha,2}^2$ ) eşit olan üst kontrol limitinden (ÜKL) küçük olmalıdır. En az bir değer kontrol dışında olursa,  $\chi_0^2$  istatistik değerleri üst kontrol limitini aşmaktadır (Montgomery, 2005, s. 512).

Çok değişkenli süreç grafiksel olarak da görüntülenebilir.  $x_1$  ve  $x_2$  rassal değişkenleri istatistiksel olarak bağımsızsa yani kovaryansları ( $\sigma_{12}$ ) 0'a eşit ise (4.12) eşitliği ana eksenleri  $\bar{x}_1$  ve  $\bar{x}_2$  eksenlerine paralel ve  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  merkezli bir elipsi göstermektedir.  $\chi_0^2$  değerlerinin elipsin içinde olması sürecin kontrol altında olduğunu gösterirken, elipsin dışında çıkan her bir değer sürecin kontrol dışında olduğunu gösterir. Bu elips genellikle kontrol elipsi olarak adlandırılmaktadır (Montgomery, 2005, s. 513).

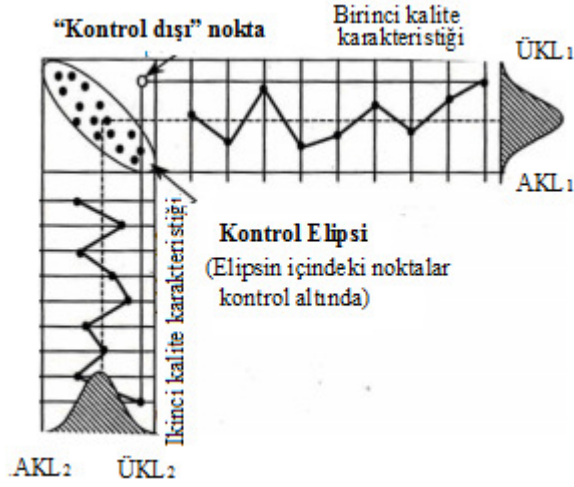


**Şekil 4.3:**  $x_1$  ve  $x_2$  rassal değişkenleri için kontrol elipsi.

$x_1$  ve  $x_2$  rassal değişkenleri istatistiksel olarak bağımlı olduğunda ( $\sigma_{12} \neq 0$ ) kontrol elipsinin ana eksenleri  $\bar{x}_1$  ve  $\bar{x}_2$ 'ye paralel değildir (Montgomery, 2005, s. 512). Eğer değişkenler arasındaki korelasyon pozitif ise elips sağ yukarı doğru, negatif ise sağ aşağı doğru eğilim gösterir (Mason ve Young, 2002, s.17).



Şekil 4.4: Korelasyon ve elipsler (Mason ve Young, 2002, s. 18).



Şekil 4.5: Kontrol elipslerinin kullanımı (Chen ve diğ., 2001).

Kontrol elipsinde işaretli noktaların zaman sıraları kaybolmaktadır. Bu sorun noktaları numaralandırarak veya farklı semboller kullanılarak aşılabilir. Diğer bir sorun ise kontrol elipsinin ikiden fazla kalite karakteristiği için oluşturmanın zor olmasıdır. Tüm bu sorunları aşmak adına, her örnek için hesaplanan değerleri ile yeni bir ki-kare kontrol grafiği oluşturulmaktadır. Bu grafikte verilerin zaman sırası korunmakta ve böylece rassal dağılmayan örneklerin nedenleri araştırılabilmektedir. Ayrıca sürecin durumu tek bir değer ( ) ile görüntülenebilmekte, bu da iki veya daha fazla kalite karakteristiği ile inceleme imkanı sağlamaktadır (Montgomery, 2005, s. 514).

$p$  adet kalite karakteristiği ve , her kalite karakteristiğinin ortalama vektörü

$\mu' = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p]$  ve kovaryans matrisi  $\Sigma$  olmak üzere ki-kare kontrol grafiğindeki her örnek için oluşturulacak test istatistiği (4.13)'te verilmiştir.

$$\chi_0^2 = n(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}) \quad (4.13)$$

Ki-kare kontrol grafiğinin üst kontrol limiti ise (4.14)'te verilmiştir.

$$\dot{U}KL = \chi_{n,p}^2 \quad (4.14)$$

$\mu$  ve kovaryans matrisi  $\Sigma$ , sürecin kontrol altında kabul edildiğı bir anda alınan,  $n$  büyüklüğündeki öncül örneklerin (preliminary samples) analiziyle elde edilmektedir.  $n$  büyüklüğünde  $m$  adet örnek olduğunda her örneğın ortalama ve varyansları (4.15) ve (4.16)'da verilmiştir.  $x_{ijk}$ ,  $k$ . örneğın  $j$ . kalite karakteristiğindeki  $i$ . gözlemi göstermektedir.

$$\bar{x}_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (4.15)$$

$$S_{jk}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})^2 \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (4.16)$$

$k$ . örneğın  $j$ . ve  $h$ . kalite karakteristikleri arasındaki kovaryans (4.17)'de verilmiştir.

$$S_{jhk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})(x_{ihk} - \bar{x}_{hk}) \quad \begin{cases} k = 1, 2, \dots, p \\ j \neq h \end{cases} \quad (4.17)$$

$m$  adet örnek için  $\bar{x}_{jk}$ ,  $S_{jk}^2$  ve  $S_{jhk}$  istatistiklerinin aşağıdaki gibi ortalamaları alınır.

$$\bar{\bar{x}}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{x}_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (4.18.a)$$

$$\bar{S}_j^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_{jk}^2 \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (4.18.b)$$

$$\bar{S}_{jh} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_{jhk} \quad j \neq h \quad (4.18.c)$$

$\{\bar{\bar{x}}_j\}$ ,  $\bar{\bar{x}}$  vektörünün elemanlarıdır ve  $p \times p$  boyutundaki örnek ortalama kovaryans matrisi (4.19)'da verilmiştir.

$$S = \begin{bmatrix} \bar{S}_1^2 & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{13} & \dots & \bar{S}_{1p} \\ & \bar{S}_2^2 & \bar{S}_{23} & \dots & \bar{S}_{2p} \\ & & \bar{S}_3^2 & \dots & \bar{S}_{3p} \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & \bar{S}_p^2 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

Süreç kontrol altında olduğunda, örnek ortalama kovaryans matrisi  $S$ ,  $\Sigma$ 'nın yansız tahminleyicisidir.

Süreç parametreleri  $\mu$  ve  $\Sigma$ 'nın bilinmediği durumlarda yukarıdaki formüller göz önüne alınarak,  $\mu$  yerine  $\bar{x}$  ve  $\Sigma$  yerine S kullanıldığında oluşan ve Hotelling  $T^2$  olarak adlandırılan yeni test istatistiği (4.20)'de verilmiştir.

$$T^2 = n(\bar{x} - \bar{\bar{x}})' S^{-1} (\bar{x} - \bar{\bar{x}}) \quad (4.20)$$

Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinin oluşumunda iki aşama mevcuttur. Birinci fazda m adet öncül grup oluşturulmakta,  $\bar{\bar{X}}$  ve S değerleri hesaplanarak sürecin kontrol altında olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu fazın amacı, ikinci fazın kurulması için gerekli olan kontrol altındaki gözlem verilerini elde etmektir. İkinci fazda ise gelecekteki üretim görüntülenmektedir.

$T^2$  kontrol grafiğinin birinci fazı için oluşturulacak kontrol limitleri (4.21)'de verilmiştir.

$$\text{ÜKL} = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (4.21a)$$

$$AKL = 0 \quad (4.21b)$$

Gelecek üretimi görüntülemek için kurulan ikinci faz grafiğinin kontrol limitleri (4.22)'de verilmiştir.

$$\text{ÜKL} = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (4.22a)$$

$$AKL = 0 \quad (4.22b)$$

$\mu$  ve  $\Sigma$ 'nın oluşturulduğu öncül örnek büyüklükleri çok geniş olduğunda hem birinci hem de ikinci fazdaki üst kontrol limiti  $\chi_{\alpha,p}^2$ 'ye eşit olmaktadır. (Montgomery, 2005, s. 517).

#### Örnek 4.1

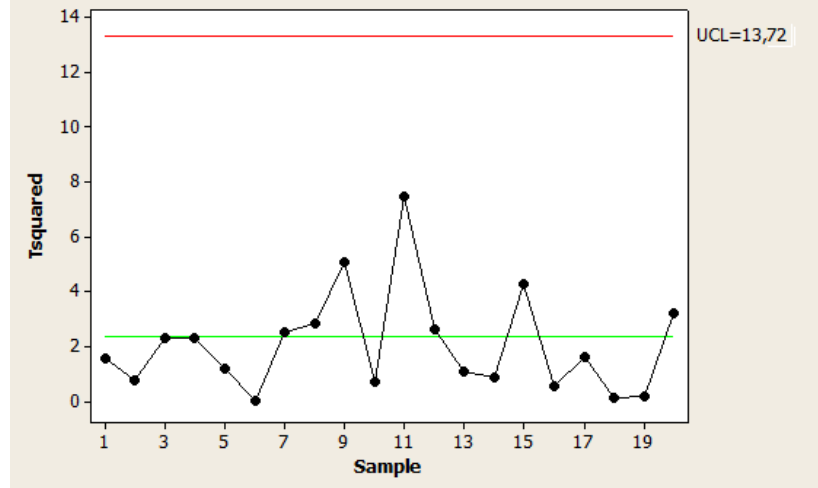
Gerilim dayanıklılığı ve tekstil lifi çapı birlikte kontrol edilmesi gereken iki önemli kalite karakteristiğidir. Kalite mühendisi, her örnekte n = 10 olan lif örneği kullanmaya karar vermiştir. 20 öncül örnek almış ve bunun sonucunda aşağıdaki parametreleri elde etmiştir.

$\bar{x}_1 = 115.59$  psi,  $\bar{x}_2 = 1.06(\times 10^{-2})$  inch,  $\bar{S}_1^2 = 1.23$ ,  $\bar{S}_2^2 = 0.83$  ve  $\bar{S}_{12}^2 = 0.79$ . Bu veriler kullanılarak  $T^2$  değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$T^2 = \frac{10}{(1.23)(0.83) - (0.79)^2} [0.83(\bar{x}_1 - 115.59)^2 + 1.23(\bar{x}_2 - 1.06)^2 - 2(0.79)(\bar{x}_1 - 115.59)(\bar{x}_2 - 1.06)]$$

Şekil 4.6’da bu örnek için oluşturulmuş faz 1 kontrol grafiğini göstermektedir. İlgili grafiğin kontrol limitleri (4.21)’deki eşitlik kullanılarak aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.  $\alpha = 0.001$  kabul edildiğinde;

$$\begin{aligned}\dot{ÜKL} &= \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \\ &= \frac{2(19)(9)}{20(10)-20-2+1} F_{0.001,2,20(10)-20-2+1} \\ &= 13.72\end{aligned}$$



**Şekil 4.6:** Gerilim dayanımı ve çap için oluşturulmuş Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği.

Şekil 4.4’ten görüldüğü gibi hiçbir gözlem üst kontrol limitini aşmamıştır, sürecin kontrol altında olduğu söylenebilir. İkinci faz kontrol limitleri de (4.22) formülasyonu yardımıyla,  $\alpha = 0.001$  kabul edildiğinde  $\dot{ÜKL} = 15.16$  olarak bulunur. Ki-kare kontrol limiti kullanılmış olsaydı  $\chi_{0.001,2}^2 = 13.816$  değeri kullanılacaktı. Görüldüğü gibi bu değer birinci faz limitine yakın olsa da ikinci faz için oldukça küçüktür.

#### 4.2.1.3 Tekli gözlemler

Bazı endüstriyel işlemlerde altörnek büyüklüğü (n) işlemin doğası gereği her zaman 1’dir. Bu durum genellikle kimya endüstrilerinde ortaya çıkmakla birlikte, çok değişkenli veri sürekli görüntülenmekte ve kaydedilmekte ise de bu, belirli bir zamanda 1 adet gözleme karşılık gelmekte, başka bir deyişle altrup örnek büyüklüğü 1’e eşit olmaktadır (Yang ve Trewn, 2004, s. 259).

Örnek büyüklüğü 1 olan m adet örnek ve her örneğin p adet kalite karakteristiğinin olduğu bir durumda  $\bar{x}$  ve S sırasıyla örnek ortalama vektörü ve kovaryans matrisi iken Hotelling  $T^2$  istatistiği (4.23)’ te verilmiştir.

$$T^2 = (x - \bar{x})' S^{-1} (x - \bar{x}) \quad (4.23)$$

Tracy, Mason ve Young (1992) örnek büyüklüğü bir olduğunda birinci faz limitlerinin beta dağılım göstermesi gerektiğini vurgulamışlardır. Buna göre limitler (4.24)'teki gibidir. Bu aşamada normal süreçten veri alınarak  $T^2$  kontrol grafiği oluşturulacak ve kontrol dışı durumlar silinerek temiz bir referans örnek veri elde edilecektir.

$$\text{ÜKL} = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2} \quad (4.24a)$$

$$AKL = 0 \quad (4.24b)$$

İkinci fazda referans örnek veri grubundaki değerlerle yeni bir  $T^2$  kontrol grafiği oluşturulur ve mevcut üretim incelenir. İkinci faz limitleri F dağılım göstermektedir.

$$\text{ÜKL} = \frac{p(m+1)(m-1)}{m^2 - mp} F_{\alpha, p, m-p} \quad (4.25a)$$

$$AKL = 0 \quad (4.25b)$$

#### 4.2.2 Çok değişkenli EWMA kontrol grafiği

Ki-kare ve  $T^2$  kontrol grafikleri sadece var olan örnek üzerinden bilgi sağladıkları için, ortalama vektöründeki küçük değişimlere karşı duyarsızlık göstermektedirler. Birikimli toplam (CUSUM) ve EWMA kontrol grafikleri tek değişkenli durumlar için bu eksikliği gidermek amacıyla geliştirilmiştir. Çok değişkenli EWMA (MEWMA) ise Lowry ve diğ. (1992) tarafından EWMA'nın çok değişkenli kalite problemlerine uyarlanması olarak geliştirilmiştir.

MEWMA, sürecin ortalama vektörünü görüntülemek için önceki gözlemlerin ağırlıklı ortalamalarını kullanmaktadır. MEWMA kontrol grafiğinin ARL performansı, ortalama vektörü ve kovaryans matrisine bağlıdır (Lowry ve diğ., 1992).  $0 < \lambda \leq 1$  ve  $Z_0 = 0$  olmak üzere MEWMA istatistiği (4.26)'da verilmiştir.

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda) Z_{i-1} \quad i \geq 1 \quad (4.26)$$

$x_i$  değerleri bağımsız olmakla birlikte, ortalaması  $\mu_0$  ve varyansı  $\Sigma$  olan normal dağılıma uymaktadırlar.  $\lambda$ , EWMA ağırlık matrisidir. Kullanıcı, bu matris sayesinde her değişken için belirli bir ağırlık belirleme imkanına sahiptir (Firat ve Arıcıgil, 2000). Her kalite karakteristiği için farklı ağırlıklar atanması durumunda  $\lambda$ , 0 ile 1 arasında değer alan ( $0 < \lambda \leq 1$ ) bir köşegen matrisi ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ) oluşturmaktadır.

Tek değişkenli EWMA kontrol grafiğine benzer olarak, çok değişkenli EWMA kontrol grafiğinde de düşük  $\lambda$  değerleri, ortalama vektöründeki küçük değişimleri incelemede daha etkili olmaktadır (Khoo, 2004).

Kontrol grafiğinde işaretlenen noktaları veren  $T^2$  istatistiği ve kovaryans matrisi sırasıyla (4.27) ve (4.28)'de verilmiştir.

$$T_i^2 = Z_i' \Sigma_{Z_i}^{-1} Z_i \quad (4.27)$$

$$\Sigma_{Z_i} = \frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}] \Sigma \quad (4.28)$$

MEWMA kontrol grafiğinde, grafik oluşturulmaya başlandığında sürecin kontrol altında olduğu kabul edilmektedir. Süreçteki değişim miktarı ise, merkezsizlik parametresi (noncentrality parameter) tarafından (4.29)'daki gibi gösterilmektedir. Temel olarak, yüksek  $\delta$  değerleri ortalamadaki büyük değişimlere karşılık gelmektedir. Büyük değişimler dışındaki durumlarda  $\lambda$  arttıkça ARL de artma eğilimindedir (Montgomery, 2005, s. 526).

$$\delta = (\mu' \Sigma^{-1} \mu)^{1/2} \quad (4.29)$$

$h$  değeri belirli bir ARL'nin elde edilmesi için seçilmiş ve 0'dan büyük bir değer olarak kabul edildiğinde; MEWMA kontrol grafiğinde  $T_i^2 = Z_i' \Sigma_{Z_i}^{-1} Z_i > h$  durumu oluştduğunda süreç kontrol dışı bir sinyal vermektedir (Khoo, 2004).

### 4.2.3 Çok değişkenli birikimli toplam (MCUSUM) kontrol grafiği

Shewart kontrol grafikleri sadece o anda elde bulunan örnekleri kullanmaktadır ve bu nedenle ortalama vektöründeki küçük ve orta büyüklükteki değişimlere karşı duyarsızlık göstermektedirler. Bu sorunu çözmek amacıyla tek değişkenli durumlar için birikimli toplam (CUSUM) ve EWMA kontrol grafikleri geliştirilmiş ve çok değişkenli problemlere uyarlanmışlardır (Arıcıgil ve Fırat, 2000).

Çok değişkenli birikimli toplam kontrol grafiği (MCUSUM) süreç parametrelerindeki küçük değişimlerin fark edilmesi için oluşturulmuş, tek değişkenli birikimli toplam (CUSUM) kontrol grafiğinin çok değişkenliliğe uyarlanmış halidir. Kalite karakteristiklerinin hedeften sapmalarının birikimleri temel alınarak oluşturulmaktadır (Healy, 1987).  $n_t$  altörnek sayısı;  $X_i$ ,  $i$ . gözlem değeri;  $C_t$ ,  $i$ . gözlem anındaki çok değişkenli toplam ve  $\mu_0$  hedef ortalama değeri olmak üzere denklem (4.30)'da verilmiştir.

$$C_t = \sum_{i=t-n_1+1}^t (X_i - \mu_0) \quad (4.30)$$

Hedef ortalama ( $\mu_0$ ) ve süreç tahmini ortalaması arasındaki uzaklık ölçüsü (4.31)'de verilmiştir.

$$\|C_t\| = \sqrt{C_t' \Sigma^{-1} C_t} \quad (4.31)$$

Çok değişkenli CUSUM istatistiği denklem (4.32)'deki eşitlikle elde edilmektedir.

$$MC1_t = \max\{\|C_t\| - kn_t, 0\} \quad (4.32)$$

Bu eşitlikte  $MC1_{t-1} > 0$  ise  $n_t = n_{t-1} + 1$ , aksi takdirde ise 1'e eşittir.  $k$  değeri bir sabittir ve hedef ortalama dışındaki değer ortalamasının hedef ortalmaya olan uzaklığını yarıya bölmektedir (Lowry ve Montgomery, 1995).  $\lambda$ , belirlenecek olan istenilen hedeften sapma ortalama uzaklığıdır.

$$k = 0.5\lambda(\mu_1) \quad (4.33)$$

$\mu$  hedeften sapan ortalama,  $\mu_0$  hedef ortalama değeri ve  $\Sigma^{-1}$  kovaryans matrisinin tersi iken, merkezizlik parametresinin karekökü, istenilen hedeften sapma ortalama uzaklığı olarak belirlenmiştir.

$$\lambda^2(\mu) = (\mu - \mu_0)' \Sigma^{-1} (\mu - \mu_0) \quad (4.34)$$

Birikimli toplam kontrol grafikleri, eski süreç verilerini muhafaza ederek kontrol dışı durumların hızlı bir şekilde fark edilmesini sağlamaktadır. Güçlü ve kullanımı kolay bir yöntem olmaları nedeniyle endüstride yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bir CUSUM sinyali, sürecin kötü ürün üretmesini önlemek için tedbirler alınması gerektiğini belirtmektedir (Arıçığıl ve Fırat, 2000). CUSUM prodesürü süreçteki değişimlerin erken fark edilmesini ve yönetim felsefesiyle birlikte "ilk seferde doğru yapmayı" sağlamaktadır.

#### 4.2.4 Regresyon düzenlemesi

Regresyon düzenlemesi, bir değişken diğerleri ile ilişkili olduğunda elde edilen her bir değişkenin hata değerlerinin tek değişkenli bir kontrol grafiğinde gösterilmesidir. Bu düzenlemenin ortalama çalışma uzunluğu (ARL) performansı diğer yöntemlerle yarışabilmektedir; ancak hatalara uygulanan kontrol grafiği çeşidine göre değişiklik göstermektedir (Montgomery, 2005, s. 529).

Bu uygulama, girdi süreç değişkenleri (x'ler) ve çıktı değişkenleri (y'ler) gibi belirgin değişken hiyerarşisinin bulunduğu durumlarda kullanılabilir. Hawkins (1993b) bu durumu, basamaklı süreç (cascade process) olarak adlandırmıştır.

Ayrıca bu uygulama ile regresyon modeli değişken kümesini içerse de, ilgilenilen orijinal karakteristikte korelasyon olmasına rağmen, modelden elde edilecek hatalar ilişkili olmayacaktır (Montgomery, 2005, s. 532).

#### 4.2.5 Değişkenliği görüntüleyen kontrol grafikleri

Çok değişkenli durumlarda süreç ortalama vektörünü görüntülemek kadar süreç değişkenliğini görüntülemek de önemlidir. Süreç değişkenliği,  $p \times p$  kovaryans matrisi  $\Sigma$  ile görülmektedir. Matrisin ana köşegeni süreç değişkenlerinin varyansı gösterirken, diğer elemanları kovaryansları göstermektedir. Alt (1985) bu problem için iki yaklaşım önermiştir.

İlk yaklaşım, tek değişkenli  $S^2$  kontrol grafiğinin çok değişkenliliğe uyarlamasıdır. Uygulamada, süreç kovaryans matrisinin sabitlerin kovaryans matrisine eşit olup olmadığına dair hipotezlerin anlamlılığının tekrarlı olarak test edilmektedir. Bu yaklaşıma göre kontrol grafiğinde  $i$ . örnek için işaretlenecek nokta (4.35)'te verilmiştir.

$$W_i = -pn + pn \ln \left( \frac{|A_i|}{|\Sigma|} \right) + tr (\Sigma^{-1} A_i) \quad (4.35)$$

$A_i = (n - 1)S_i$  'ye eşittir.  $S_i$   $i$ . örnek için örnek kovaryans matrisi,  $tr$  ise ana köşegen elemanlarının toplamına eşittir.  $W_i$  değeri üst kontrol limitine eşit olan  $\chi^2_{\alpha, p(p+1)/2}$  değerinden büyük çıkması sürecin kontrol dışında olduğunu göstermektedir.

İkinci yaklaşımda, örnek verisine ait genelleştirilmiş  $|S|$  matrisini temel alan bir kontrol grafiği oluşturulmaktadır.  $|S|$ 'nin dağılım özellikleri (4.36)'da verilmiştir.

$$E(|S|) = b_1 |\Sigma| \quad (4.36a)$$

$$V(|S|) = b_2 |\Sigma|^2 \quad (4.36b)$$

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n - i) \quad (4.36c)$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n - i) [\prod_{j=1}^p (n - j + 2) - \prod_{j=1}^p (n - j)] \quad (4.36d)$$

Bu kontrol grafiğinin üst kontrol limiti, orta çizgi ve alt kontrol limiti formülleri sırasıyla (4.37)'de verilmiştir.

$$\dot{ÜKL} = |\Sigma|(b_1 + 3b_2^{1/2}) \quad (4.37a)$$

$$OÇ = b_1|\Sigma| \quad (4.37b)$$

$$AKL = |\Sigma|(b_1 - 3b_2^{1/2}) \quad (4.37c)$$

(4.37)'deki eşitlikte alt kontrol limitinin sıfırdan küçük bir değer çıkması halinde bu değer 0 kabul edilmektedir.

Uygulamalarda  $\Sigma$ , örnek kovaryans matrisi S'den tahmin edilmektedir. (4.17)'deki eşitliklerde  $|\Sigma|$ ,  $|S|/b_1$  olarak değiştirildiği takdirde,  $|S|/b_1$ ,  $|\Sigma|$ 'nın yansız tahminleyicisi olmaktadır (Montgomery, 2005, s. 532).

#### Örnek 4.2:

Örnek 4.1'deki veriler için süreç değişkenliği incelenir. 20 öncül örneğin kovaryans matrisi aşağıda verilmiştir.

$$S = \begin{bmatrix} 1,23 & 0,79 \\ 0,79 & 0,83 \end{bmatrix} \text{ ve } |S| = 0,3968$$

$b_1$  ve  $b_2$  sabitleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$b_1 = \frac{1}{81}(9)(8) = 0,8889$$

$$b_2 = \frac{1}{6561}(9)(8)[(11)(10) - (9)(8)] = 0,417$$

(4.34)'teki eşitlikte  $|\Sigma|$  'yı kaplayan  $\frac{|S|}{b_1} = 0,3968/0,8889 = 0,4464$ 'tür ve kontrol grafiği parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\dot{ÜKL} = (|S|/b_1)(b_1 + 3b_2^{1/2}) = 0,4464[0,8889 + 3(0,4170)^{1/2}] = 1,26$$

$$OÇ = |S| = 0,3968$$

$$AKL = (|S|/b_1)(b_1 - 3b_2^{1/2}) = 0,4464[0,8889 - 3(0,4170)^{1/2}] = -0,47 = 0$$

Değişkenliği görüntülemek için  $|S|$  kontrol grafiğiyle birlikte tek değişkenli kontrol grafiklerini kullanmak daha iyi bir analiz imkanı sağlayabilmektedir (Montgomery, 2005, s. 535).

#### 4.2.6 Temel bileşenler kontrol grafiği

Temel bileşenler kontrol grafiği,  $T^2$  kontrol grafiğinin tamamlayıcısı olarak düşünülebilir; ancak tamamen buna alternatif bir yöntem değildir. Temel bileşenler kontrol grafiğinde genellikle korelasyon ana bileşeni kullanılmakta ve her ana bileşen, orijinal standardize değişkenin doğrusal bir kombinasyonu olarak ifade edilmektedir.  $p$  adet kalite karakteristiği olduğunda ve  $Z_p$  her bir ana bileşeni gösterdiğinde;

$$Z_p = c_{p1}x_1 + c_{p2}x_2 + \dots + c_{pp}x_p \quad (4.38)$$

Geometrik olarak temel bileşen değişkenleri; orijinal sistem ( $x$ 'ler) eksenlerinin döndürülerek maksimum değişkenliği açıklanabilmesini sağlayan yeni koordinat sisteminin eksenleridir. (Montgomery, 2005, s. 535).

Yang and Trewn (2004, s. 266), temel bileşenler kontrol grafiğinin olumlu yanlarını aşağıdaki gibi belirtmektedir.

- Yeni değişkenler olan temel bileşenler arasında korelasyon yoktur.
- Genellikle verideki değişkenliğin büyük bir kısmını birkaç temel bileşen açıklayabilmektedir. Bu nedenle  $p$  adet temel bileşenin hepsi kullanılmak zorunda değildir.

Ancak bu yaklaşımla, orijinal değişkenlere kıyasla her zaman açık bir yorumlama yapılamamaktadır. Bununla birlikte yöntem kontrol dışı sinyalleri tespit etmede başarılıdır.

#### 4.3 Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Kontrol Dışı Sinyallerin Yorumlanması

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol dışı bir durumla karşılaşıldığında, bu sinyali yorumlamada birtakım güçlüklerle karşılaşmaktadır. Kontrol dışı sinyallerin nedenlerinin bulunması, bu grafiklerin karmaşıklığı ve değişkenler arasındaki korelasyon olması gibi nedenlerle zorlaşmaktadır (Arıcıgil ve Fırat, 2000).

Kontrol dışı sinyallerin yorumlanması, çok değişkenli kontrol grafiklerinde en çok zorlukla karşılaşılan kısımlarından biridir. Uygulanılan ilk yöntem  $x_1, x_2, \dots, x_p$  için tek değişkenli  $\bar{x}$  grafiğinin çizilmesidir; ancak bu, başarılı bir yöntem değildir (Montgomery, 2005, s. 520).

Kontrol dışı durumlardaki yorumlamada karşılaşılan bu zorluğu aşmak için birtakım teknikler geliştirilmiştir.

### 4.3.1 Step-down uygulamaları

Step-down uygulamaları, değişken altkümeleri arasında öncelik sıralaması varsayan uygulamalardır.  $Y$ , ortalaması  $\mu_y$  ve kovaryans matrisi  $\Sigma$  olan referans veri setinden alınmış yeni bir gözlem olsun. Referans veri setinin ortalama vektörü  $\mu_x$ ;  $\mu_{x1}, \mu_{x2}, \dots, \mu_{xq}$  olarak bölümlendirilsin.  $p_j$ ,  $j$ . altkümedeki değişken sayısı ve  $q_j$ ,  $\mu_{yi}$  ve  $\mu_{xj}$ 'deki değişken sayısı iken step-down prosedür testleri sırasıyla aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$H_0^{(1)}: \mu_{y1} = \mu_{x1}, H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{x1} \quad (4.39a)$$

$$H_0^{(2)}: \mu_{y2} = \mu_{x2}, H_1: \mu_{y2} \neq \mu_{x2} \quad (4.39b)$$

⋮

$$H_0^{(q)}: \mu_{yq} = \mu_{xq}, H_1: \mu_{yq} \neq \mu_{xq} \quad (4.39c)$$

Tüm testler için  $T_j^2$  istatistiği seri olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$T_j^2 = (\bar{Y} - \bar{X})'_j S_j^{-1} (Y - X) \quad j = 1, 2, 3, \dots, q \quad (4.40)$$

$j$ . hipotezi test etmek için kullanılacak test istatistiği ise denkem 4.41'de verilmiştir.

$$G_j^2 = \frac{T_j - T_{j-1}}{(1 + T_{j-1}^2)/(n_2 - 1)} \quad j = 1, 2, 3, \dots, q \quad (T_0^2 = 0 \text{ iken}) \quad (4.41)$$

Üst kontrol limitleri (ÜKL) hesaplanarak hipotezler test edilebilmektedir. En az bir  $G_j$  değeri, üst kontrol limiti  $\text{ÜKL}_j$ 'yi aştığında, sürecin istatistiksel olarak kontrol dışında olduğu anlaşılmaktadır (Fuchs ve Kenett, 1998, s. 84).

### 4.3.2 Grafikselle teknikler

Ayırma analizi uygulamaları, özel nedenlerle bir değişkenlik oluşup oluşmadığını belirleyebilmek için kontrol dışı değişkenlerden kontrol içi değişkenlerin çıkarılmasına izin vermektedir. Bu kapsamda, çok değişkenli kontrol grafiği her değişkenin katkısına göre parçalara ayrılmaktadır. Bu prosedürleri grafikselle olarak gösteren birkaç yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlileri yıldız diyagramı ve çok değişkenli profil grafikleridir (Fırat ve Arıcıgil, 2000).

#### 4.3.2.1 Yıldız diyagramları

Yıldız diyagramları, birden fazla değişkenin olduğu durumlarda, ayrı ayrı her değişken hakkındaki bilginin ve bu değişkenlerin tümünün çok değişkenli değerinin eş zamanlı olarak görülebilmesini sağlayan bir tekniktir (Fuchs ve Benjamini, 1994). Yıldız diyagramlarında, yıldızla gösterilen semboller ilgili veri grubunun  $T^2$  değerini göstermektedirler ve bu değeri oluşturan değişkenlerin değişimleri ışınlarla gösterilmektedir.

Yıldız diyagramlarında, kontrol dışı duruma neden olan değişken, değişkenlerin değişiminin pozitif yönde olduğu durumlarda ışının boyutundaki artış sayesinde belirlenebilmektedir. Değişim negatif yönde olduğunda ise, kontrol dışı bir durum söz konusu olması durumunda bile, diyagram bu durumu belirleyememekte ve yetersiz kalmaktadır (Fushs ve Benjamini, 1994).

#### 4.3.2.2 Çok değişkenli profil grafikleri (MP)

Çok değişkenli profil grafikleri yıldız diyagramlarının geliştirilmesiyle oluşturulmuştur (Fuchs ve Kenett, 1998). Bu grafikler, sembolik bir serpilme diyagramı olarak düşünülebilir (Chambers ve diğ., 1983). Bu grafikte sadece  $T^2$  kontrol grafiği üzerindeki bir nokta yerine,  $T^2$  değerinin yüksekliğinde bir çubuk diyagramı oluşturulmaktadır. Bu çubuk diyagramı, birkaç değişkenli istatistik değerini içermektedir (Fırat ve Arıcıgil, 2000). Sapmanın negatif veya pozitif olmasına göre çubuklar aşağı veya yukarı doğru yönelmektedir. Bir değişkene ilişkin standart sapma 2'yi aştığında, buna karşılık gelen çubuk gri ile, standart sapma 3'ü gösterdiğinde ise siyahla gösterilmektedir (Fushs ve Benjamini, 1994).

#### 4.3.3 MYT ayrıştırması

Mason, Young ve Tarcy ayrıştırması, veride korelasyon var olduğunda  $T^2$  değerlerinin bağımsız ve ortogonal bileşenlerine ayrıştırılması olarak tanımlanmaktadır (Fırat ve Arıcıgil, 2000). Ayrıştırılan bileşenler, koşullu ve koşulsuz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Örnek ile açıklanması gerektiğinde olası bir  $T^2$  ayrıştırması denklem 4.42'deki gibi verilmektedir.

$$T^2 = T_1^2 + T_{2.1}^2 + T_{3.12}^2 + \dots + T_{p.12\dots j-1}^2 \quad (4.42)$$

Koşulsuz terimler  $T_j^2$  ile gösterilirken koşullu terimler  $T_{j.12\dots j-1}^2$  ile gösterilmektedir. Bununla birlikte  $X'_1 = (x_1, x_2, \dots, x_p)$  olarak gösterilen  $X_1$  gözlem vektörünün ilk iki bileşeni  $X'_2 = (x_2, x_1, \dots, x_p)$  olacak şekilde değiştirildiğinde; iki vektörün de  $T^2$  değerleri eşittir. Çünkü  $T^2$  değeri gözlem vektörünün ortalama vektörüne olan istatistiksel uzaklığıdır ve vektörün bileşenlerinin yer değişimlerine karşı duyarsızdır.

$$T^2(x_1, x_2, \dots, x_p) = T^2(x_2, x_1, \dots, x_p) \quad (4.43)$$

Bununla birlikte  $X'_2 = (x_2, x_1, \dots, x_p)$  vektörünün ayrıştırması denklem 4.44 gibidir ve ilk ayrıştırmadan sadece iki terimi farklılık göstermektedir.

$$T^2(x_2, x_1, \dots, x_p) = T_2^2 + T_{1.2}^2 + T_{3.12}^2 + \dots + T_{p.12\dots p-1}^2 \quad (4.44)$$

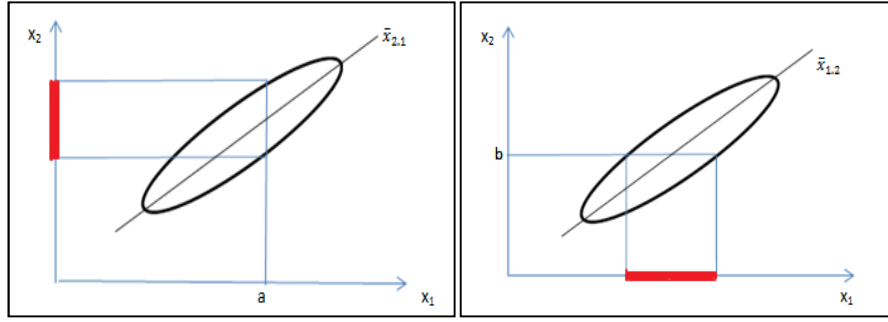
X vektörünün bileşenleri için türetilen her sıralama için aynı  $T^2$  değeri elde edilmekle birlikte, bu değer p adet bağımsız terime ayrıştırılmasında farklılık göstermektedirler. p! olası bölünmeyle birlikte, her bölünmedeki ayrıştırma için p adet terim gerektiğinden,  $T^2$ 'nin MYT ayrıştırmasında p×p! olası terim üretmektedir (Mason ve Young, 2002, s. 153).

$x_j$ , gözlem vektörünün j. bileşeni,  $\bar{x}_j$  ve  $s_j^2$  bu bileşene karşılık gelen ortalama ve varyans olmak üzere herhangi bir ayrıştırmadaki koşulsuz terim 4.45'te gösterilmektedir.

$$T_j^2 = \frac{(x_j - \bar{x}_j)^2}{s_j^2} \quad (4.45)$$

Benzer şekilde koşullu terimler denklemler 4.46'da ve koşullu bir bileşenin yorumu Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Buna göre  $T_{2.1}^2$  koşullu bileşeni,  $x_1$  değişkeninin değeri ve değişkenler arası belirlenen ilişki göz önüne alınarak  $x_2$  değerinin olması gereken aralığı göstermektedir.  $T_{1.2}^2$  için ise bu durumun tersi geçerlidir.

$$T_{j.1,2,\dots,j-1}^2 = \frac{(x_j - \bar{x}_{j1,2,\dots,j-1})^2}{s_{j1,2,\dots,j-1}^2} \quad (4.46)$$



**Şekil 4.7:** Sırasıyla  $T^2_{2,1}$  ve  $T^2_{1,2}$  bileşenlerinin yorumu.

#### 4.4 $T^2$ Kontrol Grafiklerinde Varsayımların Sağlanması

$T^2$  kontrol grafiklerinin oluşturulabilmesi için birtakım varsayımların sağlanması gerekmektedir. Bu varsayımlar; çok değişkenli normal dağılım, rassal örneklerin seçilmesi, kontrol dışı durumu belirlemek amacıyla kullanılacak bir üst kontrol limiti (ÜKL) belirlemek, yeterli miktarda bir örnek büyüklüğü belirlemek ve değişkenler için tutarlı kovaryans matrisi tahminleyicileri elde etmektir (Mason ve Young, 2002, s. 33).

##### 4.4.1 Çok değişkenli normal dağılım varsayımı

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinin büyük çoğunluğunda örneklerin çok değişkenli normal dağılıma uyan anakütlelerden geldiği kabul edilmektedir. Bu varsayım bazı işlemlerin ve sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırmakla birlikte dağılım teorisi açısından da gerekli görülmektedir (Tatlıdil, 1996).

Çok değişkenli normal dağılım, tek değişkenli normal dağılımın, değişken sayısının ikiye eşit veya daha büyük olduğu durumlar için genelleştirilmiş halidir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinin çizimi, çok değişkenli istatistiklerin hesaplanmasına dayandığından, kalite göstergelerinden oluşan veri kümelerinde çok değişkenli normal dağılımın varlığı araştırılmaktadır.

Tek değişkenli süreç kontrolünde verilerin normalliği Shapiro-Wilks, Kolmogrov-Smirnov ve Anderson-Darling Testleri gibi dağılım uygunluk testleriyle kontrol edilmektedir. Bununla birlikte çok değişkenli verilerde normallik varsayımının test edilmesi, tek değişkenli durumdaki kadar kolay değildir (Salmona, 2004). Çok değişkenli normalliğin kontrol edilmesi için birçok test geliştirilmiş olmakla birlikte bu testler sonucunda kesin bir sonuç elde edilememektedir. Diğer bir deyişle, çok

değişkenli normal dağılımın sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesinde kullanılan direkt bir test bulunmamaktadır (Hair ve diğ., 1998).

Genellikle çok değişkenli normalliğin sağlandığı durumlarda, her değişkenin tek değişkenli normal dağılıma uyduğu görülmektedir. Ancak tüm değişkenlerin tek değişkenli dağılıma uygun olması, veri kümesinin daima çok değişkenli normal dağılıma uygun olduğunu göstermemektedir. Yine de böyle bir yaklaşım çok değişkenli normalliğin araştırılmasında iyi bir başlangıç noktası olarak kabul edilmekte ve en temel yöntem olarak bilinmektedir (Nijhuis ve diğ., 1999). Bu nedenle değişkenlerin tek değişkenli normal dağılıma uyması, çok değişkenli normal dağılımın sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Çılan, 2005). Diğer bir deyişle, çok değişkenli normal dağılımın sınanmasında öncelikle tek değişkenli normalliğin test edilmesi gerekmektedir. Veri kümesinin çok değişkenli normal dağılıma uymadığı durumlarda ise tek değişkenli normal dağılmayan değişken araştırılmakta ve gerekli dönüşümler yapılarak normallik sağlanmaktadır (Çılan, 2005).

Mason ve Young (2002) ise, çok değişkenli normal dağılımı belirleyen farklı bir yöntem seçmiştir. Veri kümesindeki  $p$  adet değişkeni bulunan gözlem vektörleri olan  $X$ 'ler çok değişkenli normal dağılıma uyduklarında,  $T^2$  değerleri Beta dağılımı göstermektedir.

$$[n/(n-1)^2]T^2 \sim B_{[p/2, (n-p-1)/2]} \quad (4.47)$$

Formül 4.47'deki  $T^2$  tek değişkenli bir istatistiktir. Bu nedenle, Beta dağılımının belirlenmesi için bu değerlere dağılım uygunluk testleri yapılması önerilmiştir. Çok değişkenli normal dağılımdan alınan değerler,  $T^2$ 'ye dönüştürüldüğünde beta dağılımına uyduğu bilinmektedir; bununla birlikte diğer çok değişkenli dağılımların aynı özelliğe sahip olup olmadığı hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Çok değişkenli normal dağılımdan elde edilen beta dağılımının, bazı normal olmayan durumlarda için de benzerlik gösterdiği bilinmektedir (Mason ve Young, 2002, s. 34).

Q-Q grafiği, bir verinin referans bir dağılıma ait özelliği gösterip göstermediğini belirleyen grafiksel bir yöntemdir ve  $T^2$  örnek dağılımlarının belirlenmesinde de kullanılabilir. Q-Q grafiği, görsel ve basit bir yardımcı yöntemdir.

Q-Q grafiğinde  $x_i = [n/(n-1)^2]T_i^2$  olarak gösterilen sıralı değerlere, karşılık gelen büyüklükler  $q_{(i)}$  ile gösterilmektedir.  $x_i = [n/(n-1)^2]T_i^2$  değerlerinin beta

dağılıma uygun olduğu söylenebildiği takdirde, beta büyüklükleri denklem 4.48 ile hesaplanabilmektedir.

$$P(x \leq q_{(i)}) = \int_0^{q_{(i)}} B_{[p/2, (n-p-1)/2]} = p_{(i)} = \frac{[i-1/2]}{n} \quad (4.48)$$

Q-Q grafiğinde veriler, düz çizgiye yaklaşırsa, incelenen verinin referans dağılıma uyduğu sonucu elde edilebilir. 45 derecelik bir eğimle ve 0 noktasında kesen düz bir çizgi, araştırılan dağılıma mükemmel bir uyum olduğunu göstermektedir. Çizginin kesim noktasının sıfırdan farklı bir değer olması, iki dağılımın konumundaki farklılıkları; grafikteki belirgin eğri ve kıvrımlar ise değişkenlikteki farklılıkları ifade etmektedir.

#### 4.4.1.1 Verilerin normalleştirilmesi

Çok değişkenli normallik varsayımında değişkenlerin herbirinin ayrı olarak, tek başına ve doğrusal kombinasyonları normal dağılıma uymaktadır. Bununla birlikte, bu durumun tersi geçerli değildir. Değişkenler kendi başlarına normal dağıldığında, eşzamanlı dağılımların simetrik olmasına yardımcı olmaktadır; ancak bu durum, çok değişkenli normalliği garanti etmemektedir.

$T^2$  değerleri beta dağılım göstermediğinde, veriler bu problemi giderecek biçimde dönüştürülebilmektedir. Bu durum için kullanılan yöntemlerden birisi Johnson dönüşümüdür. (Mason ve Young, 2002, s. 47). Bunların yanında Chebyshev eşitsizliği ve çok değişkenli dönüşüm gibi yöntemler de bulunmaktadır. Kullanılan bu dönüşümlerin olumsuz yanı, orijinal veriye geri dönüşte karışıklıkların yaşanmasıdır (Mason ve Young, 2002, s. 48).

#### 4.4.2 Örnek büyüklüğünün belirlenmesi

$T^2$  kontrol grafiklerinde örnek büyüklüğünün belirlenmesi, ortalama vektörün ve süreç parametrelerinin tahmin edilmesi için yeterli gözlemlerin alınması durumunu belirtmektedir. Bu nedenle birçok farklı değişkenin incelenmesi ve farklı örnek büyüklükleri ile farklı parametrelerin tahmin edilmesi gerekmektedir (Mason ve Young, 2002, s. 49).

$T^2$  kontrol grafikleri oluşturulurken kovaryans matrisinin tersinin alınabilmesi ve örnek kovaryans matrisinin hesaplanabilmesi için, n olan gözlem sayısı, değişken sayısı olan p'den daha fazla olmalıdır. Bunun yanında, ortalama vektörü ve

kovaryans matrisinin doğru tahmin edilebilmesi için  $n$ 'in yeterince büyük olması gerekmektedir.

Örnek büyüklüğünün artırılmasına alternatif olarak çok değişkenli verinin boyutu azaltılabilir. Bu çözüm ile tahmin edilmesi gereken parametreler azaltılabilmektedir. Bu yöntemi uygulamak için temel bileşenler analizi kullanılmaktadır (Mason ve Young, 2002, s. 50).

#### **4.4.3 Gözlem değerlerinin bağımsızlık varsayımı**

Gözlemlerin bağımsızlığı, diğer bir deyişle gözlemlerde otokorelasyon olmaması, kontrol grafiklerinin en temel varsayımlarından birisidir.

Otokorelasyon, çapraz kesit verilerinde veya zaman serilerindeki birimlerin değerleri arasındaki bağımlılık derecesini ölçen korelasyon katsayısı olarak tanımlanmaktadır (Brockwell ve Davis, 1996). Tesadüfiliğe dayanan aralık tahminleri ve istatistiksel testler, veri grubunda otokorelasyon olması halinde geçerliliğini yitirmektedir. Bununla birlikte otokorelasyon problemi, zamana bağlı değişkenlik gösteren kalite karakteristikleri nedeniyle  $T^2$  kontrol prosedürünün etkinliğinin azalmasına neden olmaktadır.

Mason ve Young (2002, s. 71), veri grubunda otokorelasyon probleminin kontrolünde, her değişken için özel olarak zamana bağlı grafiklerin çıkarılmasının oldukça faydalı bir yöntem olduğunu belirtmektedir. Çok değişkenli veri kümelerinde otokorelasyon saptanması durumunda ise, otokorelasyonlu değişkenlere uygun ARIMA modelinin seçilip, değişkenlerin bağımlı oldukları dönem sayısı kadar gecikmeleri alınarak, veri kümesine gecikmeli değişkenleri eklemek, otokorelasyon sorununu gidemek için kullanılan bir yöntemdir (Çılan, 2005).

#### **4.4.4 Kalite karakteristikleri arasında bağımsızlık ve doğrusallık varsayımı**

Çok değişkenli istatistiksel yöntemler doğrusal korelasyon temeline dayanmaktadır. Çok değişkenli kontrol grafikleri de çok değişkenli istatistiklere dayandığından kalite göstergeleri arasında doğrusal ilişkiler aranmaktadır. İlişkinin derecesi, serpilme diyagramlarıyla kesin olmamakla birlikte ortaya çıkarılabilmektedir (Çılan, 2005).

$T^2$  formülüne göre kovaryans matrisi, tersi alınabilir, diğer bir deyişle tekil olmayan bir matristir. İki veya daha fazla değişken, yüksek korelasyonlu olduğunda ise tekil

kovaryans matrisi oluşur. Matrisin tersini hesaplamada kullanılan bilgisayar programları bu durumda hata vermektedirler.

Çoklu doğrusallık terimi, çoklu değişken uzayında değişkenler arasındaki doğrusal bağımlılıkları tanımlamak için kullanılmaktadır. Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmadığında ise, bağımsız oldukları anlamına gelmektedir. Çoklu doğrusallık, özellikle çok fazla değişkenin bulunduğu süreçlerde yanlış yorumlamalara sebep olabilmektedir (Young ve Mason, 2002, s. 65).

Çoklu doğrusallığın tespit edilmesinde ve belirlenmesinde Young ve Mason (2002, s.65), temel bileşenler analizinin kullanılmasını önermiştir. Bu yöntem, değişkenler arasındaki yüksek ilişkilerin belirlenmesini sağlamakla birlikte, belirlenen sistem boyutlarının gerçek doğasını görmek açısından da fayda sağlamaktadır. Önerilen yöntemle göre, temel bileşenler ile elde edilen maksimum özdeğer, ayrı ayrı diğer özdeğerlere bölünmekte ve elde edilen sonuçların karekökü alınmaktadır. Koşul indisi (condition index) olarak isimlendirilen bu sonuçların herhangi birinin 30'dan büyük bir değer alması, değişkenler arasında ciddi bir çoklu doğrusallık problemi olduğunu göstermektedir.

Süreç değişkenlerinde çoklu doğrusallık problemi tespit edildiğinde kullanılan ilk ve en kolay yöntem, çoklu doğrusallık problemi olan değişkenlerden birini veri grubundan çıkarmaktır. Bu yöntem, bir değişken değerince hesaplanabilir olduğu ve dolayısıyla değişken silinmesiyle hiçbir veri kaybının yaşanmayacağı durumlar için kullanışlıdır.

#### **4.5 Süreç Yeterlilik Analizi**

Süreç yeterlilik analizi, sürecin normal davranıp davranmadığını belirlemek için istatistiksel kontrol grafiklerini kullanan, doğal olmayan durumun nedenlerini araştıran ve bu nedenleri ortadan kaldıran sistematik bir süreç çalışmasıdır (Western Electric, 1956).

Çok değişkenli süreç yeterlilik çalışması, kalite kontrolü süreçten alınan verilerle ortalama ve kovaryans belirlendiğinde yapılan klasik bir durumdur. Hedef değerler elimizde bulunan veriden elde edilmiştir ve süreçteki her gözlem veya altörnek ortalaması bu hedef değerlerle karşılaştırılır.

Fuchs ve Kenett (1998, s. 49), çok değişkenli süreç kontrolünün adımlarını aşağıdaki gibi belirlemişlerdir.

1. Sürecin sınırlarının ve süreç çıktılarındaki değişken karakterizasyonunun belirlenmesi.
2. Örnekleme sürecini ve rasyonel altörnekleri belirlemeye yarayan verileri biriktirmek için temsili süreler belirlenmesi.
3. Süreç çıktı karakteristikleri ile içsel parametreler ve kontrol faktörlerini ilişkilendiren neden-sonuç diyagramlarının oluşturulması. Bu aşamada sadece neden-sonuç diyagramları kullanılabileceği gibi kalite fonksiyon göçerimi (QFD) matrisleri de kullanılabilir.
4. Veri biriktirme ve tek değişkenlerle tek değişkenli kontrol grafikleri, değişkenlerin kombinasyonlarıyla çok değişkenli kontrol grafikleri ve çeşitli grafiksel ve istatistiksel yöntemlerle bu verilerin analiz edilmesi
5. Değişkenliğe neden olan özel nedenlerin ortadan kaldırılması. Bu adımda vardiyalar, işçiler gibi tüm değişkenlik kaynakları belirlenmelidir.
6. Sürecin çok değişkenli normalliğinin kontrol edilmesi.
7. Süreç yeterlilik veya süreç performans göstergelerinin hesaplanması. Süreç performans göstergeleri geçmiş veriler kullanılarak oluşturulduğu için geçmiş performansı özetlemektedir. Süreç yeterlilik göstergeleri ise kısa bir zaman diliminde alınmış verilerden hesaplanmaktadır.

Süreç yeterlilik çalışmasında eldeki verilere göre ortalama ve kovaryans matrisi belirlendikten sonra  $T^2$  kontrol grafiği oluşturulmaktadır. Yapılan bu analizle kontrol dışı herhangi bir durum görüldüğünde, buna neden olan veriler veri grubundan çıkarılarak tekrar ortalama ve kovaryans matrisi hesaplanmaktadır.

Belirlenen aykırı değerlerin silinmesinden sonra, süreç yeterlilik çalışması, üretim sürecindeki gelecek testler için temel alınan örnek grubunu oluşturmaktadır (Fuchs ve Kenett, 1998, s. 60).

## 5. ÇOK DEĞİŞKENLİ SÜREÇ KONTROLÜNDE DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Modern istatistiksel kalite kontrolünün temelleri Shewhart'ın 1924'te yayınladığı "Kalite Kontrol Grafikleri" isimli dökümanla atılmış ve kontrol terimi kalite mühendislerinin sözlüğüne eklenmiştir. Çok değişkenli süreç kontrolü ile ilgili ilk çalışma ise Hotelling (1947) tarafından yapılmıştır. Fırat ve Arıcıgil (2000) ile Fırat (2001) çok değişkenli süreç kontrolünün tarihçesini ve mevcut durumunu gösteren çalışmalar yapmışlardır.

Fırat ve Arıcıgil (2000), çok değişkenli kalite kontrolünün tarihsel gelişimini ele almış, süreç değişkenliğini ve ortalamadaki değişimleri belirlemede kullanılan en bilinen kontrol grafikleri; Hotelling  $T^2$ , MEWMA ve MCUSUM kontrol grafiklerini incelemişlerdir. Bununla birlikte çok değişkenli süreç kontrolünde, kontrol dışı sinyalleri belirleme ve yorumlamada kullanılan yöntemleri açıklamışlardır. Bunların yanında, çok değişkenli kontrol grafiklerinin seçiminde yol haritası oluşturmuş, verilerde otokorelasyon sorunu olması durumunda çeşitli tekniklerle bu sorun aşıldıktan sonra çok değişkenli kontrol grafiğinin oluşturulması gerektiğini belirterek çok değişkenli süreç kontrolü konusunda özet bir çalışma yapmışlardır.

Fırat (2001), çok değişkenli süreç kontrolünün bulunduğu aşamanın bir kesit fotoğrafını oluşturmuş ve bu alandaki yeni araştırma konuları üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde literatürde en çok kullanılan  $\chi^2$ , Hotelling  $T^2$ , MCUSUM ve MEWMA kontrol grafiklerinin kullanım alanlarından bahsetmektedir. İkinci aşamada kontrol dışında olduğu tespit edilen gözlem değerlerinin değişkenlik kaynaklarını belirlemek amacıyla kullanılan MYT ayrıştırması, çok değişkenli profil diyagramı ve yıldız diyagramı gibi grafiksel yöntemler ve hakkında bilgi vermiştir. Çalışmanın son bölümünde ise diskriminant analizi, kümeleme ve faktör analizi gibi çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerine değinilmiştir.

Bu çalışmaların yanında konunun genel durum ve yapısını açıklamakla birlikte uygulama yapılan çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalara örnek olarak, Bersimis ve

diğ. (2005)'nin çalışması verilebilmektedir. Çalışmada, çok değişkenli süreç kontrolünde kontrol grafiklerinin tarihsel gelişimini incelemiş, çok değişkenli Shewhart kontrol grafikleri, MCUSUM ve MEWMA kontrol grafikleri hakkında genel bir bilgi vermiştir. Eşdoğrusallık problemi ile karşılaşılması durumunda kullanılan Temel Bileşenler Analizi ve Kısmi En Küçük Kareler yöntemleri ile kontrol dışı duruma neden olan değişkenlerin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden bahsetmiştir. Yazarlar, çok değişkenli süreç kontrolü hakkında genel bir bilgi verdikten sonra bir işletmede uygulama çalışması yapmışlardır. Buna göre öncelikle çok değişkenli verinin normalliği kontrol edilmiş; ardından, sadece değişkenler arasında güçlü bir ilişki olması durumunda çok değişkenli kontrol grafiği kullanılacağı belirtilmiş ve bunu kontrol etmek amacıyla değişkenlerin korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Değişkenler normallik varsayımına uyduğu ve değişkenler arasında güçlü sayılabilecek bir ilişki bulunduğu görülmüştür. Çok değişkenli Shewhart kontrol grafiği oluşturulmuş ve alınan bu verilerle sürecin kontrol altında olduğu görülmüştür. İkinci aşamadaki analizlerinde kontrol limitleri dışında sinyaller olduğu görülmüş ve bu durumun nedenini belirleyebilmek için iki farklı grafiksel teknik kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Belirtilen çalışmalar dışında, analiz edilecek süreç yapısına göre çok değişkenli kontrol grafiklerinin uyarlanarak uygulama yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri olarak, Parra ve Loaiza (2004), kimyasal ve ilaç endüstrisinde çok değişkenli süreç kontrolü çalışması yapmıştır. Çalışmada belirlenen kalite karakteristikleri organik, organik olmayan ve hata çözücü gibi çeşitleri olan, bir ilacın içindeki yabancı madde miktarlarıdır. İlaç içinde bulunan bu yabancı madde oranlarının birbiri ile olan ilişkisi düşünülerek  $T^2$  kontrol grafikleriyle süreçteki değişkenliğin incelenmesine karar verilmiştir. Uygulama çalışmasının ilk aşamasında sürecin kontrol altında olduğu durumlarda alınan 30 örneğin otokorelasyon ve eşdoğrusallık problemi olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ardından oluşturulan kontrol grafiği ile hiçbir aykırı değer belirlenmemiş ve bu verilerden elde edilen parametreler ikinci fazda kullanılmıştır. İkinci fazda süreçten tekrar alınan 150 gözlemle oluşturulan kontrol grafiğinde birçok noktanın kontrol limitinin üstünde olduğu görülmüştür. Bu noktadaki değişkenliği açıklamak için yazarlar MYT ayrıştırmasını kullanmışlar ve her kontrol dışı noktanın değişkenlik kaynağını belirlemişlerdir.

Rocha ve diğ. (2010), Nimesulide içeren bir ilacın formülasyonunun kalitesini görüntülemek amacıyla çok değişkenli kontrol grafiklerini kullanan bir uygulama yapmışlardır. Çalışmada, ilgilenilen kimyasalı, örneklerdeki diğer bileşenlerin katkılarını ve sistematik olmayan değişkenliği belirlemek amacıyla farklı kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda kontrol dışı sinyallerin, yardımcı madde formülasyonundaki değişikliklerden olduğu belirtilerek, örneklerin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesinde hızlı ve etkili bir yöntem olarak çok değişkenli kontrol grafiklerinin kullanılması önerilmiştir.

Marengo ve diğ. (2005), tahta ve boyalı yüzeylerde durum görüntülenmesi için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Hazırlanılan boya karışımlarıyla bir tuval boyanmış ve kurduğunda normal koruma koşullarındaki yüzeysel değişkenliği belirlenmiştir. Ardından yüzeyler ultraviyole ışığına maruz bırakılarak yapay olarak eskitilmiştir. Uygulamanın sona ermesinin ardından da normal koşullarda ve uygulanan bu yapay hızlandırılmış eskitme işlemi sırasında alınan örneklerle temel bileşenler analizi yapılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise, elde edilen bu temel bileşenlerle çok değişkenli Shewhart ve brikimli toplam (CUSUM) kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Kontrol grafikleri, süreçteki değişkenliğin başladığı anın belirlenmesinde kullanılmıştır.

Salmona (2004), cam takviyeli plastik borular ve bağlantı manşonları üreten bir endüstri işletmesinde sürekli elyaf sarma sürecinde çok değişkenli istatistiksel kalite kontrolü çalışması yapmıştır. Çalışmada sürecin yapısı incelenerek kalite karakteristikleri belirlenmiş ve referans veri setinin oluşturulması kapsamında verilerin normalliği, otokorelasyon veya eş doğrusallık sorunu olup olmadığı incelenmiştir. Belirlenen veri problemlerinin ortadan kaldırılmasının ardından oluşturulan  $T^2$  kontrol grafiği ile süreç parametreleri belirlenmiştir. Çalışmanın son kısmında ise yeni gözlemlerle, referans verilere dayanılarak yeni bir  $T^2$  kontrol grafiği oluşturulmuştur. Kontrol dışı sinyal veren değişkenlerin belirlenmesinde ise MYT ayrıştırması yöntemi kullanılmıştır.

Kano ve diğ. (2004), operasyon koşullarındaki normal değişimleri süreçteki hatalardan ayırt etmek için dışsal analizleri kullanmışlardır. Çalışmada değişkenler dışsal ve ana değişkenler olarak iki gruba ayrılmıştır. Operasyon verisinden dışsal etkenlerin neden olduğu değişim etkileri, dışsal analizler kullanılarak çıkarıldığında veride sadece gerçek hataların tutulması ve kalan veriye istatistiksel süreç

kontrolünün başarıyla uygulanması sağlanmıştır. Çalışmada, çok değişkenli kontrol grafiklerinin hata belirleme performansını arttırmak için bağımsız bileşen analizi uygulanmış verilerle istatistiksel süreç kontrolü yapılmakla birlikte tek değişkenli süreç kontrolü ve temel bileşenler analizi ile yapılmış istatistiksel süreç kontrolü de karşılaştırma amaçlı olarak yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre dışsal analizlerle bütünleştirilmiş işlem verileriyle çalışmada tüm istatistiksel süreç kontrol yöntemleri etkili sonuç vermektedir. Bununla birlikte bağımsız bileşen analizi ile uygulanan istatistiksel süreç kontrolü ile oluşabilecek hataların, diğer yöntemlere göre daha erken fark edildiği gözlemlenmiştir.

Çetin (2007), çok değişkenli kontrol grafiklerinin döküm sanayiinde uygulanması ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, verilerin normal dağılıma uygunlukları Q-Q grafikleriyle test edildikten sonra, pirinç döküm fabrikasındaki pirinç eritme sürecinin kontrol altında olup olmadığı Hotelling  $T^2$  kontrol grafikleri ile incelenmiştir. Yapılan uygulamadaki kalite karakteristikleri, pirinç içindeki elementlerin ağırlık cinsinden yüzde değerleri olarak belirlenmiştir. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde kontrol dışı olarak belirlenen sinyallerin yorumlanması için MYT ayrıştırması yapılmıştır.

Villalobos ve diğ. (2005), yüzey parçalarının montajlanması sürecini incelemek için çok değişkenli kontrol grafik türlerini karşılaştırmışlardır. Örneklem aralığının sabit ve değişken olduğu durumlar için Hotelling  $T^2$ , çok değişkenli üstel ağırlıklandırılmış kontrol grafiği (MEWMA) ve çok değişkenli birikimli toplam kontrol grafiği (MCUSUM) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, örneklem aralığı sabit olduğunda MEWMA kontrol grafiği daha iyi sonuç verirken; örnek aralığı değişken olduğunda ise Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği, sabit örnek aralıklı MEWMA kontrol grafiğinden daha iyi performans göstermiştir.

Messaoud ve diğ. (2007), bir delme sürecinde gerçek zamanlı görüntüleme için zaman serileri analizi ve çok değişkenli kontrol grafikleri kullanmışlardır. Bu çalışma için çok değişkenli süreçler için yeni bir parametrik olmayan kontrol grafiği önerilmiştir. Bu grafikte, delme sürecindeki tüm fiziksel değişimler ve sabit durumdan titreşim haline geçişin başladığı zaman dilimi belirlenerek süreçte iyileştirme yapılmasına olanak sağlanırken, geliştirilen yaklaşımın olumsuz yanının değişimin büyüklüğü hakkında bilgi sahibi vermemesi ve kontrol dışı noktaların yorumlanmasında farklı yöntemlerin kullanılmasının gerekliliği olduğu belirtilmiştir.

Nijhuis ve diğ. (1999), benzin yapısının görüntülenmesinde çok değişkenli kontrol grafiklerini kullanmış ve elde edilen sonuçları tek değişkenli kontrol grafikleri ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre çok değişkenli kontrol grafiklerindeki kontrol dışı sinyal ve yanlış sinyal sayısı daha azdır ve tek değişkenli grafiklerden daha üstün bir yapıya sahiptir. Bununla birlikte, grafiğin ve kontrol dışı gözlemlerin yorumlanmasında tek değişkenli kontrol grafiklerine göre daha zor ve karmaşık bir yapı sergilemektedir.

Çok değişkenli verilerde otokorelasyon olması, yapılan analizlerde yanıltıcı sonuçlar ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu sorunun çözümü için literatürde zaman serisi modelleri, kontrol limitlerinin düzenlenmesi veya değişken dönüştürme gibi yöntemler önerilmektedir. Bu durumla ilişkili olarak, Rato ve Reis (2011) çok değişkenli kontrol grafiklerinde referans veri kümesi oluşturulmasında verilerde otokorelasyon olması durumuyla ilgili bir çalışma yapmıştır. Çalışmada dinamik yapı korunurken, verilerdeki çokboyutluluğu ve bu sayede otokorelasyon etkilerini azaltan yeni bir yöntem önerilmiştir. Modeldeki istatistikler temel bileşenler analizi (PCA), dinamik temel bileşenler analizi ve kısmi en küçük kareler modelleriyle elde edilmiştir. Geliştirilen yöntem, bir uygulama çalışmasında mevcut yöntemlerle karşılaştırılmış ve bu yöntemle otokorelasyonun azalmasıyla birlikte kontrol grafiğinin performansının da arttığı görülmüştür.

Çılan (2005), çok değişkenli kontrol grafiklerinde varsayımların sağlanması ile ilgili bir çalışma yapmış ve cam sanayiinde bir uygulama gerçekleştirmiştir. Çok değişkenli kontrol grafiklerinin oluşturulması için gözlemlerin çok değişkenli normal dağılım, gözlem değerlerinin bağımsızlık, diğeri bir deyişle otokorelasyon olmaması ve kalite göstergeleri arasında bağımsızlık ve çok değişkenli kontrol grafiklerinde doğrusallık varsayımlarının sağlanması gerekmektedir. Çalışmada bu varsayımlar, cam sanayiinde yapılan bir uygulamada test edilmiş, eksik görülen noktalarda düzeltme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada varsayımlar sağlandığında hesaplanan kontrol limitleriyle, varsayımlar dikkate alınmadan hesaplanan kontrol limitleri arasında küçük farklılıklar olduğu; ancak bu farklılıkların sürecin gerçek durumunu göstermekte kritik öneme sahip olduğu belirtilmiştir.

Yapılan uygulama çalışmalarının yanında çok değişkenli süreç metodolojisinin geliştirilmesine katkıda bulunan çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle

yeni kontrol grafiklerinin oluşturulması ve var olan kontrol grafiklerinin performansının artırılması olarak iki başlık altında toplanabilmektedir.

Khoo (2004), tek değişkenli üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama kontrol grafiğinin (EWMA) kullanım alanının genişletilmesi ile ilgili bir yaklaşım geliştirmiş ve ardından geliştirilen yaklaşım bir simülasyon çalışması ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu yeni yaklaşımla oluşturulan EWMA ve çok değişkenli EWMA kontrol grafikleri benzer performans gösterdiği belirlenmiştir.

Maravelakis ve diğ. (2002), çok değişkenli kontrol grafiklerinde süreç parametrelerinin bilindiği ve kontrol dışı bir sinyalin ortaya çıktığı durumlarda, bu sinyale neden olan değişkeni belirleyebilmek amacıyla temel bileşenler analizine dayanan bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemde kontrol dışı sinyale etki eden  $p$  adet değişkenin etkisi, toplam skora katkısı göz önüne alınarak hesaplanmaktadır. Yöntemin en büyük avantajı boyut azaltmasıdır. Çalışmada, pozitif korelasyon ile hem pozitif hem negatif korelasyon değerlerinden oluşan kovaryans matrisi kullanımına göre iki ayrı prosedür oluşturulmuştur. Negatif ve pozitif değerlerden oluşan bir kovaryans matrisiyle uygulanan prosedür standardize değerlerle uygulanamamaktadır. Çalışmada geliştirilen yöntem çalışmasını incelemek amacıyla iki örnek üzerine uygulanmış ve sonuçlar incelenmiştir. Yöntem süreçteki küçük değişimleri yakalamada etkili olmadığı için bu eksiklik grafiksel yöntemlerle giderilmiştir. Son olarak geliştirilen yöntem, bu konuda literatürde var olan yöntemlerden biri ile karşılaştırılmış ve daha etkili sonuç elde edildiği gözlemlenmiştir.

Chou ve diğ. (2003), eşzamanlı süreç ortalama vektörü ve kovaryans matrisi görüntüleme için kullanılan çok değişkenli kontrol grafikleri için ekonomik ve istatistiksel tasarım yaklaşımı geliştirmişlerdir. Geliştirilen tasarım çalışmasında bir maliyet modeli oluşturulmuş ve tasarlanan maliyet parametrelerinin etkileri sayısal bir örnek üzerinden incelenmiştir.

Stefatos ve Hamza (2009), temel bileşenler analizi ve gürbüz (robust) tasarım kullanarak hata tespiti için yeni bir çok değişkenli istatistiksel kalite kontrol grafiği geliştirmiştir. Çalışmada temel olarak ikinci fazda kontrol limitlerinin belirlenmesinde kullanılacak olan veri kümesinin hatasız olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan yaklaşımın ilk aşamasında gürbüz kovaryans matrisi elde

edilmekte; ikinci aşamasında ise veri kümesinden hataları ayıklamak ve değişkenlerin önemlerini birimsel hale getirmek için, gürbüz ortalama ve standart sapma ile standardize edilmiş verilerle temel bileşenler analizi uygulanmaktadır. Geliştirilen yaklaşım üç adet veri setine uygulanmış ve var olan yöntemlere göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Zhang ve diğ. (2010), çok değişkenli normal bir süreç ortalaması ve değişkenliğini birlikte tek bir grafikte gösteren yeni bir kontrol grafiği geliştirmiştir. Grafikte üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (EWMA) yaklaşımı, olabilirlik oranı testi (GLR) ile bütünleştirilmiştir. Yapılan testler sonucu geliştirilen grafiğin başarılı olduğu ve tekli gözlem olan durumlarda da, istenilen performansı gösterdiği belirtilmiştir.

Albazzaz ve diğ. (2005), referans veri seti analizlerinde kullanılan çok değişkenli süreç kontrolü ve çok boyutlu görselleştirme tekniklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada çok boyutlu veriyi görselleştirmek amacıyla paralel koordinatlar yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile fazla hesaplama gerek kalmadan verinin görselleştirilip normal olmayan verinin tespit edilmesi sağlanmaktadır. Çalışmanın uygulama bölümünde bir atık su işleme tesisinde belirlenen değişkenler gün bazında incelenmiştir. Veriye, paralel koordinatlar yöntemi,  $T^2$  kontrol grafiği, kareli tahmin hatası (SPE) grafiği ve kavramsal kümeleme yöntemleri uygulanarak yöntemler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Buna göre  $T^2$  ve paralel koordinatlar yöntemi normal olmayan verileri belirlemede yaklaşık olarak birbirine eşdeğer performans göstermiştir.

Wang ve Ong (2009), yapı hasar tespitinde kullanılmak üzere, özbağlanımlı (otoregresif) bir model ile çok değişkenli EWMA kontrol grafiklerini içeren bir model geliştirmişlerdir. Model, görüntülenen yapının referans veya hasarsız durumunu temel almaktadır. Referans durumu temel alan uygulamada özbağlanımlı (otoregresif) modelle elde edilen çok değişkenli veri kullanılmış ve bu veriler çok değişkenli üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (MEWMA) kontrol grafiği ile incelenmiştir. Uygulanılan modelle elde edilen sonuçlar  $\bar{X}$  ve Hotelling  $T^2$  kontrol grafikleri ile karşılaştırılmış ve daha etkili sonuç verdiği görülmüştür.

Guh ve Shiue (2008), karar ağacı öğrenme teknikleriyle çok değişkenli kontrol grafiklerinde ortalamadaki sapmaları tespit eden bir model geliştirmişlerdir. Model, süreç parametreleri bilindiği durumda ortalamadaki değişimleri belirleyebilmekte ve

sapma gösteren değişkenleri tespit edebilmektedir. Bununla birlikte model sadece iki değişken olduğu durumlar için kurulmuştur.

Fuchs ve Benjamini (1994), ise tek ve çok değişkenli istatistiklerin eşzamanlı gösterimini sağlayan çok değişkenli profil grafiklerini geliştirmişlerdir. Profil grafikleri sembolik bir serpilme diyagramı olarak düşünülebilir (Chambers ve diğ., 1983). Dikey ekseninde ortalama vektörünün referans değerlere olan uzaklığı gösterilirken, yatay ekseninde ise gözlem değerleri sırasıyla gösterilmektedir. Çalışmanın ilk kısmında geliştirilen grafik açıklanmış, ikinci kısmında ise yıldız diyagramı ve çoklu grafik (polyplot) ile teorik ve deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda çok değişkenli profil grafiklerinin daha kullanışlı ve yorumlanmasının kolay olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu noktaya kadar verilen çalışmalar çok değişkenli süreç kontrolü ve uygulamalarını kapsamaktadır. Bu tez çalışmasında ise bir hastanede çok değişkenli süreç kontrolü çalışması yapılacağından dolayı, literatürde yer alan ve daha önce sağlık sistemlerinde gerçekleştirilmiş olan süreç kontrolü uygulamaları ve elde edilen sonuçlar da araştırılmıştır.

Pujar ve diğ. (2010), tedaviye cevap vermeyen çocukluk epilepsisinde kriz sıklığının ve ilaç müdahalesinin değerlendirilmesi amacıyla istatistiksel süreç kontrolü çalışması yapmışlardır. Çalışmada istatistiksel süreç kontrolü kullanılmasının amacı, hastalığın doğal seyirinden kaynaklanan değişkenliğin diğer özel değişkenliklerden ayrılması sağlanarak, kriz sıklığındaki doğal değişimi anlamak ve kullanılan ilaçların etkinliğini belirlemektir. Bu amaca uygun olarak, I kontrol grafikleri hastaların haftalık kriz sıklığı için oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre, istatistiksel süreç kontrolü çalışması tek başına klinik kararlarının yerini tutamamakla birlikte karar vermede faydalı bir yardımcı olarak kullanılabilir.

Green (1999), psikiyatri kliniklerindeki performans seviyesini ve değişkenliği görmek amacıyla tek değişkenli bir istatistiksel süreç kontrolü çalışması yapmıştır. Hastaların fonksiyonel durumunu görmek adına hareketli ortalama kontrol grafiği kullanılmıştır. Yapılan çalışmaya göre, hizmet süreçlerinde kontrol grafiklerini kullanmanın faydalarından biri uygulamaların gerçek zamanlı geri beslemesinin alınmasıdır. Bu sayede kontrol dışı bir durum olduğu görüldüğünde hemen müdahale

edebilmekte ve sağlık personelini, sũreçte yaşanabilecek bũyũk dalgalanmaların yaratacağı aşırı reaksiyonlardan koruyabilmektedir.

Turner (2011), İrlanda'daki çeşitli hastanelerdeki sezeryan oranlarını incelemek için var olan lig tablosu yũnteminin yerine kontrol grafiklerinin kullanılmasını ȃneren bir çalışma yapmıştır. Çalışmaya gȃre var olan lig tablosu yũntemi yanılıcıdır ve toplum tarafından yanlış anlaşılmalara neden olmaktadır. Kontrol grafikleri ise hizmet kullanıcıları ve sağlayıcıları arasındaki dengeyi kurarak sũrecin izlenmesini sağlayan etkili bir yũntemdir (Turner, 2011).

Clark ve diğ. (1998), bir hastanedeki travma ȃlũm oranındaki eğilimleri gȃrũntũlemek amacıyla istatistiksel sũre kontrolũ tekniklerinden faydalanmışlardır. Çalışmada hastanedeki travma vakalarındaki ȃlũm oranları kontrol grafikleri ile incelenmiş, ve ȃlũmle sonuçlanan travma vakalarını nedenlerine gȃre gȃrũntũlemek için pareto analizi yapmıştır. Çalışma sonuçlarına gȃre travma ȃlũm oranının incelenmesinde istatistiksel sũre kontrolũnũn uygulaması kolay ve kullanışlı bir yũntem olduğu gȃrũlmũřtũr.

Hanslik ve diğ. (2001), genel toplum sağlığının gȃrũntũlenmesinde kontrol grafiklerinden faydalanmışlardır. Çalışmada 1998 Dũnya Kupası sırasında Fransa'da sağlık sorunlarının ȃnemli ȃlũde artış gȃsterip gȃstermediđi araştırılmıştır. Bu amaçla, gũnlũk olarak rapor edilen vakaların ortalama sayısı dikkate alınarak Őehir bazında u kontrol grafikleri oluşturulmuştur. İstatistiksel sũre kontrolũnũn, Dũnya Kupası sırasında bir erken uyarı sistemi olarak tasarlandığı belirtilmiş ve kontrol grafiklerinin kolaylıkla yorumlanabilen ve rassal olmayan değişkenliğin belirlenerek erken ȃnlem alınmasını sağlamasından dolayı toplum sağlığının izlenmesinde kullanılması ȃnerilmiřtir.

Fry ve diğ. (2011) ameliyatlardaki tedavi kalitesini ȃlmek için kontrol grafiklerini ȃnermiřlerdir. Ameliyat sonrasındaki hasta tedavi sũreci gibi klinik ȃlũleri yansıtın nesnel ȃlũtler kontrol grafiği ile gȃsterilerek, kontrol limitleri dışında kalan durumların ciddi klinik komplikasyonları belirlemede yardımcı olacağını belirtilmişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında, ameliyat risklerine gȃre dũzenleme yapılmasının ardından ameliyat sonrasında hastanede kalış sũreleri hareketli değişim aralığı kontrol grafiği (Xmr) kullanılarak incelenmiştir. İkinici aşamada, ameliyat sonrası canlı taburcu edilen hastalar, gȃzlemlenen ve tahmin edilen kalış değerleri

arasındaki farklara göre dört gruba ayrılmış ve gruplar arasında maliyet açısından anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında yapılan analizlere göre üst kontrol limiti dışına çıkan ve komplikasyonlu hastalarda maliyetler, komplikasyon olmayan ve uzatılmış kalış süreli hastaların yaklaşık iki katı olarak belirlenmiştir ve değişkenlik gösteren ve kararsız klinik çıktıların incelenmesinde kontrol grafiklerinden yararlanılabileceği belirtilmiştir.

Organ ve Gürbüz (2010), bir hastanedeki yoğun bakım ünitelerinde enfeksiyon etkenlerinin ve risk faktörlerinin belirlenmesi amacıyla, nazokimyasal enfeksiyon oranlarını hesaplamışlar ve ünitelere göre bu etkenlerin ne ölçüde etkili olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada, her yoğun bakım ünitesinde yatan enfeksiyonlu hastalar baz alınarak farklı yoğun bakım üniteleri için ayrı olmak üzere kusurlu oranı ( $u$ ) kontrol grafikleri oluşturulmuş ve enfeksiyon oranlarının kontrol altında olup olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada kontrol grafiklerinin veya benzer istatistiksel çalışmaların kullanılarak enfeksiyon risklerinin önceden belirlenecerek düzeltici veya önleyici faaliyetlerin yapılması önerilmiştir.

Morton ve diğ. (2009), hastanelerde sabit olmayan ve tahmin edilemeyen kötü çıktı oranları ile verinin bulunmadığı durumları izleyebilmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada bir tür mikroorganizmanın yaygınlığı ve bir tür antibiyotik kullanımını incelenmiştir. Sabit ve tutarlı olmayan veriler için öncelikle zaman serileri analizi yapılarak uygun dönüşümler gerçekleştirilmiş, ardından doğrusal regresyon ve  $i$  kontrol grafiği ile süreçler incelenmiştir.

Matheny ve diğ. (2008), hastanelerin kardiyoloji bölümündeki gerçekleşen ve beklenen ameliyat sonrası ölüm oranları arasındaki farkın anlamlılığını belirlemek için kontrol grafiği kullanmışlardır. Çalışmada, risk düzenlemesi yapılmış olasılık oran testi kontrol grafikleri ile olası ölüm oranlarının istenilen seviyelerde olup olmadığı incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında hastane durumunun yanında cerrah performansları da incelenmiş ve kullanılan tekniğin kardiyolojik çıktıların izlenmesinde ve kalite kontrolünün yapılmasında yararlı olduğu belirtilmiştir.

## 6. UYGULAMA

Çalışmanın bu kısmında, bir hastanedeki müşteri memnuniyeti ve hizmet kalitesinin ölçümünde göz önüne alınan kriterlerin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını belirlemek amacıyla bir Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrolü çalışması yapılmaktadır. Öncelikle incelenecek olan kalite karakteristikleri belirlenmiş ve ardından ilgili karakteristiklere ilişkin gözlem verileri ile  $T^2$  kontrol grafiklerinin uygulanması için gerekli varsayımların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.  $T^2$  kontrol grafiklerinin oluşturulması ve kontrol dışı gözlemlerin ayrıştırılmasında Qualstat programından faydalanılmakta, program çıktıları incelenerek sürecin mevcut durumu yorumlanmakta ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir.

### 6.1 Uygulamanın Amacı

Sağlık, insan yaşamının sürdürülmesinde, yaşam kalitesinin yaratılmasında ve korunmasında özel bir öneme sahiptir. Sağlık hizmeti sunumu, kişilerin yaşam kalitesini ve mutluluğunu doğrudan etkileyen bir alan olarak görülmekte ve bu bağlamda sağlık hizmetlerinin seviyesi de, ülkelerin gelişmişlik düzeyinin de bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Şimşir, 2009).

Günümüz ekonomik yapısı içinde hizmet işletmelerinin önemi ve aldıkları pay gün geçtikçe artmaktadır. Hizmet işletmeleri içinde de, sundukları hizmetin insan hayatıyla ilgili olması nedeniyle hastanelerin önem derecesi de bir kat daha artmaktadır.

Hastaneler ve diğer hizmet işletmeleri, rekabet ortamında ayakta kalabilmek için rakipler arasında fark yaratacak şekilde kurumsal performanslarını iyileştirme yönünde çaba harcamaktadırlar. Bu bağlamda, hasta memnuniyeti sağlık hizmetlerinin kalite değerlendirme sürecinde kullanılan önemli bir ölçüt olarak görülmektedir. Son dönemde ülkemizde de, Sağlık Bakanlığı'nın yürürlüğe koyduğu Sağlıkta Performans ve Kalite Yönergesi ile devlet hastanelerindeki kalite iyileştirme sürecine verilen önemin arttığı görülmektedir.

Hizmette kalite, hizmet performansının seviyesini tayin eden önemli kriterlerdendir. Kaynakların daha ekonomik ve verimli kullanımının zorunluluğu ile birlikte tüketicilerin kaliteye ilişkin beklentilerinin gelişmesi, kalitenin önemini arttırmıştır. Günümüzde kalite sağlamanın esası “kalitenin önlenmesi” olup, hata oluşumunu önleyici şekilde süreçlerde kaliteyi etkileyen tüm faaliyetler üzerinde kontrolün geliştirilmesi ilkesine dayanmaktadır (Pakdil, 2002).

Bu çalışmada, insan sağlığı ile doğrudan ilgili olması nedeniyle önemli bir yere sahip olan hastanelerin hizmet kalitesinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığının izlenmesi ve sürecin kontrol dışı sinyal verdiği durumlarda buna neden olan değişkenleri belirleyerek, hastanelerdeki hizmet kalitesinin takip edilmesine ve artırılmasına katkıda bulunulmasının yanında, hastane hizmet süreçlerindeki kontrol dışı durumlar nedeniyle oluşabilecek büyük değişkenliklerin sağlık çalışanları açısından uzun dönemde yaratacağı olumsuz sonuçların önlenmesi de amaçlanmaktadır.

## **6.2 Kalite Karakteristiklerinin Belirlenmesi**

Sağlık hizmetlerinde kalite kavramı, hizmeti talep eden kurum veya kişinin ihtiyaç ve isteklerini karşılamakla birlikte bilimsel ve teknik olanakların kullanımını da içermektedir. Hizmet sunumunda hedeflenen performansa ulaşmak için klinik, alt yapı ve destek hizmetlerin tümünde veri toplama, değerlendirme ve iyileştirme çalışmalarının koordinasyon içinde yürütülmesi gerekmektedir (Çoruh, 1996). Performans kavramına sağlık işletmeleri açısından bakıldığında, konuya büyük bir çoğunlukla “hizmetin kalitesi” bakış açısı ile yaklaşılmaktadır. Bu bağlamda Sağlık Organizasyonları Akreditasyonu Ortak Komisyonu’na (The Joint Commission on Accreditation Healthcare Organizations) göre performans, doğru işi iyi yapmaktır (Yoluk, 2010).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) hastaneleri; hastaları kontrol altında tutan, tanı ve tedavilerinin yanı sıra rehabilitasyon hizmetleri veren sağlık kuruluşları olarak tanımlamaktadır. Sağlık Bakanlığı Yataklı Tedavi Kurumları İşletme Yönetmeliği’nde ise hastaneler, hasta ve yaralıların, hastalıktan şüphe edenlerin, ayakta veya yatarak müşahede, muayene, teşhis, tedavi ve rehabilite edildikleri, aynı zamanda doğum yapılan kurumlar olarak tanımlanmaktadır (Özgülbaş, 1995).

Hastane performansı, çok boyutlu bir yapıya sahiptir ve hastanenin ayrıntılı performansını kapsayan tek bir ölçüt yoktur. Hastane işletmelerinde; yatakların etkili kullanımı, hekim, hemşire etkililiği, poliklinik sayısının artırılması, taburcu olan hasta oranının yüksekliği, mali gösterge oranları önemli performans göstergeleridir (Tengilimoğlu ve diğ., 2009, s.332).

Hastanelerde hizmet performansını belirlemek için kullanılan kalite karakteristiklerini belirlemek amacıyla hizmet sektöründe performans değerlendirilmesi ve hastane performansının ölçülmesinde kullanılan kriterleri açıklayan çalışmalar incelendiğinde, hastane performansının klinik, mali ve finansal göstergeler olmak üzere üç boyutta incelendiği görülmüştür. Bu çalışmada ise, hastane klinik göstergeleri ile ilgilenilmektedir. Bu duruma göz önüne alınarak, daha önce sağlık sektöründe hastane klinik göstergeleri ile yapılmış olan süreç kontrolü çalışmaları incelenmiştir. Literatürde hastanelerde uygulanmış herhangi bir çok değişkenli süreç kontrol uygulaması bulunmamakla birlikte incelenilen çalışmaların hepsi tek değişkenli süreç kontrolü uygulamalarıdır. İncelenilen çalışmalar ve çalışmalarda kullanılan kalite karakteristiklerine ilişkin tablo, Çizelge 6.1'de verilmektedir.

**Çizelge 6.1:** İncelenen çalışmalarda sağlık sektöründe performans görüntüleme için kullanılan kalite karakteristikleri.

<b>Kullanılan Kalite Karakteristiği</b>	<b>Kaynak</b>
Kriz sıklığı, kullanılan ilaç oranı	Pujar ve diğ. (2010)
Sezeryan oranı	Turner (2011)
Travma ölüm oranı	Clark ve diğ. (1998)
Hastalık sayıları	Hanslik ve diğ. (2001)
Hastanede kalış süresi	Fry ve diğ. (2011)
Yoğun bakım enfeksiyon hızı	Organ ve Gürbüz (2010)
Antibiyotik kullanımı	Morton ve diğ. (2009)
Ameliyat sonrası ölüm oranı	Matheny ve diğ. (2008)

Hastanelerde kullanılacak kalite karakteristikleri imalat sektöründe olduğu gibi çok açık ve net değildir. Bununla hizmet sektöründe kalite seviyesinin en önemli ölçümü müşteri (hasta) tatmini olarak belirlenmektedir (Tarım, 2002).

Yanmaz (2005) ise, hastanelerdeki performans göstergelerini mortalite hızı, enfeksiyon hızı, beklenmeyen cerrahi girişim sayısı, yatış süresi, aynı hastalık nedeniyle beklenmeyen yeniden yatış sayısı, komplikasyon yüzdesi, anne doğum hızı, sezaryen doğum oranı ve memnuniyet anketleri olarak belirtmektedir (Abdelhak ve diğ., 1996).

Bu çalışmada, hastane performansının ölçümünde klinik göstergelerle ilgilenilmiş, seçilen bu performans boyutu içinde de hasta memnuniyeti ve yoğun bakım ünitelerinin performansı olarak iki açıdan ele alınmıştır.

Hastanelerdeki hizmet performansının ölçülmesinde müşteri memnuniyeti en önemli ölçütlerden birisidir. Ülkemizde de hasta memnuniyet düzeyinin ölçülmesi için Sağlıkta Performans ve Kalite Yönergesi gereği hastanelerde uygulanmakta olan memnuniyet anketleri ve memnuniyet anketleriyle bağlantılı olduğuna karar verilen hastanede kalış süresi birlikte ele alınmıştır. Yatan hastalar için uygulanmakta olan anket formu Ek B’de verilmiştir.

Hastanelerdeki kalite göstergeleri, tüm hastane bazında ele alındığında ilişkileri bakımından büyük farklılıklar gösterirken, departmalar bazında incelendiğinde ise kalite karakteristiklerinin çoğunlukla birbiriyle ilişkili olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, hastanelerdeki yoğun bakım ünitelerinin durumunun izlenmesi amacıyla, literatürde incelenen çalışmalarda da kullanılan ve yine Sağlıkta Performans ve Kalite Yönergesi gereği kayıt altında tutulmakta olan yoğun bakım mortalite (ölüm) oranı, yoğun bakım enfeksiyon hızı, yoğun bakım tekrar yatış oranı ve cerrahi enfeksiyon hızının ele alınmasına karar verilmiştir. Yoğun bakım mortalite oranı, yoğun bakımda ölen hasta sayısının; yoğun bakım enfeksiyon hızı ise yoğun bakımda enfeksiyon olan hasta sayısının yoğun bakımda yatan hasta sayısına oranıdır. Yoğun bakım tekrar yatış oranı, yoğun bakıma tekrar yatan hasta sayısının yoğun bakımda yatan hasta sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir. Cerrahi enfeksiyon hızı ise ameliyat sonrası enfeksiyon gelişen hasta sayısının, ameliyat olan toplam hasta sayısına oranını göstermektedir.

Çok değişkenli bir süreç kontrol prosedüründe; süreç trendlerini belirlemede faydalı ve grafikleştirilmesinin kolay olması, kontrol dışı bir gözlem oluştuğunda nedenlerine ayrıştırılabilmesi, esnek bir uygulama alanına sahip olması ve süreç

değişimlerine karşı duyarlı olması istenmektedir. Bunların yanında çok sayıda değişken ve veri ile çalışabilme kapasitesinin olması da bir çok değişkenli süreç kontrol prosedürünün sahip olması beklenen en önemli özelliklerdendir. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği bu özellikleri sağlayan ve en çok bilinen çok değişkenli kontrol grafiklerinden birisidir. Belirtilen özellikleri ve uygulanmasındaki kolaylık nedeniyle de bu tez çalışmasında, belirlenen hastane süreçlerinin görüntülenmesinde kullanılmaktadır.

### **6.3 Kullanılan Yazılım: Qualstat**

Tek değişkenli süreç kontrol prosedürünün uygulanması için çok sayıda olmasına rağmen çok değişkenli süreç kontrolünün yapılabildiği sadece birkaç adet bilgisayar yazılımı bulunmaktadır (Mason ve Young, 2002, s.11). Bunlar SAS<sup>TM</sup>, JMP<sup>TM</sup>, Minitab ve Qualstat<sup>TM</sup>, dir.

Qualstat<sup>TM</sup> çok değişkenli süreç kontrolü için özel olarak geliştirilmiş ilk ayrıntılı ve ticari olarak erişilebilen istatistiksel yazılımdır (Salmona, 2004). InControl Technologies şirketinin bir ürünü olan yazılım, çok değişkenli süreç kontrolünün uygulanarak süreçlerin görüntülenebilmesi için gerekli olan araçları içermektedir. Qualstat<sup>TM</sup>, kullanıcının ek olarak programlama yapmasına gerek kalmaması ve kontrol dışı gözlemlerin nedenlerini inceleyebilmesi bakımından diğer programlardan bir adım öne geçmektedir.

Qualstat<sup>TM</sup> ile çok değişkenli süreç kontrolünün yanında tek değişkenli süreç kontrolü prosedürü de uygulanabilmektedir. Yazılımı kullanabilmek için diğer benzer yazılımlar gibi ileri programlama bilgisine sahip olma gerekliliği bulunmamaktadır ve çok değişkenli süreç kontrolünde kontrol dışı sinyale neden olan değişkenin belirlenmesin sağlanması gibi önemli bir konuda diğer programlardan öne geçmektedir. Qualstat paket programının temel bölümleri; veri girişi, özet istatistikler, Qualstat güç grafikleri, tek değişkenli kontrol grafikleri, çoklu regresyon, temel bileşenler analizi,  $T^2$  geçmiş veri dosyası oluşturma ve çok değişkenli istatistiksel kontroldür.

Veri girişi bölümü, Qualstat yazılımında analizler için kullanılacak verinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Kullanıcı, kendi verisini tek tek girebildiği gibi Excel dosyalarından da veri aktarabilmektedir.

Özet istatistik bölümü; ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık gibi istatistiklerin kolay ve hızlı bir şekilde görüntülenebildiği kısımdır. Bunların yanında korelasyon matrisi ile varyans/kovaryans matrisi de elde edilebilmektedir. Girilen veriye ilişkin elde edilen bu bilgilerle birlikte, özet istatistik bölümünün analiz kısmında veriye ilişkin değerlendirmelerin kontrol edilmesi imkanı sağlamaktadır.

Qualstat güç grafikleri bölümü, veriyi görüntülemek için hızlı bir şekilde grafikler oluşturmayı sağlamaktadır. Zaman serisi grafikleri, histogramlar, iki ve üç boyutlu serpilme diyagramları ile Box ve Whisker grafikleri oluşturulabilmektedir.

Tek değişkenli kontrol grafikleri bölümü, basit tek değişkenli kontrol grafiklerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu bölümde; X-R,  $\bar{X}$ -s, hareketli ortalama, hareketli değişim aralığı, üstel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama (EWMA) kontrol grafikleri oluşturulabilmektedir. Bunların yanında kullanıcı, süreç yetenek analizi çalışmalarını da bu bölümde yürütebilmektedir.

Çoklu regresyon bölümünde, karmaşık süreç modellerinin oluşturulup değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bu bölümde; ileriye doğru, geriye doğru ve adım adım regresyon analizleri yapılabilmekte ve regresyon modelinin yeterliliği kontrol edilebilmektedir. Regresyon analizi rapor kısmında ise daha kolay değerlendirme yapabilmek adına analizle ilgili detaylı bilgiler verilmektedir.

Temel bileşenler analizi, çok değişkenli istatistiksel veri analizinde önemli bir araçtır. Çok değişkenli verideki eşdoğrusallık probleminin ortadan kaldırılmasında kullanılan yöntemlerden birisidir. Yazılımdaki temel bileşenler analizi bölümünde ise, özdeğer ve özvektörler oluşturulabilmekte ve ana bileşenler uzayını görüntüleyebilmek için iki ve üç boyutlu serpilme diyagramları oluşturulabilmektedir.

$T^2$  geçmiş veri dosyası oluşturma bölümünde, Hotelling  $T^2$  kontrol grafiklerini oluşturabilmesi gerekli olan geçmiş veri dosyasının oluşturulması sağlanmaktadır. Bu sayede çok değişkenli kontrol limitlerinin oluşturulması için gerekli olan parametreler elde edilmektedir ve daha sonra incelenecek olan verilerdeki olası kontrol dışı durumların belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Çok değişkenli istatistiksel kontrol bölümünde, geçmiş veri dosyası oluşturma bölümünde elde edilen süreç parametreleriyle, yeni eklenen çok değişkenli verilerin görüntülenmesi sağlanmaktadır. Kontrol dışı durumu gösteren bir sinyal oluşması

durumunda ise bu duruma neden olan değişkenin belirlenebilmesi adına MYT ayrıştırması yapılabilmektedir. Ayrıştırma sonucu, kullanıcı isteğine bağlı olarak liste halinde veya grafiksel olarak elde edilebilmektedir.

#### 6.4 Geçmiş Veri Kümesinin Oluşturulması

Geçmiş veri kümesinin oluşturulmasında sırasıyla kalite karakteristiklerinin belirlenmesi, öncül verinin oluşturulması ve incelenmesi, çok değişkenli süreç kontrol varsayımlarının sağlanıp sağlanmadığının kontrolü ve aşırı değerlerin belirlenerek veriden çıkarılması adımları izlenmiştir.

##### 6.4.1 Öncül veri

Çalışmanın birinci boyutunda, hasta memnuniyet düzeyi ve hastaların hastanede kalış süresi ele alınmıştır. Hasta memnuniyet düzeyi, düzenlenen hasta memnuniyet anketindeki her soru için verilen puanlar toplamının soru sayısına oranlanmasıyla elde edilmiştir. Memnuniyet düzeyleri ve kalış sürelerine ait veriye ilişkin açıklayıcı istatistikler Çizelge 6.2, 6.3 ve 6.4'te verilmektedir.

**Çizelge 6.2:** Hasta menuniyeti ve kalış süresine ilişkin açıklayıcı istatistikler.

	N	Mean	Minimum	Maximum	Std Dev	Skewness	Kurtosis
Memnuni	62	2.2220968	1.13	3	0.57319391	-0.33955	-0.954417
Kalış_süre	62	11.33871	2	22	5.40171056	0.161645	-0.894036

**Çizelge 6.3:** Hasta menuniyeti ve kalış süresine ilişkin varyans/kovaryans matrisi.

	Memnuniyet	Kalış_süresi
Memnuniyet	0.3285512692	-2.298262824
Kalış_süresi	-2.298262824	29.178477

**Çizelge 6.4:** Hasta menuniyeti ve kalış süresine ilişkin korelasyon matrisi.

	Memnuniyet	Kalış_süresi
Memnuniyet	1.0	-0.742278
Kalış_süresi	-0.742278	1.0

Korelasyon, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin büyüklüğünü göstermektedir. 1 veya -1 mükemmel bir ilişki olduğunu gösterirken, 0 değer değişkenler arasında ilişki bulunmadığını göstermektedir. Korelasyon katsayısı 0.65 ve 1.0 aralığında ise değişkenler arasında güçlü bir ilişki olduğunu belirtirken, 0.35 ve 0.65 aralığında ise

orta büyüklükte, 0.35'ten küçük ise zayıf bir ilişki olduğunu belirtmektedir. Korelasyon katsayısının 0.999 gibi çok büyük bir değer olması bir eşdoğrusallık problemi olduğunu belirtmektedir. Aralarında mükemmel ilişki bulunan değişkenlerin ikisinin aynı anda analizlerde kullanılması gereksizdir, bunlardan sadece bir tanesini kullanmak yeterli olacaktır (Qualstat, 2012). Çizelge 6.5'te görüldüğü gibi hasta memnuniyeti ve kalış süresi arasındaki korelasyon katsayısı -0.65'ten daha küçük, -0.742278'dir. Diğer bir deyişle zıt yönde güçlü bir ilişki mevcuttur.

**Çizelge 6.5:** Değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı.

#	Variable 1	Variable 2	Corr
1	Memnuniyet	Kalış_süresi	-0.7423

Çalışmanın ikinci boyutunda; yoğun bakım mortalite (ölüm) oranı, yoğun bakım enfeksiyon hızı, yoğun bakım tekrar yatış oranı ve cerrahi enfeksiyon hızı ele alınmıştır. Bu karakteristiklere ilişkin açıklayıcı istatistikler Çizelge 6.6, 6.7, 6.8'de verilmektedir.

**Çizelge 6.6:** Yoğun bakım için belirlenen kalite karakteristiklerine ilişkin açıklayıcı istatistikler.

	N	Mean	Minimum	Maximum	Std Dev	Skewness	Kurtosis
<b>YB Mortalite</b>	30	5.996115	0	66.666667	11.9403875	4.80996	24.9662
<b>YB Enfeksiyon</b>	30	4.5050397	0	9.3023256	3.46629441	-0.105685	-1.5583
<b>YB Tekrar Yatış</b>	30	2.0538585	0	6.5217391	2.28755911	0.662103	-0.924288
<b>Cerrahi</b>	30	4.9915406	0	11.926606	3.39521774	0.056634	-0.878128

**Çizelge 6.7:** Yoğun bakım için belirlenen kalite karakteristiklerine ilişkin varyans/kovaryans matrisi.

	YB Mortalite	YB Enfeksiyon	YB Tekrar Yatış	Cerrahi enfeksiyon
<b>YB Mortalite</b>	142.5728554	-3.117164113	-2.05030529	20.8823785
<b>YB Enfeksiyon</b>	-3.117164113	12.01519697	3.281337968	2.346115998
<b>YB Tekrar Yatış</b>	-2.05030529	3.281337968	5.232926689	1.044776186
<b>Cerrahi enfeksiyon</b>	20.8823785	2.346115998	1.044776186	11.52750354

**Çizelge 6.8:** Yoğun bakım için belirlenen kalite karakteristiklerine ilişkin korelasyon matrisi.

	YB Mortalite	YB Enfeksiyon	YB Tekrar Yatış	Cerrahi enfeksiyon
YB Mortalite	1.0	-0.075314	-0.0750633	<b>0.515103</b>
YB Enfeksiyon	-0.075314	1.0	<b>0.413822</b>	0.19935
YB Tekrar Yatış	-0.0750633	<b>0.413822</b>	1.0	0.134519
Cerrahi enfeksiyon	<b>0.515103</b>	0.19935	0.134519	1.0

Çizelge 6.8’den görüldüğü gibi yoğun bakım tekrar yatış oranı ve yoğun bakım enfeksiyon hızı ile cerrahi enfeksiyon hızı ve yoğun bakım mortalite oranı arasında orta büyüklükte ilişkiler olduğu görülmektedir. Diğer değişkenler arasındaki ilişkiler zayıf olmakla birlikte, bunların arasında yoğun bakım enfeksiyon hızı ile cerrahi alan enfeksiyon hızı arasındaki ilişki diğerlerine göre daha güçlüdür.

**Çizelge 6.9:** Yoğun bakım kalite karakteristikleri arasındaki anlamlı korelasyon katsayıları.

#	Variable 1	Variable 2	Corr
1	YB Mortalite	Cerrahi enfeksiyon	0.5151
2	YB Enfeksiyon	YB Tekrar Yatış	0.4138

#### 6.4.1.1 Potansiyel veri kalitesi problemleri

Potansiyel veri kalitesi problemleri; sıfır varyans, boş (blank) değişken uyarısı ve aşırı değerlerdir. Varyansı sıfır olan bir değişken, tüm verilerin aynı olduğunu veya hiçbir veri bulunmadığını göstermektedir. Bu hatanın beklenmediği durumlarda veri kaynağı, olası hataları belirlemek için kontrol edilmelidir. Varyans/kovaryans matrislerinde de görüldüğü gibi bu çalışmadaki hiçbir veri grubunda, bu problemle karşılaşılmamıştır.

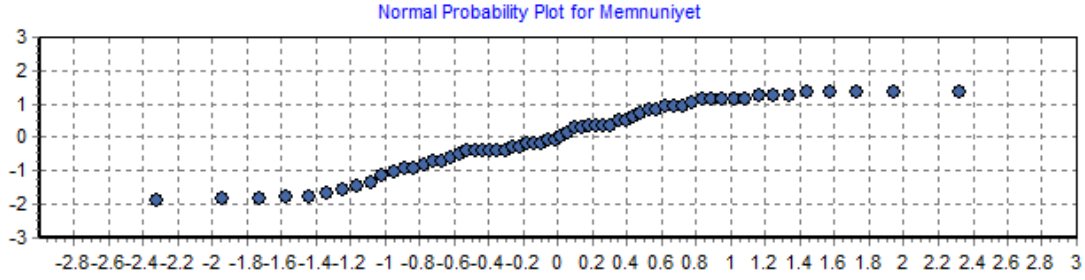
Boş değişken uyarısı, bu değişken için tüm kayıtların boş olduğunu göstermektedir. Muhtemel nedenleri elektronik transfer veya veri aktarma problemleridir. Bu çalışmadaki veri gruplarında, boş değişken problemi ile karşılaşılmamıştır.

Aykırı ve aşırı değerler, beklenen aralığın dışında olan değerlerdir. Ortalamadan 4 standart sapma fazla ve 6 standart sapma az olan değerler aykırı değerler olarak belirtilmektedir. Bu tür değerlerin varlığı, istatistiksel modelin sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği için analize başlamadan önce veri grubundan çıkarılmalıdır. Hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresi verilerinde aykırı ve aşırı değer problemi ile karşılaşılmamıştır; bununla birlikte yoğun bakım bölümü için belirlenen kalite karakteristiklerinde yoğun bakım mortalite oranında aykırı bir değerle

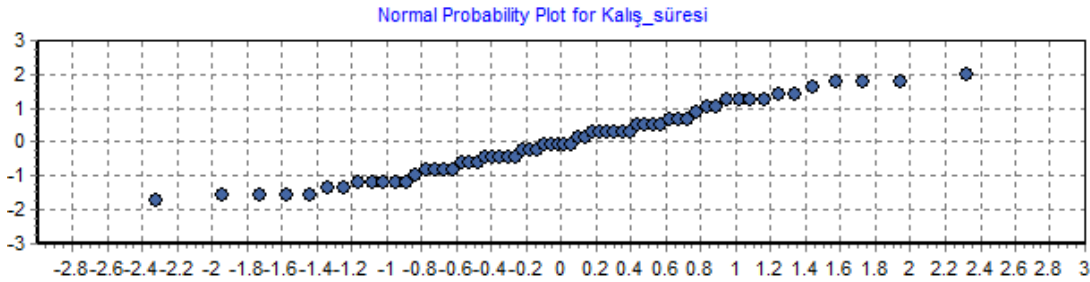
karşılaşmıştır. Bu verilere ait  $T^2$  kontrol grafiğini oluşturma sürecindeki birinci fazda, bu aykırı değer belirlenerek geçmiş veri grubundan çıkarılmaktadır.

Yukarıda belirtilen veri kalitesiyle ilgili problemlerin araştırılmasının ardından, çok değişkenli geçmiş veri grubunun oluşturulması için çok değişkenli süreç varsayımlarının sağlanıp sağlanmadığı test edilmiştir. Bu amaçla öncelikle çok değişkenli normal dağılıma uygunluk, öncelikle tek değişkenli normal olasılık grafikleri ve dağılım uygunluk testleriyle kontrol edilmiştir.

Verilerin normal dağılıma uygunluğu hakkında fikir edinmek adına, öncelikle değişkenlerin tek başlarına normal dağılıma uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu kontrol için, grafiksel teknikler veya dağılım uygunluk testleri kullanılabilir. Qualstat paket programı, Shapiro Wilks' ve Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testlerinin ikisini de gerçekleştirmekle birlikte görsel olarak olasılık grafikleri de oluşturmaktadır. Grafikteki düz çizgi verilerin normal dağılıma uyduğu anlamına gelmektedir. Shapiro-Wilks (W) testi, küçük veri kümelerinde diğer dağılım uygunluk testlerine oranla daha güçlü iken Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testi süreç parametreleri hakkında bilgi sahibi olunmadığı durumlarda kullanılmaktadır (Salmona, 2004). Şekil 6.1 ve 6.2'de sırasıyla hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresinin normal olasılık grafiği verilmiştir.



**Şekil 6.1:** Hasta memnuniyeti için normal olasılık grafiği.



**Şekil 6.2:** Kalış süresi için normal olasılık grafiği.

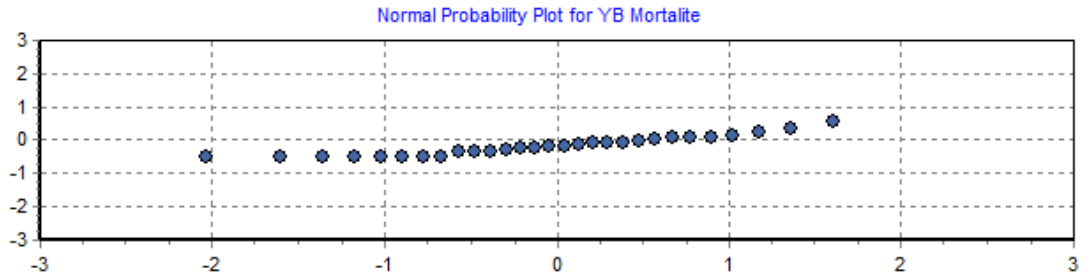
Hasta memnuniyeti ve kalış süresi için yapılan Shapiro Wilks' ve Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testlerinin sonuçları Çizelge 6.10'da verilmiştir.

**Çizelge 6.10:** Hasta memnuniyeti ve kalış süresi için yapılan Shapiro Wilks' ve Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testlerinin sonuçları.

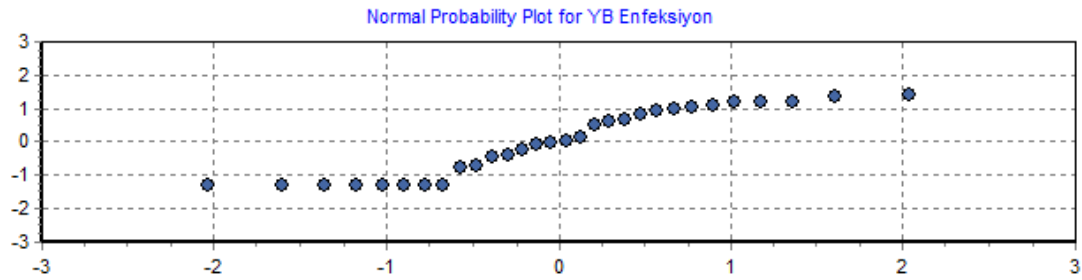
Variable	Count	Mean	Std Dev	Shapiro Wilks Test			KS (Lilliefors) Test		
				W	Prob	Indication	KS	Prob	Indication
Memnuniyet	62	2.22	0.57	0.9188	0.0004	Non-normal	0.09	> 0.2	Normal
Kalış_süresi	62	11.34	5.40	0.9524	0.0381	Non-normal	0.07	> 0.2	Normal

Tek değişkenli veri analiz sonuçları incelendiğinde veriler Shapiro Wilks testine göre normal dağılmazken, Lilliefors testine göre normal dağılıma uymaktadır. Normal olasılık grafikleri de incelendiğinde küçük sapmalar olmasına karşın, her iki kalite karakteristiğinin de normal dağılıma uyduğu söylenebilmektedir. Bununla birlikte bu analiz çok değişkenli verinin normal dağılıma uygunluğu hakkında sadece fikir vermektedir. Çok değişkenli verinin normal dağılıma uygunluğu, birinci fazdaki  $T^2$  kontrol grafiğinin oluşturulmasının ardından elde edilen  $T^2$  değerleriyle oluşturulacak olan Q-Q grafiğiyle araştırılacaktır.

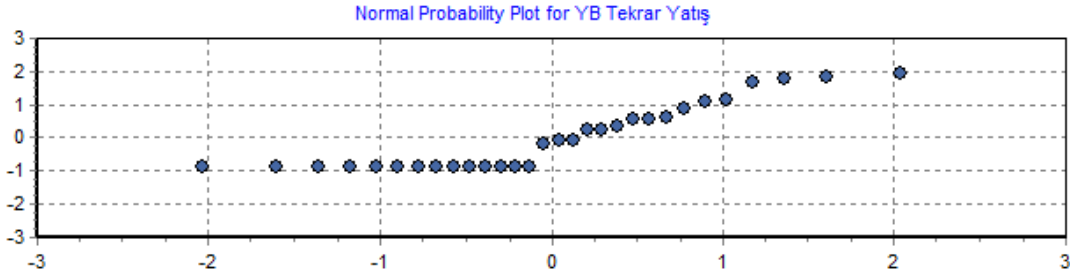
Şekil 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6'da sırasıyla yoğun bakım mortalite (ölüm) oranı, yoğun bakım enfeksiyon hızı, yoğun bakım tekrar yatış oranı ve cerrahi enfeksiyon hızına ait normal olasılık grafikleri verilmiştir.



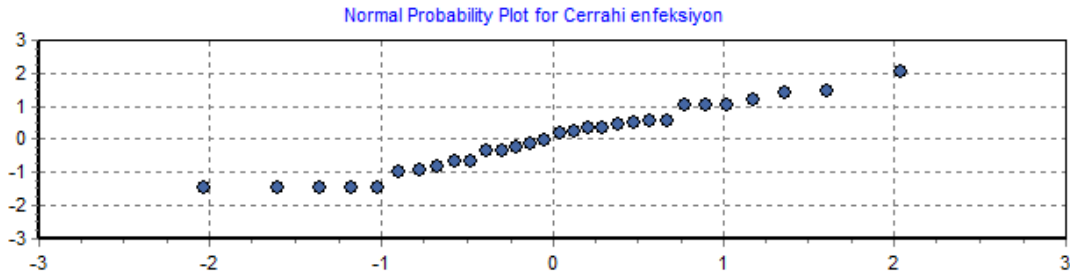
**Şekil 6.3:** Yoğun bakım mortalite oranına ait normal olasılık grafiği.



**Şekil 6.4:** Yoğun bakım enfeksiyon hızına ait normal olasılık grafiği.



Şekil 6.5: Yoğun bakım tekrar yatış oranına ait normal olasılık grafiği.



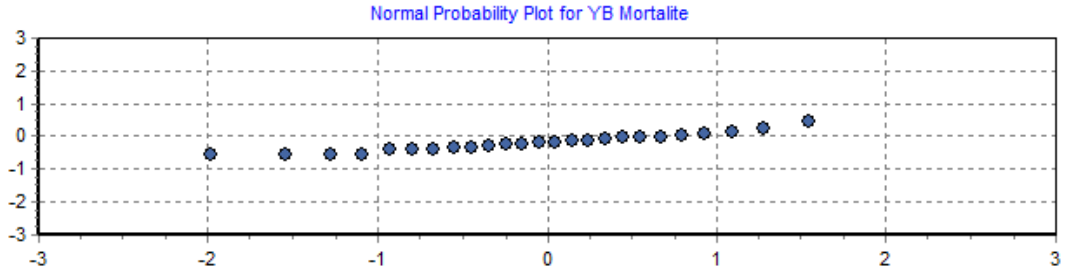
Şekil 6.6: Cerrahi alan enfeksiyon hızına ait normal olasılık grafiği.

Yoğun bakım mortalite (ölüm) oranı, yoğun bakım enfeksiyon hızı, yoğun bakım tekrar yatış oranı ve cerrahi enfeksiyon hızı için yapılan Shapiro Wilks' ve Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testlerinin sonuçları çizelge 6.11'de verilmiştir.

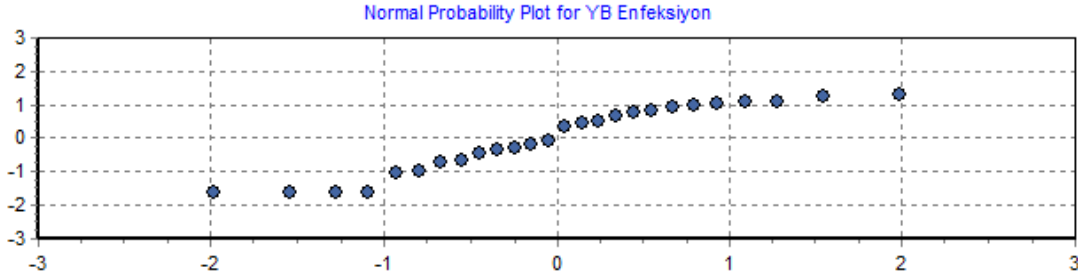
Çizelge 6.11: Yoğun bakım kalite karakteristikleri için yapılan Shapiro Wilks' ve Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testlerinin sonuçları.

Variable	Count	Mean	Std Dev	Shapiro Wilks Test			KS (Lilliefors) Test		
				W	Prob	Indication	KS	Prob	Indication
YB Mortalite	30	6.00	11.94	0.4278	< 0.0001	Non-normal	0.31	< 0.01	Non-normal
YB Enfeksiyon	30	4.51	3.47	0.8709	0.0015	Non-normal	0.17	0.0415	Non-normal
YB Tekrar Yatış	30	2.05	2.29	0.8161	< 0.0001	Non-normal	0.28	< 0.01	Non-normal
Cerrahi enfeksiyon	30	4.99	3.40	0.9525	0.2288	Normal	0.10	> 0.2	Normal

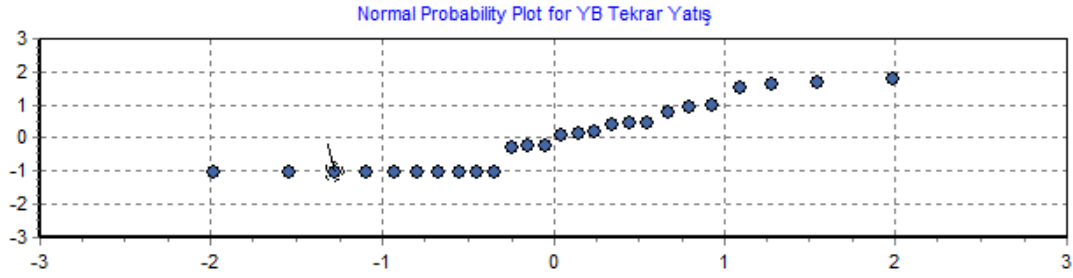
Normal olasılık grafikleri ve dağılım uygunluk testleri incelendiğinde sadece cerrahi alan enfeksiyon hızının normal dağılıma uyduğu görülürken, diğer kalite karakteristikleri normal dağılmamaktadır. Bu durumu araştırmak için yapılan incelemelerde yoğun bakım departmanına hiç hasta yatmadığı ayların neden olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu aylarda, yoğun bakımda hiç hasta olmadığı halde oranlar 0 kabul edilmiş ve örnek büyüklüğünün çok büyük olmadığı göz önüne alınarak normalliğe uymayan sonuçlar ortaya çıktığı düşünülmüştür. Bu nedenle yoğun bakıma hiç hastanın yatmadığı 4 ay, geçmiş veri grubundan çıkarılmıştır. Bu yeni veri grubuna ait normallik testleri Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10'da verilmiştir.



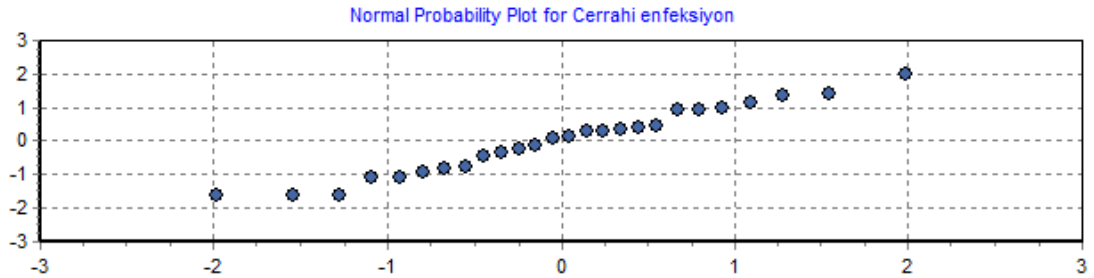
Şekil 6.7: Düzenlenmiş yoğun bakım mortalite oranına ait normal olasılık grafiği.



Şekil 6.8: Düzenlenmiş yoğun bakım enfeksiyon hızına ait normal olasılık grafiği.



Şekil 6.9: Düzenlenmiş yoğun bakım tekrar yatış oranına ait normal olasılık grafiği.



Şekil 6.10: Düzenlenmiş cerrahi alan enfeksiyon hızına ait normal olasılık grafiği.

Çizelge 6.12: Düzenlenmiş yoğun bakım kalite karakteristikleri için yapılan Shapiro Wilks' ve Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) testlerinin sonuçları.

Variable	Count	Mean	Std Dev	Shapiro Wilks Test			KS (Lilliefors) Test		
				W	Prob	Indication	KS	Prob	Indication
YB Mortalite	26	6.92	12.60	0.4271	< 0.0001	Non-normal	0.33	< 0.01	Non-normal
YB Enfeksiyon	26	5.20	3.19	0.9027	0.0181	Non-normal	0.10	> 0.2	Normal
YB Tekrar Yatış	26	2.37	2.30	0.8619	0.0020	Non-normal	0.23	< 0.01	Non-normal
Cerrahi enfeksiyon	26	5.35	3.32	0.9671	0.4331	Normal	0.08	> 0.2	Normal

Çizelge 6.12’de görüldüğü gibi düzenlenmiş verilerde, Shapiro Wilks testinde normal dağılmadığı görülmesine karşın, Lilliefors testinde yoğun bakım enfeksiyon hızı da normal dağılıma uymaktadır. Bunun yanında diğer iki değişken normal dağılıma yine uymamakla birlikte, eski duruma göre normal dağılıma daha çok yaklaştığı görülmektedir. Bununla birlikte çok değişkenli verinin normallik varsayımı birinci fazdaki  $T^2$  grafiğinin oluşturulmasının ardından Q-Q grafiğiyle kontrol edilecektir.

Yeniden düzenlenen yoğun bakım verileri için korelasyon ve varyans/kovaryans matrisi Çizelge 6.13 ve 6.14’te verilmiştir.

**Çizelge 6.13:** Düzenlenmiş yoğun bakım kalite karakteristikleri için korelasyon matrisi.

	YB Mortalite	YB Enfeksiyon	YB Tekrar Yatış	Cerrahi enfeksiyon
YB Mortalite	1.0	-0.213888	-0.160507	<b>0.517672</b>
YB Enfeksiyon	-0.213888	1.0	0.285725	0.0756479
YB Tekrar Yatış	-0.160507	0.285725	1.0	0.0440935
Cerrahi enfeksiyon	<b>0.517672</b>	0.0756479	0.0440935	1.0

**Çizelge 6.14:** Düzenlenmiş yoğun bakım kalite karakteristikleri için varyans / kovaryans matrisi.

	YB Mortalite	YB Enfeksiyon	YB Tekrar Yatış	Cerrahi enfeksiyon
YB Mortalite	158.7469625	-8.60287704	-4.651924319	21.66914529
YB Enfeksiyon	-8.60287704	10.19078859	2.098158659	0.8022959553
YB Tekrar Yatış	-4.651924319	2.098158659	5.291425458	0.3369730844
Cerrahi enfeksiyon	21.66914529	0.8022959553	0.3369730844	11.03743269

#### 6.4.2 Çoklu doğrusallık probleminin kontrol edilmesi

Çok değişkenli süreç kontrolünde, belirlenen kalite karakteristiklerinde potansiyel bir çoklu doğrusallık problemi ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle veride bu sorunun olup olmadığı kontrol edilmeli, mevcut ise ortadan kaldırılmalıdır.

Çoklu doğrusallık problemi, temel bileşenler analiziyle kontrol edilebilmektedir. Elde edilen maksimum özdeğerin, her özdeğere olan oranının karekökü koşul indisi (condition index) olarak adlandırılmaktadır. Tüm bileşenler için hesaplanan koşul indisi değerlerinin 30’dan büyük olması ciddi bir doğrusallık problemi olduğunu göstermektedir (Mason ve Young, 2002, s. 79).

Hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresi verilerine uygulanan temel bileşenler analizi sonuçları Çizelge 6.15'te verilmektedir.

**Çizelge 6.15:** Hasta memnuniyeti ve kalış süresi için yapılan temel bileşenler analizi.

#	Eigenvalue	% of Total	Cumm %	Memnuni	Kalış_süre
1	1.7423	87.11	87.11	0.7071	-0.7071
2	0.2577	12.89	100.00	0.7071	0.7071

Çizelge 6.16'da anlamlı bileşenler ve açıkladıkları değişkenliklere ilişkin bilgiler verilmiştir.

**Çizelge 6.16:** Hasta memnuniyeti ve kalış süresi için temel bileşenler.

#	Eigenvalue	% Variation	Cummulative % Variation	% Unexplained Variation
1	1.7423	87.11	87.11	12.89
2	0.2577	12.89	100.00	0.00

Temel bileşenler analizinde ilk temel bileşenin 1'den büyük bir değer aldığı görülmektedir; buna karşılık elde edilen özdeğerler dikkate alınarak oluşturulan koşul indisi  $2,60018 < 30$  olduğundan hasta memnuniyeti ve kalış süresi için çoklu doğrusallık probleminin olmadığı görülmektedir.

Yoğun bakım mortalite (ölüm) oranı, yoğun bakım enfeksiyon hızı, yoğun bakım tekrar yatış oranı ve cerrahi enfeksiyon hızı verilerine uygulanan temel bileşenler analizi sonuçları Çizelge 6.17'de verilmiştir.

**Çizelge 6.17:** Yoğun bakım kalite karakteristiklerine ilişkin temel bileşenler analizi sonuçları.

#	Eigenvalue	% of Total	Cumm %	YB	YB	YB Tekrar	Cerrahi
1	1.5846	39.61	39.61	-0.6965	0.3376	0.3148	-0.5494
2	1.2901	32.25	71.87	-0.1512	-0.6031	-0.5888	-0.5165
3	0.7195	17.99	89.85	-0.0832	0.6637	-0.7378	0.0905
4	0.4058	10.15	100.00	-0.6965	-0.2860	-0.0989	0.6506

Çizelge 6.18'de anlamlı bileşenler ve açıkladıkları değişkenliklere ilişkin bilgiler verilmiştir.

**Çizelge 6.18:** Yoğun bakım kalite karakteristikleri için temel bileşenler.

#	Eigenvalue	% Variation	Cummulative % Variation	% Unexplained Variation
1	1.5846	39.61	39.61	60.39
2	1.2901	32.25	71.87	28.13
3	0.7195	17.99	89.85	10.15
4	0.4058	10.15	100.00	0.00

Belirlenen bileşenlerin koşul indisleri Çizelge 6.19’da verilmiştir. Temel bileşenler için hesaplanan tüm koşul indisleri 30’dan küçüktür. Bu nedenle, geçmiş veri grubunda ciddi bir çoklu doğrusallık probleminin olmadığı söylenebilmektedir.

**Çizelge 6.19:** Yoğun bakım temel bileşenleri için hesaplanan koşul indisleri.

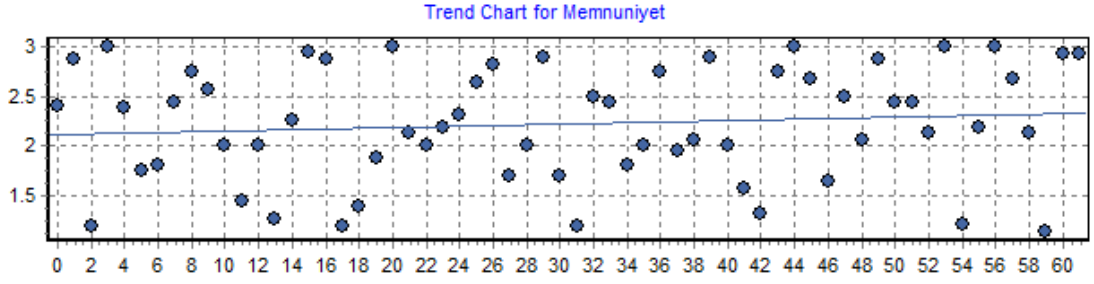
	Özdeğer	Koşul indisi
1	1,5846	1,0000
2	1,2901	1,1083
3	0,7195	1,4840
4	0,4058	1,9761

Çok değişkenli süreç kontrolünde kullanılan yaklaşımlardan birisi, süreç değişkenlerinin kendileri ile çalışmak yerine temel bileşenleri kullanmaktır. Ancak bu yaklaşımla elde edilen sonuçların yorumlanmasında ve asıl gözlem değerlerine geri dönüştürmede sıkıntı yaşanmaktadır (Salmona, 2004). Bu nedenle, bu çalışmada gözlem değerlerinin kendileri ile çalışılmıştır.

#### **6.4.3 Otokorelasyon probleminin kontrol edilmesi**

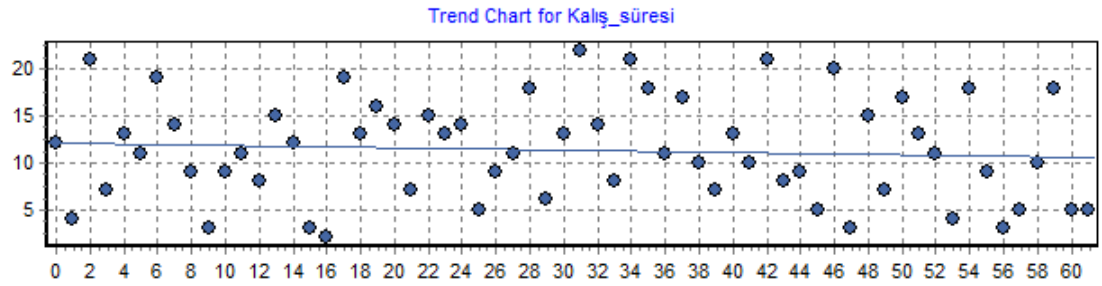
Bölüm 4.4.3’te daha önce belirtilen nedenlerden dolayı, veri grubunda otokorelasyon probleminin olup olmadığının araştırılması gerekmektedir. Qualstat programı, çok değişkenli veri kümesinde otokorelasyon problemini araştıramamakla birlikte, her bir değişken için ayrı olmak üzere trend analizi yapmaktadır. Hasta memnuniyeti ve hasta kalış süresine ilişkin yapılan analiz sonuçları Şekil 6.11 ve 6.12’de verilmektedir.

Qualstat programında yapılan Mann-Kendall testinde kurulan hipotez zamana göre hazırlanan grafikte bir değişimin olmadığı yönündedir. Z değerinin kritik değerden düşük olduğu durumlarda, süreçte belirli bir trend olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır (Qualstat, 2012).



**Şekil 6.11:** Hasta memnuniyeti için trend analizi.

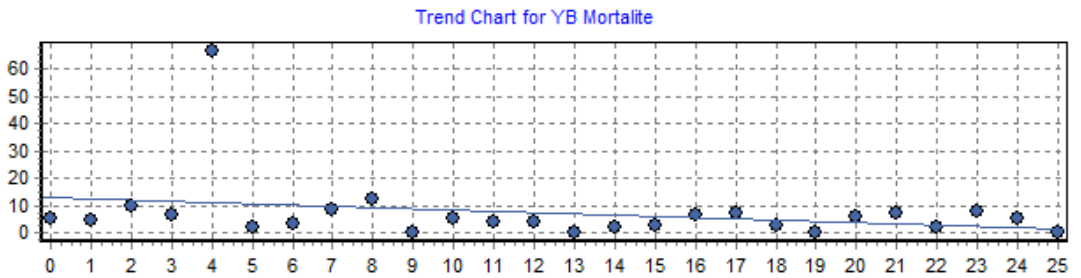
Hasta memnuniyeti için yapılan test sonucu p değeri 0.145, Z değeri ise 1.06'dır. Diğer bir deyişle kritik değer olan 0.05'ten küçüktür. Bu nedenle belirli bir trend olmadığı sonucuna varılmaktadır.



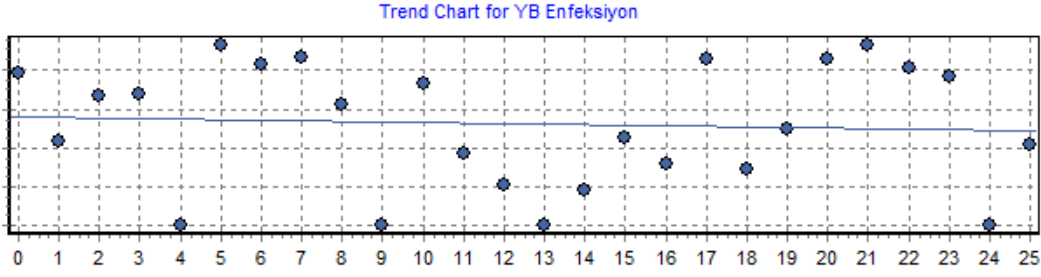
**Şekil 6.12:** Hastanede kalış süresi için trend analizi.

Hastanede kalış süresi için yapılan test sonucu p değeri 0.229, Z değeri ise -0.74'tür. Diğer bir deyişle kritik değer olan 0.05'ten küçüktür. Bu nedenle belirli bir trend olmadığı sonucuna varılmaktadır.

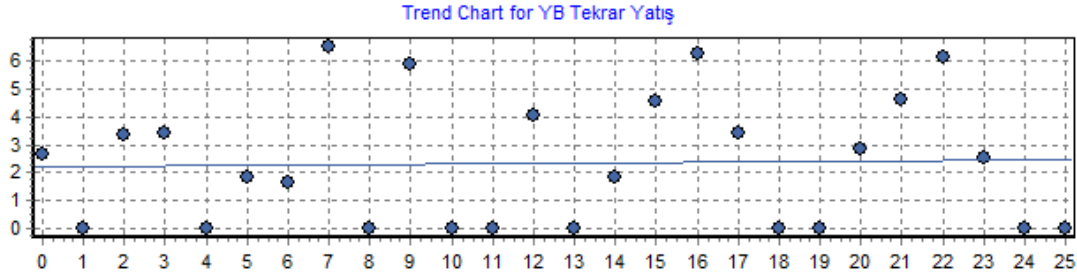
Belirlenen yoğun bakım kalite karakteristikleri için oluşturulan trend testleri de sırasıyla Şekil 6.13, 6.14, 6.15 ve 6.16'da verilmiştir.



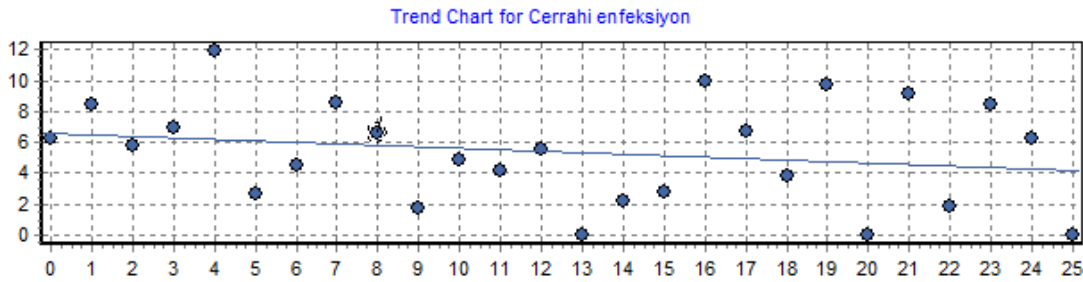
**Şekil 6.13:** Yoğun bakım hasta ölüm oranı için trend analizi.



Şekil 6.14: Yoğun bakım enfeksiyon hızı için trend analizi.



Şekil 6.15: Yoğun bakım tekrar yatış oranı için trend analizi.



Şekil 6.16: Cerrahi enfeksiyon hızı için trend analizi.

Grafiklerde değişkenler için bir trend problemi olmadığı açıkça görülmektedir. Trend analizi grafiklerden elde edilen bu sonucu destekleyen Mann-Kendall test sonuçları da Çizelge 6.20’de verilmiştir.

Çizelge 6.20: Yoğun bakım kalite karakteristiklerine ilişkin Mann-Kendall testi sonuçları.

Variable	Count	S Statistic	S Variance	Z Value	Prob	Indications
YB Mortalite	26	-50.00	2048.67	-1.10	0.135	No Trend
YB Enfeksiyon	26	-11.00	2049.67	-0.24	0.404	No Trend
YB Tekrar Yatış	26	4.00	1933.33	0.09	0.464	No Trend
Cerrahi enfeksiyon	26	-53.00	2053.67	-1.17	0.121	No Trend

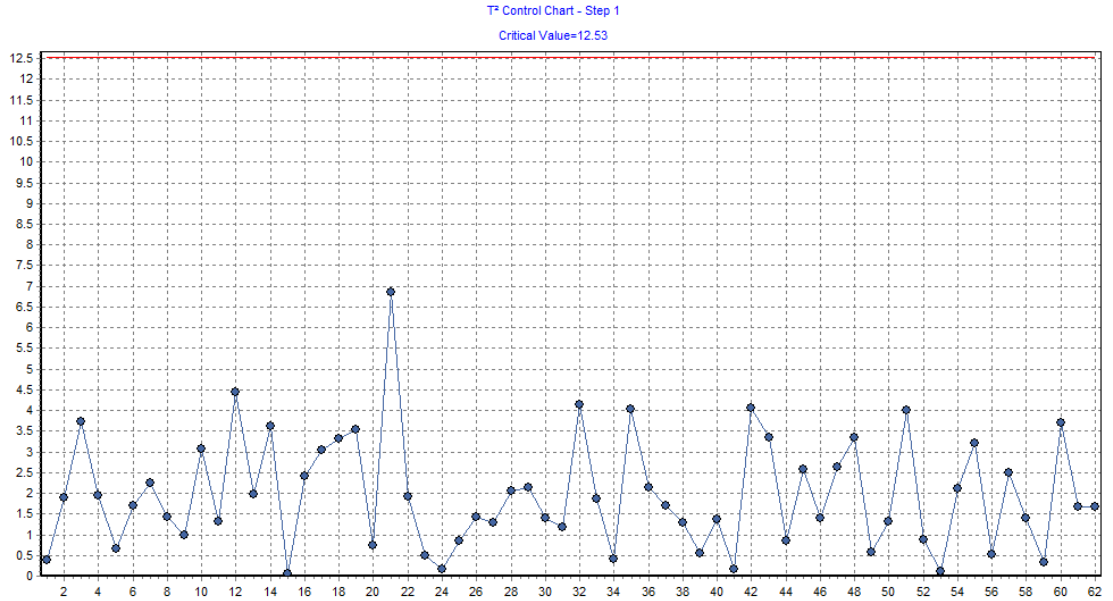
Elde edilen sonuçlara göre geçmiş veriler , Hotelling  $T^2$  grafiğinin oluşturulabilmesi için gerekli varsayımları sağlanmaktadır; birinci fazda kullanılmak için uygun olduğu görülmektedir.

## 6.5 Birinci Faz

Bu noktaya kadar, çok değişkenli istatistiksel kontrol çalışmasının yapılma amacı, incelenecek kalite karakteristikleri belirlenmiştir. Ardından verinin normalliği, çoklu doğrusallık ve otokorelasyon problemlerini test edilmiştir. Bundan sonraki aşamada ise veri kumesinde aykırı değerler olup olmadığı ve verilerin çoklu normal dağılıma uygunluğu kontrol edilmektedir. Bu aşamanın sonunda veri ikinci fazda kullanılmak üzere hazır hale gelmektedir.

Hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresi değişkenlerini içeren Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği Şekil 6.17’de verilmektedir.

Şekil 6.17’de görüldüğü gibi kontrol grafiğinin üst kontrol limiti 12.53’tür. Bununla birlikte tüm gözlem değerleri kritik değerin oldukça altındadır. Kontrol dışı bir durum söz konusu olmadığından geçmiş gözlem verilerinde aykırı bir değer bulunmadığı görülmektedir.

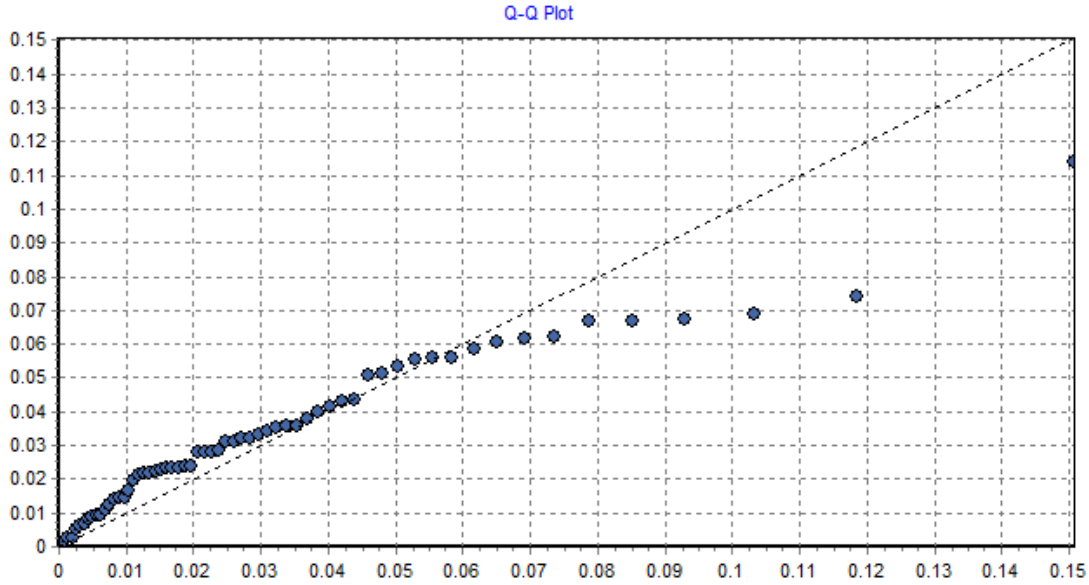


**Şekil 6.17:** Hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresine ait Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği.

Daha önce değişkenlerin ayrı olarak normal dağılıma uygunluğu grafiksel olarak ve dağılım uygunluk testleriyle kontrol edilmiştir; ancak değişkenlerin ayrı olarak normal dağılıma uyması çok değişkenli verinin de normal dağılıma uyduğu anlamına gelmemektedir (Mason ve Young, 2002, s. 47). Çok değişkenli normalliğin kontrol edilmesinde  $T^2$  değerlerinin Beta dağılıma uygunluğu Q-Q grafiği oluşturularak kontrol edilmiştir. Oluşturulan Q-Q grafiği Şekil 6.18’de verilmektedir.

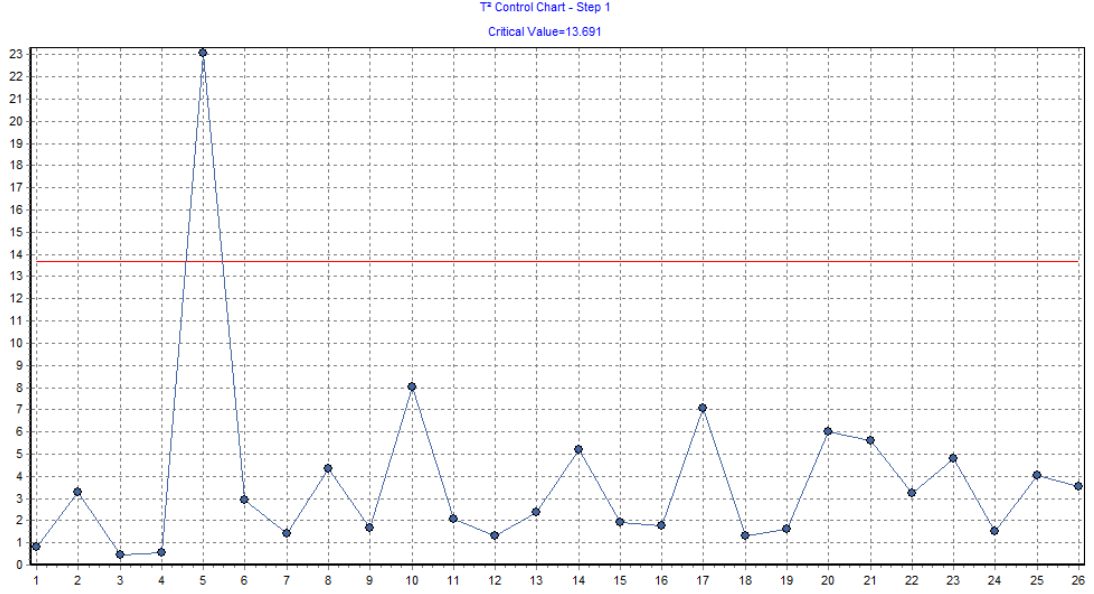
Şekil 6.18’de görüldüğü gibi, son gözlemlerde bir miktar sapma görülse de, verilerin çok değişkenli normal dağılım varsayımına uyduğu kabul edilebilir seviyededir. Bu nedenle hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresine ilişkin veriler ikinci aşamada kullanılabilir.

Yoğun bakım departmanı kalite karakteristikleri olan; yoğun bakım mortalite (ölüm) oranı, yoğun bakım enfeksiyon hızı, yoğun bakım tekrar yatış oranı ve cerrahi enfeksiyon hızını içeren Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği Şekil 6.19’da verilmektedir.

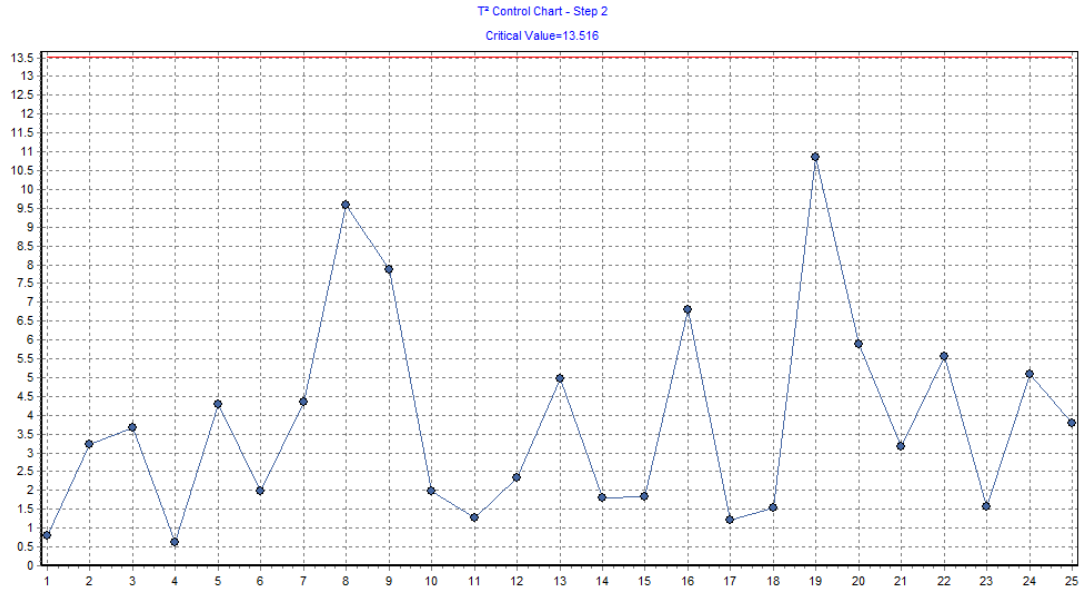


**Şekil 6.18:** Hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresine ilişkin Q-Q grafiği.

Şekil 6.19’da verilen grafikte görüldüğü gibi 5. gözlem üst kontrol limitinin üstündedir, diğer bir deyişle aykırı değerdir. Bu nedenle geçmiş gözlem verisinden çıkarılmıştır. Aykırı değer atılmasının ardından oluşturulan  $T^2$  kontrol grafiği Şekil 6.20’de verilmiştir. Yeni durumda kontrol dışında hiçbir değişken görülmemektedir.

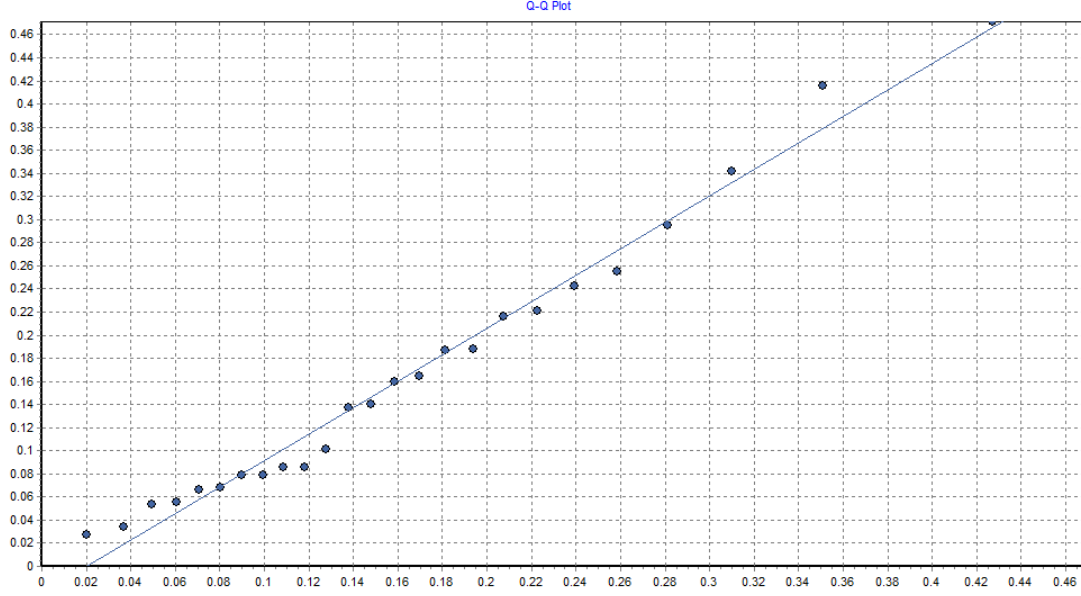


**Şekil 6.19:** Yoğun bakım karakteristiklerine ait birinci faz Hotelling T<sup>2</sup> kontrol grafiği.



**Şekil 6.20:** Aykırı değer atıldıktan sonra yoğun bakım karakteristiklerine ait birinci faz Hotelling T<sup>2</sup> kontrol grafiği.

Yoğun bakım kalite karakteristikleri için oluşturulan Q-Q grafiği Şekil 6.21’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde çok küçük sapmalar olsa da verilerin çok değişkenli normal dağılıma uyduğu görülmektedir.



**Şekil 6.21:** Yoğun bakım karakteristiklerine ilişkin Q-Q grafiği.

Bu yeni durumda değişkenlerin korelasyon matrisi ise Çizelge 6.21’de verilmiştir. Burada dikkat çeken bir nokta aykırı değer ve verilerin normalleştirilmesi adına yapılan düzenlemenin ardından değişkenler arasındaki korelasyon matrisinde meydana gelen değişikliklerdir. Daha önce yoğun bakım enfeksiyon hızı ve tekrar yatış oranı ile cerrahi alan enfeksiyon hızı ve yoğun bakım mortalite oranı arasında orta büyüklükte ilişkiler mevcut iken, yapılan düzenlemelerin ardından yoğun bakım enfeksiyon hızı ve tekrar yatış oranı arasındaki ilişki zayıflarken yoğun bakım mortalite oranı ile yoğun bakım enfeksiyon hızı arasındaki korelasyon artış göstermiştir.

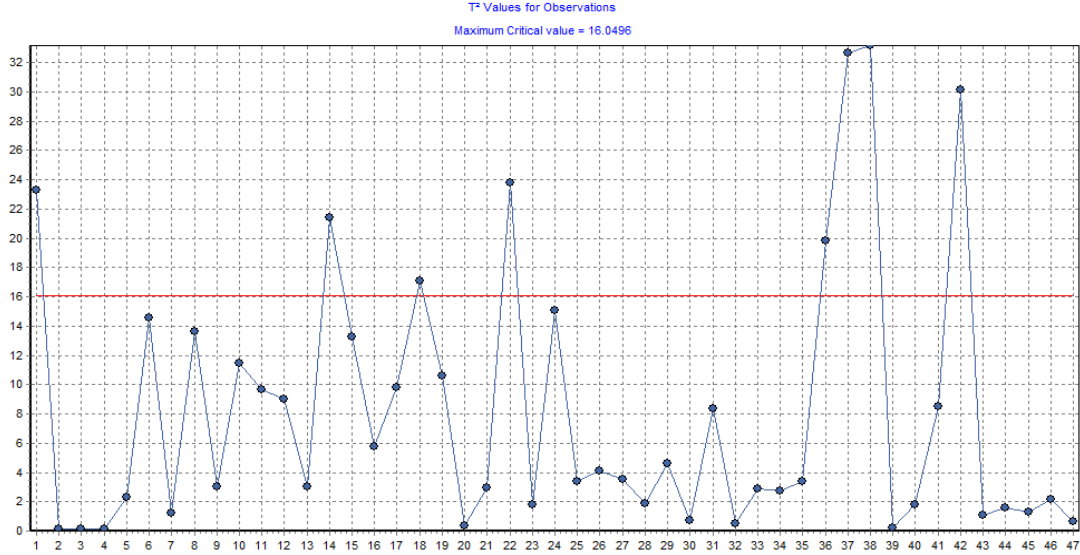
**Çizelge 6.21:** Aykırı değerın atılmasının ardından yoğun bakım karakteristiklerine ilişkin korelasyon matrisi.

	YB Mortalite	YB Enfeksiyon	YB Tekrar Yatış	Cerrahi enfeksiyon
YB Mortalite	1.0	0.448004	0.172057	0.546393
YB Enfeksiyon	0.448004	1.0	0.234161	0.243159
YB Tekrar Yatış	0.172057	0.234161	1.0	0.144212
Cerrahi enfeksiyon	0.546393	0.243159	0.144212	1.0

## 6.6 İkinci Faz

Birinci fazda, ikinci fazda oluşturulacak olan kontrol grafiğinin kontrol limitlerinin belirlenebilmesi için gerekli olan geçmiş veri grubu oluşturulmuştur. Bu aşamada ise, süreçten tekrar alınan yeni verilerin kontrol altında olup olmadığı araştırılmaktadır.

Hastanede kalış süresi ve hasta memnuniyeti ile ilgili olarak 47 yeni gözlem alınmıştır. Bu yeni gözlemlere ilişkin oluşturulan yeni  $T^2$  kontrol grafiği Şekil 6.22’de verilmektedir.



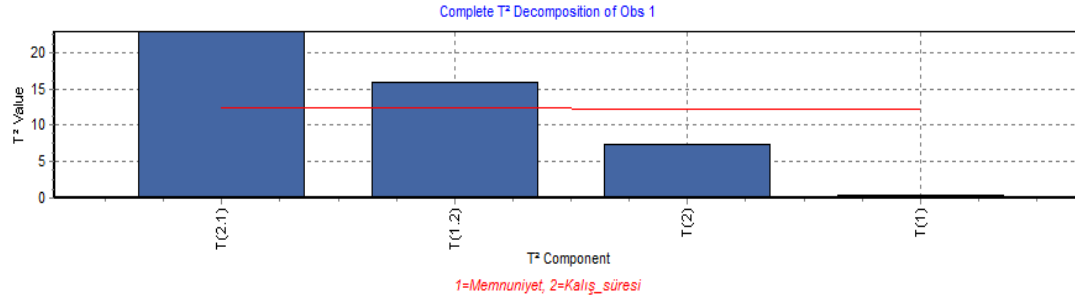
**Şekil 6.22:** Hasta memnuniyet ve hastanede kalış süresine ilişkin yeni alınmış gözlemlerle oluşturulmuş ikinci faz Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği.

Şekil 6.22’ de görüldüğü gibi, hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresine ilişkin alınan yeni verilerle oluşturulan Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde kontrol limiti 16.0496’dır. 1., 14., 18., 22., 36., 37., 38. ve 42. gözlemler ise kontrol limitlerinin dışındadır. Bu durumda sürecin kontrol altında olmadığı görülmektedir. Ancak  $T^2$  kontrol grafiği ile sadece gözlemlerin kontrol dışında olduğu görülebilmekte, bu kontrol dışı durumun nedeni belirlenmemektedir. Bu nedenle kontrol limitinin üzerinde olan gözlemler için MYT ayrıştırması yapılmıştır. Qualstat programı MYT ayrıştırması sonuçlarını hem grafiksel olarak hem de tablo halinde verebilmektedir. Bu çalışmada her iki program çıktısı da kullanılmaktadır.

1. gözlem için yapılan ayrıştırma sonuçları Çizelge 6.22 ve Şekil 6.23’te verilmiştir.

**Çizelge 6.22:** 1. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(Hastanede kalış.Memnuniyet)	22.8560 **	12.3685
T(Memnuniyet.Hastanede kalış)	15.9239 **	12.3685
T(Hastanede kalış)	7.3668	12.1459
T(Memnuniyet)	0.4347	12.1459



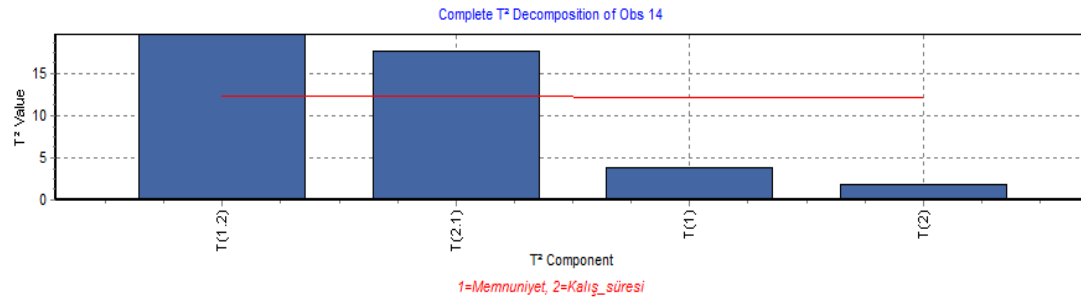
**Şekil 6.23:** 1. Gözlem için MYT ayrıştırması grafiksel sonucu.

Sonuçlar incelendiğinde, gözlemin kontrol dışına çıkmasına neden olan bileşenlerin Hastanede kalış.Memnuniyet ve Memnuniyet.Hastanede kalış koşullu bileşenleri olduğu görülmektedir. Buna göre hastanede kalış süresinin değeri, memnuniyete göre olması gereken aralıkta değildir. Memnuniyet değeri için de aynı yorum geçerlidir.

14. gözlem için yapılan ayrıştırma sonuçları Çizelge 6.23 ve Şekil 6.24'te verilmiştir.

**Çizelge 6.23:** 14. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(Memnuniyet.Hastanede kalış)	19.5928 **	12.3685
T(Hastanede kalış.Memnuniyet)	17.6062 **	12.3685
T(Memnuniyet)	3.8323	12.1459
T(Hastanede kalış)	1.8458	12.1459



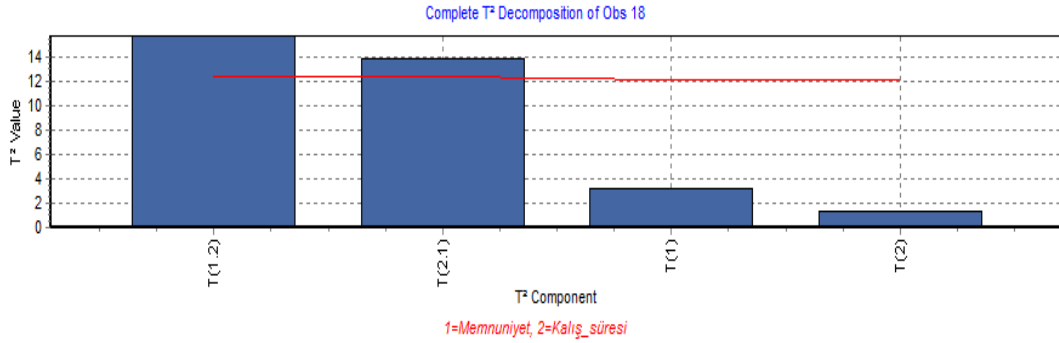
**Şekil 6.24:** 14. Gözlem için MYT ayrıştırması grafiksel sonucu.

Sonuçlar incelendiğinde, gözlemin kontrol dışına çıkmasına neden olan bileşenlerin Hastanede kalış.Memnuniyet ve Memnuniyet.Hastanede kalış koşullu bileşenleri olduğu görülmektedir. Buna göre hastanede kalış süresinin değeri, memnuniyete göre olması gereken aralıkta değildir. Memnuniyet değeri için de aynı yorum geçerlidir.

18. gözlem için yapılan ayrıştırma sonuçları Çizelge 6.24 ve Şekil 6.25'te verilmiştir.

**Çizelge 6.24:** 18. Gözlem için MYT ayrıştması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(Memnuniyet.Hastanede kalış)	15.6891 **	12.3685
T(Hastanede kalış.Memnuniyet)	13.8865 **	12.3685
T(Memnuniyet)	3.1797	12.1459
T(Hastanede kalış)	1.3770	12.1459



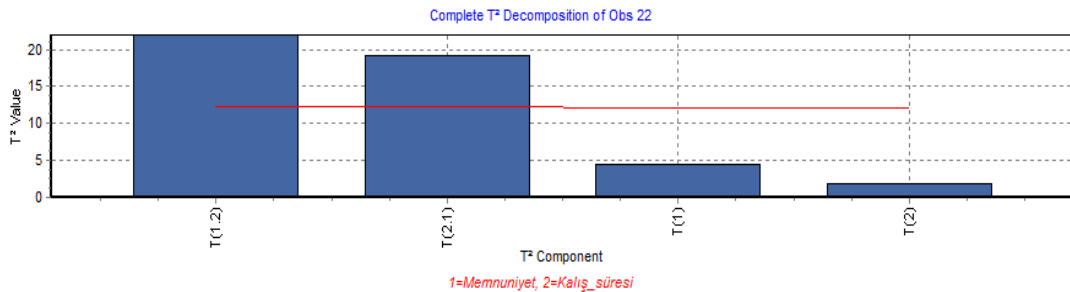
**Şekil 6.25:** 18. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.

Sonuçlar incelendiğinde, gözlemin kontrol dışına çıkmasına neden olan bileşenlerin Hastanede kalış.Memnuniyet ve Memnuniyet.Hastanede kalış koşullu bileşenleri olduğu görülmektedir. Buna göre hastanede kalış süresinin değeri, memnuniyete göre olması gereken aralıkta değildir. Memnuniyet değeri için de aynı yorum geçerlidir.

22. gözlem için yapılan ayrıştma sonuçları Çizelge 6.25 ve Şekil 6.26'da verilmiştir.

**Çizelge 6.25:** 22. Gözlem için MYT ayrıştması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(Memnuniyet.Hastanede kalış)	21.9654 **	12.3685
T(Hastanede kalış.Memnuniyet)	19.2654 **	12.3685
T(Memnuniyet)	4.5458	12.1459
T(Hastanede kalış)	1.8458	12.1459



**Şekil 6.26:** 22. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.

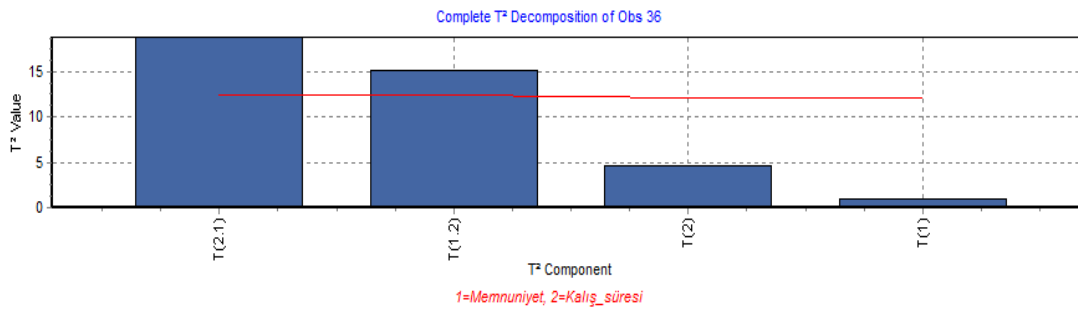
Sonuçlar incelendiğinde, gözlemin kontrol dışına çıkmasına neden olan bileşenlerin Hastanede kalış.Memnuniyet ve Memnuniyet.Hastanede kalış koşullu bileşenleri

olduğu görülmektedir. Buna göre hastanede kalış süresinin değeri, memnuniyete göre olması gereken aralıkta değildir. Memnuniyet değeri için de aynı yorum geçerlidir.

36. gözlem için yapılan ayrıştırma sonuçları Çizelge 6.26 ve Şekil 6.27’de verilmiştir.

**Çizelge 6.26:** 36. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(Hastanede kalış.Memnuniyet)	18.8226 **	12.3685
T(Memnuniyet.Hastanede kalış)	15.1786 **	12.3685
T(Hastanede kalış)	4.6605	12.1459
T(Memnuniyet)	1.0165	12.1459



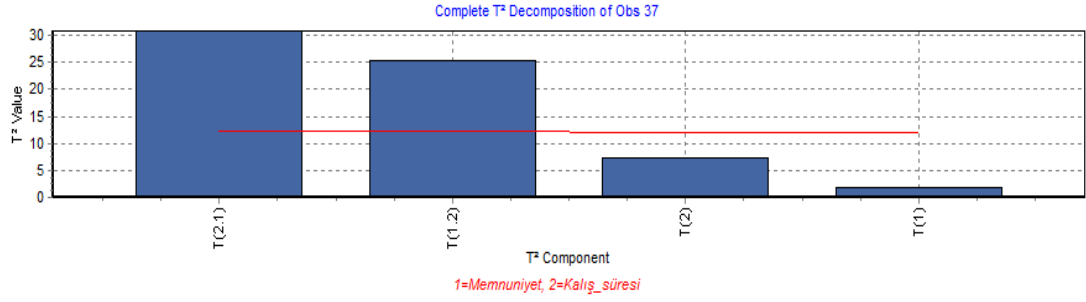
**Şekil 6.27:** 36. Gözlem için MYT ayrıştırması grafiksel sonucu.

Sonuçlar incelendiğinde, gözlemin kontrol dışına çıkmasına neden olan bileşenlerin Hastanede kalış.Memnuniyet ve Memnuniyet.Hastanede kalış koşullu bileşenleri olduğu görülmektedir. Buna göre hastanede kalış süresinin değeri, memnuniyete göre olması gereken aralıkta değildir. Memnuniyet değeri için de aynı yorum geçerlidir.

37. gözlem için yapılan ayrıştırma sonuçları Çizelge 6.27 ve Şekil 6.28’de verilmiştir.

**Çizelge 6.27:** 37. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(Hastanede kalış.Memnuniyet)	30.8449 **	12.3685
T(Memnuniyet.Hastanede kalış)	25.3199 **	12.3685
T(Hastanede kalış)	7.3668	12.1459
T(Memnuniyet)	1.8418	12.1459



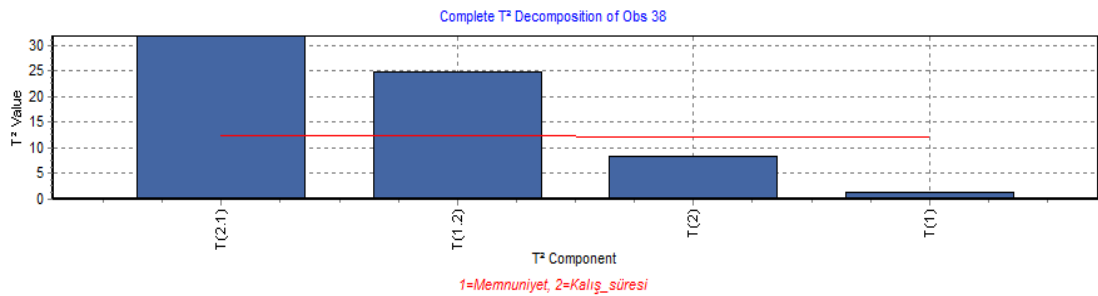
**Şekil 6.28:** 37. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.

Sonuçlar incelendiğinde, gözlemin kontrol dışına çıkmasına neden olan bileşenlerin Hastanede kalış.Memnuniyet ve Memnuniyet.Hastanede kalış koşullu bileşenleri olduğu görülmektedir. Buna göre hastanede kalış süresinin değeri, memnuniyete göre olması gereken aralıkta değildir. Memnuniyet değeri için de aynı yorum geçerlidir.

38. gözlem için yapılan ayrıştma sonuçları Çizelge 6.28 ve Şekil 6.29'da verilmiştir.

**Çizelge 6.28:** 38. Gözlem için MYT ayrıştması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(Hastanede kalış.Memnuniyet)	31.7739 **	12.3685
T(Memnuniyet.Hastanede kalış)	24.7666 **	12.3685
T(Hastanede kalış)	8.4061	12.1459
T(Memnuniyet)	1.3987	12.1459



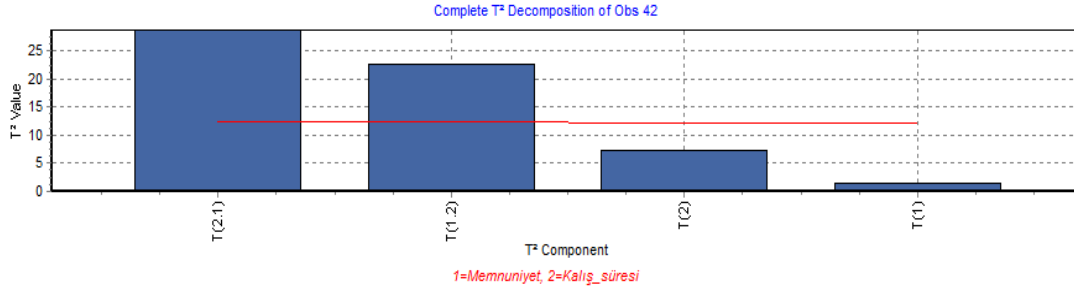
**Şekil 6.29:** 38. Gözlem için MYT ayrıştması grafiksel sonucu.

Sonuçlar incelendiğinde, gözlemin kontrol dışına çıkmasına neden olan bileşenlerin Hastanede kalış.Memnuniyet ve Memnuniyet.Hastanede kalış koşullu bileşenleri olduğu görülmektedir. Buna göre hastanede kalış süresinin değeri, memnuniyete göre olması gereken aralıkta değildir. Memnuniyet değeri için de aynı yorum geçerlidir.

42. gözlem için yapılan ayrıştma sonuçları Çizelge 6.29 ve Şekil 6.30'da verilmiştir.

**Çizelge 6.29:** 42. Gözlem için MYT ayrıştırması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(Hastanede kalış.Memnuniyet)	28.7357 **	12.3685
T(Memnuniyet.Hastanede kalış)	22.7675 **	12.3685
T(Hastanede kalış)	7.3668	12.1459
T(Memnuniyet)	1.3987	12.1459



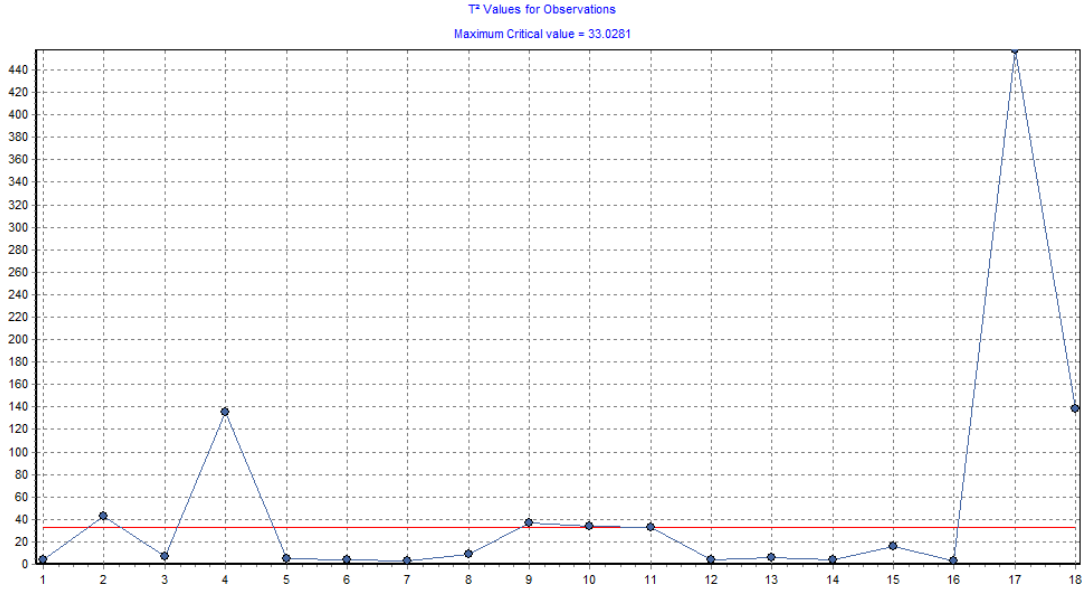
**Şekil 6.30:** 42. Gözlem için MYT ayrıştırması grafiksel sonucu.

Sonuçlar incelendiğinde, gözlemin kontrol dışına çıkmasına neden olan bileşenlerin Hastanede kalış.Memnuniyet ve Memnuniyet.Hastanede kalış koşullu bileşenleri olduğu görülmektedir. Buna göre hastanede kalış süresinin değeri, memnuniyete göre olması gereken aralıkta değildir. Memnuniyet değeri için de aynı yorum geçerlidir.

Hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresine ilişkin kontrol dışı sinyal veren gözlemler incelendiğinde, tüm gözlemlerde kontrol dışına çıkmaya neden olan bileşenin Hastanede kalış.Memnuniyet ve Memnuniyet.Hastanede kalış koşullu bileşenleri olduğu görülmektedir. Bu durumda ikinci fazda alınan verilerin, birinci fazda alınan verilerdeki değişkenler arasındaki ilişkiye uymadığı söylenebilir.

Yoğun bakım karakteristikleri için alınan yeni 18 gözlem için oluşturulan T<sup>2</sup> kontrol grafiği Şekil 6.31’de verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi 2., 4., 9., 10., 17. ve 18. gözlemler kritik değer olan 33.0281’in üzerindedir ve kontrol dışında bir durum olduğunu göstermektedirler.

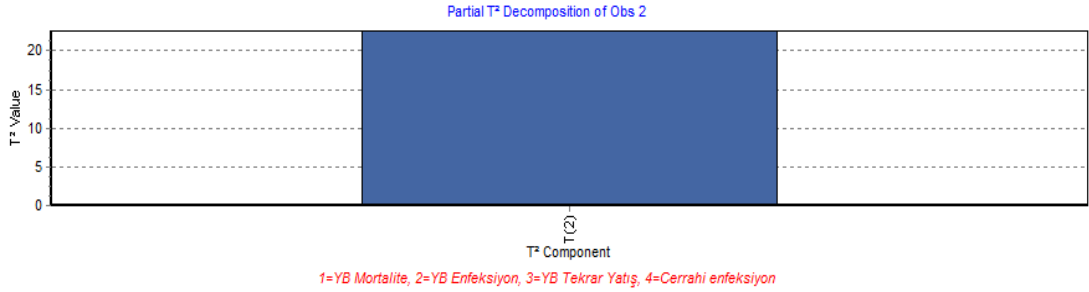
Yoğun bakım performansını araştırmak adına ikiden fazla kalite karakteristiği seçilmesi nedeniyle değişkenler arası ilişkiler de karmaşıklık göstermektedir. Bu nedenle bu kısımda sadece değişkenliğe neden olan ana bileşenleri gösteren kısmi MYT ayrıştırması analizlerine yer verilmiştir. Değişkenler arası ilişkilerin de gösterildiği kapsamlı MYT ayrıştırması analizleri ise Ek D’de verilmiştir.



**Şekil 6.31:** Yoğun bakım karakteristiklerine ait ikinci faz T<sup>2</sup> kontrol grafiği.

**Çizelge 6.30:** 2. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(YB Enfeksiyon)	22.5510 **	14.5895
T(Cerrahi enfeksiyon)	2.6858	14.5895
T(YB Mortalite)	1.9223	14.5895
T(YB Tekrar Yatış)	1.1530	14.5895

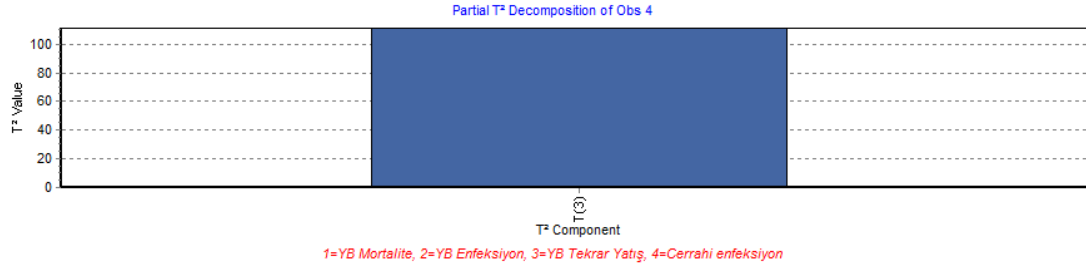


**Şekil 6.32:** 2. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.

Şekil 6.32 ve Çizelge 6.30'da görüldüğü gibi 2. gözlem için yapılan kısmi MYT ayrıştması verilmiştir. Değişkenliğe neden olan kalite karakteristiği yoğun bakım enfeksiyon hızıdır.

**Çizelge 6.31:** 4. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(YB Tekrar Yatış)	111.1767 **	14.5895
T(YB Enfeksiyon)	3.0944	14.5895
T(Cerrahi enfeksiyon)	2.6858	14.5895
T(YB Mortalite)	1.9223	14.5895

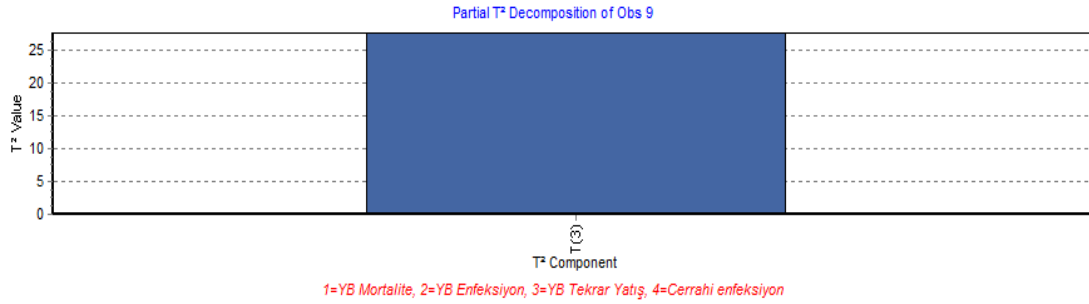


**Şekil 6.33:** 4. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.

Şekil 6.33 ve Çizelge 6.31’de, 4. gözlem için yapılan kısmi MYT ayrıştması verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi değişkenliğe neden olan kalite karakteristiği yoğun bakım tekrar yatış oranıdır.

**Çizelge 6.32:** 9. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(YB Tekrar Yatış)	27.7015 **	14.5895
T(Cerrahi enfeksiyon)	2.2844	14.5895
T(YB Mortalite)	1.9509	14.5895
T(YB Enfeksiyon)	1.4377	14.5895

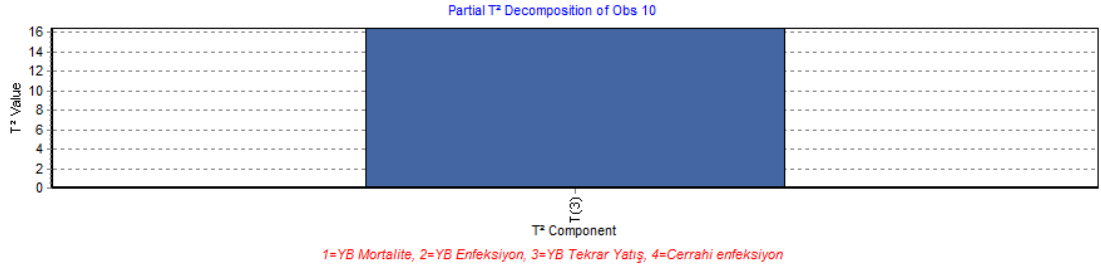


**Şekil 6.34:** 9. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.

Şekil 6.34 ve Çizelge 6.32’de görüldüğü gibi 9. gözlem için yapılan kısmi MYT ayrıştması verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi değişkenliğe neden olan kalite karakteristiği yoğun bakım tekrar yatış oranıdır.

**Çizelge 6.33:** 10. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(YB Tekrar Yatış)	16.4166 **	14.5895
T(YB Enfeksiyon)	3.0944	14.5895
T(Cerrahi enfeksiyon)	2.0641	14.5895
T(YB Mortalite)	1.0297	14.5895

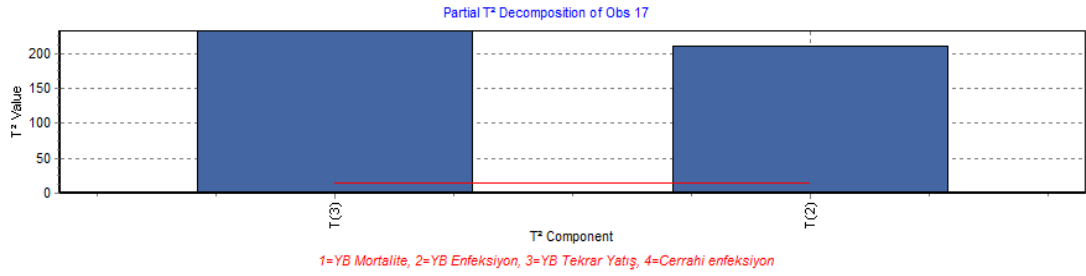


**Şekil 6.35:** 10. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.

Şekil 6.35 ve Çizelge 6.33'te görüldüğü gibi 10. gözlem için yapılan kısmi MYT ayrıştması verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi değişkenliğe neden olan kalite karakteristiği yoğun bakım tekrar yatış oranıdır.

**Çizelge 6.34:** 17. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(YB Tekrar Yatış)	232.9826 **	14.5895
T(YB Enfeksiyon)	210.5582 **	14.5895
T(Cerrahi enfeksiyon)	2.0492	14.5895
T(YB Mortalite)	1.9223	14.5895

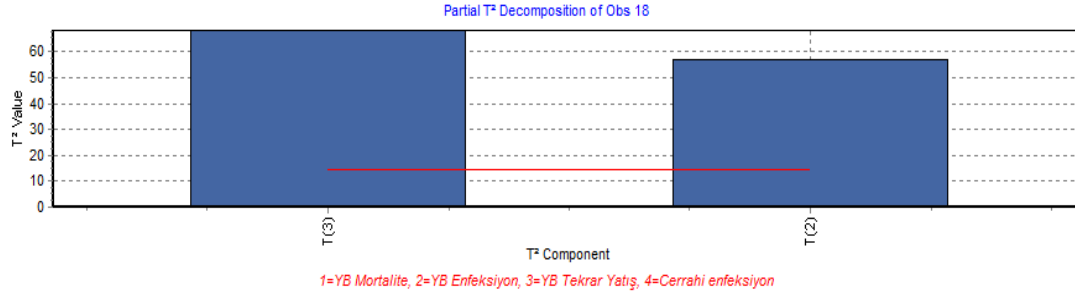


**Şekil 6.36:** 17. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması grafiksel sonucu.

Şekil 6.36 ve Çizelge 6.34'te, 17. gözlem için yapılan kısmi MYT ayrıştması verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi değişkenliğe neden olan kalite karakteristikleri yoğun bakım tekrar yatış oranı ve yoğun bakım enfeksiyon hızıdır.

**Çizelge 6.35:** 18. Gözlem için kısmi MYT ayrıştması tablo sonucu.

Components	Value	Critical Value
T(YB Tekrar Yatış)	68.2602 **	14.5895
T(YB Enfeksiyon)	56.8197 **	14.5895
T(Cerrahi enfeksiyon)	2.6858	14.5895
T(YB Mortalite)	1.9223	14.5895



**Şekil 6.37:** 18. Gözlem için kısmi MYT ayrıştırması grafiksel sonucu.

Şekil 6.37 ve Çizelge 6.35’te, 18. gözlem için yapılan kısmi MYT ayrıştırması verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi değişkenliğe neden olan kalite karakteristikleri yoğun bakım tekrar yatış oranı ve yoğun bakım enfeksiyon hızıdır.

Yoğun bakım kalite karakteristiklerinin ayrıştırma sonuçları incelendiğinde değişkenliğe neden olan karakteristiklerin, yoğun bakım tekrar yatış oranı ve yoğun bakım enfeksiyon hızı olduğu görülmektedir. Ek D’de verilen kısmi olmayan MYT ayrıştırmaları incelendiğinde, kontrol dışında olan diğer karakteristikler arasındaki ilişkilerin de bu iki ana karakteristikteki değişkenlikten kaynaklandığı görülmektedir. Bu analiz sonuçlarına bakılarak, yoğun bakıma tekrar yatan hasta sayısının ve yoğun bakımda enfeksiyon geçiren hasta sayısının beklenenden daha fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yoğun bakım tekrar yatış oranının gösterdiği değişkenlik, yoğun bakım enfeksiyon hızına kıyasla daha fazladır. Bu nedenle iyileştirme çalışmalarında yoğun bakım tekrar yatış oranına öncelik verilmelidir.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçek hayattaki birçok süreç doğası gereği çok değişkenlidir. Bu nedenle, belirli bir kalite karakteristiğinin diğer karakteristiklerle olan ilişkisi göz önüne alınmaksızın yapılan analizler yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Gerektirdiği yoğun matematiksel çaba ve ortaya çıkan zaman kayıpları, gelişen bilgisayar teknolojisinin yardımıyla büyük oranda azaltılmıştır. Bu yardım sayesinde çok değişkenli süreç kontrolü, süreçlerin doğru olarak görüntülenmesinde son dönemde kullanılan etkin bir yöntem olarak görülmektedir. Çok değişkenli süreç kontrolü ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda imalat sektöründe gerçekleştirilen az sayıda uygulama bulunmakla birlikte hizmet sektöründe yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanmamaktadır.

Bu çalışmada, bir devlet hastanesindeki mevcut hastane performansı, çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol yöntemleri ile incelenmektedir. Bu amaçla en çok bilinen çok değişkenli kontrol grafiklerinden birisi olan Hotelling  $T^2$  kontrol grafiklerinden yararlanılmıştır. Çok değişkenli süreç kontrolü analizleri için ise bir istatistiksel yazılım paketi olan Qualstat kullanılmıştır.

Hastane performansının belirlenmesi pek çok boyuta sahip bir konudur. Bu nedenle, performans belirlemede farklı açılarının ele alınmasına gerek duyulmuştur. Birinci boyut olarak, bir hizmet işletmesinin ele alınması nedeniyle hasta memnuniyeti ve bununla ilişkili olduğu düşünülen hastanede kalış süresi ele alınmaktadır. Diğer boyut ise, bölüm bazındaki hizmet çıktıları olan yoğun bakım mortalite (ölüm) oranı, yoğun bakım enfeksiyon hızı, cerrahi enfeksiyon hızı ve yoğun bakım tekrar yatış oranı incelenmektedir.

İncelenecek kalite karakteristiklerinin belirlenmesinin ardından her iki boyut için de geçmiş veri kümesi oluşturulmuştur. Birinci fazda, verilerin normal dağılıma uygunluğu, çoklu doğrusallık ve otokorelasyon gibi potansiyel veri kalitesine ilişkin problemlerin varlığı ile ilgili incelemeler yapılmaktadır. Bu aşamada, oluşturulan  $T^2$  kontrol grafikleri ile geçmiş veri kümesinde aykırı değerlerin varlığı araştırılmış ve belirlenen aykırı değerler geçmiş veri kümesinden çıkarılmıştır. Birinci aşama

sonucunda elde edilen bu geçmiş veri grubu ikinci fazda oluşturulacak olan  $T^2$  kontrol grafiğinin kontrol limitlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

İkinci fazda, süreçten alınan yeni verilerle  $T^2$  kontrol grafikleri oluşturulmuştur. Kontrol dışında olduğu görülen gözlemler için MYT ayrıştırması yapılmakta ve kontrol dışı sinyale neden olan değişken belirlenmektedir.

Hasta memnuniyeti ve hastanede kalış süresine ilişkin kontrol dışı sinyal veren tüm gözlemlerde, kontrol dışına çıkmaya neden olan bileşenin “Kalış süresi.Memnuniyet” ve “Memnuniyet.Kalış süresi” koşullu bileşenleri olduğu görülmüştür. Bu durumda ikinci fazda alınan verilerin, birinci fazda alınan verilerdeki değişkenler arasındaki ilişkiye uymadığı söylenebilmektedir. Diğer bir deyişle, kalış süresi ve memnuniyet arasındaki ilişki dolayısıyla sorun yaşanmaktadır. Bu soruna hastanede kalış süresi kısa olmasına rağmen hasta memnuniyet düzeyi düşük olan (veya bu durumun tam tersi) hastaların neden olduğu söylenebilmektedir. Bu durumun nedenlerini anlayabilmek için ilgili gözlemlerin memnuniyet anketleri incelendiğinde hizmetten hoşnut olunmayan ortak noktaların hastane yemekleri ve hemşire davranışları olduğu görülmektedir. Hastane yönetiminin bu koşulları iyileştirici çalışmalar yapması gerektiği söylenebilmektedir.

Yoğun bakım mortalite (ölüm) oranı, yoğun bakım enfeksiyon hızı, yoğun bakım tekrar yatış oranı ve cerrahi enfeksiyon hızına ilişkin kontrol dışı sinyal veren gözlemlerde, değişkenliğe neden olan karakteristiklerin tekrar yatış oranı ve yoğun bakım enfeksiyon hızı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte yoğun bakım tekrar yatış oranı daha fazla değişkenlik göstermektedir, bu nedenle iyileştirme çalışmasına bu karakteristikle başlanması önerilmektedir.

İlerleyen çalışmalarda, hastanenin farklı bölümleri için de (yeni doğan bölümü, vs.) çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolü uygulamalarının yapılması veya incelenecek karakteristiklerin tüm hastaneyi kapsayacak şekilde belirlenmesi yoluyla uygulamanın geliştirilmesi önerilebilir. Bununla birlikte, farklı kontrol dışı gözlem yorumlama teknikleri kullanılarak MYT ayrıştırması sonuçları ile karşılaştırma yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Albazzaz, H., Wang, X.Z. ve Marhoon, F.** (2005). Multidimensional visualisation for process historical data analysis: a comparative study with multivariate statistical process control, *Journal of Process Control*, 15, 285-294.
- ASQ Statistics Division** (2005). *Glossary and Tables for Statistical Quality Control*, ASQ Quality Press.
- Baray, A.** (2008). *Üretimde Varyasyon: İstatistiksel Yaklaşım*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Bothe, D.R.** (2002). *Reducing Process Variation*, Landmark Publishing Co.
- Brockwell, P.J., Davis, R.A.** (1996). *Introduction to Time Series and Forecasting*, Springer Verlag, U.S.A.
- Burnak, N.** (1997). *Toplam Kalite Yönetimi -İstatistiksel Süreç Kontrolü-*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Yayınları, Eskişehir.
- Burrill, C. W. ve Ledolter, J.** (1999). *Statistical Quality Control - Strategies and Tools for Continual Improvement*, John Wiley & Sons, New York.
- Chambers J. S., Cleveland W. S. , Kleiner B. ve Tukey P. A.** (1983). *Graphical Methods for Data Analysis*, Belmont, CA: Wadsworth.
- Chen, K. H., Boning, D. S. ve Welsch, R.E.** (2001). Multivariate statistical process control and signature analysis using eigenfactor detection methods, *The 33rd Symposium on the Interface of Computer Science and Statistics*, Costa Mesa, CA.
- Chou, C.Y., Chen, C.H. Liu, H. R. ve Huang, X.R.** (2003). Economic - statistical design of multivariate control charts for monitoring the mean vector and covariance matrix, *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*, 16 , 9-18.
- Clark, D.E., Cushing, B.M. ve Bredenberg, C.E.** (1998). Monitoring hospital trauma mortality using statistical process control methods, *Journal of The American College of Surgeons*, 186, 6, 630 - 635.
- Çetin, S.** (2005). *Çok Değişkenli Kalite Kontrol Çizelgelerinin Döküm Sanayiinde Uygulanması*, (yüksek lisans tezi), Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Çoruh, M.** (1996). Sağlık Hizmetlerinde TKY ve Performans Ölçümü, *Haberal Eğitim Vakfı Yayını*, Ankara.
- Farnum, N.R.** (1994). *Modern Statistical Quality Control and Improvement*, Duxbury Press, Belmont, California.

- Fırat, S. Ü. O.** (2001). Çok Değişkenli Süreçler İçin İstatistiksel Kontrol Araçları, *II. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, Maçka, İstanbul, 59-63, 8-9 Kasım.
- Fırat, S. Ü. O., Arıcıgil, Ç.** (2000). Multivarite quality control: a historical perspective, *First International Joint Symposium on Business Administration*, Gökçeada, Çanakkale, 1-3 Haziran.
- Fry, D. E., Pine, M., Jones, B. L. ve Meimban, R. J.** (baskıda). Control Charts to identify adverse outcomes in elective colon resection, *The American Journal of Surgery*.
- Fuchs, C. ve Benjamini, Y.** (1994). Multivariate profile charts for statistical process control, *Technometrics*, 36, 2, 182-195.
- Fuchs C. ve Kenett, R.S.** (1998). *Multivariate Quality Control Theory and Applications*, Marcel Dekker, New York.
- Gitlow, H., Oppenheim, A., ve Oppenheim, R.** (1995). *Quality Management: Tools and Methods for Improvement*, Irwin.
- Green, R.S.** (1999). The application of statistical process control to manage global client outcomes in behavioral healthcare, *Evaluation and Program Planning*, 22, 199-210.
- Guh, R.S. ve Shiue, Y.R.** (2008). An effective application of decision tree learning for online detection of mean shifts in multivariate control charts, *Computers and Industrial Engineering*, 55, 475-493.
- Hair, J.F. , Anderson, R.E., Tatham, R.L. ve Black, W.C.** (1998). *Multivariate Data Analysis*, Prentice Hall, New Jersey.
- Hanslik, T., Boelle, P.Y. ve Flahault, A.** (2001). The control chart: an epidemiological tool for public health monitoring, *Public Health*, 115, 277-281.
- Healy, J. D.** (1987). A note on multivariate CUSUM procedures, *Tecnometrics*, 29, 409-412.
- Jackson** (1991). *A User's Guide to Principal Components*, Wiley, New York .
- Kano, M., Hasebe, S., Hashimoto, I. ve Ohno, H.** (2004). Evaluation of multivariate statistical process control: Application of independent component analysis and external analysis, *Computers and Chemical Engineering*, 28, 1157-1166.
- Khoo, M.** (2004). An extension for the univariate exponentially weighted moving average control chart, *Journal: Matematika* ISSN, 20, 43-48.
- Law, A.M. ve Kelton, W.D.** (2000). *Simulation modeling and analysis*, McGraw Hill, New York.
- Lowry, C. A. ve Montgomery, D. C.** (1995). Review of multivariate control charts, *IIE Transactions*, 27, 800-810.
- Lowry, C. A., Woodall, W. H., Champ, C. W., ve Rigdon, S. E.** (1992). Multivariate exponentially weighted moving average control chart. *Technometrics*, 34, 46-53.

- Maravelakis, P.E., Bersimis, S., Panaretos, J. ve Psarakis, S.** (2002). Identifying the out of control variable in multivariate control chart, *Communications in Statistics Theory and Methods*, Vol. 31, No. 12, p. 2391-2408.
- Marengo, E., Liparota, M.C., Robotti, E. ve Bobba, M.** (2006), Monitoring of paintings under exposure to UV light by ATR-FT-IR spectroscopy and multivariate control charts, *Vibrational Spectroscopy*, 40, 225-234.
- Mason, R.L. ve Young, J. C.** (2002). *Multivariate Statistical Process Control with Industrial Applications*, Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics; Alexandria, VA: ASA.
- Matheny, M., Machado, L.O. ve Resnic, F.S.** (2008). Risk-adjusted sequential probability ratio test control chart methods for monitoring operator and instutional mortality rates in interventional cardiology, *American Heart Journal*, Vol. 155, No. 1, p:114-120.
- Messaoud, A., Weihs, C. ve Herling, F.** (2008). Detection of chatter vibration in a drilling in a drilling process using multivariate control charts, *Computational Statistics & Data Analysis*, 52, 3208-3219.
- Montgomery, D. C.** (2005). *Introduction to statistical quality control*, John Wilwy&Sons, 5th Ed., New York.
- Morton, A., Clements, A. ve Whitby, M.** (2009). Hospital adverse events and control charts: The need for a new paradigm, *Journal of Hospital Infection*, 73, 225-231.
- Nijhuis, A., Jong, S. ve Vandeginste, B.G.M.** (1999). The application of multivariate quality control in gas chromatography, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, C.XL VII, No:1, 199.
- Organ, A. ve Gürbüz, T.** (2010). Hasta çalışan güvenliğinde enfeksiyon risklerinin azaltılması için hastanede enfeksiyon alanlarının belirlenmesine yönelik istatistiksel kalite kontrol çalışması, *54. EOQ (Avrupa Kalite Örgütü/Organizasyonu) Kongresi*, İzmir.
- Özgülbaş, N.** (1995) *Hastanelerde Finansal Yönetim: Sorunlar ve Çözüm Önerileri*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Pakdil, F.** (2002). *Hizmet İşletmelerinde Performans İyileştirme Süreci ve Hastaneler İçin Bir Model Önerisi*, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Parra, M.G. ve Loaiza, P. R.** (2003-04). Application of the multivariate  $T^2$  control chart and the Mason- Tracy- Young Decomposition procedure to the study of the consistency of impurity profiles of drug substances, *Quality engineering*, 16, 1,127-142.
- Pujar, S., Calvert, S., Borja, M.C., Chin, R.F.M., Smith, R.A., Cross, J.H. ve diğ.** (2010). Statistical Process Control (SPC) - A simple objective method for monitoring seizure frequency and evaluating effectiveness of drug interventions in refractory childhood epilepsy, *Epilepsy Research*, 91,205-213.

- Qualstat** (2012). Software by InControl Technologies, Inc, Lake Charles, LA.
- Rato, T. J. ve Reis, M.S.** (2011). Statistical process control of multivariate systems with autocorrelation, *21st European Symposium on Computer-Aided Process Engineering*, Chalkidiki, Greece.
- Rocha, W. F. C., Rosa, A. L., Martins, J. A. ve Poppi, R. J.** (2010). Multivariate control charts based on net analyte signal and near infrared spectroscopy for quality monitoring of nimesulide in pharmaceutical formulations, *Journal of Molecular Structure*, 982, 73-78.
- Salmona, M.Ö.A.** (2004). *Multivariate Statistical Quality Control: An Industrial Application*, (yüksek lisans tezi), Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Stefatos, G. ve Hamza, A. B.** (2009). Fault detection using robust multivariate control charts, *Expert Systems with Applications*, 36, 5888-5894.
- Şimşir, İ.** (2009). Kamu hastanelerinde kurumsal performans uygulamaları bağlamında yönetici ve diğer personel tutumlarının incelenmesi, (yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Tarım, M.** (2002). Hizmet organizasyonlarında (hastanelerde) kalite, *Türk Ağır Sanayii ve Hizmet Sektörü Kamu İşverenleri Sendikası Yay.*, 38.
- Tatlıdil, H.** (1996). *Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz*, Akademi Matbaası, Ankara.
- Tengilimoğlu, D., Akbolat, M., Işık, O.** (2009). *Sağlık İşletmeleri Yönetimi*, Nobel Yayınevi, Ankara.
- Tracy, N.D., Young, J.C. ve Mason, R.L.** (1992). Multivariate quality control charts for individual observations, *Journal of Quality Technology*, 24, 88-95.
- TSE** (1994). TS-ISO 9000 Serisi Standartları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Turner, M.J.** (2011). The use of quality control performance charts to analyze cesarean delivery rates nationally, *International Journal of Gynecology and Obstetrics*, 113, 175-177.
- Villalobos, J. R., Munoz, M., Gutierrez, M.A.** (2005). Using fixed and adaptive multivariate SPC charts for online SMD assembly monitoring, *International Journal of Production Economics*, 95, 109-121.
- Wang, Z. ve Ong, K.C.G.** (2009). Structural damage detection using autoregressive model incorporating multivariate exponentially weighted moving average control chart, *Engineering Structures*, 31, 1265-1275.
- Western Electric** (1958). *Statistical Quality Control Handbook*, Mack Printing Company, Easton, Pennsylvania.
- Yang, K. ve Trewn, J.** (2004). *Multivariate Statistical Methods in Quality Management*, McGraw-Hill.
- Yoluk, M.** (2010). *Hastane Performansının Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile Değerlendirilmesi*, (yüksek lisans tezi), Atılım Üniversitesi, Ankara.
- Zhang, J., Li, Z. ve Wang, Z.** (2010). A multivariate control chart for simultaneously monitoring process mean and variability, *Computational Statistics and Data Analysis*, 54, 2244-2252.

- Akın, B. ve Öztürk, E.** (2005). İstatistik proses kontrol tekniklerinin bilgisayar ortamında uygulanması, *VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu*, Alındığı tarih: 10.08.2011, adres: <http://www.ekonometridernegi.org/bildiriler/o7s1.pdf>
- Bersimis, S., Panaretos, J. ve Psarakis, S.** (2005). Multivariate statistical process control charts and the problem of interpretation: A short overview and some applications in industry, Proceedings of the 7th Hellenic European Conference on Computer Mathematics and its Applications, Athens, Greece. Alındığı tarih:13.09.2011 adres: <http://www.aueb.gr/pympe/hercma/proceedings2005/>
- Çilan, Ç. A.** (2005). Kalite kontrol diyagramlarında varsayımların sağlanması ve cam sanayiinde bir uygulama, *VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu*, Alındığı tarih: 10.08.2011 adres: <http://www.ekonometridernegi.org/bildiriler/o7s1.pdf>



## **EKLER**

**EK A:** Tek Değişkenli Kontrol Grafiği Sabitleri

**EK B:** Yatan Hasta Memnuniyeti Anket Formu

**EK C:** Uygulamada Kullanılan Veriler

**EK D:** Yoğun Bakım İkinci Faz  $T^2$  Kontrol Grafiğindeki Kontrol Dışı Gözlemlerin Ayrıştırılmasına Ait Sonuçlar



## EK A TEK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİĞİ SABİTLERİ

$n$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$B_3$	$B_4$	$c_4$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$E_2$
2	1.880	2.659		0.000	3.267	0.7979	1.128	0.853	0.954	0.000	3.267	0.000	3.865	2.660
3	1.023	1.954	1.187	0.000	2.568	0.8862	1.693	0.888	1.588	0.000	2.574	0.000	2.745	1.772
4	0.729	1.628		0.000	2.266	0.9213	2.059	0.880	1.978	0.000	2.282	0.000	2.375	1.457
5	0.577	1.427	0.691	0.000	2.089	0.9400	2.326	0.864	2.257	0.000	2.114	0.000	2.179	1.290
6	0.483	1.287		0.030	1.970	0.9515	2.534	0.848	2.472	0.000	2.004	0.000	2.055	1.184
7	0.419	1.182	0.509	0.118	1.882	0.9594	2.704	0.833	2.645	0.076	1.924	0.078	1.967	1.109
8	0.373	1.099		0.185	1.815	0.9650	2.847	0.820	2.791	0.136	1.864	0.139	1.901	1.054
9	0.337	1.032	0.412	0.239	1.761	0.9693	2.970	0.808	2.915	0.184	1.816	0.187	1.850	1.010
10	0.308	0.975		0.284	1.716	0.9727	3.078	0.797	3.024	0.223	1.777	0.227	1.809	0.975
11	0.285	0.927	0.350	0.321	1.679	0.9754	3.173	0.787	3.121	0.256	1.744			
12	0.266	0.886		0.354	1.646	0.9776	3.258	0.778	3.207	0.283	1.717			
13	0.249	0.850		0.382	1.618	0.9794	3.336	0.770	3.285	0.307	1.693			
14	0.235	0.817		0.406	1.594	0.9810	3.407	0.762	3.356	0.328	1.672			
15	0.223	0.789		0.428	1.572	0.9823	3.472	0.755	3.422	0.347	1.653			
16	0.212	0.763		0.448	1.552	0.9835	3.532	0.749	3.482	0.363	1.637			
17	0.203	0.739		0.466	1.534	0.9845	3.588	0.743	3.538	0.378	1.622			
18	0.194	0.718		0.482	1.518	0.9854	3.640	0.738	3.591	0.391	1.608			
19	0.187	0.698		0.497	1.503	0.9862	3.689	0.733	3.640	0.403	1.597			
20	0.180	0.680		0.510	1.490	0.9869	3.735	0.729	3.686	0.415	1.585			
21	0.173	0.663		0.523	1.477	0.9876	3.778	0.724	3.730	0.425	1.575			
22	0.167	0.647		0.534	1.466	0.9882	3.819	0.720	3.771	0.434	1.566			
23	0.162	0.633		0.545	1.455	0.9887	3.858	0.716	3.811	0.443	1.557			
24	0.157	0.619		0.555	1.445	0.9892	3.895	0.712	3.847	0.451	1.548			
25	0.153	0.606		0.565	1.435	0.9896	3.931	0.709	3.883	0.459	1.541			
> 25	$3/\sqrt{n}$			$1 - 3/\sqrt{2n}$	$1 + 3/\sqrt{2n}$									



## EK B YATAN HASTA MEMNUNİYETİ ANKET FORMU

	<h1>YATAN HASTA MEMNUNİYET ANKETİ</h1>	
Tarih:...../...../.....		
Anket No:		

Kaliteli hizmet sunmayı hedefleyen hastanemizin bundan sonraki çalışmalarında yol gösterici olması açısından aşağıda yer alan soruların sizler tarafından yanıtlanması büyük önem taşımaktadır. Bu konuda göstermiş olduğunuz ilgi ve yardımlarınızdan dolayı şimdiden teşekkür eder, geçmiş olsun dileklerimizi iletiriz.

Başhekim

	Lütfen aşağıdaki ifadelerle ilgili görüşlerinizi daire içerisinde alarak işaretleyiniz. Örnek: (1)	EVET	BİRAZ	HAYIR
1	Yattığım oda temizdi.	(3)	(2)	(1)
2	Oda sıcaklığı uygundu.	(3)	(2)	(1)
3	Yattığım oda ve çevresi gürültülü değildi.	(3)	(2)	(1)
4	Odadaki eşyalar çalışır durumdaydı (televizyon, hemşire çağrı zili, lamba, yatak vb.).	(3)	(2)	(1)
5	Yemekler geldiğinde sıcaktı.	(3)	(2)	(1)
6	Yemekler lezzetliydi.	(3)	(2)	(1)
7	Doktorlar hastalığım konusunda bana bilgi verdi ve zaman ayırdı.	(3)	(2)	(1)
8	Doktorlar bana karşı kibar ve saygılıydı.	(3)	(2)	(1)
9	Hemşireler bana karşı kibar ve saygılıydı.	(3)	(2)	(1)
10	Hemşireler yapacakları işlemler (ateş-tansiyon ölçme, kan alma, ilaç verme vb.) hakkında bilgi verdiler.	(3)	(2)	(1)
11	Tüm personel kişisel mahremiyetime (muayene edilirken kapının kapanması, aradaki perde ya da paravanın çekilmesi gibi) özen gösterdi.	(3)	(2)	(1)
12	Temizlik personeli bana karşı kibar ve saygılıydı.	(3)	(2)	(1)
13	Bu hastane güvenlidir.	(3)	(2)	(1)
14	Bu hastaneyi başkalarına tavsiye ederim.	(3)	(2)	(1)
15	Hastane genel olarak temizdi.	(3)	(2)	(1)
16	Hastanede verilen hizmet genel olarak iyiydi.	(3)	(2)	(1)
17	Hastanemize ilk başvurunuz mu?	( ) Evet	( ) Hayır	
18	Cinsiyetiniz?	( ) Kadın	( ) Erkek	
19	Doğum yılınız?			
20	Medeni Durumunuz	( ) Evli	( ) Bekar	
	Öğrenim Durumunuz	( ) Okuryazar değil	( ) Okuryazar	

<b>21</b>		( ) İlkokul / Ortaokul ( ) Üniversite ve Üstü	( ) Lise ve dengi okul
<b>22</b>	Sosyal güvenceniz?	( ) SGK çalışan ( ) Yeşil kart ( ) Sosyal güvencesi yok Diğer.....	( ) SGK emekli ( ) Özel sağlık sigortası ( )
<b>23</b>	Mesleğiniz		
<b>24</b>	<b>Varsa görüş, önerileriniz.</b>		

## EK C UYGULAMADA KULLANILAN VERİLER

Çizelge C.1: Hasta memnuniyet düzeyi kriterleri için birinci faz verileri

Memnuniyet Düzeyi (Yatan Hasta)	Hastanede Kalış Süresi	Memnuniyet Düzeyi (Yatan Hasta)	Hastanede Kalış Süresi
2,4	12	2,75	11
2,87	4	1,94	17
1,18	21	2,06	10
3	7	2,89	7
2,38	13	2	13
1,75	11	1,56	10
1,81	19	1,31	21
2,43	14	2,75	8
2,75	9	3	9
2,56	3	2,68	5
2	9	1,63	20
1,44	11	2,5	3
2	8	2,06	15
1,25	15	2,88	7
2,25	12	2,43	17
2,94	3	2,43	13
2,87	2	2,13	11
1,18	19	3	4
1,38	13	1,2	18
1,87	16	2,18	9
3	14	3	3
2,13	7	2,68	5
2	15	2,13	10
2,19	13	1,13	18
2,31	14	2,93	5
2,63	5	2,93	5
2,81	9		
1,7	11		
2	18		
2,89	6		
1,69	13		
1,19	22		
2,5	14		
2,43	8		
1,81	21		
2	18		

**Çizelge C.2:** Hasta memnuniyet düzeyi kriterleri için ikinci faz verileri

Memnuniyet Düzeyi (Yatan Hasta)	Hastanede Kalış Süresi	Memnuniyet Düzeyi (Yatan Hasta)	Hastanede Kalış Süresi
2,6	26	2,8	23
2	13	3	26
2,1	11	2,9	27
2,2	13	2	14
1,4	19	1,9	18
2,1	26	1,3	9
2,4	14	2,9	26
2,7	21	1,8	17
2	19	2,2	16
1,4	6	1,6	17
3	16	3	8
2,75	18	1,8	13
2	19		
1,1	4		
2	26		
1,5	9		
1,5	6		
1,2	5		
1	11		
2,4	12		
2,3	17		
1	4		
2,1	17		
1,3	5		
1,2	20		
1,1	21		
2,5	16		
3	6		
1	19		
2,4	13		
1,4	8		
2,2	14		
1,6	11		
1,7	10		
1,3	21		

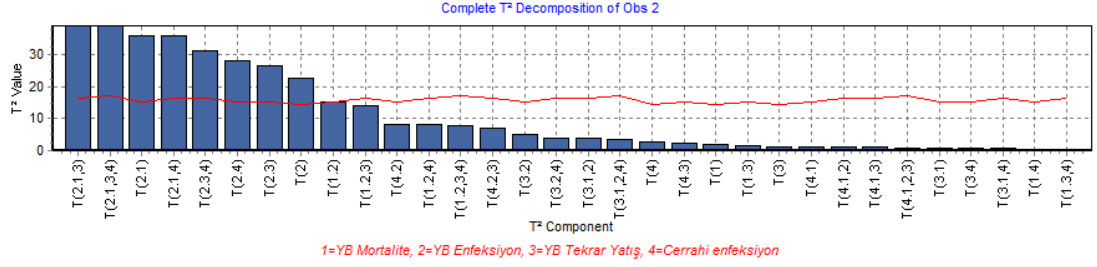
**Çizelge C.3:** Yoğun bakım performans kriterleri için birinci faz verileri

Yoğun Bakım Mortalite Oranı	Yoğun Bakım Enfeksiyon Hızı	Yoğun Bakım Tekrar Yatış Oranı	Cerrahi Alan Enfeksiyon Hızı
5,26	7,89	2,63	6,25
4,35	4,35	0,00	8,51
10,00	6,67	3,33	5,79
6,78	6,78	3,39	6,90
66,67	0,00	0,00	11,93
1,85	9,26	1,85	2,68
3,33	8,33	1,67	4,55
8,70	8,70	6,52	8,53
12,50	6,25	0,00	6,56
0,00	0,00	5,88	1,72
4,88	7,32	0,00	4,90
3,70	3,70	0,00	4,20
0,00	0,00	0,00	6,94
4,08	2,04	4,08	5,58
0,00	0,00	0,00	0,00
1,82	1,82	1,82	2,20
2,27	4,55	4,55	2,82
6,25	3,13	6,25	10,00
6,90	8,62	3,45	6,70
2,86	2,86	0,00	3,77
0,00	5,00	0,00	9,77
0,00	0,00	0,00	0,00
5,71	8,57	2,86	0,00
6,98	9,30	4,65	9,14
2,04	8,16	6,12	1,80
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	3,79
7,69	7,69	2,56	8,47
5,26	0,00	0,00	6,25
0,00	4,17	0,00	0,00

**Çizelge C.4:** Yoğun bakım performans kriterleri için ikinci faz verileri

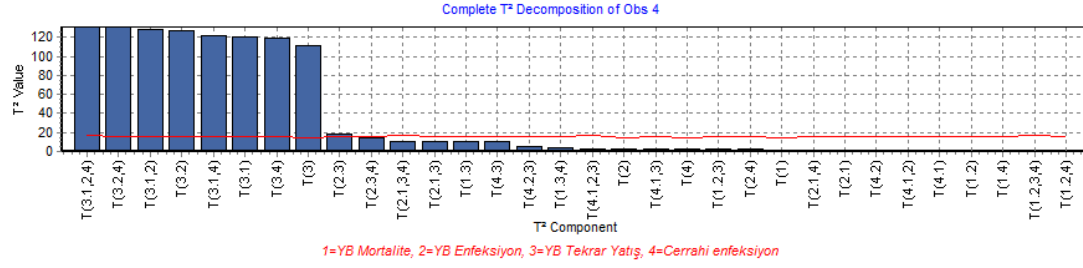
Yoğun Bakım Mortalite Oranı	Yoğun Bakım Enfeksiyon Hızı	Yoğun Bakım Tekrar Yatış Oranı	Cerrahi Alan Enfeksiyon Hızı
0,00	3,33	3,33	0,00
0,00	20,00	0,00	0,00
1,96	0,00	3,92	0,00
0,00	0,00	26,67	0,00
4,26	2,13	0,00	0,31
3,70	3,70	0,00	0,37
3,70	5,56	0,00	0,78
1,85	11,11	1,85	0,00
9,09	9,09	14,55	0,40
7,84	0,00	11,76	0,63
16,67	13,33	3,33	0,36
3,03	6,06	0,00	0,00
3,64	9,09	0,00	1,05
0,00	1,72	3,45	0,00
0,00	0,00	8,82	0,79
2,22	4,44	0,00	0,36
0,00	50,00	37,50	0,64
0,00	28,57	21,43	0,00

## EK D YOĞUN BAKIM İKİNCİ FAZ T<sup>2</sup> KONTROL GRAFİĞİNDEKİ KONTROL DIŞI GÖZLEMLERİN AYRIŞTIRILMASINA AİT SONUÇLAR



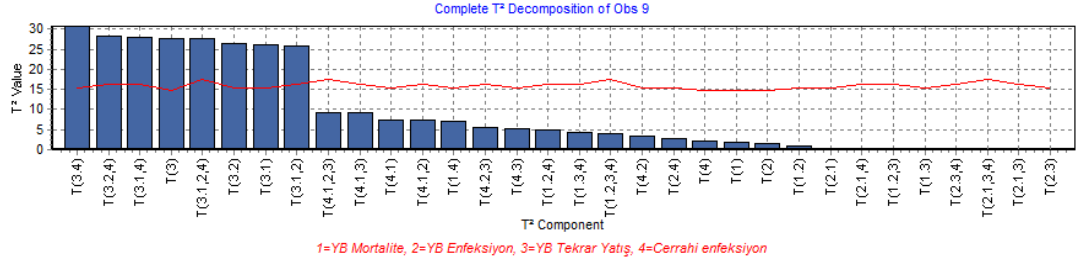
Components	Value	Critical Value
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Tekrar Yatış)	39.1625 **	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	39.0031 **	17.3382
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite)	36.0772 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite.Cerrahi Enfeksiyon)	36.0499 **	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	31.4045 **	16.3146
T(YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	28.1596 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	26.4527 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon)	22.5510 **	14.5895
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon)	15.4486 **	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	14.1980	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon)	8.2944	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	8.2341	16.3146
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	7.8428	17.3382
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	7.2009	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon)	5.0546	15.4039
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	3.9611	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite.YB Enfeksiyon)	3.8041	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite.YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	3.5698	17.3382
T(Cerrahi Enfeksiyon)	2.6858	14.5895
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	2.2490	15.4039
T(YB Mortalite)	1.9223	14.5895
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış)	1.4882	15.4039
T(YB Tekrar Yatış)	1.1530	14.5895
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite)	1.1072	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Enfeksiyon)	1.0799	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Tekrar Yatış)	1.0050	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	0.8456	17.3382
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite)	0.7188	15.4039
T(YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	0.7162	15.4039
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite.Cerrahi Enfeksiyon)	0.6167	16.3146
T(YB Mortalite.Cerrahi Enfeksiyon)	0.3437	15.4039
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	0.2442	16.3146

Şekil D.1: İkinci gözlemin ayrıştırma sonuçları



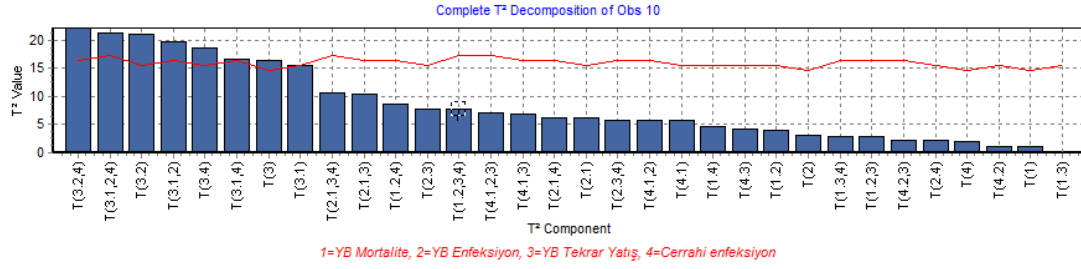
Components	Value	Critical Value
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite,YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	130.9365 **	17.3382
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	130.7337 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite,YB Enfeksiyon)	128.9340 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon)	126.9962 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite,Cerrahi Enfeksiyon)	121.6673 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite)	119.8111 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	118.6849 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış)	111.1767 **	14.5895
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	18.9139 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	14.0164	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	10.8951	17.3382
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Tekrar Yatış)	10.7430	16.3146
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış)	10.5567	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	10.1940	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	5.2964	16.3146
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	3.3262	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	3.1155	17.3382
T(YB Enfeksiyon)	3.0944	14.5895
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Tekrar Yatış)	2.9634	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon)	2.6858	14.5895
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	2.3858	16.3146
T(YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	1.9676	15.4039
T(YB Mortalite)	1.9223	14.5895
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite,Cerrahi Enfeksiyon)	1.6259	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite)	1.6201	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon)	1.5589	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Enfeksiyon)	1.1130	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite)	1.1072	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon)	0.4480	15.4039
T(YB Mortalite.Cerrahi Enfeksiyon)	0.3437	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	0.2049	17.3382
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	0.0021	16.3146

Şekil D.2: Dördüncü gözlemin ayrıştırma sonuçları



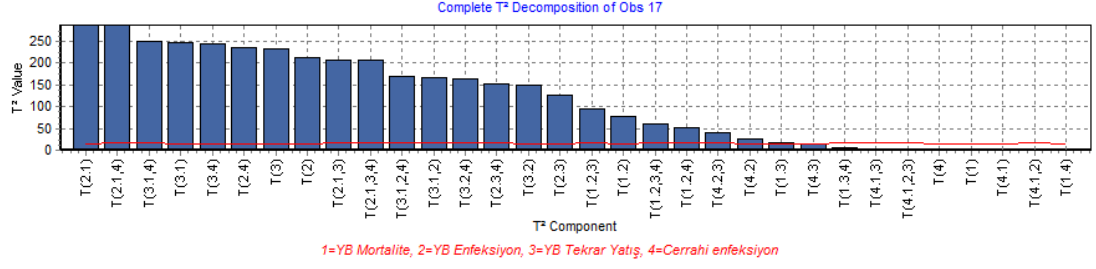
Components	Value	Critical Value
T(YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	30.6815 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış,YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	28.3002 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış,YB Mortalite,Cerrahi Enfeksiyon)	27.8147 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış)	27.7015 **	14.5895
T(YB Tekrar Yatış,YB Mortalite,YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	27.5089 **	17.3382
T(YB Tekrar Yatış,YB Enfeksiyon)	26.2650 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış,YB Mortalite)	25.9992 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış,YB Mortalite,YB Enfeksiyon)	25.6623 **	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon,YB Mortalite,YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	9.2149	17.3382
T(Cerrahi Enfeksiyon,YB Mortalite,YB Tekrar Yatış)	9.1913	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon,YB Mortalite)	7.3758	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon,YB Mortalite,YB Enfeksiyon)	7.3683	16.3146
T(YB Mortalite,Cerrahi Enfeksiyon)	7.0424	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon,YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	5.4902	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	5.2644	15.4039
T(YB Mortalite,YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	4.8377	16.3146
T(YB Mortalite,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	4.1756	16.3146
T(YB Mortalite,YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	4.0464	17.3382
T(Cerrahi Enfeksiyon,YB Enfeksiyon)	3.4550	15.4039
T(YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	2.6083	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon)	2.2844	14.5895
T(YB Mortalite)	1.9509	14.5895
T(YB Enfeksiyon)	1.4377	14.5895
T(YB Mortalite,YB Enfeksiyon)	0.9244	15.4039
T(YB Enfeksiyon,YB Mortalite)	0.4112	15.4039
T(YB Enfeksiyon,YB Mortalite,Cerrahi Enfeksiyon)	0.4036	16.3146
T(YB Mortalite,YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	0.3217	16.3146
T(YB Mortalite,YB Tekrar Yatış)	0.2486	15.4039
T(YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	0.2270	16.3146
T(YB Enfeksiyon,YB Mortalite,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	0.0978	17.3382
T(YB Enfeksiyon,YB Mortalite,YB Tekrar Yatış)	0.0743	16.3146
T(YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	0.0012	15.4039

Şekil D.3: Dokuzuncu gözlemin ayrıştırma sonuçları



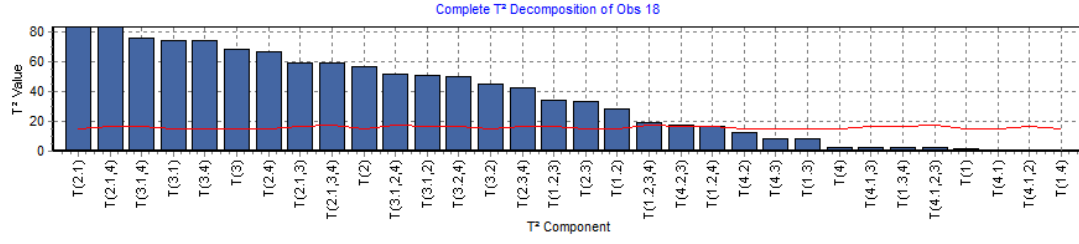
Components	Value	Critical Value
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	22.1631 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite,YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	21.2154 **	17.3382
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon)	21.0800 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite,YB Enfeksiyon)	19.7918 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	18.5237 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite,Cerrahi Enfeksiyon)	16.7124 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış)	16.4166 **	14.5895
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite)	15.4908 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	10.6597	17.3382
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Tekrar Yatış)	10.4321	16.3146
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	8.6621	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	7.7579	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	7.7145	17.3382
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	7.1014	17.3382
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Tekrar Yatış)	6.8737	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite,Cerrahi Enfeksiyon)	6.1567	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite)	6.1310	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	5.7517	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Enfeksiyon)	5.6778	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite)	5.6522	15.4039
T(YB Mortalite.Cerrahi Enfeksiyon)	4.6177	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	4.1713	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon)	4.0663	15.4039
T(YB Enfeksiyon)	3.0944	14.5895
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	2.8064	16.3146
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	2.7781	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	2.1651	16.3146
T(YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	2.1123	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon)	2.0641	14.5895
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon)	1.0820	15.4039
T(YB Mortalite)	1.0297	14.5895
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış)	0.1040	15.4039

Şekil D.4: Onuncu gözlemin ayrıştırma sonuçları



Components	Value	Critical Value
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite)	286.4665 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite,Cerrahi Enfeksiyon)	286.4086 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite,Cerrahi Enfeksiyon)	250.1229 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite)	247.6534 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	244.4104 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	234.6556 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış)	232.9826 **	14.5895
T(YB Enfeksiyon)	210.5582 **	14.5895
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Tekrar Yatış)	205.8817 **	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	205.2464 **	17.3382
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite,YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	168.9607 **	17.3382
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite,YB Enfeksiyon)	167.0686 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	162.1331 **	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	152.3784 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon)	148.9687 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	126.5443 **	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	95.9305 **	16.3146
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon)	77.8306 **	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	59.1012 **	17.3382
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon,Cerrahi Enfeksiyon)	52.2736 **	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	39.3111 **	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon)	26.1467 **	15.4039
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış)	16.5932 **	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	13.4771	15.4039
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış,Cerrahi Enfeksiyon)	6.2331	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Tekrar Yatış)	3.1170	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Enfeksiyon,YB Tekrar Yatış)	2.4818	17.3382
T(Cerrahi Enfeksiyon)	2.0492	14.5895
T(YB Mortalite)	1.9223	14.5895
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite)	0.6475	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite,YB Enfeksiyon)	0.5897	16.3146
T(YB Mortalite.Cerrahi Enfeksiyon)	0.5206	15.4039

Şekil D.5: On yedinci gözlemin ayrıştırma sonuçları



Components	Value	Critical Value
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite)	83.2860 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite.Cerrahi Enfeksiyon)	83.2446 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite.Cerrahi Enfeksiyon)	75.8532 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite)	74.4633 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	73.7552 **	15.4039
T(YB Tekrar Yatış)	68.2602 **	14.5895
T(YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	66.9444 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Tekrar Yatış)	59.4544 **	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	59.1420 **	17.3382
T(YB Enfeksiyon)	56.8197 **	14.5895
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite.YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	51.7506 **	17.3382
T(YB Tekrar Yatış.YB Mortalite.YB Enfeksiyon)	50.6317 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	49.6201 **	16.3146
T(YB Tekrar Yatış.YB Enfeksiyon)	44.6582 **	15.4039
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	42.8094 **	16.3146
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	34.3620 **	16.3146
T(YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	33.2178 **	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon)	28.3886 **	15.4039
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	18.7744 **	17.3382
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	17.7724 **	16.3146
T(YB Mortalite.YB Enfeksiyon.Cerrahi Enfeksiyon)	16.6440 **	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Enfeksiyon)	12.8105	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	8.1808	15.4039
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış)	8.1255	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon)	2.6858	14.5895
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Tekrar Yatış)	2.4971	16.3146
T(YB Mortalite.YB Tekrar Yatış.Cerrahi Enfeksiyon)	2.4418	16.3146
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Enfeksiyon.YB Tekrar Yatış)	2.1848	17.3382
T(YB Mortalite)	1.9223	14.5895
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite)	1.1072	15.4039
T(Cerrahi Enfeksiyon.YB Mortalite.YB Enfeksiyon)	1.0659	16.3146
T(YB Mortalite.Cerrahi Enfeksiyon)	0.3437	15.4039

Şekil D.6: On sekizinci gözlemin ayrıştırma sonuçları

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Hafize Yılmaz

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Bulgaristan, 18. 12. 1987

**Adres:** Sıracevizler Cad. No: 29 34363 Şişli İSTANBUL

**E-Posta:** hafizeyilmaz@halic.edu.tr

**Lisans:** Eskişehir Osmangazi Üniversitesi – Endüstri Mühendisliği & İşletme (Çift Anadal Programı)

### **Mesleki Deneyim :**

- 2010-2011 TTNET – Ürün Geliştirme ve Yönetimi
- 2011’ den günümüze – Haliç Üniversitesi Endüstri Müh. Araştırma Görevlisi