

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK DEĞİŞKENLİ KALİTE KONTROLÜN DÖKÜM SANAYİİNDE  
UYGULANMASI

SUNA ÖZEL

TEMMUZ, 2005

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

  
Prof. Dr. M. Yakup ARICA

Enstitü Müdürü



Bu Tezin Yüksek Lisans Tezi olarak Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

  
Prof. Dr. Bilal TOKLU

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

  
Doç. Burak BİRGÖREN



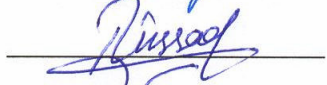
Danışman

Tez Jürisi Üyeleri

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Yrd. Doç. Dr. A. KÜRŞAD TÜRKER

## ÖZET

### ÇOK DEĞİŞKENLİ KALİTE KONTROLÜN DÖKÜM SANAYİİNDE UYGULANMASI

ÖZEL, Suna

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışma: Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Temmuz 2005, 116 sayfa

Kontrol çizelgelerinin kullanım amacı, bir süreçteki kalite değişkenlerinin anormal davranışlarını belirlemek ve bundan hareketle hata kaynaklarını ortaya çıkarmaktır. Tek değişkenli kalite kontrol çizelgelerinde sürece ait bir değişken gözlenirken, çok değişkenli kalite kontrol (ÇDKK) çizelgelerinde birden fazla değişken eşzamanlı olarak gözlenmektedir. Böylece değişkenler arasındaki ilişki de dikkate alınmaktadır. Üretimin gittikçe otomatikleşen bilgi kontrollü sistemlerle yapılması, ürün kalitesinin saptanmasına yönelik daha bol miktarda verinin düşük maliyetle toplanması, ÇDKK çizelgelerinin kullanımını kolaylaştırmakta ve teşvik etmektedir. ÇDKK çizelgeleri arasında en çok kullanılanı Hotelling  $T^2$  çizelgeleridir.

Bu tez çalışmasında, bir pirinç döküm fabrikasında Hotelling  $T^2$  çizelgelerinin bir uygulaması yapılmıştır. Kalite değişkenleri, bir alaşım olan pirincin bileşenlerinin ağırlık cinsinden yüzde değerleridir. Döküm süreci, ergitme ocaklarından alınan numunelerdeki bakır, çinko gibi bileşenlerin yüzde değerlerinin eş zamanlı kontrolünü gerektirmektedir. Çalışmada, toplanan süreç verilerine dayalı olarak Hotelling  $T^2$  çizelgesi oluşturulmuş, ardından çizelge sürece uygulanmıştır. Kontrol dışı durumlara işaret eden çizelge sinyalleri incelenmiş, süreci iyileştirmek amacıyla hata kaynakları araştırılmıştır. Ayrıca Mason-Young-Tracy ayrıştırma yöntemi ile hata kaynakları analiz edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Çok Değişkenli Kalite Kontrol, Kalite Kontrol Çizelgeleri, Hotelling  $T^2$  İstatistiği, Mason-Young-Tracy Ayrıştırma Yöntemi.

## ABSTRACT

### APPLICATION OF MULTIVARIATE STATISTICAL PROCESS CONTROL IN CASTING INDUSTRY

ÖZEL, Suna

Kırıkkale University

Institute of Science and Technology

Department of Industrial Eng., M. Sc. Thesis

Advisor : Assoc. Prof. Dr. Burak BİRGÖREN, July 2005, 116 pages

The purpose of quality control charts is to detect abnormalities of quality variables and to determine the sources of failures by using these abnormalities. In univariate quality control charts, only one of the process variables is observed, while multiple variables are observed simultaneously in multivariate quality control charts. Thus, the relations between variables are taken into account. Increasing use of automation in information control systems in production, and collection of large quantities of quality-related product data at low cost, are making use of multivariate quality control charts easier and motivating their application. Hotelling's  $T^2$  charts are the most widely used ones among multivariate quality control charts.

In this thesis, Hotelling's  $T^2$  charts are applied at a brass casting factory. Brass is an alloy of eight metals, and weight percentages of the metals are used as quality variables. Casting process requires simultaneous control of the percentage

values, i.e. of copper and zinc, of samples taken from a melting furnace. In this study, Hotelling's  $T^2$  charts were formed based on percentage observations collected from sequential samples; afterwards, the charts were applied to the process. Chart signals that are out of control limits were analyzed, and root causes of the failures were investigated in order to improve the process. Additionally, root causes of failures were analyzed by using Mason-Young-Tracy decomposition method.

**Key Words:** Multivariate Quality Control, Quality Control Charts, Hotelling's  $T^2$  Statistic, Mason-Young-Tracy Decomposition Method.

## TEŞEKKÜR

Tez alıřmam sűresince, saęlamıř oldukları imkanlardan tűrű MKEK Piriņ fabrikası műdűrű Hayrettin ÖZDEN'e, teknik műdűr yardımcısı Halil KARATAŐ'a ve kalite műhendisi Hakan ÇELİK'e, konu seçimi ve yönlendirmeleriyle yardımcı olan danıřmanım Doç. Dr. Burak BİRĞÖREN'e, yardımlarından dolayı Arař. Gör. Mustafa ÖZDEN'e, bugűnkű bilgi seviyesine ulařmamda katkısı bulunan tűm ęretim elemanlarına ve her tűrlű konuda desteęiyle her zaman yanımda olan aileme, ayrıca çalıřma arkadařlarıma teőekkűr ederim.

## SİMGELER DİZİNİ

$X$	Gözlem Vektörü
$\bar{X}$	Örnek Ortalama Vektörü
$S$	Örnek Kovaryans Matrisi
$n$	Altgrup Hacmi
$m$	Altgrup Sayısı
$p$	Değişken Sayısı
$T^2$	Hotelling $T^2$ İstatistiği
$T^2_{(i)}$	Mason-Young-Tracy Ayrıştırma Yönteminde Koşulsuz Terim
$T^2_{(i,j)}$	Mason-Young-Tracy Ayrıştırma Yönteminde Koşullu Terim



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

2.1.	Duyarlılık Arttırıcı Kuralları Sağlayan Bazı Durumlar.....	16
2.2.a.	Birinci Değişken için Kontrol Çizelgesi.....	19
2.2.b.	İkinci Değişken için Kontrol Çizelgesi .....	19
2.2.c.	İki Değişken için Hotelling $T^2$ Çizelgesi.....	19
2.3.	Tek Değişkenli Kontrol Çizelgelerinden Çok Değişkenli Kontrol Çizelgelerine Geçişi .....	20
2.4.	Elips ve Korelasyon Arasındaki İlişki.....	21
2.5.	İki Değişkenin Eş Zamanlı Kontrol Bölgesi.....	22
2.6.	MYT Ayrıştırma Yönteminin Akış Şeması.....	42
3.1.	Eritme ve Dinlendirme Ocakları Arasındaki Akış .....	45
3.2.	Çubuk Üretim Sürecinin Akış Şeması.....	47
3.3.	Bakır ( $x_1$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği.....	52
3.4.	Kurşun ( $x_2$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği .....	53
3.5.	Demir ( $x_3$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği .....	53
3.6.	Kalay ( $x_4$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği .....	54
3.7.	Alüminyum ( $x_5$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği.....	55
3.8.	$Ln(x_5)$ Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği .....	55
3.9.	Nikel ( $x_6$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği .....	56
3.10.	Antimon ( $x_7$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği.....	57
3.11.	İlk Veri Seti (55 gözlem) için Hotelling $T^2$ Çizelgesi .....	59
3.12.	51 Gözlem için Hotelling $T^2$ Çizelgesi.....	60

3.13.	50 Gözlem için Hotelling $T^2$ Çizelgesi.....	61
3.14.	İkinci Aşamada Kullanılan Gözlemler için Hotelling $T^2$ Çizelgesi .....	63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

3.1.	MS 58 İçeriğindeki Element Yüzdeleri.....	43
3.2.	İlk Veri Seti .....	51
3.3.	İlk Veri Seti için İstatistiksel Özet Tablo .....	58
3.4.	Referans Veri Seti için İstatistiksel Özet Tablo.....	61
3.5.	5. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	64
3.6.	5. Gözlem için İkili Koşullu Terimler.....	64
3.7.	6. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	65
3.8.	6. Gözlem için İkili Koşullu Terimler.....	65
3.9.	11. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	66
3.10.	11. Gözlem için İkili Koşullu Terimler.....	66
3.11.	18. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	66
3.12.	18. Gözlem için İkili Koşullu Terimler.....	67
3.13.	27. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	67
3.14.	32. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	68
3.15.	32. Gözlem için İkili Koşullu Terimler.....	68
3.16.	33. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	69
3.17.	33. Gözlem için İkili Koşullu Terimler.....	69
3.18.	40. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	70
3.19.	43. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	70
3.20.	43. Gözlem için İkili Koşullu Terimler.....	71
3.21.	65. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	71
3.22.	65. Gözlem için İkili Koşullu Terimler.....	72

3.23.	74. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	72
3.24.	75. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	73
3.25.	75. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	73
3.26.	91. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	74
3.27.	91. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	74
3.28.	103. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	74
3.29.	103. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	75
3.30.	112. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	75
3.31.	112. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	76
3.32.	113. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	76
3.33.	113. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	77
3.34.	115. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	77
3.35.	115. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	78
3.36.	121. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	78
3.37.	121. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	78
3.38.	136. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	79
3.39.	136. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	80
3.40.	142. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	80
3.41.	142. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	80
3.42.	146. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	81
3.43.	146. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	81
3.44.	162. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	81
3.45.	162. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	82
3.46.	174. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	82
3.47.	174. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	83

3.48.	257. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	83
3.49.	257. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	84
3.50.	258. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	84
3.51.	258. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	84
3.52.	271. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	85
3.53.	271. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	85
3.54.	273. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	85
3.55.	273. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	86
3.56.	286. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	87
3.57.	286. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	87
3.58.	295. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	87
3.59.	295. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	88
3.60.	296. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	88
3.61.	296. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	89
3.62.	297. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	90
3.63.	297. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	90
3.64.	298. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	90
3.65.	298. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	91
3.66.	300. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	91
3.67.	300. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	92
3.68.	301. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	92
3.69.	301. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	93
3.70.	302. Gözlem için Koşulsuz Terimler .....	93
3.71.	302. Gözlem için İkili Koşullu Terimler .....	94

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
SİMGELER DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. İstatistiksel Proses Kontrol .....	1
1.2. Literatür Araştırması .....	5
1.3. Çalışmanın Amacı .....	7
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
2.1. Tek Değişkenli Kalite Kontrol.....	9
2.1.1. Kalite Değişkenliği .....	9
2.1.2. Kontrol Çizelgeleri .....	10
2.1.3. Kontrol Çizelgelerinin Tasarımı.....	13
2.1.4. Duyarlılık Arttırıcı Kurallar .....	15
2.2. Çok Değişkenli Kalite Kontrol .....	17
2.2.1. Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli Kontrol Bölgesi .....	17
2.2.2. Temel Notasyonlar.....	23
2.2.3. Hotelling $T^2$ Çizelgeleri.....	24
2.2.4. Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi.....	24
2.2.4.1. Tek Gözlem Halinde Veri Toplanması.....	26

2.2.4.1.1. Parametrelerin Bilinmesi Durumunda Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi .....	26
2.2.4.1.2. Parametrelerin Bilinmemesi Durumunda Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi .....	27
2.2.4.2. Altgruplar Halinde Veri Toplanması.....	28
2.2.4.2.1. Parametrelerin Bilinmesi Durumunda Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi .....	29
2.2.4.2.2. Parametrelerin Bilinmemesi Durumunda Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi .....	30
2.2.5. Hotelling $T^2$ Çizelgelerinde Kontrol Dışı Sinyallerin Yorumlanması .....	33
2.2.6. Mason -Young -Tracy (MYT) Ayırıştırma Yöntemi.....	35
2.2.6.1. Ayırıştırma Terimlerinin Hesaplanması .....	37
2.2.6.2. MYT Ayırıştırma Yönteminin Özellikleri .....	38
2.2.6.3. Sinyal Veren Değişkenlerin Belirlenmesi ve Yorumu .....	39
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	43
3.1. Sürecin Tanımı .....	43
3.2. Birinci Aşamanın Uygulanması .....	49
3.3. İkinci Aşamanın Uygulanması.....	62
4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	95
KAYNAKLAR.....	98
EK 1. VERİLERİN HOTELLİNG $T^2$ DEĞERLERİ .....	102
EK 2. REFERANS VERİ SETİ İÇİN NORMAL Q-Q ÇİZELGESİ .....	105
EK 3. İKİNCİ AŞAMADA KULLANILAN VERİLER.....	109

# 1. GİRİŞ

## 1.1. İstatistiksel Proses Kontrol

İstatistiksel Proses Kontrolün (İPK) amacı, değişkenliği azaltarak bir prosesi (süreci) iyileştirmek ve kararlı davranmasını sağlamaktır. Kalite araçları olarak adlandırılan istatistiksel araçlar özellikle uygulama sürecinde ortaya çıkan ve/veya çıkabilecek problemlerin; belirlenmesine ve çözülmesine yönelik bilgi ve veri üretimini yönlendirmek, kolaylaştırmak ve sistematik bir yaklaşımla bu bilgi ve verileri değerlendirmek amacıyla yönelik tasarlanmıştır. Kalite araçları, planlama ve üretim faaliyetlerinde değişik amaçlar çerçevesinde kullanılabilir özelliktedir; bütün kalite araçlarında beyin fırtınası yönteminden yararlanır. Bunlar<sup>(1)</sup>:

1. Histogram
2. Kontrol Listesi
3. Pareto Analizi
4. Neden-Sonuç (Balık Kılıcı) Diyagramı
5. Hata Yoğunluk Çizelgesi
6. Serpilme Diyagramı
7. Kontrol Çizelgeleri

*Histogram*, belli bir veri kümesinin sıklık diyagramı halinde gösterilmesidir. Histogram yardımıyla toplanan verilerin olasılık dağılım özellikleri grafiksel olarak gösterilmekte ve böylece anlaşılabilirliği artmaktadır.



*Kontrol Listesi* veriyi toplarken kullanılan bir yöntem olup veriye ait özelliklerin anında görülebilmesine olanak sağlamaktadır. Belirli bir zaman aralığında meydana gelen hataların ortaya çıkma nedenlerini ve kaynaklarını bulmak amacıyla sorunları çetele ile göstererek sıklık derecesinin saptanması için kullanılan bir araçtır. Kontrol Listesi nitel ve nicel veriler için ayrı ayrı oluşturulmaktadır.

*Pareto analizi* bir ürünün hatalı üretilmesine neden olan faktörleri büyükten küçüğe önem derecelerine göre sıralayarak, az sayıdaki önemlileri çok sayıdaki önemsizlerden ayıran bir tekniktir. Pareto analizinde 80/20 kuralı olarak bilinen yaklaşıma göre hatalı ürünlerin %80'i üretime neden olan tüm faktörlerin % 20'si tarafından açıklanmaktadır. Başka bir ifade ile uygunsuzlukların çok büyük bölümü belli birkaç sebebe dayanmakta ve bu sebeplerin saptanması, sorunların giderilmesinde kilit rol oynamaktadır.

İstatistiksel yöntemler kullanarak sonuçlardan hareketle sebeplere ulaşabildiğine göre, sonuçlarla bunları doğuran sebepler arasındaki karmaşık ilişkinin ortaya çıkarılması ve görsel olarak masaya konması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan *Neden-Sonuç diyagramları* kalite değişkenleriyle (kalite karakteristikleri olarak da bilinir) etmenler arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram olarak tanımlanmaktadır. “Balık kılçığı diyagramı” olarak da bilinen bu diyagram, omurgasını ilgili kalite değişkeninin (sonuç) oluşturduğu, nedenlerin ise önemine göre (ana neden / tali neden) kılçıkları teşkil ettiği bir gösterim yöntemidir.

Pareto Analizi ve Balık Kılçığı Diyagramının birlikte kullanılması genellikle pratikte tercih edilir. Önce “hayati” karakteristikler Pareto Analizi kullanılarak keşfedilir; daha sonra ise Neden-Sonuç Diyagramı ile bu karakteristiğe etki eden

faktörler açığa çıkarılır. Bu faktörlerin düzeltilmesi, problemi belki % 95 oranında çözecektir.

*Hata yoğunluk diyagramı* tüm hata alanlarını gösteren bir ürünün/parçanın temsili resmidir. Resim üzerinde hataların çeşitli tipleri ve yerleşimleri belirlenir ve analiz edilerek hataların sebepleri araştırılır.

Neden-sonuç arasındaki ilişkinin kurulmasında değişkenler arasındaki bağıntının doğru biçimde ortaya konabilmesi çok önemlidir. Çünkü bir süreci kontrol ederken hangi parametreyle ne şekilde oynamanız gerektiği bilinmelidir: “Ne Neyi Nasıl” etkiler sorusunun cevabını vermek için *serpilme diyagramları* kullanılır. Kalite iyileştirmesinde kullanılan serpilme diyagramları bir kalite karakteristiği ile ona etki eden faktör arasındaki; birbirine bağımlı iki kalite karakteristiği arasındaki; bir kalite karakteristiğini etkileyen birbiriyle ilişkili iki faktör arasındaki bağıntıyı (korelasyon) bulmaya yarar.

*Kontrol Çizelgesi* kavramı, ilk olarak 1924 yılında Bell Telephone Laboratuvarı elemanlarından W.A. Shewhart tarafından geliştirilmiştir. Kontrol çizelgelerinin amacı, genel değişkenlik faktörlerini özel değişkenlik faktörlerinden ayırarak süreçteki anormal değişimlerin önüne geçmek ve süreç değişkenliğini azaltmaktır. Kontrol çizelgeleri, kontrol edilecek kalite değişkeni sayısına göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar tek değişkenin incelendiği tek değişkenli istatistiksel proses/süreç kontrol çizelgeleri ve birden fazla değişkenin eş zamanlı incelendiği çok değişkenli istatistiksel proses kontrol çizelgeleridir. Bundan sonra tek değişkenli istatistiksel proses kontrol çizelgeleri yerine, kısaca, tek değişkenli kontrol çizelgeleri; çok değişkenli istatistiksel proses kontrol çizelgeleri yerine de, kısaca, çok değişkenli kontrol çizelgeleri denecektir.

Tek değişkenli kontrol çizelgeleri, kalite değişkenlerini tek tek ele alarak süreç ortalamasındaki ve/veya varyans yapısındaki değişikliği belirlenmeye çalışmaktadır. Ancak süreci etkileyen birden fazla değişkenin bu şekilde tek tek ele alınması yanıltıcı olabilir. Bu durum, çalışmaları çok değişkenli yapıya dönüştürmüştür.

Çok değişkenli kontrol çizelgeleri tek değişkenli kontrol çizelgelerinin genelleştirilmiş halidir. Bu çizelgeler incelenen süreç hakkında sürecin kontrol altında olup olmadığına karar vermeyi sağlar. Sürecin kontrol dışında olması durumunda ise farklı yöntemlerle hata kaynakları belirlenmektedir. Örneğin hataya neden olan değişken ve/veya değişkenlerin belirlenmesi yoluyla hata kaynakları ortaya çıkartılabilmektedir.

1980'li yıllarda kontrol çizelgeleri hurda ve yeniden işlemeyi azalttığı, ürünlerde kaliteyi arttırdığı düşüncesiyle tercih edilmekteydi. Ancak 1980'li yılların sonunda Kalite Fonksiyon Yayılımı, Kaizen, Tam Zamanında Üretim gibi yeni yöntemler, kontrol çizelgelerinin popülaritesini azaltmıştır. Bugün müşteri isteklerindeki artış, parça sayısının ve karmaşıklığının artması gibi nedenler çizelgelerin kullanımını zorlaştırmaktadır. Ayrıca, kontrol çizelgelerinin bir değişken için düzenlenmesi ve tasarımı için 15-25 verinin gerekli olması gibi kısıtlar da vardır. Ancak Wise vd<sup>(2)</sup> ve Riberio vd<sup>(3)</sup> istatistiksel araçların ve kontrol çizelgelerinin doğru ve yerinde kullanımı ile, karşılaşılan güçlüklerin aşılabileceğini belirtmekte ve yöntemler önermektedirler.

Diğer taraftan, üretimin gittikçe otomatikleşen bilgi kontrollü sistemlerle yapılması, ürün kalitesinin saptanmasına yönelik daha bol miktarda verinin düşük

maliyetle toplanması çok değişkenli kontrol çizelgelerinin kullanımını kolaylaştırmakta ve teşvik etmektedir.

## 1.2. Literatür Araştırması

Birçok endüstride süreç kalitesini tanımlamak için çok sayıda değişken söz konusudur. Örneğin  $p$  değişkenden oluşan bir süreçte değişkenlerden en az birkaçı birbirleriyle ilişkilidir. Bu değişkenlerin analizinde kullanılan bir yol her bir değişken için ayrı ayrı çizelge oluşturmak ve bu çizelgeleri eş zamanlı gözlemektir. Alternatif yaklaşım ise bir tane çok değişkenli kontrol çizelgesi oluşmaktır; bu çizelge çok değişkenli birikimli toplam çizelgesi (MCUSUM), çok değişkenli üstel ağırlıklı hareketli ortalama (MEWMA) veya Hotelling  $T^2$  çizelgesi olabilir. Bu konuda ilk çalışmalar 1940'lı yıllarda Hotelling tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kaliteyi belirleyici çap, boy gibi değişkenlerin çizelgelendiği kontrol çizelgelerinde değişkenlerden alınan ölçüm değerleri kullanılmaktadır. Bu değerler kontrol bölgesi diye adlandırılan aralıkta yer alıyorsa sürecin kontrol altında olduğuna karar verilir. Ölçüm değerleri bu aralıkta değilse kontrol dışı sinyal olarak tanımlanır ve süreçte hataya neden olan faktörlerin olduğuna karar verilir. Çok değişkenli kontrol çizelgelerinde en çok tartışılan konu sinyallerin yorumlanmasıdır. Tek değişkenli kontrol çizelgelerinde kontrol dışı noktalar tek bir değişkene ait olduğundan hata kaynağını belirlemek nispeten kolaydır. Ancak çok değişkenli süreçlerde birden fazla değişken tek bir  $T^2$  istatistiğinde ifade edilmektedir. Bu durumda sürecin kontrol dışı olduğuna belirlenmekte ancak hangi değişken ya da değişkenlerin sinyal üzerinde ne derece etkili olduğuna bilinmemektedir; bu da hata kaynaklarının belirlenmesini güçleştirmektedir.

Jackson<sup>(4)</sup> ve Pignatiello vd<sup>(5)</sup> sinyallerin yorumlanmasında Ana (Temel) Bileşen Analizi (ABA) yöntemini önermişlerdir. Bu yöntemde ana bileşenler orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonları olarak ifade edilmektedir. Ana bileşenlerle doğrudan ilişkilendirilebilir hata kaynakları varsa bu yöntem, hata teşhisini kolaylaştırmaktadır. Aksi takdirde sinyal yorumu zordur.

Alt<sup>(6)</sup> ve Doganaksoy vd<sup>(7)</sup> çok değişkenli kontrol çizelgelerinde kontrol dışı sinyallerinin yorumlanmasında, hangi değişken ortalamasının kaydığının belirlenmesinde Bonferroni eşitsizliğinin kullanılmasını önermiştir.

Blazek vd<sup>(8)</sup> ve Fuchs vd<sup>(9)</sup> çok değişkenli ve tek değişkenli çizelgeleri, tek çizelge üzerinde grafik olarak göstermeyi önermişlerdir. Lowry vd<sup>(10)</sup> çok değişkenli EWMA istatistiğinin küçük ortalama kaymalarını saptamada daha etkili olması nedeniyle bu tür durumlarda kullanımını önermiştir.

Murphy<sup>(11)</sup>  $p$  değişkeni sinyale neden olmasından şüphe edilen  $q$  adet değişken ve  $(p-q)$  adet şüphesiz değişken olmak üzere iki kümeye bölmeyi önermektedir. Şüpheli değişken kümesinin hata kaynağı konusunda mühendise yol göstereceği belirtilmektedir. Ancak değişken sayısının artması da sürecin tanımlanmasında belirsizliği arttıracığından hatalı sonuçlara yol açabilecektir.

Chua vd<sup>(12)</sup>, değişkenlerin olası tüm alt kümelerini test eden bir yöntem önermiştir; böylece belirsizlik azaltılacaktır. Ancak işlem fazlalığı nedeniyle pratikte uygulanması zordur.

Hawkins<sup>(13)</sup> sinyal yorumunda regresyon modellerinin kullanımını önermiştir.

Hayter vd<sup>(14)</sup> her bir değişkenin ortalamasına ait güven aralıklarının eş zamanlı incelenmesine dayanan bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem normal dağılım

varsayımının geçersiz olduğu durumlarda da kullanılabilir. Bu yöntem geleneksel Bonferroni eşitsizliği yaklaşımından daha etkilidir.

Mason vd<sup>(15)</sup> Ana Bileşen Analizinden yola çıkarak  $T^2$  istatistiğinin bağımsız parçalara ayrılmasına yönelik bir yaklaşım geliştirmiştir. MYT ayrıştırma yöntemi olarak bilinen bu yöntem, hem değişkenlerin tek tek kontrol dışında olup olmadığı hem de değişkenler arasındaki ilişkinin veri yapısına uyup uymadığı hakkında bilgi vermektedir.

Kutay<sup>(16,17)</sup> çok değişkenli kalite kontrol, Hotelling  $T^2$  çizelgeleri ve uygulaması, ayrıca ana bileşen analizi üzerine çalışmalar yapmıştır. Çok değişkenli kalite kontrol yöntemleri ve sinyallerin yorumuna ilişkin tekniklerin genel değerlendirilmesini Uyar<sup>(18)</sup>, Karaca<sup>(19)</sup>, Özkale<sup>(20)</sup>, Koçer<sup>(21)</sup> vermektedir.

### 1.3 Çalışmanın Amacı

Çok değişkenli kontrol çizelgeleri üzerine ilk çalışmalar 1940'lı yıllarda Hotelling tarafından yapılmış ve teorik temelleri oluşturulmuştur<sup>(1)</sup>. Üretimin gittikçe otomatikleşen bilgi kontrollü sistemlerle yapılması, ürün kalitesinin saptanmasına yönelik daha bol miktarda verinin düşük maliyetle toplanması çok değişkenli kontrol çizelgelerinin uygulanmasını tetiklemektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışması çok değişkenli kontrol çizelgelerinin temelleri ve uygulaması üzerinedir. Tez çalışmasında tek değişkenli kontrol ve çok değişkenli kontrol çizelgeleri ile sinyal yorumuna ilişkin literatür incelenmiştir. Ayrıca Hotelling  $T^2$  çizelgelerinin oluşturulmasını ve hata kaynaklarının belirlenmesine

ilişkin MYT ayrıştırma yönteminin uygulanmasını sağlayan bir bilgisayar programı yazılmış ve bir imalat sürecinden alınan gerçek verilerle uygulaması yapılmıştır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde öncelikle İPK'nın tanımı verilerek kalitenin yedi temel aracı olarak bilinen yöntemlerden kısaca bahsedilmiştir.

İkinci bölümde kontrol çizelgeleri, özellikleri ve çeşitleri verilerek, kontrol çizelgelerinin tasarımında dikkat edilecek hususlar ve kontrol dışı sinyalleri belirlemek için kullanılan kurallardan bahsedilmiştir. Ayrıca tek değişkenli çizelgelerden çok değişkenli çizelgelere geçiş, çok değişkenli çizelgelerin özellikleri, tasarımı, sinyal yorumlanmasında kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde uygulama yapılan sürecin tanımı yer almaktadır. Ayrıca süreçten elde edilen verilerin analizine ve analiz sonuçlarının incelenmesine yer verilmektedir.

Son bölümde ise geliştirilen analiz sonuçlarına ve süreç bilgisine bağlı olarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Tek Değişkenli Kalite Kontrol

İstatistiksel Proses Kontrol (İPK), bir üretim sürecinde kaliteyi sağlamak, sürdürmek ve iyileştirmek amacıyla kullanılan istatistik teknikleri içermektedir. Bu tekniklerden en önemlisi kontrol çizelgeleridir. Kontrol çizelgelerinin amacı süreç (proses) performansının kabul edilebilir kalite seviyesinde olup olmadığını belirlemektir<sup>(22)</sup>. Çizelgelerin kısa vadeli amacı, süreçten alınan ölçümlerin düzenli olarak izlenmesiyle süreçte ortaya çıkan hataların erken teşhisi ve giderilmesi, böylece üretilen hatalı ürünlerin sayısının en aza indirilmesidir. Uzun vadeli amacı ise süreç kalitesinin iyileştirilmesidir. Kontrol çizelgelerinde sürece ya da ürüne ait olan, kalite değişkeni olarak adlandırılan özellikler çizelgelenir. Örneğin, bir bisküvi fabrikasında üretilen bisküviler için ağırlık, boy ve içindeki kimyasal maddelerden birinin oranı kalite değişkenleri olarak belirlenebilir.

#### 2.1.1. Kalite Değişkenliği

Herhangi bir üretim sürecinde sistem ne kadar düzenli işliyor olsa da bir miktar değişkenlik daima mevcuttur; belli bir süreçte üretilen iki parça birbirinin tamamen aynı olmayacaktır. Bu değişkenlik küçük ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu sürece sistem durağan (stable) olarak nitelendirilirken değişkenlik nedenleri iki gruba ayrılmaktadır<sup>(23)</sup>:



#### a- Genel Nedenler

Genel nedenler sürecin doğal yapısından kaynaklanmaktadır. Genel nedenli değişkenlik türü her süreçte beklenir; azaltılabilir ancak daima süreçte yer almaktadır. Bir süreçte genel nedenlerin sayıca çok olduğu, bunların her birinin değişkenliğe küçük bir miktar katkıda bulunduğu varsayılır. Bunların ortak katkısıyla ortaya çıkan değişkenlik genel nedenli değişkenliktir. Ekipmanın kurallara uygun kullanılmaması, hammaddenin kalitesi genel nedenlere örnek verilebilir.

#### b- Özel Nedenler

Özel nedenler genel nedenlere kıyasla baskın olan ve süreçte iz bırakan nedenlerdir; önceden tahmin edilememektedir. Ayrıca önlem alınmadıkça tekrar tekrar süreci etkileyebilir. Hammaddedeki değişkenlik, tecrübesiz operatör hataları, ekipmanın ayarındaki değişiklik özel nedenlere örnek verilebilir.

Bir sürecin iyileştirilmesini kolaylaştırmak açısından özel ve genel nedenlerin ayrılması gerekir.

### **2.1.2. Kontrol Çizelgeleri**

Kontrol çizelgelerinde çap, boy, ağırlık gibi kalite değişkenleri çizelgelenir. Bu değişkenlere kalite karakteristikleri adı da verilir. Çizelgeler, bu değişkenlerden alınan ölçüm değerlerinin ya da bunlardan üretilen istatistiklerin zaman ekseninde işaretlenmesiyle oluşturulmaktadır. Bu değerler kontrol bölgesi olarak tanımlanan aralıkta yer alıyorsa sürecin kontrol altında olduğuna karar verilir. Ancak kontrol bölgesinde yer almıyorsa veya rasgelelik dışı durumlar varsa- değerlerin ardı ardına artması gibi- kontrol dışı olarak tanımlanır; bu durumlara kontrol dışı durum ya da

kısaca *sinyal* denir. Süreçte ortaya çıkacak bir aksaklıktan kaynaklanan değişimin mümkün olduğu kadar çabuk tespit edilmesi ve düzeltilmesi önem taşımaktadır. Kontrol çizelgelerinin amacı, süreç performansının kabul edilebilir bir kalite düzeyinde olup olmadığını belirlemektir. Kontrol çizelgeleri elli yılı aşkın bir süredir sanayide yoğun şekilde kullanılmaktadır; bunların popüler olmasının nedenleri şöyledir<sup>(1)</sup>:

- Kontrol çizelgeleri, verimliliği arttırmak için kullanılacak tekniklerdir,
- Kontrol çizelgeleri, bozuklukların önlenmesinde etkindir,
- Kontrol çizelgeleri, gereksiz sistem ayarlarını düzenler,
- Kontrol çizelgeleri, hata teşhis bilgisi sağlar,
- Kontrol çizelgeleri, süreç yeterliliği hakkında bilgi verir.

Kontrol çizelgeleri, kontrol edilecek kalite değişkeni sayısına göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar tek değişkenin incelendiği tek değişkenli kontrol çizelgeleri ve birden fazla değişkenin eş zamanlı incelendiği çok değişkenli kontrol çizelgeleridir.

Kalite değişkenleri nicel ve nitel olarak sınıflandırılır. Bunun sonucu olarak kontrol çizelgeleri de nicel ve nitel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

#### a- Nicel Kontrol Çizelgeleri

Bu çizelgelerde uzunluk, ağırlık, yükseklik gibi reel sayı değeri alan ölçülebilen kalite özelliklerine ait durumlar kontrol edilmektedir. En sık kullanılan nicel kontrol çizelgeleri şöyledir:

- Shewhart Kontrol Çizelgeleri
- Birikimli Toplam (CUSUM) Kontrol Çizelgeleri

- Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) Kontrol Çizelgeleri
- Hareketli Ortalama (MA) Kontrol Çizelgeleri

b- Nitel Kontrol Çizelgeleri

Bu çizelgelerde hatalı-hatasız, kusurlu-kusursuz gibi ölçülemeyen özellikler dikkate alınarak oluşturulmaktadır. En sık kullanılan nitel kontrol çizelgeleri şöyledir:

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

Çok değişkenli kontrol çizelgeleri ise Hotelling  $T^2$ , çok değişkenli EWMA ve çok değişkenli CUSUM olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bunlar nicel kontrol çizelgeleridir; çok değişkenli nitel kontrol çizelgeleri teorik olarak geliştirilmekle birlikte pratikte uygulanmamaktadır.

Gerek tek değişkenli gerekse çok değişkenli kontrol çizelgelerinin hazırlanmasında normal dağılım kabulü kullanılmaktadır. Bir kalite değişkeni bir çok faktörün toplam etkisi altındadır. Bu toplam etki nedeniyle izlenen istatistik, merkezi limit etkisi altında kalacaktır, dolayısıyla normal dağılıma yakın bir dağılım takip edecektir. Bu nedenle normallik kabulü geniş bir geçerlilik kazanmıştır. Sayısız sanayi uygulamaları da bu kabulü destekler. Ancak normallik kabulü bazı araştırmacılar tarafından sakıncalı bir durum olarak görülmektedir. Bu araştırmacılar

uygulamada, bazı değişkenlerin normal dağılmadığı gibi merkezi limit etkisiyle bile normalleşemeyecek kadar çarpık olduğunu belirtmektedir<sup>(21)</sup>.

### 2.1.3. Kontrol Çizelgelerinin Tasarımı

Kontrol çizelgelerinin kullanılmasında en önemli faktör çizelgelerin tasarımıdır. Kontrol çizelgelerini tasarlarırken örnek hacmi (büyüklüğü), örnekleme sıklığı ve kontrol sınırlarının belirlenmesi önemlidir<sup>(1)</sup>.

Kontrol çizelgelerinde öncelikli olarak saptanması istenen kontrol dışı durum, çizelgelene istatistiğın (örneğin altgrup ortalaması) ortalama değerinde bir değişim (kayma) olup olmadığıdır. Örnek hacmi, saptanmak istenen kaymanın büyüklüğüne göre belirlenmektedir. Süreçte beklenen kayma büyük ise küçük örnek hacmi, beklenen kayma küçük ise büyük örnek hacmi kullanılmaktadır. Büyük örnek hacmi ile süreçteki küçük kaymaları belirlemek daha kolaydır.

Süreçteki kaymaların belirlenmesinde genellikle örneklerin sık aralıklarla alınması tercih edilmektedir, ancak bu ekonomik olmayacaktır. Örnekleme sıklığının belirlenmesinde örnekleme maliyeti, üretim hızı, süreçteki kaymaların çeşitlerinin ortaya çıkma olasılığı gibi birden fazla faktörün dikkate alınması gerekmektedir.

Kontrol çizelgelerinin tasarımında önemli bir diğer konu kontrol sınırlarıdır. Kontrol sınırlarının hesabında genellikle Shewart'ın deneyimleri sonucu en ekonomik sınırlar olarak nitelendirdiği ortalama  $\pm 3$  standart sapma ( $\mu \pm 3\sigma$ ) kullanılmaktadır. Hoyer vd<sup>(24)</sup> kontrol altında olma durumunu "bir sürecin ölçülebilir özelliklerinin merkezi (ortalaması) ve varyansı zaman boyunca sabit ise süreç kontrol altındadır" olarak tanımlamıştır. Bu temel tanımla birlikte kontrol çizelgelerini,

bileşenlerini ve hesaplama yöntemlerini genel bir çerçevede ele almaktadır. Hoyer vd<sup>(24)</sup>, kontrol sınırlarının hesaplanmasında, bir alternatif olarak, orta çizgiden standart sapmanın belli bir katı ( $k\sigma$ ) kadar uzaklık yerine olasılık cinsinden uzaklığın kullanılması önerilmektedir. Hoyer vd<sup>(25)</sup> diğer bir çalışmalarında kontrol sınırının hesaplanması yöntemi ve normal dağılımın kullanılması konularındaki görüşlerine ilişkin eleştirilere yer vermekte ve bunları cevaplandırmaktadırlar.

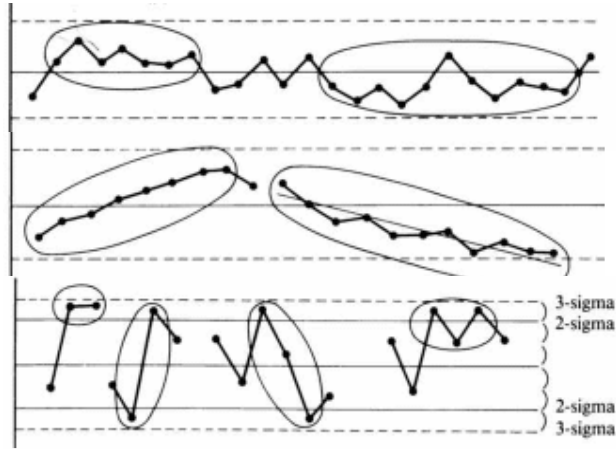
Kontrol sınırları, makine ayarlarının, kalıpların, hammaddenin, operatörün değişmesi gibi durumlarda gözden geçirilmelidir. Kontrol sınırlarının gözden geçirilmesinde tecrübe ve süreç bilgisi önemlidir. Fairfield<sup>(26)</sup>, her türlü sürece uygulanabileceğini ileri sürdüğü kontrol sınırlarına müdahale için doğru zamanı bulmaya yönelik bir yöntem önermiştir.

Çizelgelerde üründen alınacak ölçüm değerleri ya da bunlarda üretilen istatistik değerler kullanılır. Bu değer kontrol bölgesi olarak adlandırılan değer aralığındaysa sürecin kontrol altında olduğu kabul edilir. Bu değer aralık dışında ise kontrol dışı sinyal olarak nitelendirilir ve hataya yol açan özel neden olduğu düşünülür. Sürece müdahale edilerek hata kaynağı araştırılır, belirlenir ve düzeltme yapılır. Bu süreç iki aşamada gerçekleştirilir. Birinci aşamada alınan ilk veri örneği için kontrol dışı veriler atılarak sürecin kontrol altında olduğu durum elde edilmektedir; kontrol altındaki verilerden oluşan sete referans veri seti adı verilir. Bu aşama sonunda kontrol durumunun olasılık dağılımı belirlenir ve buna bağlı olarak çizelge kontrol sınırları oluşturulur. İkinci aşamada ise süreçten alınan yeni veriler çizelgenerek kontrol dışı durumlar belirlenip süreci iyileştirme yönünde düzeltici faaliyetler yapılır.

#### 2.1.4. Duyarlılık Arttırıcı Kurallar

Kontrol dışı durumların belirlenmesinde Western Elektrik kuralları olarak bilinen bazı duyarlılık kuralları ortaya konmuştur<sup>(1)</sup>. Bu kurallar şöyledir:

1. Bir noktanın  $3\sigma$  kontrol sınırının dışında olması,
2. Ardışık 3 noktadan 2'sinin  $2\sigma$  uyarı sınırlarının dışında olması,
3. Ardışık 5 noktadan 4'ünün  $1\sigma$  sınırları dışında olması,
4. Ardışık 8 noktanın merkez çizgisinin bir yanında olması,
5. Ardışık 6 noktanın sürekli bir yönde hareket etmesi (artış-azalış),
6.  $\pm 1\sigma$  sınırları arasında 15 noktanın bulunması,
7. Arka arkaya sürekli olarak bir artıp bir azalan 14 noktanın bulunması,
8. Arka arkaya  $\pm 1\sigma$  sınırları arasında olmayan, merkez çizgisinin altında veya üstünde 8 noktanın bulunması,
9. Kontrol sınırları yakınlarında bir veya birden fazla noktanın bulunması
10. Yukarıdaki kuralarda verilen rasgele olmayan durumların dışında herhangi bir rasgele olmayan durum bulunması.



**Şekil 2.1** Duyarlılık Artırıcı Kuralları Sağlayan Bazı Durumlar

Şekil 2.1’de görüleceği gibi sürecin kontrol sınırlarının dışına çıkmasının yanı sıra belli bir eğilime sahip olması da sürecin kontrol dışı olarak nitelendirmektedir. Bu kontrol dışı olma sinyallerinden iki veya daha fazlasının birlikte kullanılması kontrol çizelgesinin duyarlılığını arttıracaktır. Ancak birçok kuralın birlikte kullanılması hem karar sürecini karmaşık hale getirmekte hem de Shewhart çizelgelerinin uygulama kolaylığını kaybettirmektedir <sup>(1)</sup>.

Hoyer vd <sup>(27)</sup> çalışmalarının ikinci kısmında duyarlılık kavramının ne olduğu, duyarlılığın hesaplanması ve yukarıda bahsedilen duyarlılık artırıcı kurallar üzerinde durmuşlardır. Yazarlar sadece ilk kuralın kullanılmasının yeterli olmadığını, hatalara neden olacağını savunmuştur. Ayrıca verilen bu kuralların dışında başka kuralların da var olduğu ancak daha az kullanıldığını belirtmişlerdir. Kuralların duyarlılıklarının hesaplanmasında kullanılan olasılık değerleri, dağılımın simetrik olması varsayımına dayalı hesaplanmıştır. Dağılımın simetrik olmamasında hangi kuralların hangi şartlarda kullanılacağına ilişkin önerilere de yer verilmiştir. Bu çalışma, duyarlılık kavramının tanımı ve hesaplanması, kullanılması konularında

değişik uzmanlarca eleştirilmiş ve her eleştiri yazarlarca bir diğer makalede cevaplanmıştır<sup>(25)</sup>.

## 2.2. Çok Değişkenli Kalite Kontrol

Genellikle bir sürecin performansı birden fazla kalite değişkeni ile belirlenmektedir. Örneğin, metal yayların gerilmesinde  $x_1$ =kalınlık ve  $x_2$ =çap olmak üzere süreci etkileyen iki kalite değişkenidir. Benzer şekilde bir parça üzerine delinen iki delik için tipik olarak  $x_1$ =birinci deliğin çapı,  $x_2$ =ikinci deliğin çapı olmak üzere iki kalite değişkeni olarak tanımlanır. Bahsedilen bu değişkenleri ayrı ayrı, birbirinden bağımsız değerlendirmek gerçekçi olmayacaktır. Değişkenlerin ayrı ayrı ele alınması değişkenler arasındaki ilişkiyi yok saymak olacaktır. Bu durumda süreci etkileyen bu kalite değişkenlerinin tamamının kontrol edilmesi gerekmektedir. Tek değişkenli kontrol çizelgelerinde ilgili değişken tek başına incelenirken diğer kalite değişkenlerinin bu değişkene etkisi ya da değişkenle ilişkisi göz ardı edilmektedir.

Bir ürünün yada sürecin birden fazla karakteristiğini birlikte değerlendiren ve bu değerlendirme ışığında kontrol altında tutmayı amaçlayan kalite kontrol yaklaşımına çok değişkenli kalite kontrolü (ÇDKK) denir<sup>(18)</sup>. ÇDKK sayesinde, hataların tasnifi ve bu hatalardan yola çıkarak kaynaklarının belirlenmesi daha kolay ve sistematik bir biçimde yapılabilmektedir.

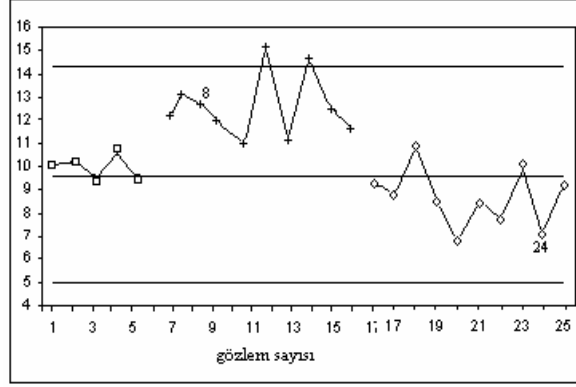
### 2.2.1. Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli Kontrol Bölgesi

Şekil 3.1’de iki değişken için değişkenlerin tek tek kontrol çizelgelerinin (a,b) yanı sıra çok değişkenli kalite kontrol yöntemlerinden biri olan Hotelling  $T^2$  çizelgesi

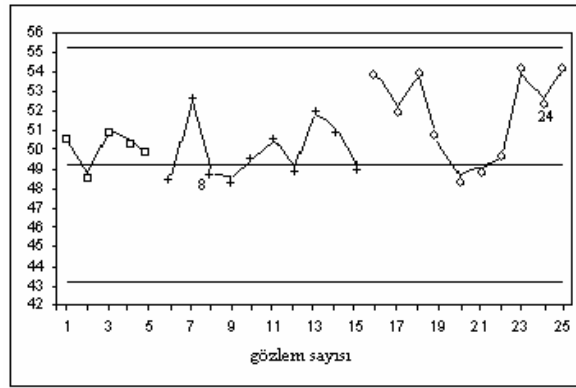


(c) yer almaktadır <sup>(28)</sup>. Daha ilerki bölümlerde ayrıntılı anlatılacağı üzere, Hotelling  $T^2$  çizelgesi üzerindeki her nokta, tek değişkenli çizelgelerdeki noktaların ve iki değişken arasındaki kovaryans matrisinin bir fonksiyonudur.

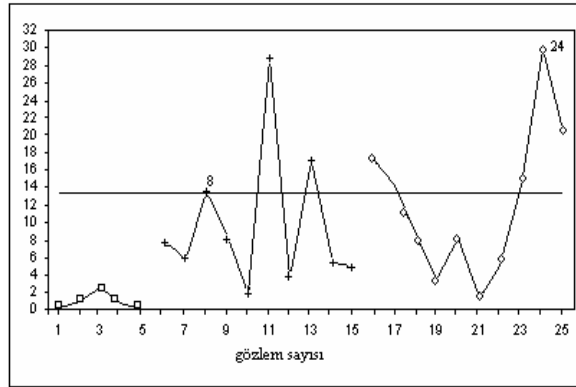
Birinci değişkenin tek değişkenli çizelgesinde kontrol dışı noktalar mevcut iken ikinci değişkende kontrol dışı nokta yoktur. 8. ve 24. noktalar incelendiğinde; 8. noktanın her iki tek değişkenli çizelgede kontrol bölgesinde yer aldığı ancak birinci değişken için orta çizginin altında ikinci değişken için ise orta çizginin üstünde yer aldığı görülmektedir. Ayrıca bu nokta  $T^2$  kontrol çizelgesinde kontrol dışı olarak görülmektedir. Benzer şekilde 24. nokta her iki tek değişkenli çizelgede kontrol bölgesinde yer alıp birinci değişken için orta çizginin altında, ikinci değişken için orta çizginin üzerinde yer almaktadır. Ancak bu nokta  $T^2$  çizelgesinde üst kontrol sınırının üzerinde yer almaktadır. İki ayrı tek değişkenli çizelgede kontrol bölgesinde yer alan noktaların  $T^2$  çizelgesinde kontrol bölgesi dışında yer alması, sinyalin bu iki değişken arasındaki ilişkiden kaynaklandığını ifade etmektedir. Burada da görüleceği gibi çok değişkenli kontrol çizelgeleri tek değişkenli kontrol çizelgelerinin yakalayamadığı kontrol dışı durumları yakalayabilmektedir.



(a)



(b)



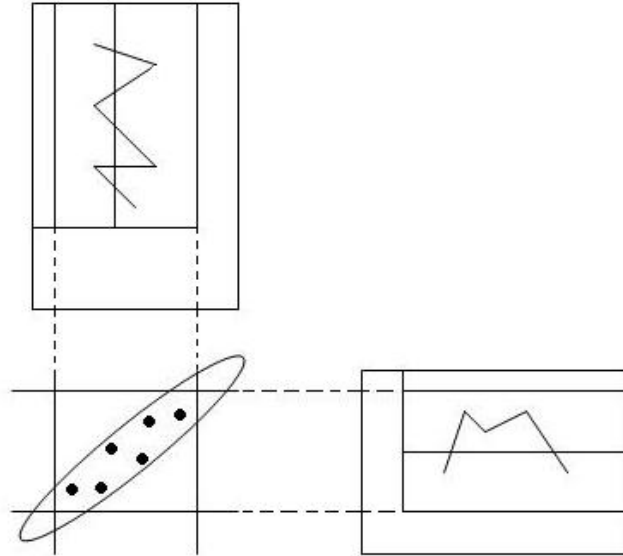
(c)

Şekil 2.2.a. Birinci Değişken için Kontrol Çizelgesi

b. İkinci Değişken için Kontrol Çizelgesi

c. İki Değişken için Hotelling  $T^2$  Çizelgesi

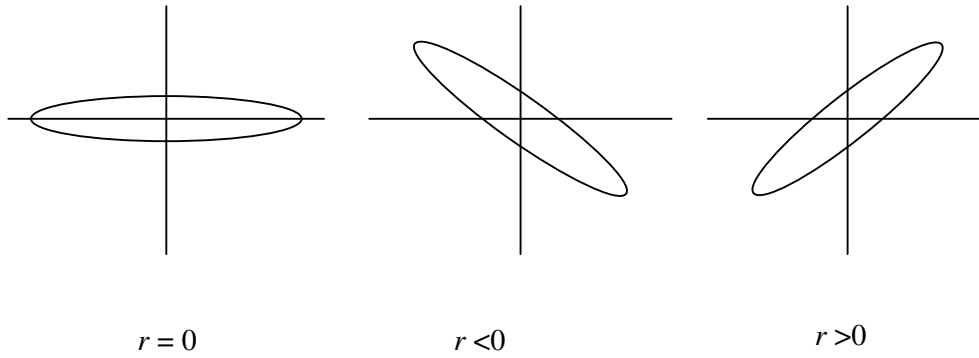
Bağımsız iki değişkenin tek tek kontrol çizelgelerinin ( Shewhart çizelgeleri) oluşturulması ve incelenmesi de kullanılan bir yöntemdir. Ancak bu hem çok sayıda çizelgenin incelenmesi anlamına gelmektedir, hem de aralarında ilişki bulunan değişkenlerin hatalı yorumlanmasına neden olmaktadır. Çünkü Shewhart çizelgelerinde değişkenler bağımsız olarak ele alınmakta, diğer değişkenlerin etkisi göz ardı edilmektedir. Çok değişkenli kalite kontrol yöntemleri değişkenler arasındaki korelasyonu da dikkate aldığı için tercih edilmektedir. Şekil 2.3’de bir süreci etkileyen iki değişkenin tek değişkenli kontrol çizelgeleri ve çok değişkenli kontrol çizelgelerine geçişi görülmektedir <sup>(1)</sup>.



**Şekil 2.3** Tek Değişkenli Kontrol Çizelgelerinden Çok Değişkenli Kontrol Çizelgelerine Geçiş

Değişkenlerin bağımsız olduğu kabul edildiğinde her iki değişkenin de kontrol bölgesinde yer alması durumunda süreç kontrol altında olacaktır. Bu

durumda gözlem değerlerinin her iki kontrol sınırlarının birlikte düşünülmesi ile oluşturulan dikdörtgen alan içerisinde yer alması sürecin kontrol altında olduğunu gösterir. Ancak çok değişkenli kalite kontrol çizelgelerinde değişkenler arasındaki ilişki de göz önüne alınmaktadır. Wierda'nın örneğinde<sup>(28)</sup>, Shewhart çizelgelerinin yakalayamadığı noktaları Hotelling  $T^2$  çizelgesinin yakalamasının nedeni de korelasyon yapısının hesaba katılmasıdır. Bu durumda değişkenler arasındaki korelasyonun da hesaba katıldığı yeni bir kontrol bölgesi (elips) oluşmaktadır. Elips, korelasyonun yönü ve büyüklüğüne göre değişmektedir. Ayrıca değişken sayısı arttıkça iki boyuttaki elips üç, dört, vs. boyutta elipsoid şeklini alır.

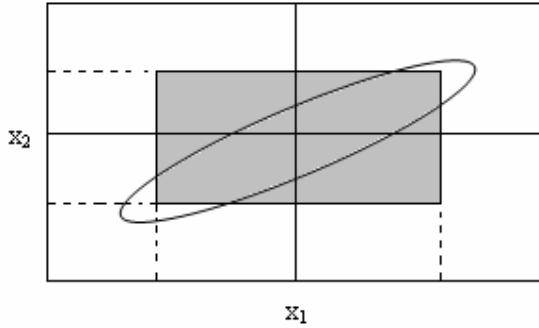


**Şekil 2.4** Elips ve Korelasyon Arasındaki İlişki ( $r$ = korelasyon katsayısı)

Kontrol elipsini çizerek  $T^2$  istatistik değerlerini Şekil 2.3'te olduğu gibi elips üzerinde işaretlemek mümkündür, ancak bunun iki dezavantajı vardır. Birincisi, çizilen noktaların zaman ardışıklığı kaybolacak ve bunun sonucu olarak gerekli işlemler kolaylıkla uygulanamayacaktır. İkincisi ise kalite değişkeninin ikiden fazla olması durumunda elipsleri (elipsoidleri) çizmek zorlaşacaktır. Bu zorlukları gidermek için  $\chi^2$  ya da  $F$  dağılımlarına dayalı Hotelling  $T^2$  kontrol çizelgeleri kullanılmaktadır. Böylece zaman ardışıklığı korunmuş olur, ayrıca iki veya daha

fazla değişikenden oluşan süreçler için sürecin durumu tek bir Hotelling  $T^2$  istatistik değeri ile ifade edilir. Bu çizelgeler ile kontrol dışı durumlar daha isabetli şekilde saptanmakta ancak bu şekilde  $p$  boyutlu gözlem vektörünün tek bir değere indirgenmesi de kontrol dışı durum sinyalinin yorumunu zorlaştırmaktadır <sup>(1)</sup>.

Hotelling  $T^2$  çizelgeleri yerine tek değişkenli çizelgeleri eş zamanlı izlemenin bir önemli dezavantajı Tip I hatasını belirlemenin değişken sayısının artması ve korelasyon matrisinin genişlemesiyle zorlaőmasıdır. Bağımsız varsayılan, Tip I hatası  $\alpha$  olan tek değişkenli çizelgelerin eş zamanlı izlenmesi halinde,  $p$  adet değişken için Tip I hatasının değeri  $\alpha_s = 1 - (1 - \alpha)^p$  olur. Örneğin, Shewart çizelgesinde kontrol sınırlarının orta çizgiden  $\pm 3\sigma$  uzakta olması durumunda Tip I hatası  $\alpha = 0,0027$  ( $1 - \alpha = 0,9973$ ) olarak hesaplanır. İki değişkenli bir süreçte değişkenlerin eşzamanlı olarak kontrol bölgesinde yer alması olasılığı ( $0,9973 \times 0,9973 = 0,9946$ ); eş zamanlı tip I hatası ise ( $1 - 0,9946 = 0,0053$ ) olacaktır. Şekil 2.5’de iki değişkenli süreç için eşzamanlı kontrol bölgesinin grafiksel gösterimi yer almaktadır.



**Şekil 2.5** İki Değişkenin Eş Zamanlı Kontrol Bölgesi

Korelasyon göz önünde bulundurulduğunda (değişkenler bağımsız olmadığında), yukarıdaki hesaplama geçersiz sayılacak ve Tip I hatası değerleri

farklı olacaktır. Değişkenler arasındaki kovaryans matrisinin yapısına göre Tip I hatası değerini belirlemek zorlaşacaktır. Hayter vd<sup>(14)</sup>, bunun için Monte-Carlo benzetimini önermiştir.

Tip I hatasının belirlenmesi Tip II hatası ( $\beta$ ) ile birlikte düşünülmelidir.  $\alpha$  ve  $\beta$  ters orantılıdır. Örneğin bir kimyasal süreçte bir bileşenin üst kontrol sınırı ile belirtilen bir seviyenin üstünde değer almasının tehlikeli sonuçlar oluşturacağını düşünelim. Bu süreçte Tip II hatasının yapılması durumunda bileşenin tehlikeye neden olacak değeri kabul edilecektir. Tip I ve Tip II hataları dengeli olmalıdır <sup>(29)</sup>.

### 2.2.2. Temel Notasyonlar

$X$ ,  $p$  adet değişkenin, her biri  $n$  birimden oluşan  $m$  adet alt gruplar (örnekler) halinde alınan gözlem değerlerinin oluşturduğu matris olmak üzere  $\bar{X}$  ortalama vektörü ve  $S$  kovaryans matrisidir.

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix} \quad \bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_p \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} s_1^2 & s_{12} & s_{13} & \dots & s_{1p} \\ & s_2^2 & s_{23} & \dots & s_{2p} \\ & & s_3^2 & & \vdots \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & s_p^2 \end{bmatrix}$$

$\bar{X}$  vektörünün ortalaması  $\mu' = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)$  ve kovaryans matrisi  $\Sigma$  olan çok değişkenli normal dağılıma uyduğu varsayılmaktadır.

$$\mu = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_p \end{pmatrix} \quad \Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1p} \\ & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \dots & \sigma_{2p} \\ & & \sigma_3^2 & & \vdots \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & \sigma_p^2 \end{pmatrix}$$

Ayrıca çok değişkenli normallik, uygunluk testleriyle kontrol edilebilir.  $x_{ijk}$  gözlemi  $k$ . altgruptaki  $i$ . elemanın  $j$ . karakteristiğine ait ölçüm değerini vermektedir. Burada,  $\mu_i$   $i$ . değişkenin ortalamasını ifade ederken  $\Sigma$  varyans ve kovaryans yapısını ifade etmektedir. Kovaryans matrisindeki köşegen elemanları değişkenlere ait varyans değerlerini, köşegen dışındaki elemanlar ise değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden kovaryans değerini göstermektedir.

### 2.2.3. Hotelling $T^2$ Çizelgeleri

Hotelling  $T^2$  çok değişkenli normal dağılıma dayalı istatistiksel uzaklığın bir ölçüsüdür. İstatistiksel uzaklık öklid uzaklığının aksine değişkenlerin varyanslarını da göz önüne almaktadır. Ayrıca  $T^2$  istatistiği tek değişkenli student- $t$  istatistiğinin çok değişkenli duruma genişletilmesidir.

Hotelling  $T^2$  istatistiğinin temel avantajı çok değişkenli gözlemlerin tek tek incelenmesi durumunda süreç ortalama vektöründeki kaymanın belirlenmesinde optimal olmasıdır. Hotelling  $T^2$  istatistiğinin dezavantajı ise süreçte kontrol dışı durumu isabetli şekilde belirlemesine rağmen hangi değişken ya da değişken grubunun kontrol dışı olduğu konusunda bilgi vermemesidir<sup>(30)</sup>.

### 2.2.4. Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi

$T^2$  çizelgelerinde bir üst kontrol sınırı vardır.  $T^2$  istatistiğinin karesel bir ifade olması değerinin her zaman pozitif olmasına neden olmakta, böylece değişiklikler  $T^2$  istatistiğinde sadece artırıcı olmaktadır. Bu durumda alt kontrol sınırına ihtiyaç duyulmamaktadır.  $T^2$  için ideal değer sıfır olmasıdır ki bu da gözlemlerin süreç

ortalaması çevresinde olduğunu ifade etmektedir. Küçük  $T^2$  değerleri de kabul edilebilir. Ancak  $T^2$ 'nin büyük olması istenmeyen bir durumdur. Büyük  $T^2$  değerleri (üst kontrol sınırını üzerindeki değerler) sinyalleri ifade eder, bu da gözlemlerin süreç ortalamasından saptığının ya da süreçte dalgalanmalar olduğunun göstergesidir. Süreçte oluşan bu dalgalanmalar; gözlemlerin Shewhart kontrol sınırı dışında olmasından (dikdörtgen ile tanımlanan kontrol bölgesi dışında olması) ve/veya değişkenler arasındaki ilişkinin referans veri seti ile belirlenen ilişki yapısına uymamasından (elips ile tanımlanan kontrol bölgesinin dışında olması) kaynaklanmaktadır. Bu dalgalanmalar aslında ortalamadaki kaymaları ve / veya varyans yapısındaki farklılığın göstergesidir<sup>(31,32)</sup>.

Tek değişkenli kalite kontrolde olduğu gibi çok değişkenli kalite kontrol de iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama süreç çalışması, veri analizi ve normal olmayan gözlemlerin belirlenmesi çalışmalarını içermektedir. Sürecin kontrol altında olup olmadığını test eden bu aşama geriye dönük bir yaklaşımdır. Birinci aşamanın amacı ikinci aşamada kullanılacak kontrol sınırlarını belirlemektir. Birinci aşamada  $m = 20-25$  gözlemden oluşan bir ilk örnek grubu oluşturulur. Parametreler tahmin edilerek çizelge oluşturulur. Kontrol dışı durumlar belirlenerek ilk veri setinden çıkarılır ve bu işlemler tüm veriler kontrol sınırının altında olana dek tekrar edilir. Bu noktada birinci aşama sona ermektedir ve elde edilen veri seti *referans veri seti* (HDS = Historical Data Set) olarak tanımlanır. İleriye dönük bir yaklaşım olan ikinci aşamanın amacı ise sürecin birinci aşamada elde edilen dağılım yapısına uygunluğunu kontrol etmek ve sürecin kontrol altında olmasının devamlılığını sağlamaktır. Bunun için alınan gözlemlerde kontrol dışı durumlar saptanmaya çalışılır<sup>(29,31,32)</sup>.



### 2.2.4.1. Tek Gözlem Halinde Veri Toplanması

Ortalama ve kovaryans matrisini tahmin etmek için altgruplar halinde veriler toplansa da altgrup oluşturmaya izin vermeyecek kadar küçük üretim oranı olması, tekrarlı ölçümlerin sadece laboratuvar veya gözlemcinin hatalarından dolayı farklı çıkması gibi durumlarda altgrup hacmi  $n=1$  olarak alınmaktadır, yani tek gözlem halinde veri toplanmaktadır<sup>(31)</sup>.

#### 2.2.4.1.1. Parametrelerin Bilinmesi Durumunda Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi

Verilerin  $\mu' = [\mu_1, \mu_2 \dots \mu_p]$  ortalamalı ve  $\Sigma$  kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılımdan alındığını varsayalım.  $T^2$  istatistiği

$$T^2 = (X - \mu)' (\Sigma)^{-1} (X - \mu) \quad (2.1)$$

ile hesaplanır.

#### İkinci Aşama

Çok değişkenli normal dağılım parametreleri biliniyorsa ikinci aşama işlemlerindeki  $X' = (x_1, x_2 \dots x_p)$  gözlem vektörü için üst kontrol sınırı

$$\dot{ÜKS} = \chi_{\alpha, p}^2 \quad (2.2)$$

ile hesaplanır.

### 2.2.4.1.2. Parametrelerin Bilinmemesi Durumunda Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi

Verilerin bilinmeyen  $\mu$  ortalamalı ve  $\Sigma$  kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılımdan alındığını varsayalım.  $\mu$  ve  $\Sigma$  nın tahminicileri  $\bar{X}$  ve  $S$  referans veri seti kullanılarak hesaplanır.

$$\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i \quad (2.3)$$

$$S = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})' \quad (2.4)$$

Bu durumda  $T^2$  test istatistiği

$$T^2 = (X - \bar{X})' (S)^{-1} (X - \bar{X}) \quad (2.5)$$

ile hesaplanır.

#### Birinci Aşama

Gözlem vektörlerinin bağımsız, bilinmeyen  $\mu$  ortalamalı ve  $\Sigma$  kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılımdan alındığı varsayıldığında birinci aşama için üst kontrol sınırı

$$\text{ÜKS} = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2} \quad (2.6)$$

ile hesaplanır. Verilen  $\alpha$  değeri için üst kontrol sınırını aşan  $T^2$  değerine sahip gözlemler ilk veri setinden atılır. Kalan gözlemlerle yeni ÜKS hesaplanır. Bu işler hiçbir nokta çizelge ÜKS dışında kalmayınca kadar devam eder; ya da dışarıda kalan noktalar için bir açıklama getirilemiyorsa noktalar ilk veri setinden atılmaz. Birinci aşama sonunda elde edilen veriye referans veri seti adı verilmektedir.

## İkinci Aşama

Gözlem vektörlerinin bilinmeyen  $\mu$  ortalamalı ve  $\Sigma$  kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılımdan alındığını varsayıldığında ikinci aşama için üst kontrol sınırı

$$\text{ÜKS} = \frac{p(m+1)(m-1)}{m^2 - mp} F_{\alpha, p, m-p} \quad (2.7)$$

$P$  ve  $m-p$  serbestlik derecelerini;  $m$ , birinci aşama sonunda elde edilen gözlem sayısını (referans veri setindeki gözlem sayısı);  $p$ , kalite değişkeni sayısını belirtmektedir.  $T^2$  değerlerinin üst kontrol sınırını aşması gözlemlerin referans veri setine uymadığını göstermektedir.

Ayrıca büyük altgrup sayıları için ( $m > 100$ ) üst kontrol sınırının hesabında  $\text{ÜKS} = [p(m-1)/(m-p)] F_{\alpha, p, m-p}$  önerilmektedir<sup>(33)</sup>. Ayrıca değişken sayısı arttıkça  $\chi^2$  dağılımına yaklaşmak için gerekli olan altgrup sayısının ( $n=1$  olduğu için aynı zamanda gözlem sayısının) arttığı belirtilmektedir. 10-20 değişken sayısı için en az 250 gözlem ile dağılımın  $\chi^2$  dağılımına yaklaştığı gösterilmektedir.

### 2.2.4.2. Altgruplar Halinde Veri Toplanması

Kontrol çizelgelerinden olabildiğince istifade edilmesi amacıyla altgrupların (örneklerin) doğru seçilmesi ve sürecin iyi bilinmesi önemlidir. Bu aşamada rasyonel altgruplandırma kavramı da önem kazanmaktadır. Rasyonel altgruplandırma; gözlemlerin altgruplar arasındaki değişkenlik maksimum olacak, altgrup içerisindeki değişkenlik minimum olacak şekilde seçilmesi olarak tanımlanmaktadır. Rasyonel altgrupların belirlenmesinde iki yaklaşım mevcuttur.

İlk yaklaşımda, aynı anda ya da ardışık olarak üretilen parçalardan örnekler alınarak altgrup oluşturulmaktadır. Bu yaklaşım, temel amaç süreçteki kaymanın belirlenmesi olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Özel nedenli değişkenliğin olması halinde örnek içerisindeki değişkenliği minimize etmekte ve örnekler arası değişkenliği ise maksimize etmektedir.

İkinci yaklaşımda, son örnekte üretilen ürünlerin kabulüne ilişkin karar verilmesi durumunda kullanılmaktadır. Kontrol dışı olan sürecin tekrar kontrol altına dönmesi durumlarında ikinci yaklaşım tercih edilmektedir <sup>(1)</sup>.

#### **2.2.4.2.1. Parametrelerin Bilinmesi Durumunda Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi**

$$\bar{X} = [\bar{x}_1 \quad \bar{x}_2 \quad \dots \quad \bar{x}_p] \text{ ile verilen kalite değişkeninin } \mu' = [\mu_1, \mu_2 \dots \mu_p]$$

ortalama ve  $\Sigma$  kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılımdan alındığını varsayalım.  $T^2$  istatistiği

$$T^2 = (\bar{X} - \mu)' \Sigma^{-1} (\bar{X} - \mu) \quad (2.8)$$

ile hesaplanır.

#### **İkinci Aşama**

Gözlem vektörlerinin bilinen  $\mu$  ortalama ve  $\Sigma$  kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılımdan alındığını varsayıldığında ikinci aşama için üst kontrol sınırı birinci aşama ile benzer şekilde

$$\dot{ÜKS} = \chi_{\alpha, p}^2 \quad (2.9)$$

ile hesaplanır.

### 2.2.4.2.2. Parametrelerin Bilinmemesi Durumunda Üst Kontrol Sınırlarının Belirlenmesi

Hotelling  $T^2$  çizelgelerinin oluşturulmasında genellikle  $n$  birimden oluşan  $m$  adet gözlem alınarak referans veri seti oluşturulur.  $S$ , kovaryans matrisinin ( $\Sigma$ );  $\bar{X}$ , ortalama vektörünün ( $\mu$ ) tahmini,  $\bar{\bar{X}}$  her bir altgruptaki ortalamaların ortalamasını (yani tüm gözlemlerin ortalaması) ifade etmektedir.

$$\bar{x}_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (2.10)$$

$$S_{jk}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})^2 \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (2.11)$$

$x_{ijk}$  gözlemi  $k$ . altgruptaki  $i$ . elemanın  $j$ . karakteristiğine ait ölçüm değerini vermektedir.  $k$ . altgruptaki  $j$  ve  $h$ . kalite değişkenleri arasındaki kovaryans değeri

$$S_{jhk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})(x_{ihk} - \bar{x}_{jk}) \quad \begin{cases} k = 1, 2, \dots, m \\ j \neq h \end{cases} \quad (2.12)$$

ile hesaplanır. Buradan,

$$\bar{\bar{x}}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{x}_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (2.13)$$

$$S_j^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_{jk}^2 \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (2.14)$$

$$\bar{S}_{jh} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_{jhk} \quad j \neq h \quad (2.15)$$

kovaryans matrisi

$$S = \begin{pmatrix} \bar{S}_1^2 & \bar{S}_{12} \dots & \bar{S}_{1p} \\ \vdots & \bar{S}_2^2 & \vdots \\ \dots & \dots & \bar{S}_p^2 \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

$T^2$  istatistiği ise

$$T^2 = (\bar{X} - \bar{\bar{X}})' S^{-1} (\bar{X} - \bar{\bar{X}}) \quad (2.17)$$

ile hesaplanır.

### **Birinci Aşama**

Birinci aşama  $m$  altgrup alındığında sürecin kontrol altında olup olmadığını kontrol etmekte ve  $\bar{\bar{X}}$  ve  $S$  parametrelerini hesaplamaktadır. Üst kontrol sınırı

$$\text{ÜKS} = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{\alpha, p, mn - m - p + 1} \quad (2.18)$$

ile hesaplanır.  $p$ , kalite değişkeni sayısını;  $n$ , altgrup hacmini;  $m$ , ilk veri setindeki altgrup sayısını ifade etmektedir. Birinci aşamanın amacı, ikinci aşama kontrol sınırını belirlemek için gerekli olan kontrol altında referans veri seti oluşturmaktır. Referans veri setinin çok değişkenli normal dağılım takip ettiği varsayılır. Burada,  $m$  adet  $T^2$  değerinin oluşturulan çizelgeye işaretlenecektir. Üst kontrol sınırını aşan  $T^2$  değerine sahip gözlemler, hata kaynağı saptanırsa, ilk veri setinden atılır. Kalan gözlemlerle yeni ÜKS hesaplanır. Bu işler hiçbir nokta çizelgede ÜKS dışında kalmayınca kadar devam eder; ya da dışarıda kalan noktalar için bir açıklama getirilemiyorsa noktalar ilk veri setinden atılmaz.

## İkinci Aşama

İkinci aşamada üst kontrol sınırı

$$\dot{ÜKS} = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (2.19)$$

ile hesaplanır. Birinci aşamaya benzer şekilde  $p$ , kalite değişkeni sayısını;  $n$ , altgrup genişliğini;  $m$ , altgrup sayısını ifade etmektedir. Ancak burada  $m$ , referans veri setindeki alt grup sayısıdır. Lowry vd<sup>(35)</sup> değişken sayısı ve altgrup hacmi  $T^2$  istatistiğinin dağılımını arttıkça  $\chi^2$  dağılımına yaklaştırmak için gerekli gözlem sayısının belirlenmesi konusunda çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kalite değişken sayısının farklı değerleri ( $p=2, 3, 4, 5, 10, 20$ ) ve farklı altgrup genişliği ( $n=3, 5, 10$ ) ile  $m$  altgrup sayısının minimum değerinin belirlenmesine yönelik tablolar oluşturulmuştur. Örneğin altgrup genişliğinin 10'dan büyük olması ( $n>10$ ) durumunda değişken sayısı fazla bile olsa 50 veya daha fazla alt grubun yeterli olduğunu gösterilmektedir.

Montgomery<sup>(1)</sup> ye göre alt grup sayısının ( $m$ ) 20 veya 25 olması durumunda her iki aşama içinde  $\chi^2$  dağılımını kullanmak uygundur. Yani referans veri setindeki alt grup sayısının büyümesi halinde  $\mu$  ve  $\Sigma$  büyük bir referans veri setinden elde edilecek ve ÜKS her iki aşama için de  $\chi^2$  dağılımı takip edecektir.

Mason vd<sup>(34)</sup>, küçük  $T^2$  değerlerinin de özel bir nedene bağlı olabileceği göz önünde bulundurularak sıfırdan farklı bir alt kontrol sınırı kullanılmasını önermektedirler. Buna göre üst kontrol sınırının belirlendiği güven düzeyi,  $\alpha$ ,ikiye bölünerek ( $\alpha/2$ ) alınarak eğrinin iki yanına dağıtılır.

### 2.2.5. Hotelling $T^2$ Çizelgelerinde Kontrol Dışı Sinyallerin Yorumlanması

Tek değişkenli kontrol çizelgelerinde sinyal oluşmasının nedeni ortalamadaki kayma ve/veya varyans yapısındaki değişikliklerdir.  $\bar{X}$  çizelgesi ile ortalamadaki kayma,  $R$  çizelgesi ile de varyans yapısındaki değişiklikler belirlenmektedir. Çok değişkenli kalite kontrol ise daha karışıkır. Sinyal, değişkenlerin bireysel olarak kontrol dışında olması nedeniyle ve/veya değişkenler arasındaki ilişki nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Ayrıca çok değişkenli süreçlerde  $p$  boyutlu vektörün tek bir istatistiğe dönüştürülmesi sinyal nedenlerinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır<sup>(35)</sup>. Hataya neden olan değişkenin (değişkenlerin) belirlenmesinin zorluğunu Alt<sup>(6)</sup>, Chua vd<sup>(12)</sup>, Doganaksoy<sup>(7)</sup>, Jackson<sup>(4)</sup>, Murphy<sup>(11)</sup>, Pignatiello vd<sup>(5)</sup>, Lowry vd<sup>(10)</sup> ayrıntılı olarak tartışmışlardır.

Jackson<sup>(4)</sup> ve Pignatiello vd<sup>(5)</sup> sinyallerin yorumlanmasında Ana Bileşen Analizi (ABA) yöntemini önermişlerdir. Kovaryans matrisi kullanılarak etkileşimli değişkenler etkileşimsiz (bağımsız) değişkenler haline dönüştürülür. Bu yaklaşımda  $T^2$  istatistiği orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonu olan ana bileşenlerin bağımsız karelerine ayrıştırılır. Ana bileşenlerin orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonu olması sinyal yorumunu zorlaştırmaktadır.

Alt<sup>(6)</sup> ve Doganaksoy vd<sup>(7)</sup> çok değişkenli kontrol çizelgelerinde kontrol dışı sinyallerinin yorumlanmasında, hangi değişken ortalamasının kaydığının belirlenmesinde Bonferroni aralıklarının kullanılmasını önermiştir. Blazek vd<sup>(8)</sup> ve Fuchs vd<sup>(9)</sup> çok değişkenli ve tek değişkenli çizelgeleri, tek çizelge üzerinde grafik olarak göstermeyi önermişlerdir. Lowry vd<sup>(10)</sup> çok değişkenli EWMA istatistiğinin küçük ortalama kaymalarını saptamada daha etkili olması nedeniyle bu yöntemle tercih edilmesini önermiştir.



Murphy<sup>(11)</sup>  $p$  değişikenden oluşan  $\bar{X}_j$  vektörünü sinyale neden olmasından şüphe edilen  $q$  adet değişken ve  $(p-q)$  adet şüphesiz değişikenden oluşmak üzere iki kümeye bölmeyi önermektedir. Ancak bu yöntem sadece  $\Sigma$  bilinmesi durumu için geçerlidir. Ayrıca uygulamada her zaman sinyale neden olacak değişkenlerin sezgisel olarak belirlenmesi mümkün değildir. Değişken sayısının artması da sürecin tanımlanmasında belirsizliği arttıracığından hatalı sonuca yol açabilecektir. Chua vd<sup>(12)</sup>, değişkenlerin olası tüm alt kümelerini test eden bir yöntem önermiştir. Böylece belirsizlik azaltılacaktır. Ancak işlem fazlalığı nedeniyle pratikte uygulanması zordur.

Hawkins<sup>(13)</sup> sinyal yorumunda regresyon modellerinin kullanımını önermiştir. Önerdiği yöntemde gözlenen değişkenlerin kendi aralarında regresyon modelleri oluşturularak artık terimi (residual term) için kontrol çizelgesi oluşturulmaktadır. Bu yöntem özellikle değişkenler arasında yüksek düzeyde ve karmaşık kovaryans yapıları bulunduğunda faydalı olmaktadır.

Hayter vd<sup>(14)</sup> her bir değişkenin ortalamasına ait güven aralıklarının eşzamanlı incelenmesine dayanan bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem normal dağılım varsayımının geçersiz olduğu durumlarda da kullanılabilir<sup>(1)</sup>. Lowry vd<sup>(10)</sup> bu yöntemin geleneksel Bonferroni eşitsizliği yaklaşımından daha etkili olduğunu belirtmektedir.

Mason vd<sup>(15)</sup> Ana Bileşen Analizinden yola çıkarak  $T^2$  istatistiğinin bağımsız parçalara ayrılmasına yönelik bir yaklaşım geliştirmiştir. MYT ayrıştırma yöntemi hem değişkenlerin tek tek kontrol dışında olup olmadığı hem de değişkenler arasındaki ilişkinin veri setinin yapısına uyup uymadığı hakkında bilgi vermektedir. Bu yöntem ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

## 2.2.6. Mason Young Tracy (MYT) Ayırıştırma Yöntemi

Mason Young Tracy (MYT) ayırıştırma yönteminde  $T^2$  istatistiği koşullu ve koşulsuz olarak adlandırılan bağımsız bileşenlere ayırıştırılmaktadır. MYT yönteminde  $T_{(i)}^2$  terimi koşulsuz bileşeni,  $T_{(i,j)}^2$  terimi ise koşullu bileşeni ifade etmektedir. Koşulsuz bileşen değişkenlerin tek tek kontrol dışında olması durumunda, koşullu bileşen değişkenler arasındaki ilişkinin veri setinin yapısına uymaması durumunda sinyal oluşturmaktadır (29,30,35).

$X' = (X_1, X_2, \dots, X_p)$  gözlem vektörü için  $T^2$  istatistiği

$$T^2 = (X - \bar{X})' (S)^{-1} (X - \bar{X}) \quad (2.20)$$

şeklinde ifade edilir..

$X^{p-1'} = (x_1, x_2, \dots, x_{p-1})$   $p$ . değişkenini içermeyen,  $(p-1)$  değişkeni gösteren  $(p-1)$  boyutlu vektör ve  $\bar{X}^{(p-1)}$ ,  $(p-1)$  değişkene ait ortalama vektörü olmak üzere  $(X - \bar{X})$  vektörü

$$(X - \bar{X})' = \left[ (X^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)}), (x_p - \bar{x}_p) \right]' \quad (2.21)$$

şeklinde parçalayalım. Benzer şekilde  $S$  matrisini parçaladığımızda

$$S = \begin{bmatrix} S_{XX} & s_{xX} \\ s'_{xX} & s^2_{xx} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$S_{XX}$ , ilk  $(p-1)$  değişken için  $(p-1)(p-1)$  boyutunda olan kovaryans matrisi;  $s_{xX}$ ,  $p$ . değişken ( $x_p$ ) ile diğer  $(p-1)$  değişken arasındaki kovaryans yapısını gösteren  $(p-1)$  boyutunda vektör;  $s^2_{xx}$  ise  $x_p$ ' nin varyansını vermektedir.

(2.20) eşitliğinde verilen  $T^2$  istatistiğini iki bağımsız terime parçalarsak

$$T^2 = T_{p-1}^2 + T_{p,1,2,\dots,p-1}^2 \quad (2.23)$$

Burada ilk terim

$$T_{p-1}^2 = \left( X^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)} \right)' S_{XX}^{-1} \left( X^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)} \right) \quad (2.24)$$

şeklinde ifade edilir ve ilk  $(p-1)$  değişkeni kullanan kendi başına  $T^2$  istatistiğidir. Bu terim koşulsuz terim olarak adlandırılır. 2.23 eşitliğindeki ikinci terim koşullu terim olarak adlandırılmaktadır.  $B_p' = S_{XX}^{-1} s_{xX}$   $X_p$ 'nin  $(p-1)$  değişken üzerindeki, regresyon katsayılarının tahminin gösteren  $(p-1)$  boyutlu vektörü ve

$$\bar{x}_{p,1,2,\dots,p-1} = \bar{x}_p + B_p' \left( X^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)} \right) \quad (2.25)$$

olmak üzere koşullu terimin genel hali

$$T_{p,1,2,\dots,p-1}^2 = \frac{\left( x_p - \bar{x}_{p,1,2,\dots,p-1} \right)^2}{s_{p,1,2,\dots,p-1}^2} \quad (2.26)$$

şeklinde. Koşullu terimin paydasında yer alan koşullu varyansın tahmini ise

$$s_{p,1,2,\dots,p-1}^2 = s_p^2 - s_{xX}' S_{XX}^{-1} s_{xX} \quad (2.27)$$

ile hesaplanır.

(2.23) ile verilen denklemde ilk terim benzer şekilde iki ortogonal terime ayrılabilir.

$$T_{p-1}^2 = T_{p-2}^2 + T_{p,1,2,\dots,p-1}^2 \quad (2.28)$$

$T^2$  istatistiğinin olası ayrıştırmalarının tekrarı sonucunda

$$T^2 = T_1^2 + T_{2,1}^2 + T_{3,1,2}^2 + \dots + T_{p,1,2,\dots,p-1}^2 \quad (2.29)$$

elde edilir. 2.29 eşitliğindeki ilk terim  $X$  vektörünün birinci değişkeni için tek değişkenli  $t$  istatistiğinin karesidir.

$$T_1^2 = \frac{\left( x_1 - \bar{x}_1 \right)^2}{s_1^2} \quad (2.30)$$

ile hesaplanır.

Koşullu terimin payındaki ifade  $j$ . değişken ile bu değişkenin diğer değişkenler kullanılarak elde edilen tahmin değeri arasındaki farkı ifade etmektedir ve regresyon denkleminin artanı olarak adlandırılmaktadır. Artan biriminin büyük olması regresyon modelinin yanlış kurulduğunu göstermektedir. Regresyon modelinin doğru kurulması hem ani süreç değişikliklerinin hem de aşamalı süreç değişikliklerinin belirlenmesinde MYT ayrıştırma yönteminin duyarlılığını arttırmaktadır. Birinci aşamada modelin doğru kurulması ani süreç değişikliklerinin belirlenmesini, ikinci aşamada artan değerlerin eğilimi de aşamalı (küçük ama sabit değişimler) süreç değişikliklerinin belirlenmesinde MYT ayrıştırma yönteminin duyarlılığını arttırmaktadır<sup>(36)</sup>.

### 2.2.6.1. Ayrıştırma Terimlerinin Hesaplanması

MYT ayrıştırma terimleri farklı yollarla hesaplanmaktadır. 2.23 eşitliğinde verilen  $T^2$  istatistiğinin ilk teriminin  $X^{(p-1)'} = (x_1, x_2, \dots, x_{p-1})$  alt vektörünün  $T^2$  değerine uyduğunu biliyoruz. Böylece

$$T_{(x_1, x_2, \dots, x_{p-1})}^2 = T_1^2 + T_{2,1}^2 + T_{3,1,2}^2 + \dots + T_{p-1,1,2, \dots, p-2}^2 \quad (2.31)$$

yazılabilir. Benzer şekilde ilk  $(p-2)$  terimi  $X'_{(p-2)} = (x_1, x_2, \dots, x_{p-2})$  alt vektörü  $T^2$  değerine uyar,

$$T_{(x_1, x_2, \dots, x_{p-2})}^2 = T_1^2 + T_{2,1}^2 + T_{3,1,2}^2 + \dots + T_{p-2,1,2, \dots, p-3}^2 \quad (2.32)$$

Bu şekilde devam edilerek orijinal  $X$  vektörünün tüm alt vektörleri için  $T^2$  değerleri hesaplanabilir. İlk bileşeni içeren son alt vektör  $X_{(1)} = (x_1)$  (2.30) eşitliğinde verilen koşulsuz terimin hesabında kullanılır.  $T_{(x_1)}^2 = T_1^2$

Tüm  $T^2$  değerleri  $T^2_{(x_1, x_2, \dots, x_p)}, T^2_{(x_1, x_2, \dots, x_{p-1})}, \dots, T^2_{(x_1)}$

$$T^2_{(x_1, x_2, \dots, x_j)} = (X^{(j)} - \bar{X}^{(j)})' S_{jj}^{-1} (X^{(j)} - \bar{X}^{(j)}) \quad (2.33)$$

genel formülü kullanılarak hesaplanır. Burada  $X^{(j)}$  uygun alt vektör,  $\bar{X}^{(j)}$  bu alt vektörün ortalaması,  $S_{jj}$  ise (2.22) eşitliğinde verilen  $S$  matrisinin kullanılmayan tüm satır ve sütunların silinmesi ile elde edilen alt kovaryans matrisini göstermektedir.

Böylece MYT ayrıştırma terimleri

$$\begin{aligned} T^2_{p-1, 2, \dots, p-1} &= T^2_{(x_1, x_2, \dots, x_p)} - T^2_{(x_1, x_2, \dots, x_{p-1})} \\ T^2_{p-1, 1, 2, \dots, p-2} &= T^2_{(x_1, x_2, \dots, x_{p-1})} - T^2_{(x_1, x_2, \dots, x_{p-2})} \\ &\vdots \\ T^2_{2, 1} &= T^2_{(x_1, x_2)} - T^2_1 \\ T^2_1 &= \frac{(x_1 - \bar{x}_2)^2}{s_1^2} \end{aligned} \quad (2.34)$$

ile hesaplanır.

### 2.2.6.2. MYT Ayrıştırma Yönteminin Özellikleri

1)  $T^2$  istatistiğini  $p!$  biçimde ayrıştırabiliriz.  $p=3$  değişken için  $3!=6$  ayrışım vardır.

$$\begin{aligned} T^2 &= T^2_1 + T^2_{2,1} + T^2_{3,1,2} \\ &= T^2_1 + T^2_{3,1} + T^2_{2,1,3} \\ &= T^2_2 + T^2_{3,2} + T^2_{1,2,3} \\ &= T^2_2 + T^2_{1,2} + T^2_{3,1,2} \\ &= T^2_3 + T^2_{1,3} + T^2_{2,3,1} \\ &= T^2_3 + T^2_{2,3} + T^2_{1,2,3} \end{aligned} \quad (2.35)$$

2) MYT ayrıştırmasında her ayrıştırmada  $p$  terim vardır. üç değişken için farklı her ayrıştırma satırı üç terimden oluşmaktadır.

3) MYT ayrıştırmasında  $p \times p!$  terim hesaplanmaktadır.

4) Parçalanmada belli bir terim birden fazla bulunacaktır. Mümkün olan ayrışımlarda  $p(2^{(p-1)})$  farklı terim vardır.

5) MYT ayrışımında  $p(2^{p-1}-1)$  farklı koşullu terim vardır.

### 2.2.6.3. Sinyal Veren Değişkenlerin Belirlenmesi ve Yorumu

Koşulsuz terim hesabı  $X$  gözlem vektöründeki  $j$ . değişkenin gözlem değerine ait tek değişkenli  $t$  istatistiğini vermektedir ve değişkenin kontrol sınırları dışında olması durumunda sinyal oluşturmaktadır. Değişkenlerin tek tek koşulsuz terimler için çizelgelenmesi ve tek değişkenli Shewhart kontrol çizelgesine eşdeğerdir. Her  $p$  değişkeni için Shewhart çizelgeleri oluşturulduğunda kontrol sınırları  $p$  boyutlu dikdörtgen prizma (kutu) şeklinde olacaktır. Gözlem vektörünün kutunun dışında olması durumunda koşulsuz terim sinyal oluşturacak ve değişkenin kontrol dışı olduğunu ifade edecektir.

Genel  $T^2$ 'nin sinyale oluşturduğu ancak koşulsuz terimlerin sinyal oluşturmadığı durumlarda ise koşullu terimleri incelemek yararlı olacaktır.  $p$  değişken için koşullu terimlerin elipsoid dışında olması sinyale neden olacaktır. Koşullu terimler değişkenler arasındaki ilişki yapısı hakkında bilgi vermektedir.

MYT ayrıştırma yöntemi  $T^2$  istatistiğinin yorumlanmasını kolaylaştırır. Ancak değişken sayısının artması ile ( $p > 10$ ) terim sayısı artacağından hesaplamalar zorlaşacaktır. Bu nedenle sinyalin belirlenmesi ve yorumlanmasına ilişkin bir

algoritma geliştirilmiştir. Algoritma koşulsuz terimlerden başlayarak, artan koşullu terimlere (ikili, üçlü..) doğru bir yol izlemektedir. Koşullu ve koşulsuz terimler hesaplanan kritik değerlerle karşılaştırılır.

Koşulsuz terim için kritik değer

$$KD = \left( \frac{n+1}{n} \right) F_{(\alpha,1,n-1)} \quad (2.36)$$

Koşullu terim için kritik değer

$$KD = \left[ \frac{(n+1)(n-1)}{n(n-k-1)} \right] F_{(\alpha,1,n-k)} \quad (2.37)$$

ile hesaplanmaktadır.  $n$ , referans veri setindeki altgrup sayısını,  $k$  kullanılan değişken sayısını ifade etmektedir.

Bu yöntem diğer yöntemlere göre hata teşhisine daha az hesaplama ile daha çabuk ulaşmaktadır<sup>(29,35)</sup>. Yöntemin ayrıştırma algoritması Şekil 2.6'da verilmektedir.

**Adım 1:**  $X$  gözlem vektöründeki her bir değişken için koşulsuz terimleri ( $T_i^2$ ) hesaplanır, kritik değerden büyük ( $T_i^2$ ) değerine sahip olan değişkenleri vektörden çıkarılır, kalan alt vektör için  $T^2$  kontrol edilir. Eğer sinyal yoksa sinyal kaynağı koşulsuz terimlerdir. Sinyal varsa Adım 2'ye geçilir.

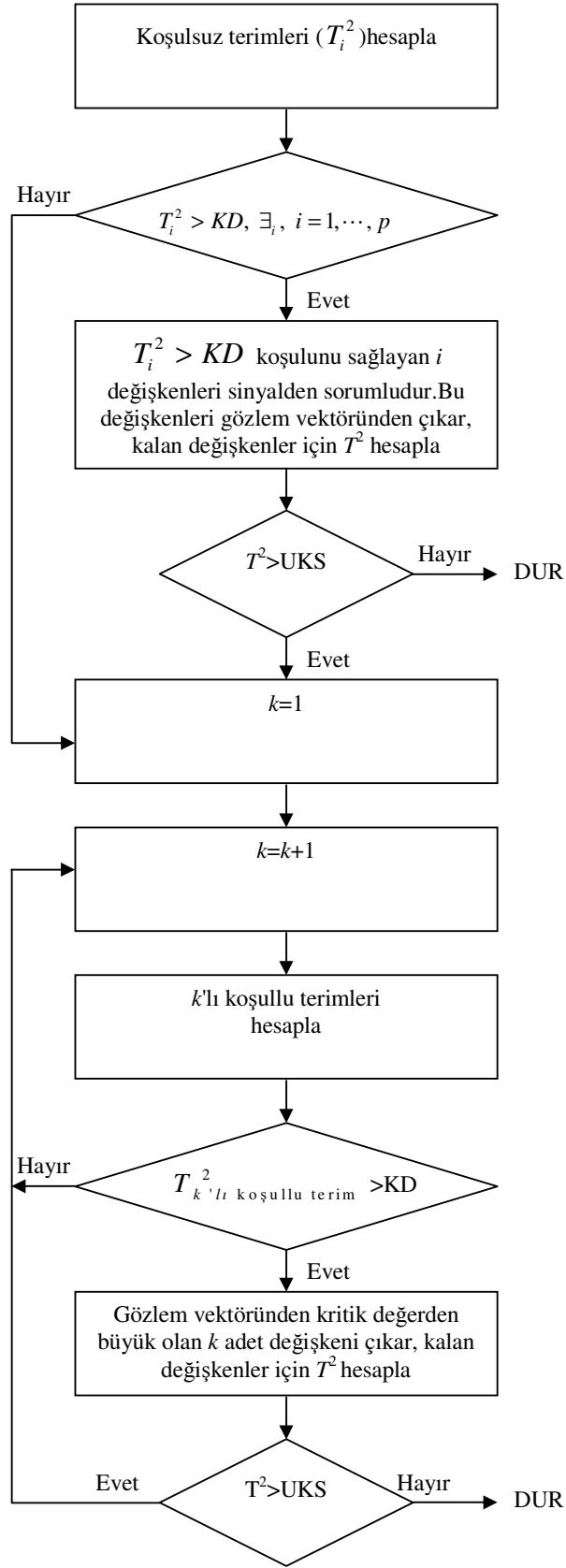
**Adım 2:** Kalan alt vektördeki değişkenler için koşullu terimler ( $T_{i,j}^2$ ) hesaplanır. Kritik değerden büyük ( $T_{i,j}^2$ ) değerine sahip olan tüm  $(x_i, x_j)$  değişken çiftleri vektörden çıkarılır. Bu durum sinyal nedeninin değişkenlerin ikili ilişkileri olduğunu ifade etmektedir. Kalan alt vektör için  $T^2$  kontrol edilir. Eğer sinyal yoksa sinyal kaynağı ikili koşullu terimlerdir. Sinyal varsa Adım 3'e geçilir.

**Adım 3:** Kalan alt vektördeki değişkenler için koşullu terimler ( $T_{i,j,k}^2$ ) hesaplanır. Kritik değerden büyük ( $T_{i,j,k}^2$ ) değerine sahip olan tüm ( $x_i, x_j, x_k$ ) değişkenleri vektörden çıkarılır. Kalan alt vektör için  $T^2$  kontrol edilir. Eğer sinyal yoksa sinyal kaynağı ikili koşullu terimlerdir. Sinyal varsa Adım 4'e geçilir.

**Adım 4:** Vektör içersinde değişken kalmayana kadar adımlar takip tekrarlanır.

Hawkins de tanımlanan 5 değişkenli örnek için Hawkins<sup>(35)</sup> 80 hesaplama ile sonuca ulaşırken, MYT yöntemi 17 hesaplama ile sonuca ulaşmaktadır; en kötü durumda tüm terimler incelenerek hata kaynağına ulaşılmaktadır.





**Şekil 2.6** MYT Ayrıştırma Yönteminin Akış Şeması

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. Sürecin Tanımı

Uygulama pirinç dökümü gerçekleştiren bir fabrikada yapılmıştır. Fabrikada şu ana kadar istatistiksel kalite kontrol çizelgeleri uygulanmıştır. Döküm süreci, metal üretme fırınlarından elde edilen eriyik haldeki metalin kullanım amacına göre gerekli şekil verilerek katılaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Çalışmaya konu olan pirinç, tabii olarak bulunmayıp döküm yoluyla üretilen bakır - çinko ve gerekli hallerde kurşundan oluşan bir alaşımdır.

Dünya standardı olarak belirlenmiş ve DIN 17660 olarak adlandırılmış on dokuz çeşit pirinç mevcuttur. Bu pirinçler içerdikleri element yüzdelere göre farklılık gösterirler ve isimlendirilirler. Çalışmada kullanılan pirinç çeşidi MS 58 olarak adlandırılmaktadır. MS 58 pirincinin içerdiği ağırlık cinsinden element yüzdeleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

**Çizelge 3.1** MS 58 İçeriğindeki Element Yüzdeleri

<b>MS 58</b>		
	<b>Min(%)</b>	<b>Maks(%)</b>
<b>Cu</b>	57	59
<b>Pb</b>	2.5	3.5
<b>Al</b>	0	0,1
<b>Fe</b>	0	0,5
<b>Ni</b>	0	0,5
<b>Sb</b>	0	0,02
<b>Sn</b>	0	0,4
<b>Diğer</b>	0	0,3
<b>Zn</b>	Geri kalan	

Çizelge 3.1’de verilen min sütunu elementlerin alaşımında bulunması gereken en az yüzde değerini, maks sütunu ise elementlerin alaşımında bulunması gereken en fazla yüzde değerini vermektedir. Pirinç; Bakır(Cu), Kurşun(Pb), Alüminyum(Al), Demir(Fe), Nikel(Ni), Kalay(Sb), Antimon(Sn) elementlerinden oluşmaktadır. Diğer satırı ise oranları çok küçük olan ve alaşım için bir önem arz etmeyen empüritelerin (saflığı bozan maddelerin) toplamını ifade eder. Minimum ve maksimum oranlarının dışına çıkan bir element alaşımın yapısını bozduğu için, pirinç hatalı kabul edilmektedir.

Fabrikada kokil kalıp, yarı sürekli ve sürekli olmak üzere üç tür döküm gerçekleştirilmektedir. Firma pirinç üretiminde telekom kabloları, bakır ve pirinç hurdaları, kovan kapçık hurdaları, bronz talaş ve hurdası, radyatör hurdası, araiş sonucu ortaya çıkan hurdalar, reganya takozlar (ergitme ocaklarında hurdalar eritildiğinde üst kısımda oluşan kül tabaka alınır. Tamamen cüruf olmayan bu tabakadan elde edilen dökümlere de reganya adı verilmektedir.) gibi hurdaları ve saf malzemeleri kullanmaktadır. Ara iş ve reganya dışındaki hurdalar dışardan elde edilmektedir. Ara iş üretimin çeşitli aşamalarında oluşmaktadır. Örneğin;

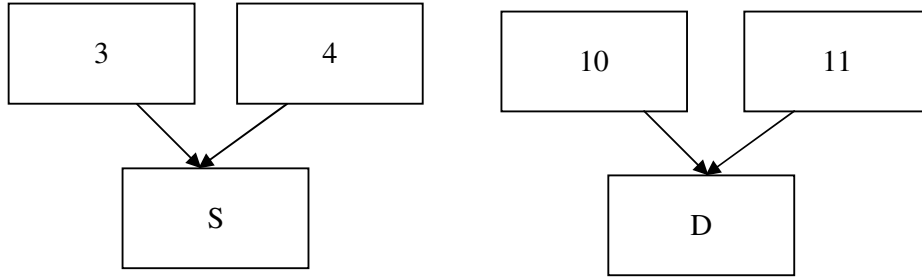
Dökümhane ara işleri: Testere talaşları, takoz (ingot) başları, bozuk veya tamamen çatlak ingotlar

Pres atölye ara işleri: Takozlardan alınan kabuklar, takoz basıldıktan sonra kalan kısımlar, testere talaşları

Haddehane ara işleri: Lamaların baş kısımları, dönen bozuk işler fabrikada kullanılan ara işlerdir.

Hurdalar niteliklerine göre ayrılıp ölçümlendirilmektedir. Kalay, antimon, nikel, demir, alüminyum gibi empüriteler de hurdalarda bulunduğu karışımda

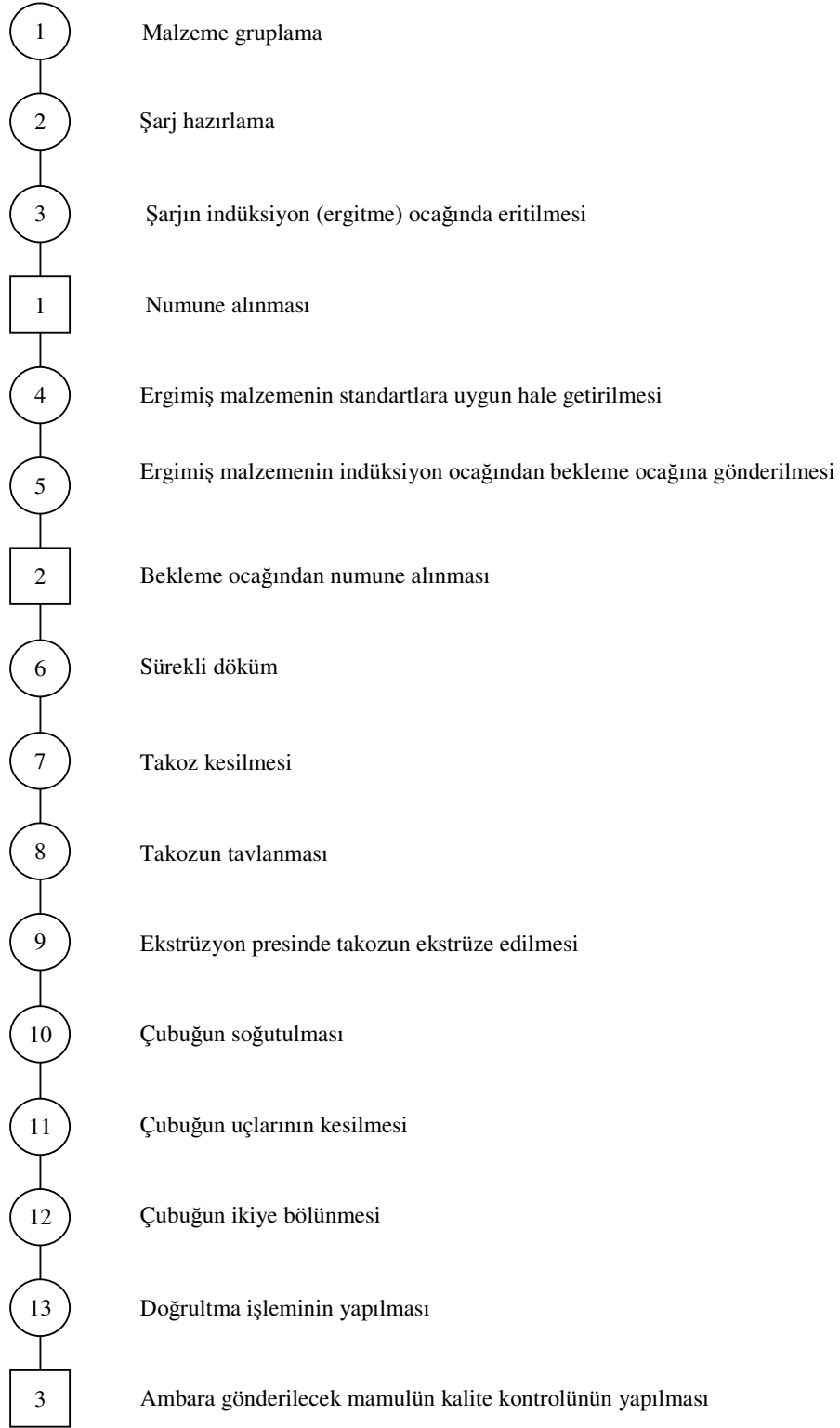
yer almaktadır. Firmada sekiz ergitme ocağı 1, 3, 4, 6, 7, 10, 11 ve 12 numaralı ocaklar mevcuttur. Ergitme ocaklarından eriyikler dinlendirme ocaklarına dökülmektedir. Büyük ve küçük olmak üzere iki tane dinlendirme ocağı (S,D) mevcuttur. Şekil 3.1’de görüleceği gibi 3 ve 4 numaralı ergitme ocakları küçük dinlendirme ocağına (S), 10 ve 11 numaralı ergitme ocakları da büyük dinlendirme ocağına (D) boşaltılmaktadır. Talebe göre 1, 6, 7 ve 12 numaralı ocaklar da kullanılmaktadır.



**Şekil 3.1** Ergitme ve Dinlendirme Ocakları

Eriyik hurdalardan belli periyotlarda örnek alınarak (hem ergitme hem de dinlendirme ocaklarından) ölçüm değerleri kaydedilmektedir. Standartlara uygun hale getirmek için bu ölçüm değerlerine göre işlem yapılmaktadır. Element oranı fazla çıkmışsa öncelikle saf çinko (Zn) ve bu çinkonun eklenmesiyle oranı standartlar dışına çıkacak elementten gerekli miktar ocağa ilave edilerek oran sağlanmaya çalışılır. Alüminyum fazla ise ocak ısı artırılır, yoğunluk farkı ile üste gelen element oksijenle temas eder ve cüruf oluşturur. Eğer ocakta farklı bir ürünün dökümüne geçilecekse, bir önceki ürünün dökümünden belli bir miktar ocakta hala kaldığı için ocağa saf bakır veya çinko ilave edilir. Yeni ürünün bakır oranı bir öncekinden yüksek ise saf bakır, düşük ise saf çinko ilave edilerek ocaktaki karışımın

empürite oranları yeni ürünün seviyesine çekilir. Genel piriç dökümüne de örnek olması açısından çubuk üretim sürecinin akış Şekil 3.2’de verilmektedir.



**Şekil 3.2** Çubuk Üretim Sürecinin Akış Şeması

Çubuk üretim süreci akış şemasındaki işlemler (Şekil 3.2) ayrıntılarıyla şöyledir.

- (1) Piyasadan gelen malzemelerle uygun şarj hazırlamak için malzemeler gruplandırılır.
- (2) Hurdalar DIN normunda ifade edilen pirinçlerin kompozisyonlarına uygun olarak birleştirilerek şarj hazırlanır.
- (3) Dökümhaneye gelen şarj ergitme ocağına boşaltılarak tamamen eriyik olana kadar bekletilir.
- (Kontrol 1)** Ergitme ocağında erimiş malzemedan numune alınarak kalite kontrol bölümünde spektral analizle kompozisyonları (element yüzdeleri) belirlenir ve DIN standartlarına uygunluğu kontrol edilir.
- (4) Kalite kontrol bölümünden gelen sonuçlar değerlendirilerek eriyiği standartlara uygun hale getirmek için gerekliyse saf Cu ve Zn ilave edilir.
- (5) Eriyik dinlendirme ocağına boşaltılır.
- (Kontrol 2)** Farklı ergitme ocağından gelen malzemeler (eriyik) dinlendirme ocağında toplandıktan sonra dökümden önce numune alınarak standartlara uygunluğu incelenir. Gerekliyse müdahale edilir.
- (6) Dinlendirme ocağında bulunan eriyik soğutma kanalına alınarak katı hale getirilir. Bu noktada pirinç dökümü tamamlanır.
- (7) Dökülen pirinç istenilen uzunlukta kesilerek takoz haline getirilir.
- (8) Takozlar ekstrüzyon işlemleri için 800 C ye kadar ısıtılarak tavllanır.
- (9) Ekstrüzyon işlemi yapılır.
- (10) Ekstrüzyon sonucu elde edilen çubuklar su ile soğutulur.

(11) Ekstrüzyon sonucu çubukların uç kısımlarında oluşan hatalı kısımlar kesilir.

(12) Çubuklar ikiye bölünür.

(13) Çubuklar haddeleme ile doğrultulur.

**(Kontrol 3)** Çubuklardan rasgele zamanlarda örnekler alınarak kontrol laboratuvarlarında çap, boy, kopma dayanımı, akma sınırı, sertlik gibi fiziksel özellikleri kontrol edilir.

### 3.2. Birinci Aşamanın Uygulanması

Uygulamada pirinç içindeki elementlerin ağırlık cinsinden yüzde değerleri kalite değişkenlerimizi belirlemektedir. Bu durumda  $x_1$  = bakır yüzdesi,  $x_2$  = kurşun yüzdesi,  $x_3$ =demir yüzdesi,  $x_4$ =kalay yüzdesi,  $x_5$ =alüminyum yüzdesi (bu bölümde daha sonra anlatılacak nedenlerden dolayı  $x_5$  alüminyum yüzdesinin doğal logaritması alınacaktır),  $x_6$ =nikel yüzdesi ve  $x_7$ =antimon yüzdesini ifade etmektedir.

Çubuk üretim sürecinde (Şekil 3.2) Kontrol 1 adımında ergitme ocağından alınan numunenin spektral analizle incelenmesi sonucunda bir adet çok değişkenli gözlem vektörü elde edilir:  $X=(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$ . Ergitme ocağına her yeni şarjdan bir numune alınır, dolayısıyla yeni bir X elde edilir.

Uygulama için Eylül-Kasım aylarında alınan 3 aylık ölçüm değerleri kullanılmış ve analizlerde sadece MS 58 üretimi ele alınmıştır. Gözlemler MS 58 üretiminin sürekli gerçekleştiği tek bir ergitme ocağından (3 numaralı ocak) alınmıştır. Firmada 3 vardiya halinde çalışılmaktadır. Fabrikada önceden kontrol çizelgesi uygulaması olmadığı için rasyonel altgrup sağlayacak çerçeveyi vardiyaların oluşturduğu düşünülmüştür. Buradan hareketle her vardiyadan 3 gözlem



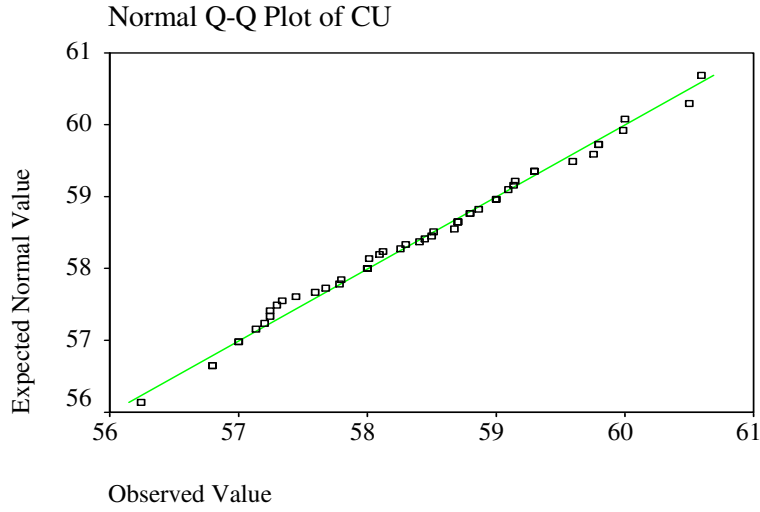
alınmış ancak 3 gözlemlili altgruplardan oluşturulan Hotelling  $T^2$  çizelgesinde aşırı sayıda kontrol dışı sinyali elde edilmiştir. Bunun iki açıklaması olabilirdi: Birinci neden sürecin kontrol altında olmaması yani normal dağılıma uymaması, ikinci neden ise rasyonel altgruplamanın doğru gerçekleştirilmesidir. İkinci seçenekten başlayarak altgrup büyüklüğü  $n=1$  alınmıştır. İleride anlatılacağı üzere hem kontrol dışı sinyallerin sayısını makul düzeye indirdiği hem de normalliğin sağlandığı testlerle gösterilmiştir. İlk veri seti olarak 07.09.04-16.09.04 tarihleri arasında alınan 55 gözlem Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2 İlk Veri Seti**

Tarih	Vardiya	Gözlem	Elemet Yüzdeleri						
			Cu	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	Sb
07.09.2004	1	1	58.8000	2.5900	0.0300	0.1400	0.0000	0.0200	0.0020
		2	60.0000	2.5300	0.0600	0.1300	0.0080	0.0600	0.0000
		3	58.1200	2.7700	0.0900	0.1800	0.0100	0.1200	0.0040
	2	4	58.2500	2.7500	0.1600	0.1700	0.0100	0.1000	0.0900
		5	56.8000	1.8000	0.1400	0.2300	0.0200	0.1600	0.0000
		6	58.7000	2.1000	0.1500	0.2800	0.0200	0.2700	0.0080
08.09.2004	1	7	60.6000	1.5700	0.0900	0.1100	0.0090	0.1200	0.0000
		8	57.7900	1.8000	0.1600	0.2100	0.0080	0.1700	0.0120
		9	59.1400	1.8800	0.1300	0.1600	0.0100	0.1200	0.0080
	2	10	58.5000	1.9000	0.1300	0.1600	0.0020	0.2000	0.0070
		11	58.0000	2.1000	0.1200	0.2000	0.0020	0.1400	0.0080
		12	59.3000	2.0000	0.1700	0.2500	0.0020	0.2000	0.0000
	3	13	58.3000	1.9700	0.1100	0.1800	0.0200	0.1600	0.0020
		14	59.9800	2.5600	0.1000	0.2100	0.0100	0.1400	0.0000
		15	59.6000	2.8600	0.0900	0.1700	0.0100	0.1200	0.0000
09.09.2004	2	16	58.0000	2.1600	0.1200	0.1200	0.0020	0.1500	0.0060
		17	57.8000	1.7000	0.0600	0.0800	0.0020	0.0600	0.0060
		18	58.7000	1.8500	0.0500	0.0700	0.0020	0.0400	0.0060
	3	19	58.8600	2.0500	0.0900	0.1500	0.0100	0.0900	0.0000
		20	59.7500	2.1500	0.0600	0.1100	0.0100	0.1000	0.0000
		21	59.3000	2.3000	0.0900	0.1800	0.0300	0.1500	0.0090
10.09.2004	2	22	58.7000	1.7000	0.0600	0.2000	0.0200	0.0800	0.0110
		23	57.3000	2.1000	0.0700	0.1000	0.0020	0.0070	0.0110
		24	57.0000	2.0000	0.1000	0.1600	0.0200	0.1400	0.0120
	3	25	57.2500	2.1100	0.2700	0.1200	0.0200	0.0800	0.0110
		26	58.5100	1.7600	0.0800	0.0900	0.0100	0.0600	0.0050
		27	59.3000	2.4400	0.0800	0.1700	0.0100	0.5100	0.0050
11.09.2004	1	28	60.5000	3.0200	0.1600	0.5000	0.0200	0.4200	0.0020
		29	58.0200	2.9600	0.1700	0.3000	0.0700	0.2600	0.0260
		30	58.0000	1.7600	0.1000	0.2100	0.0600	0.1800	0.0110
	2	31	58.0000	1.7700	0.1000	0.2200	0.0200	0.1700	0.0050
		32	59.8000	1.8800	0.1200	0.2700	0.0200	0.1500	0.0160
		33	57.2000	2.0000	0.1200	0.2500	0.0200	0.1500	0.0060
13.09.2004	3	34	58.4000	1.5700	0.1200	0.1100	0.0300	0.0800	0.0050
		35	56.8000	2.4000	0.1100	0.1100	0.0600	0.0700	0.0160
		36	58.8000	1.8800	0.1600	0.2600	0.0800	0.3000	0.1100
14.09.2004	1	37	57.6000	2.2000	0.1200	0.1300	0.1100	0.1600	0.0200
		38	59.0000	1.9900	0.1200	0.3000	0.0100	0.1900	0.0110
		39	59.1500	2.3300	0.0900	0.2300	0.0100	0.1300	0.0050
	2	40	59.0000	2.5200	0.1200	0.2300	0.0100	0.1600	0.0040
		41	58.4400	2.6200	0.1100	0.1400	0.0100	0.1200	0.0010
		42	57.2400	2.4900	0.1300	0.1700	0.0100	0.1400	0.0070
	3	43	59.0000	1.9300	0.0600	0.1200	0.0100	0.1300	0.0000
		44	59.0000	1.5200	0.1400	0.1300	0.0100	0.1400	0.0030
		45	57.0000	2.3600	0.1000	0.3000	0.0200	0.1700	0.0100
15.09.2004	1	46	59.8000	2.0500	0.0800	0.2000	0.0600	0.1100	0.0100
		47	58.6700	1.5200	0.0400	0.1200	0.0100	0.0900	0.0030
		48	56.2500	2.1500	0.0500	0.1000	0.0200	0.1800	0.0110
	2	49	57.1300	1.9000	0.1100	0.1900	0.0200	0.2500	0.0100
		50	57.6700	2.2500	0.0600	0.1700	0.0100	0.2000	0.0050
		51	57.4400	2.0200	0.0500	0.2200	0.0100	0.1100	0.0070
	3	52	57.3400	1.3400	0.0500	0.0700	0.0200	0.0500	0.0060
		53	59.1000	1.5200	0.1200	0.3000	0.0200	0.2200	0.0040
		54	58.1000	1.5500	0.1100	0.2200	0.0500	0.2000	0.0080
16.09.2004	1	55	58.0000	1.8600	0.0500	0.1000	0.0100	0.0600	0.0050

Çok değişkenli kontrol çizelgeleri değişkenlerin normal dağıldığı varsayımına dayanmaktadır. Bu nedenle değişkenlerin normal dağılıma uyup uymadığı incelenmelidir. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğunu çeşitli yöntemlerle analiz etmek mümkündür. Bu çalışmada SPSS paket programı kullanılarak çizilen Q-Q grafikleri kullanılmıştır.

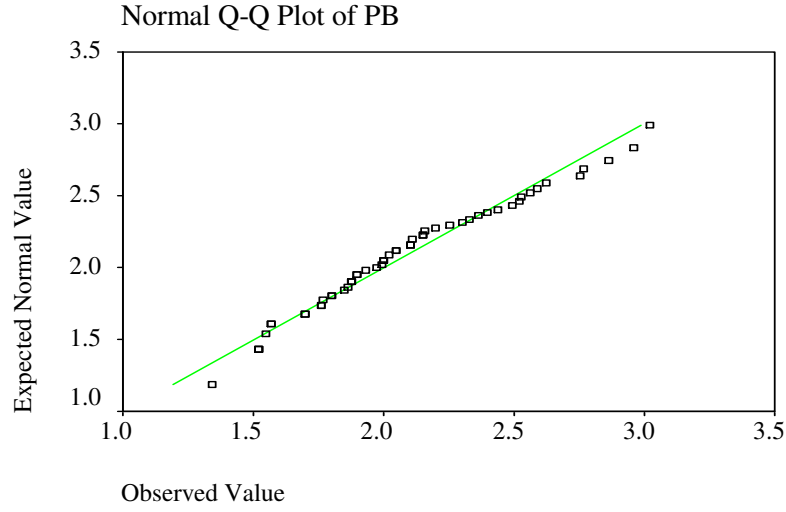
Bakır için Q-Q grafiği incelenirse;



**Şekil 3.3** Bakır ( $x_1$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

Normal Q-Q grafiklerinde eğer gözlemler yaklaşık bir doğru üzerinde sıralı ise bu gözlemlerin normal dağıldığını gösterir<sup>(37)</sup>. Dolayısıyla Şekil 3.3'e bakılarak  $x_1$  değişkeninin normal dağılıma uyduğu söylenebilir.

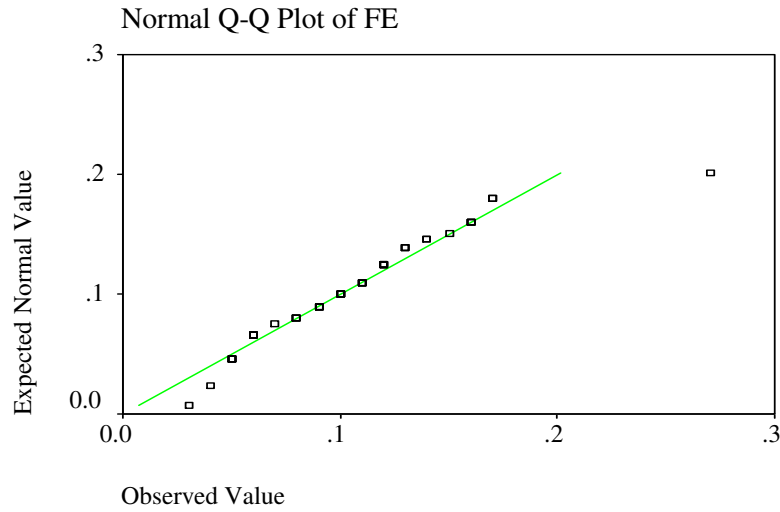
Kurşun için Q-Q grafiği incelenirse;



**Şekil 3.4** Kurşun ( $x_2$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

Şekil 3.4'de verilen Q-Q grafiği ile  $x_2$  değişkeninin normal dağılıma uyduğu söylenebilir

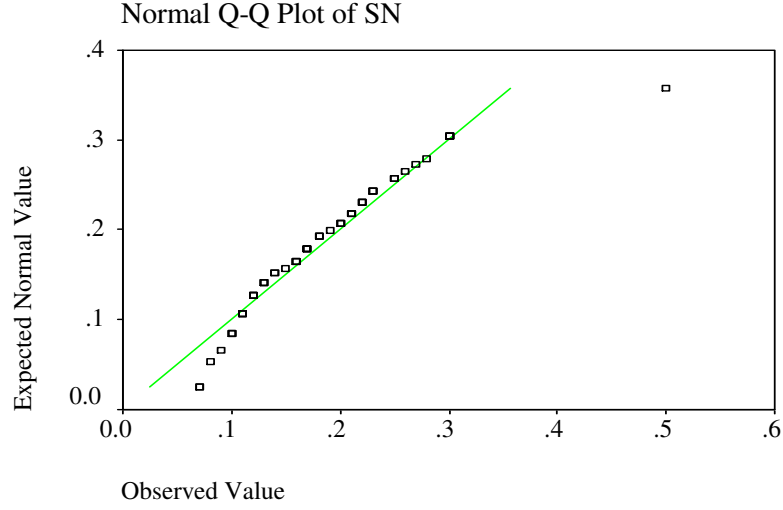
Demir için Q-Q grafiği incelenirse;



**Şekil 3.5** Demir ( $x_3$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

Şekil 3.5’de verilen Q-Q grafiği ile  $x_3$  değişkeninin normal dağılıma uyduğu söylenebilir. Ayrıca sağ köşedeki nokta sapan değer olarak tanımlanır.

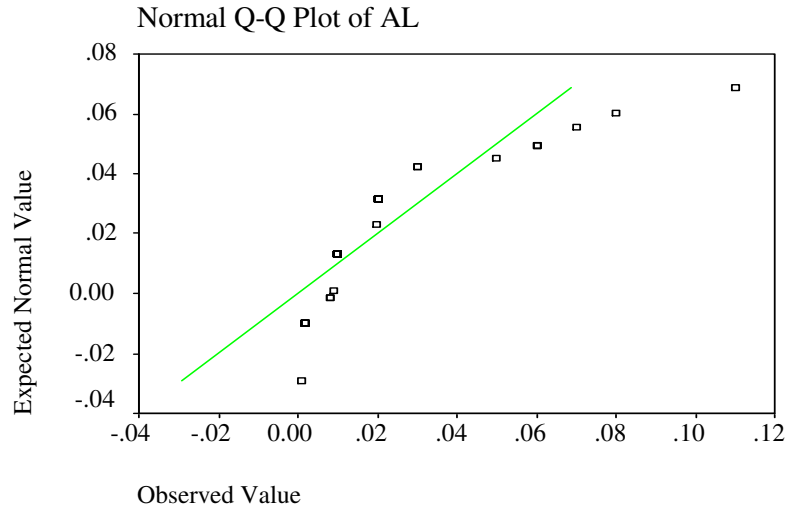
Kalay için Q-Q grafiği incelenirse;



**Şekil 3.6** Kalay ( $x_4$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

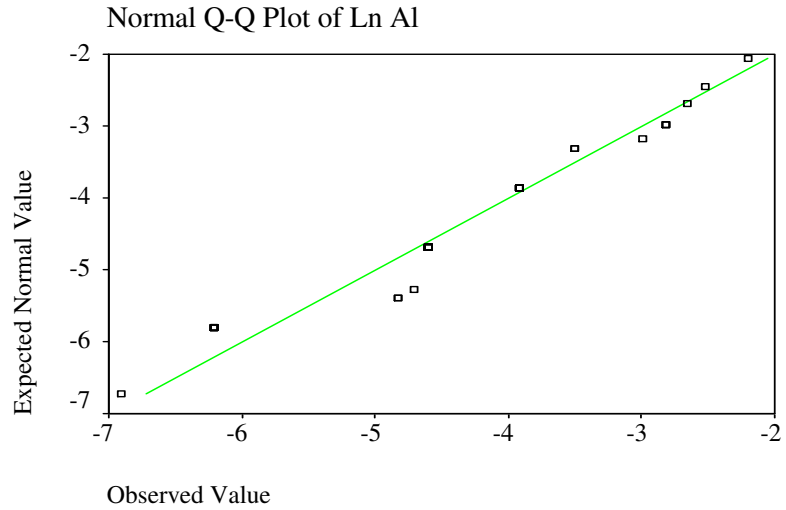
Şekil 3.6’da verilen Q-Q grafiği ile  $x_4$  değişkeninin normal dağılıma uyduğu söylenebilir. Şekil 3.5’tekine benzer şekilde sağ köşedeki gözlem sapan değer olarak tanımlanır.

Alüminyum için Q-Q grafiği incelenirse;



**Şekil 3.7** Alüminyum ( $x_5$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

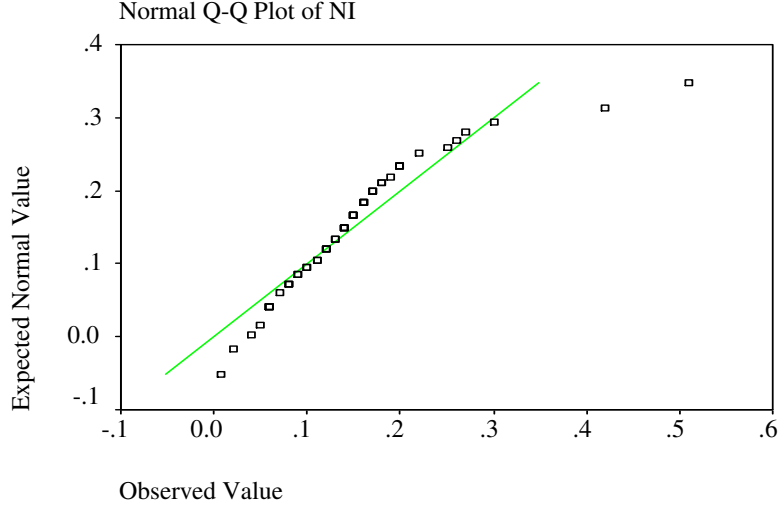
Şekil 3.7’de verilen Q-Q grafiği ile  $x_5$  değişkeninin normal dağılıma uymadığı görülmektedir. Bu durumda normalleşmeyi sağlayacak bir dönüşüm yapılması gerekmektedir. Alüminyum değerlerine doğal logaritma dönüşümü yapılarak Q-Q grafiği çizilirse;



**Şekil 3.8**  $Ln(x_5)$  Değişkenin için Normal Q-Q Grafiği

Şekil 3.8’de verilen Q-Q grafiği *alüminyum değerlerinin doğal logaritmasını* ifade eden  $x_5$  değişkeninin normal dağılıma uyduğu söylenebilir. Dolayısıyla bundan sonraki analizlerde alüminyum için  $\ln(x_5)$  değişkeni kullanılacaktır.

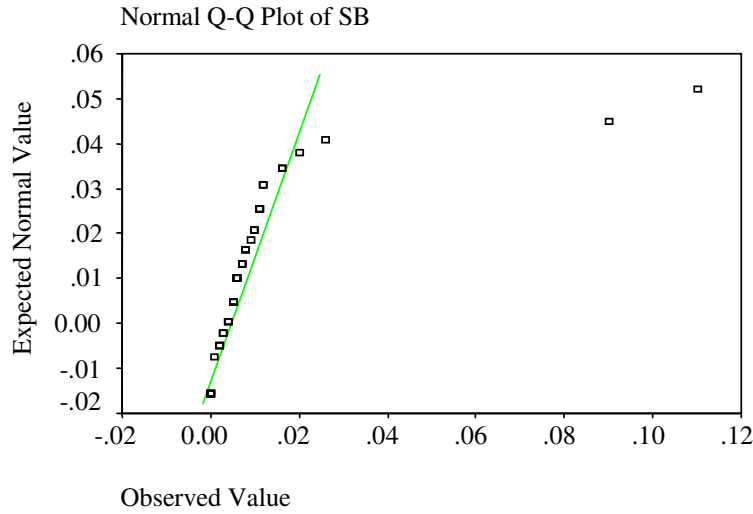
Nikel için Q-Q grafiği incelenirse;



**Şekil 3.9** Nikel ( $x_6$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

Şekil3.9’da verilen Q-Q grafiği ile  $x_6$  değişkeninin normal dağılıma uyduğu söylenebilir. Burada da iki sapan değer mevcuttur.

Antimon için Q-Q grafiği incelenirse;



**Şekil 3.10** Antimon ( $x_7$ ) Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

Şekil 3.10'da verilen Q-Q grafiği ile  $x_7$  değişkeninin normal dağılıma uyduğu söylenebilir. Antimon için de iki sapan değer mevcuttur.

İlk aşamada; ilk veri setindeki gözlemler için Hotelling  $T^2$  değerleri hesaplanacak, üst kontrol sınırını aşan gözlemler belirlenerek veri setinden atılmak suretiyle tüm gözlemlerin kontrol sınırının altında olduğu referans veri seti elde edilmeye çalışılacaktır. Bu noktadan itibaren  $x_5$  değişkeni alüminyumun doğal logaritma dönüşümünü ifade etmektedir. Bu 55 gözleme ait istatistiksel özet çizelge şöyledir:



**Çizelge 3.3** İlk Veri Seti İçin İstatistiksel Özet Tablo

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
Min	56.2500	1.3400	0.0300	0.0700	-6.9078	0.0070	0
Max	60.6000	3.0200	0.2700	0.5000	-2.2073	0.5100	0.11
Ortalama	58.4145	2.0884	0.1042	0.1818	-4.3891	0.1483	0.01
Varyans	0.9914	0.1557	0.0018	0.0059	1.0496	0.0077	0.0004
Std.Sapma	0.9957	0.3946	0.0425	0.0769	1.0245	0.0877	0.0184

Gözlemlerin korelasyon yapısı ise

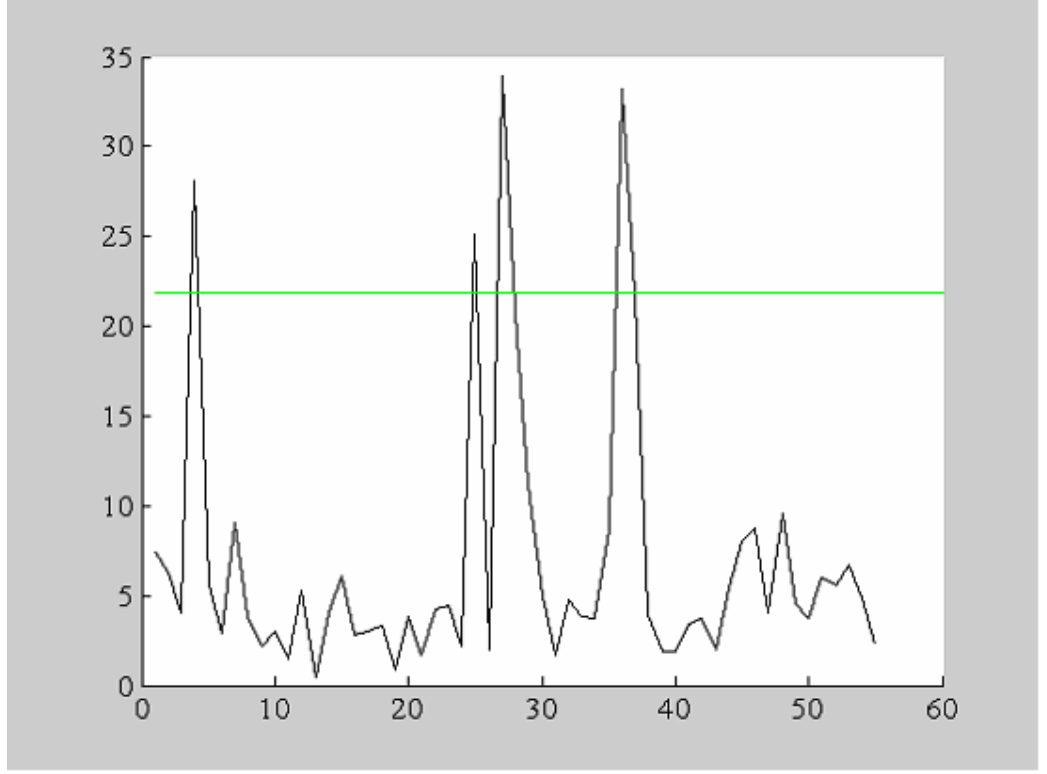
	Cu	Pb	Fe	Sn	ln(Al)	Ni	Sb
Cu	1.0000	0.1332	-0.0498	0.2349	-0.1492	0.1679	-0.0953
Pb	0.1332	1.0000	0.1442	0.3033	0.0082	0.2220	0.0990
Fe	-0.0498	0.1442	1.0000	0.4281	0.2277	0.3538	0.3187
Sn	0.2349	0.3033	0.4281	1.0000	0.1740	0.6453	0.1270
ln(Al)	-0.1492	0.0082	0.2277	0.1740	1.0000	0.2209	0.4253
Ni	0.1679	0.2220	0.3538	0.6453	0.2209	1.0000	0.1608
Sb	-0.0953	0.0990	0.3187	0.1270	0.4253	0.1608	1.0000

olarak hesaplanmıştır.

Veri sayısının fazla olması nedeniyle Üst Kontrol Sınırı ve Kritik değer hesaplarında  $\chi^2$  dağılımı kullanılacaktır<sup>(1)</sup>.

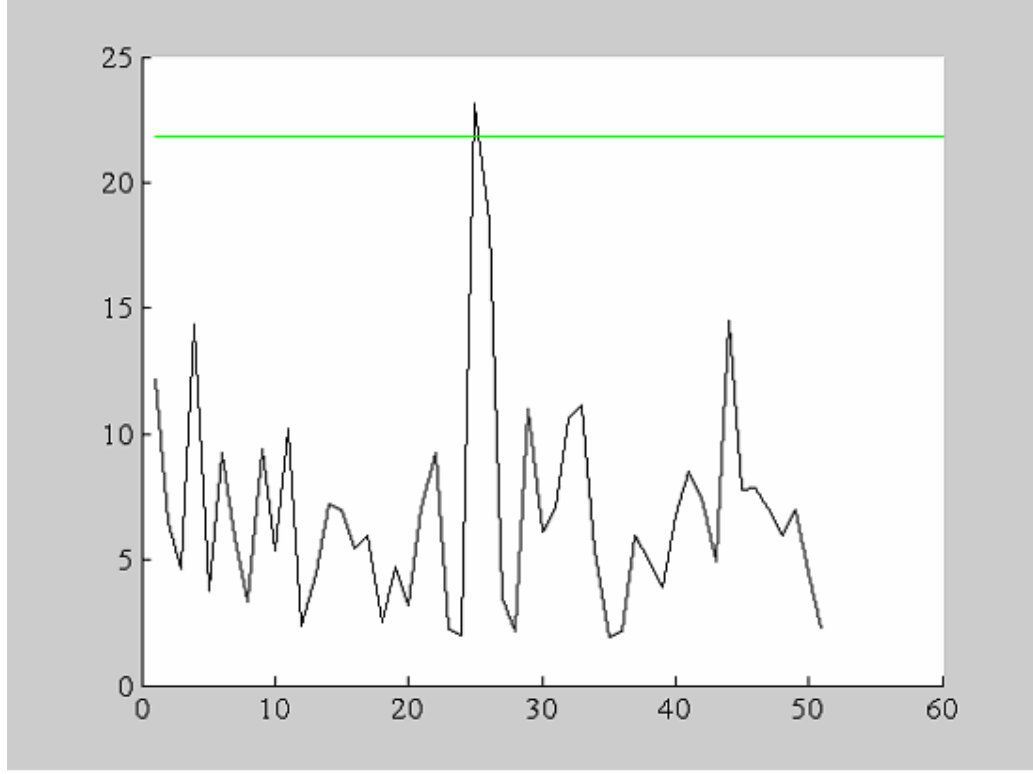
Bu çalışmada üst kontrol sınırı  $\dot{ÜKS} = \chi_{\alpha,p}^2$  ile hesaplanmıştır. Bu durumda  $\dot{ÜKS} = \chi_{0.0027,7}^2 = 21.8464$  olarak belirlenmiştir.

İlk veri setini oluşturan 55 gözlem için  $T^2$  değerleri Ek-1'de verilmiştir. Bu gözlemler için  $T^2$  kontrol çizelgesi şöyle çizilmiştir.



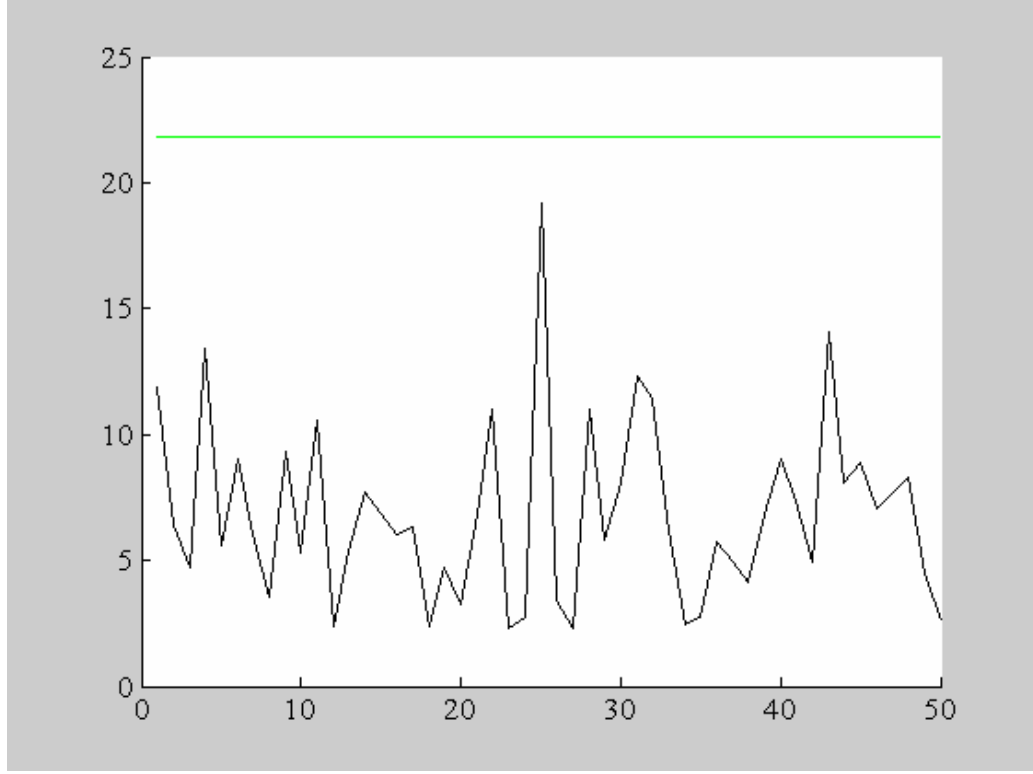
**Şekil 3.11** İlk Veri Seti (55 gözlem) için Hotelling  $T^2$  Çizelgesi

Şekil 3.11’de görüldüğü üzere 4, 25, 27 ve 63. gözlemler kontrol sınırının üstünde olduğundan ilk veri setinden çıkarılır. Kalan 51 gözlem için yeni  $T^2$  değerleri Ek-1’de yer almaktadır. Aynı gözlemler için  $T^2$  çizelgesi şekil 3.12’de verilmektedir.



**Şekil 3.12** 51 Gözlem için Hotelling  $T^2$  Çizelgesi

51 gözlemden kontrol sınırının üstünde yer alan 25. gözlem değeri de veri setinden çıkarılır. Kalan 50 gözlem için yeni  $T^2$  değerleri Ek-1'de verilmiştir. 50 gözlem için  $T^2$  çizelgesi ise Şekil 3.13'de verilmektedir.



**Şekil 3.13** 50 Gözlem için Hotelling  $T^2$  Çizelgesi

Bu durumda 50 gözlem değerinin de kontrol sınırından küçük olduğu yani kontrol dışı durumun kalmadığı referans veri seti olarak tanımlanan homojen veri setine ulaşıldığı gözlenmektedir. Bu durumda birinci aşama tamamlanmıştır.

Referans veri seti için istatistiksel özet çizelge Çizelge 3.4'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Referans Veri Seti İçin İstatistiksel Özet Tablo

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
Min	56.2500	1.3400	0.0300	0.0700	-6.9078	0.0070	0
Max	60.6000	2.9600	0.1700	0.3000	-2.2073	0.2700	0.0260
Ortalama	58.3740	2.0532	0.0980	0.1756	-4.4368	0.1349	0.0066
Varyans	0.9549	0.1402	0.0011	0.0041	1.072	0.0035	0.00003
Std.Sapma	0.9772	0.3745	0.0345	0.0648	1.0356	0.0592	0.0055

Korelasyon yapısı ise

	Cu	Pb	Fe	Sn	ln(Al)	Ni	Sb
Cu	1.0000	0.0398	-0.0246	0.0647	-0.1596	-0.0945	-0.3998
Pb	0.0398	1.0000	0.0751	0.1842	-0.0378	0.0699	0.0975
Fe	-0.0246	0.0751	1.0000	0.5636	0.2038	0.6606	0.2646
Sn	0.0647	0.1842	0.5636	1.0000	0.2862	0.7006	0.2535
ln(Al)	-0.1596	-0.0378	0.2038	0.2862	1.0000	0.3563	0.4654
Ni	-0.0945	0.0699	0.6606	0.7006	0.3563	1.0000	0.2774
Sb	-0.3998	0.0975	0.2646	0.2535	0.4654	0.2774	1.0000

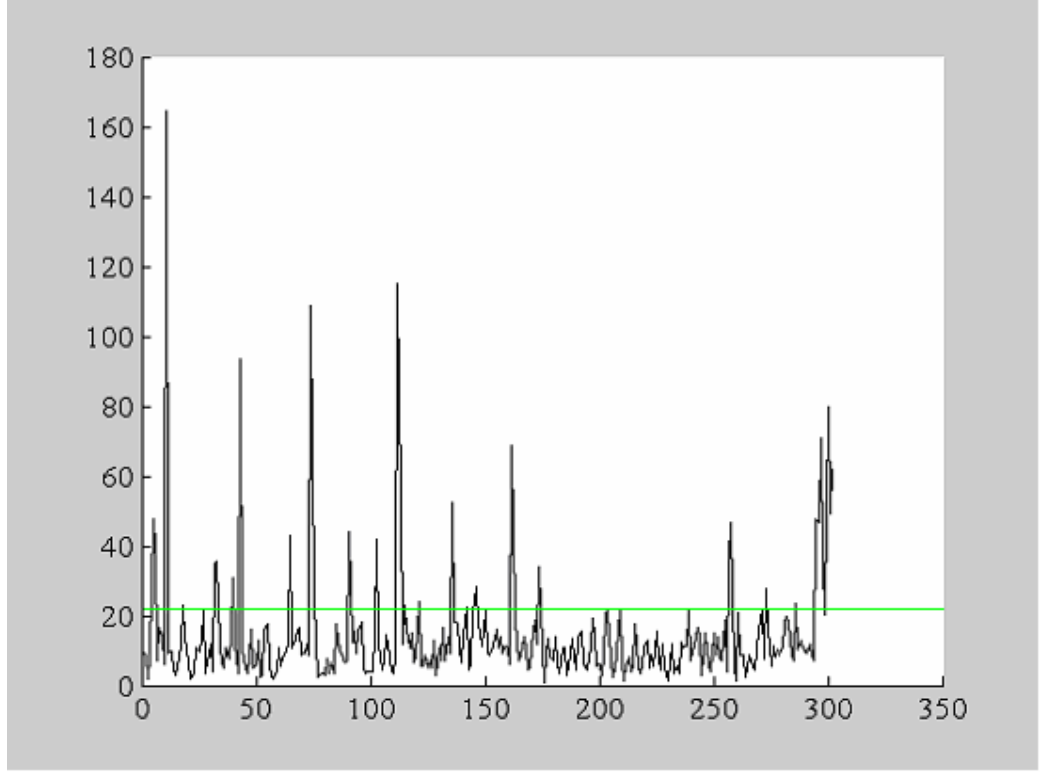
olarak belirlenmiştir.

Korelasyon matrisi incelendiğinde Fe-Sn, Fe-Ni, Sn-Ni arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Ayrıca ln(Al)-Sb arasında da nispeten güçlü bir ilişki mevcuttur.

Referans veri setindeki değerler için Q-Q grafikleri tekrar çizildiğinde her değişkenin normal dağılıma daha da yaklaştığı görülmektedir (Ek-2). Bu yeni Q-Q grafiklerinde öncekilerdeki sapan değerler yoktur. Bu durumda sapan değerlerin (outlier) değişkenlerin dağılımını da etkilediğini, normal dağılımdan uzaklaştırdığını söylemek doğru olacaktır. Ayrıca sapan değerlerden, ilk veri setinden referans veri seti elde edilinceye kadar iki aşamada atılan toplam 5 çok değişkenli gözlemin sorumlu olduğu belirtilmelidir.

### 3.3. İkinci Aşamanın Uygulanması

16.09.04-27.11.04 tarihleri arasında alınan 302 gözlem değerinin(Ek-3) ve  $T^2$  değerleri (Ek-1) verilmiştir.  $T^2$  kontrol çizelgesi oluşturulduğunda 35 adet gözlemin kontrol dışı olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.14** İkinci Aşamada Kullanılan Gözlemler için Hotelling  $T^2$  Çizelgesi

Kontrol dışı olan gözlemler 5, 6, 11, 18, 27, 32, 33, 40, 43, 65, 74, 75, 91, 103, 112, 113, 115, 121, 136, 142, 146, 162, 174, 257, 258, 271, 273, 286, 295, 296, 297, 298, 300, 301, 302 numaralı gözlemler olarak belirlenmiştir.

### 3.1.1 Ayrıştırma

İkinci aşamada kontrol dışı olarak belirlenen 35 gözlemin koşullu ve koşulsuz bileşenleri MYT ayrıştırma yöntemi ile hesaplanmıştır. Ayrıştırmada koşullu ve koşulsuz terimler için kritik değer  $KD = \chi_{0.0027,1}^2 = 8.999$  olarak belirlenmiştir. Koşulsuz terimler değişkenlerin tek başına, ikili koşullu terimler değişkenlerin ikili ilişkilerini, üçlü koşullu terimler değişkenlerin üçlü ilişkileri hakkında bilgi

vermektedir. Ancak üçlü, dördlü vs. terimleri yorumlamak zor olacağından çalışmada ikili koşullu terimlere kadar işlem yapılacaktır.

### 5. gözlem için :

Koşulsuz terimler Çizelge 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5** 5. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	1.5741	$T_2^2$	0.2944	$T_3^2$	0.6588	$T_4^2$	0.736
$T_5^2$	5.6936	$T_6^2$	0.0636	$T_7^2$	1.4697		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğundan ikinci adıma geçilerek ikili koşullu terimleri incelenmelidir.

**Çizelge 3.6** 5. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	1.6314	$T_{2,1}^2$	0.3517	$T_{3,1}^2$	0.61	$T_{4,1}^2$	0.8857	$T_{5,1}^2$	4.903
$T_{1,3}^2$	1.5253	$T_{2,3}^2$	0.2333	$T_{3,2}^2$	0.5977	$T_{4,2}^2$	0.5947	$T_{5,2}^2$	5.8002
$T_{1,4}^2$	1.7238	$T_{2,4}^2$	0.1531	$T_{3,4}^2$	0.1578	$T_{4,3}^2$	0.235	$T_{5,3}^2$	5.1452
$T_{1,5}^2$	0.7836	$T_{2,5}^2$	0.4011	$T_{3,5}^2$	0.1105	$T_{4,5}^2$	0.0333	$T_{5,4}^2$	4.9908
$T_{1,6}^2$	1.5286	$T_{2,6}^2$	0.277	$T_{3,6}^2$	0.7383	$T_{4,6}^2$	0.9115	$T_{5,6}^2$	6.0396
$T_{1,7}^2$	0.7056	$T_{2,7}^2$	0.1819	$T_{3,7}^2$	0.2591	$T_{4,7}^2$	0.3239	$T_{5,7}^2$	4.2371
$T_{6,1}^2$	0.018	$T_{7,1}^2$	0.6011						
$T_{6,2}^2$	0.0461	$T_{7,2}^2$	1.3571						
$T_{6,3}^2$	0.1431	$T_{7,3}^2$	1.0699						
$T_{6,4}^2$	0.2391	$T_{7,4}^2$	1.0576						
$T_{6,5}^2$	0.4096	$T_{7,5}^2$	0.0132						
$T_{6,7}^2$	0.0077	$T_{7,6}^2$	1.4137						

İkili koşullu terimler kritik değerlerle karşılaştırıldığında tüm elemanların kritik değerden küçük olduğu görülmektedir. Bu durum hata kaynağının koşulsuz ve ikili koşullu terimler olmadığını ifade etmektedir. Üçüncü aşamaya geçilerek üçlü koşullu  $T^2$  değerleri incelenmelidir. Ancak bu çalışma kapsamında, üçlü ve daha

karmaşık terimler ele alınmamaktadır. Dolayısıyla hata kaynağına dair bir işaret bulunamamıştır.

### 6. gözlem için :

Çizelge 3.7’de yer alan koşulsuz terimlerin kritik değerden küçük olduğu görülmektedir. Bu nedenle ikinci adıma geçilerek ikili koşullu terimler hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.7** 6. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	1.3278	$T_2^2$	1.1593	$T_3^2$	0.2723	$T_4^2$	0.0494
$T_5^2$	2.9471	$T_6^2$	0.3502	$T_7^2$	1.4697		

**Çizelge 3.8** 6. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	1.4307	$T_{2,1}^2$	1.2622	$T_{3,1}^2$	0.2436	$T_{4,1}^2$	0.0219	$T_{5,1}^2$	2.4109
$T_{1,3}^2$	1.2992	$T_{2,3}^2$	1.0826	$T_{3,2}^2$	0.1955	$T_{4,2}^2$	0.183	$T_{5,2}^2$	3.093
$T_{1,4}^2$	1.3003	$T_{2,4}^2$	1.293	$T_{3,4}^2$	0.6135	$T_{4,3}^2$	0.3906	$T_{5,3}^2$	2.7057
$T_{1,5}^2$	0.7916	$T_{2,5}^2$	1.3052	$T_{3,5}^2$	0.0308	$T_{4,5}^2$	0.5547	$T_{5,4}^2$	3.4524
$T_{1,6}^2$	1.473	$T_{2,6}^2$	1.2562	$T_{3,6}^2$	1.4778	$T_{4,6}^2$	0.0727	$T_{5,6}^2$	4.2558
$T_{1,7}^2$	0.5305	$T_{2,7}^2$	0.9275	$T_{3,7}^2$	0.0434	$T_{4,7}^2$	0.2997	$T_{5,7}^2$	1.6955
$T_{6,1}^2$	0.4953	$T_{7,1}^2$	0.6723						
$T_{6,2}^2$	0.4471	$T_{7,2}^2$	1.2379						
$T_{6,3}^2$	1.5558	$T_{7,3}^2$	1.2408						
$T_{6,4}^2$	0.3735	$T_{7,4}^2$	1.72						
$T_{6,5}^2$	1.6589	$T_{7,5}^2$	0.218						
$T_{6,7}^2$	0.933	$T_{7,6}^2$	2.0524						

İkili koşullu terimlerin kritik değerden küçük olması hata kaynağının değişkenlerin ikili ilişkilerinden kaynaklanmadığını ifade etmektedir. Bu durumda üçüncü adıma geçilmelidir. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.



### 11. gözlem için :

**Çizelge 3.9** 11. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.2353	$T_2^2$	0.1899	$T_3^2$	0.0034	$T_4^2$	0.2818
$T_5^2$	0.0264	$T_6^2$	0.5785	$T_7^2$	0.0137		

Çizelgede görüleceği gibi koşulsuz  $T^2$  değerleri kritik değerden küçüktür.

Algoritma gereği ikinci adıma geçilerek ikili koşullu terimler hesaplanacaktır.

**Çizelge 3.10** 11. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.2191	$T_{2,1}^2$	0.1738	$T_{3,1}^2$	0.0021	$T_{4,1}^2$	0.3174	$T_{5,1}^2$	0.0591
$T_{1,3}^2$	0.2341	$T_{2,3}^2$	0.1948	$T_{3,2}^2$	0.0083	$T_{4,2}^2$	0.3865	$T_{5,2}^2$	0.0321
$T_{1,4}^2$	0.271	$T_{2,4}^2$	0.2947	$T_{3,4}^2$	0.0852	$T_{4,3}^2$	0.3636	$T_{5,3}^2$	0.0317
$T_{1,5}^2$	0.268	$T_{2,5}^2$	0.1956	$T_{3,5}^2$	0.0087	$T_{4,5}^2$	0.3631	$T_{5,4}^2$	0.1077
$T_{1,6}^2$	0.1723	$T_{2,6}^2$	0.2402	$T_{3,6}^2$	0.3504	$T_{4,6}^2$	0	$T_{5,6}^2$	0.2153
$T_{1,7}^2$	0.3366	$T_{2,7}^2$	0.1819	$T_{3,7}^2$	0.0085	$T_{4,7}^2$	0.3357	$T_{5,7}^2$	0.0149
$T_{6,1}^2$	0.5155	$T_{7,1}^2$	0.115						
$T_{6,2}^2$	0.6288	$T_{7,2}^2$	0.0056						
$T_{6,3}^2$	0.9255	$T_{7,3}^2$	0.0188						
$T_{6,4}^2$	0.2967	$T_{7,4}^2$	0.0676						
$T_{6,5}^2$	0.7674	$T_{7,5}^2$	0.0022						
$T_{6,7}^2$	0.6812	$T_{7,6}^2$	0.1164						

İkili koşullu terimler de kritik değerden küçüktür. Sinyal kaynağı koşulsuz ve ikili koşullu terimlerin olmadığı sonucuna varılmaktadır. Üçüncü adıma geçilmelidir.

Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

### 18. gözlem için :

**Çizelge 3.11** 18. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	4.9498	$T_2^2$	0.3553	$T_3^2$	0.6588	$T_4^2$	0.4951
$T_5^2$	1.3833	$T_6^2$	0.8599	$T_7^2$	0.1857		

Koşulsuz terimler incelendiğinde kritik değerden küçük olduğu görülmektedir.

**Çizelge 3.12** 18. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	4.8525	$T_{2,1}^2$	0.258	$T_{3,1}^2$	0.7512	$T_{4,1}^2$	0.3145	$T_{5,1}^2$	0.6918
$T_{1,3}^2$	5.0421	$T_{2,3}^2$	0.2879	$T_{3,2}^2$	0.5915	$T_{4,2}^2$	0.365	$T_{5,2}^2$	1.3327
$T_{1,4}^2$	4.7691	$T_{2,4}^2$	0.2252	$T_{3,4}^2$	0.2525	$T_{4,3}^2$	0.0888	$T_{5,3}^2$	1.8777
$T_{1,5}^2$	4.2583	$T_{2,5}^2$	0.3046	$T_{3,5}^2$	1.1533	$T_{4,5}^2$	1.1788	$T_{5,4}^2$	2.067
$T_{1,6}^2$	5.3955	$T_{2,6}^2$	0.2836	$T_{3,6}^2$	0.0703	$T_{4,6}^2$	0.0057	$T_{5,6}^2$	2.5997
$T_{1,7}^2$	5.0145	$T_{2,7}^2$	0.411	$T_{3,7}^2$	0.9214	$T_{4,7}^2$	0.7062	$T_{5,7}^2$	1.215
$T_{6,1}^2$	1.3057	$T_{7,1}^2$	0.2504						
$T_{6,2}^2$	0.7883	$T_{7,2}^2$	0.2414						
$T_{6,3}^2$	0.2715	$T_{7,3}^2$	0.4483						
$T_{6,4}^2$	0.3706	$T_{7,4}^2$	0.3967						
$T_{6,5}^2$	2.0764	$T_{7,5}^2$	0.0173						
$T_{6,7}^2$	1.1872	$T_{7,6}^2$	0.5129						

İkili koşullu terimlerin de kritik değerden küçük olması sinyal nedeninin koşulsuz ve ikili koşullu terimler olmadığını ifade etmektedir. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

### 27. gözlem için :

**Çizelge 3.13** 27. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.5044	$T_2^2$	0.0759	$T_3^2$	3.2303	$T_4^2$	0.4951
$T_5^2$	4.2476	$T_6^2$	17.1095	$T_7^2$	0.4417		

6. değişkene ait koşulsuz terim kritik değerden büyüktür.(17.1095>8.9999). Algoritma gereği 6. değişken veri setinden çıkarılacak ve kalan değişkenler ÜKS ile karşılaştırılacaktır. Bu durumda  $\dot{ÜKS} = \chi_{0.0027,6}^2 = 20.0619$  olarak hesaplanır. 1, 2, 3, 4, 5 ve 7. değişkenleri için  $T^2 = 17.7372$ . Bu durumda 6 değişken için  $T^2 < \dot{ÜKS}$  olduğundan sinyal kaynağı 6. değişken olarak belirlenmektedir. Algoritma sona

ermektedir. 27. gözlemden 6. değişkene ait 0.14 değeri Çizelge 3.4’de verilen referans veri seti için istatistiksel özet tablo ile karşılaştırıldığında ortalamadan büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla mühendisler bu gözlemin alındığı şarjda 6. değişken olan kalay ile ilişkili bir hata kaynağı araştırmaktadır.

### 32. gözlem için :

**Çizelge 3.14** 32. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	5.6661	$T_2^2$	0.4218	$T_3^2$	1.4824	$T_4^2$	1.7446
$T_5^2$	2.9464	$T_6^2$	5.995	$T_7^2$	1.4697		

Çizelge 3.14’de verilen  $T^2$  değerlerine göre hata kaynağı koşulsuz terimler değildir. Bu durumda ikili koşullu terimler hesaplanmalıdır.

**Çizelge 3.15** 32. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	5.799	$T_{2,1}^2$	0.5546	$T_{3,1}^2$	1.6295	$T_{4,1}^2$	2.1846	$T_{5,1}^2$	4.5098
$T_{1,3}^2$	5.8132	$T_{2,3}^2$	0.552	$T_{3,2}^2$	1.6126	$T_{4,2}^2$	1.4936	$T_{5,2}^2$	2.8668
$T_{1,4}^2$	6.1061	$T_{2,4}^2$	0.1708	$T_{3,4}^2$	5.6411	$T_{4,3}^2$	5.9034	$T_{5,3}^2$	2.2496
$T_{1,5}^2$	7.2294	$T_{2,5}^2$	0.3421	$T_{3,5}^2$	0.7855	$T_{4,5}^2$	3.5771	$T_{5,4}^2$	4.7789
$T_{1,6}^2$	6.8824	$T_{2,6}^2$	0.6765	$T_{3,6}^2$	0.2836	$T_{4,6}^2$	18.1062	$T_{5,6}^2$	0.8161
$T_{1,7}^2$	4.2772	$T_{2,7}^2$	0.2849	$T_{3,7}^2$	2.5446	$T_{4,7}^2$	1.0977	$T_{5,7}^2$	6.6406
$T_{6,1}^2$	7.2113	$T_{7,1}^2$	0.0808						
$T_{6,2}^2$	6.2497	$T_{7,2}^2$	1.3328						
$T_{6,3}^2$	4.7962	$T_{7,3}^2$	2.5319						
$T_{6,4}^2$	22.3566	$T_{7,4}^2$	0.8227						
$T_{6,5}^2$	3.8647	$T_{7,5}^2$	5.1638						
$T_{6,7}^2$	8.4007	$T_{7,6}^2$	3.8754						

Çizelge 3.15 incelendiğinde  $T_{6,4}^2$  ve  $T_{4,6}^2$  değerlerinin kritik değerden yüksek olduğu görülmektedir. Bu değişkenler veri setinden atıldıktan sonra kalan 1, 2, 3, 5 ve 7. değişkenleri için  $T^2$  değeri hesaplanırsa  $T^2=13.7430$  olarak hesaplanmaktadır. Bu değişkenler için  $\dot{U}KS = \chi_{0.0027,5}^2=18.2051$  olarak hesaplanır. Bu durumda

$T^2 < \text{ÜKS}$  olduğundan 4. ve 6. değişkenler arasındaki ilişkinin hata kaynağı olduğu söylemek mümkündür. 32. gözlemde 4. ve 6. değişkene ait değerler sırasıyla 0.26 ve 0.14 olduğu bilinmektedir. Çizelge 3.4 de verilen özet tabloya bakıldığında her iki değişkenin de min-maks sınırı içinde yer aldığı ancak ortalama değerlerinin üstünde olduğu görülmektedir. Ayrıca verilen korelasyon matrisi incelendiğinde bu iki değişken arasında güçlü bir korelasyon olduğu dikkat çekmektedir. Mühendisler bu gözlemin alındığı sarjda 4 ve 6. değişkenlerle ilgili bir hata kaynağı araştırmaktadır.

### 33. gözlem için :

**Çizelge 3.16** 33. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	1.8414	$T_2^2$	0.3999	$T_3^2$	0.0034	$T_4^2$	1.0246
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.0073	$T_7^2$	0.0897		

Çizelge 3.16 koşulsuz terimlerin kritik değeri aşmadığını göstermektedir. Bu durumda ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.17** 33. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	1.7766	$T_{2,1}^2$	0.335	$T_{3,1}^2$	0.0084	$T_{4,1}^2$	1.2153	$T_{5,1}^2$	0.537
$T_{1,3}^2$	1.8464	$T_{2,3}^2$	0.3966	$T_{3,2}^2$	0.0001	$T_{4,2}^2$	1.3187	$T_{5,2}^2$	0.2821
$T_{1,4}^2$	2.0321	$T_{2,4}^2$	0.694	$T_{3,4}^2$	0.5788	$T_{4,3}^2$	1.6001	$T_{5,3}^2$	0.2557
$T_{1,5}^2$	2.1215	$T_{2,5}^2$	0.4251	$T_{3,5}^2$	0.0021	$T_{4,5}^2$	1.4589	$T_{5,4}^2$	0.6912
$T_{1,6}^2$	1.8802	$T_{2,6}^2$	0.3943	$T_{3,6}^2$	0	$T_{4,6}^2$	2.2573	$T_{5,6}^2$	0.26
$T_{1,7}^2$	1.8221	$T_{2,7}^2$	0.4419	$T_{3,7}^2$	0.0202	$T_{4,7}^2$	0.9369	$T_{5,7}^2$	0.533
$T_{6,1}^2$	0.046	$T_{7,1}^2$	0.0704						
$T_{6,2}^2$	0.0017	$T_{7,2}^2$	0.1316						
$T_{6,3}^2$	0.0039	$T_{7,3}^2$	0.1065						
$T_{6,4}^2$	1.24	$T_{7,4}^2$	0.002						
$T_{6,5}^2$	0.0104	$T_{7,5}^2$	0.3658						
$T_{6,7}^2$	0.0307	$T_{7,6}^2$	0.1131						

İkili koşullu terimlerin  $T^2$  değerleri kritik değerin altında yer aldığından algoritma gereği 3. adıma geçilerek üçlü  $T^2$  değerleri hesaplanmalıdır. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

#### 40. gözlem için :

**Çizelge 3.18** 40. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.0535	$T_2^2$	9.4835	$T_3^2$	0.8605	$T_4^2$	0.156
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.3478	$T_7^2$	1.8057		

Çizelge 3.18’de yer alan koşulsuz terimlerden 2. değişkene ait  $T^2$  değeri kritik değerden büyüktür. Bu durumda bu değişken veri setinden atılarak kalan değişkenler yeni kontrol sınırı ile karşılaştırılacaktır. 1, 3, 4, 5, 6ve 7. değişkenleri için  $T^2$  değeri  $T^2 = 6.2289$  değeri yeni kontrol sınırı  $\dot{U}KS = \chi_{0.0027,6}^2 = 20.0619$  ile karşılaştırıldığında küçük olduğu için sinyal nedeni 2. değişken olarak tanımlanmaktadır. 40. gözlemdeki 2. değişken değerinin (3.12) hem ortalamanın hem de maximum değerinin üstünde olduğu görülmektedir.

#### 43. gözlem için :

**Çizelge 3.19** 43. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.6274	$T_2^2$	0.2139	$T_3^2$	6.8067	$T_4^2$	0.156
$T_5^2$	2.9471	$T_6^2$	0.5754	$T_7^2$	1.4697		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğundan ikili koşullu terimler incelenecektir.

**Çizelge 3.20** 43. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.5995	$T_{2,1}^2$	0.1861	$T_{3,1}^2$	6.9131	$T_{4,1}^2$	0.1186	$T_{5,1}^2$	3.4859
$T_{1,3}^2$	0.7337	$T_{2,3}^2$	0.0715	$T_{3,2}^2$	6.6643	$T_{4,2}^2$	0.0994	$T_{5,2}^2$	3.0118
$T_{1,4}^2$	0.59	$T_{2,4}^2$	0.1572	$T_{3,4}^2$	8.3455	$T_{4,3}^2$	1.6949	$T_{5,3}^2$	1.4651
$T_{1,5}^2$	1.1662	$T_{2,5}^2$	0.2786	$T_{3,5}^2$	5.3248	$T_{4,5}^2$	0.0101	$T_{5,4}^2$	2.8012
$T_{1,6}^2$	0.7528	$T_{2,6}^2$	0.1685	$T_{3,6}^2$	7.8828	$T_{4,6}^2$	0.0366	$T_{5,6}^2$	2.3964
$T_{1,7}^2$	1.9405	$T_{2,7}^2$	0.1197	$T_{3,7}^2$	5.6299	$T_{4,7}^2$	0.0082	$T_{5,7}^2$	1.6955
$T_{6,1}^2$	0.7008	$T_{7,1}^2$	2.7827						
$T_{6,2}^2$	0.53	$T_{7,2}^2$	1.3754						
$T_{6,3}^2$	1.6514	$T_{7,3}^2$	0.2929						
$T_{6,4}^2$	0.4559	$T_{7,4}^2$	1.3218						
$T_{6,5}^2$	0.0247	$T_{7,5}^2$	0.218						
$T_{6,7}^2$	0.1932	$T_{7,6}^2$	1.0875						

İkili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğu için üçlü koşullu terimler hesaplanmalıdır. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

**65. gözlem için :**

**Çizelge 3.21** 65. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.6636	$T_2^2$	1.0669	$T_3^2$	0.0538	$T_4^2$	0.0579
$T_5^2$	1.3833	$T_6^2$	0.0636	$T_7^2$	0.7177		

Çizelge 3.21 de verilen  $T^2$  değerleri kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler hesaplanacaktır.

**Çizelge 3.22** 65. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.5992	$T_{2,1}^2$	1.0026	$T_{3,1}^2$	0.0449	$T_{4,1}^2$	0.0865	$T_{5,1}^2$	1.7506
$T_{1,3}^2$	0.6547	$T_{2,3}^2$	1.1094	$T_{3,2}^2$	0.0963	$T_{4,2}^2$	0.1922	$T_{5,2}^2$	1.4788
$T_{1,4}^2$	0.6921	$T_{2,4}^2$	1.2012	$T_{3,4}^2$	0.0136	$T_{4,3}^2$	0.0177	$T_{5,3}^2$	1.5615
$T_{1,5}^2$	1.0309	$T_{2,5}^2$	1.1625	$T_{3,5}^2$	0.232	$T_{4,5}^2$	0.3631	$T_{5,4}^2$	1.6885
$T_{1,6}^2$	0.631	$T_{2,6}^2$	1.109	$T_{3,6}^2$	0.0076	$T_{4,6}^2$	0.0081	$T_{5,6}^2$	1.8358
$T_{1,7}^2$	0.2696	$T_{2,7}^2$	1.2563	$T_{3,7}^2$	0.0001	$T_{4,7}^2$	0.0007	$T_{5,7}^2$	3.1483
$T_{6,1}^2$	0.031	$T_{7,1}^2$	0.3236						
$T_{6,2}^2$	0.1057	$T_{7,2}^2$	0.9071						
$T_{6,3}^2$	0.0174	$T_{7,3}^2$	0.6639						
$T_{6,4}^2$	0.0137	$T_{7,4}^2$	0.6604						
$T_{6,5}^2$	0.5161	$T_{7,5}^2$	2.4827						
$T_{6,7}^2$	0.0003	$T_{7,6}^2$	0.6544						

Çizelge 3.22'de yer alan ikili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğundan algoritma gereği üçüncü adıma geçilerek üçlü  $T^2$  değerleri hesaplanmalıdır. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

#### 74. gözlem için :

**Çizelge 3.23** 74. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.0317	$T_2^2$	0.1147	$T_3^2$	37.7681	$T_4^2$	2.1218
$T_5^2$	7.966	$T_6^2$	94.2148	$T_7^2$	0.4417		

3. ve 6. değişkenlere ait koşulsuz terimler kritik değeri aşmaktadır. Bu değişkenler veri setinden atılarak kalan 1, 2, 4, 5 ve 7. değişkenler için hesaplanan  $T^2$  değeri yeni kontrol sınırı ile karşılaştırılmalıdır.  $T^2 = 14.9816 < \text{ÜKS} = 18.2051$  olduğundan sinyal oluşmayacaktır. Bu durumda 3. ve 6. değişkenler hata kaynaklarıdır. 74. gözlemden 3. ve 6. değişkenlerin değerleri sırasıyla 0.33 ve 0.10 olduğu bilinmektedir. Çizelge 3.4 ile verilen özet tablo incelendiğinde 3. değişkenin minimum değerinin altında kaldığı görülmektedir. Ancak 6. değişken için hata kaynağı

olması konusunda yeterli bilgi bulunamamaktadır. Dolayısıyla mühendisler bu gözlemin alındığı şarjda 3. ve 6. değişkenlerle ilişkili hata kaynakları araştıracaktır.

### 75. gözlem için :

**Çizelge 3.24** 75. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	2.5946	$T_2^2$	0.0318	$T_3^2$	0.0034	$T_4^2$	0.0579
$T_5^2$	1.9368	$T_6^2$	1.2059	$T_7^2$	0.0897		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.25** 75. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	2.6217	$T_{2,1}^2$	0.0589	$T_{3,1}^2$	0.0003	$T_{4,1}^2$	0.0187	$T_{5,1}^2$	1.321
$T_{1,3}^2$	2.5916	$T_{2,3}^2$	0.0305	$T_{3,2}^2$	0.002	$T_{4,2}^2$	0.0775	$T_{5,2}^2$	1.9584
$T_{1,4}^2$	2.5554	$T_{2,4}^2$	0.0513	$T_{3,4}^2$	0.055	$T_{4,3}^2$	0.1095	$T_{5,3}^2$	1.9865
$T_{1,5}^2$	1.9788	$T_{2,5}^2$	0.0534	$T_{3,5}^2$	0.0531	$T_{4,5}^2$	0.4448	$T_{5,4}^2$	2.3237
$T_{1,6}^2$	2.2916	$T_{2,6}^2$	0.0104	$T_{3,6}^2$	0.7902	$T_{4,6}^2$	2.0039	$T_{5,6}^2$	1.1463
$T_{1,7}^2$	3.5645	$T_{2,7}^2$	0.0435	$T_{3,7}^2$	0.0202	$T_{4,7}^2$	0.029	$T_{5,7}^2$	2.9923
$T_{6,1}^2$	0.9029	$T_{7,1}^2$	1.0595						
$T_{6,2}^2$	1.1845	$T_{7,2}^2$	0.1013						
$T_{6,3}^2$	1.9928	$T_{7,3}^2$	0.1065						
$T_{6,4}^2$	3.1518	$T_{7,4}^2$	0.0607						
$T_{6,5}^2$	0.4155	$T_{7,5}^2$	1.1452						
$T_{6,7}^2$	1.5115	$T_{7,6}^2$	0.3952						

İkili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğu için sinyal nedeni olarak tanımlanamaz. Algoritma gereği üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.



### 91. gözlem için :

**Çizelge 3.26** 91. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.0046	$T_2^2$	0.6995	$T_3^2$	0.121	$T_4^2$	0.3018
$T_5^2$	5.6936	$T_6^2$	0.1789	$T_7^2$	0.7177		

Koşulsuz terimlerin kritik değerden küçük olması nedeniyle ikinci aşamaya geçerek ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.27** 91. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0102	$T_{2,1}^2$	0.7051	$T_{3,1}^2$	0.1222	$T_{4,1}^2$	0.3079	$T_{5,1}^2$	5.7897
$T_{1,3}^2$	0.0058	$T_{2,3}^2$	0.7481	$T_{3,2}^2$	0.1696	$T_{4,2}^2$	0.1617	$T_{5,2}^2$	5.8539
$T_{1,4}^2$	0.0107	$T_{2,4}^2$	0.5595	$T_{3,4}^2$	0.6335	$T_{4,3}^2$	0.8142	$T_{5,3}^2$	6.2985
$T_{1,5}^2$	0.1007	$T_{2,5}^2$	0.8599	$T_{3,5}^2$	0.7259	$T_{4,5}^2$	0.0195	$T_{5,4}^2$	5.4113
$T_{1,6}^2$	0.0117	$T_{2,6}^2$	0.7535	$T_{3,6}^2$	0.0083	$T_{4,6}^2$	1.4046	$T_{5,6}^2$	7.3713
$T_{1,7}^2$	0.0875	$T_{2,7}^2$	0.5736	$T_{3,7}^2$	0.3519	$T_{4,7}^2$	0.1196	$T_{5,7}^2$	5.0645
$T_{6,1}^2$	0.186	$T_{7,1}^2$	0.8006						
$T_{6,2}^2$	0.2329	$T_{7,2}^2$	0.5918						
$T_{6,3}^2$	0.0662	$T_{7,3}^2$	0.9485						
$T_{6,4}^2$	1.2818	$T_{7,4}^2$	0.5355						
$T_{6,5}^2$	1.8567	$T_{7,5}^2$	0.0886						
$T_{6,7}^2$	0.469	$T_{7,6}^2$	1.0077						

Koşulsuz terimler gibi ikili koşullu terimlerde kritik değerden küçük olduğu için sinyal kaynağı olamaz. Bu durumda üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

### 103. gözlem için :

**Çizelge 3.28** 103. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.0786	$T_2^2$	0.1537	$T_3^2$	0.121	$T_4^2$	2.5951
$T_5^2$	0.807	$T_6^2$	1.2059	$T_7^2$	0.0137		

Çizelge 3.28 ile verilen koşulsuz terimlerin kritik değerden küçük olması nedeniyle ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.29** 103. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0878	$T_{2,1}^2$	0.1628	$T_{3,1}^2$	0.1163	$T_{4,1}^2$	2.6651	$T_{5,1}^2$	0.7476
$T_{1,3}^2$	0.0739	$T_{2,3}^2$	0.1346	$T_{3,2}^2$	0.102	$T_{4,2}^2$	2.4508	$T_{5,2}^2$	0.835
$T_{1,4}^2$	0.1486	$T_{2,4}^2$	0.0094	$T_{3,4}^2$	0.4597	$T_{4,3}^2$	2.9338	$T_{5,3}^2$	0.7143
$T_{1,5}^2$	0.0193	$T_{2,5}^2$	0.1817	$T_{3,5}^2$	0.0283	$T_{4,5}^2$	1.9963	$T_{5,4}^2$	0.2082
$T_{1,6}^2$	0.0315	$T_{2,6}^2$	0.0999	$T_{3,6}^2$	0.2528	$T_{4,6}^2$	1.391	$T_{5,6}^2$	0.2945
$T_{1,7}^2$	0.1274	$T_{2,7}^2$	0.1643	$T_{3,7}^2$	0.1543	$T_{4,7}^2$	2.8763	$T_{5,7}^2$	1.1586
$T_{6,1}^2$	1.1588	$T_{7,1}^2$	0.0624						
$T_{6,2}^2$	1.1522	$T_{7,2}^2$	0.0243						
$T_{6,3}^2$	1.3378	$T_{7,3}^2$	0.0469						
$T_{6,4}^2$	0.0018	$T_{7,4}^2$	0.2949						
$T_{6,5}^2$	0.6934	$T_{7,5}^2$	0.3653						
$T_{6,7}^2$	1.3847	$T_{7,6}^2$	0.1924						

Koşulsuz terimler gibi ikili koşullu terimlerin de kritik değerden küçük olması sinyal kaynağı olamayacağını ifade etmektedir. Bu durumda üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

### 112. gözlem için :

**Çizelge 3.30** 112. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	2.5946	$T_2^2$	0.0813	$T_3^2$	0.121	$T_4^2$	0.2818
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.1789	$T_7^2$	0.9577		

Çizelge 3.30 ile verilen koşulsuz terimler kritik değerden küçüktür. Bu nedenle sinyal kaynağı olarak tanımlanamaz. İkili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.31** 112. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	2.6355	$T_{2,1}^2$	0.1222	$T_{3,1}^2$	0.095	$T_{4,1}^2$	0.405	$T_{5,1}^2$	0.064
$T_{1,3}^2$	2.5687	$T_{2,3}^2$	0.0675	$T_{3,2}^2$	0.1072	$T_{4,2}^2$	0.2368	$T_{5,2}^2$	0.2683
$T_{1,4}^2$	2.7179	$T_{2,4}^2$	0.0364	$T_{3,4}^2$	0.0035	$T_{4,3}^2$	0.1642	$T_{5,3}^2$	0.1983
$T_{1,5}^2$	2.4018	$T_{2,5}^2$	0.0928	$T_{3,5}^2$	0.0624	$T_{4,5}^2$	0.1621	$T_{5,4}^2$	0.1372
$T_{1,6}^2$	2.4897	$T_{2,6}^2$	0.0657	$T_{3,6}^2$	0.0083	$T_{4,6}^2$	0.108	$T_{5,6}^2$	0.1453
$T_{1,7}^2$	1.7702	$T_{2,7}^2$	0.0364	$T_{3,7}^2$	0.0085	$T_{4,7}^2$	0.0854	$T_{5,7}^2$	0.0034
$T_{6,1}^2$	0.074	$T_{7,1}^2$	0.1332						
$T_{6,2}^2$	0.1633	$T_{7,2}^2$	0.9127						
$T_{6,3}^2$	0.0662	$T_{7,3}^2$	0.8451						
$T_{6,4}^2$	0.0051	$T_{7,4}^2$	0.7613						
$T_{6,5}^2$	0.0673	$T_{7,5}^2$	0.7041						
$T_{6,7}^2$	0.0249	$T_{7,6}^2$	0.8036						

İkili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğu için üçlü koşulu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

**113. gözlem için :**

**Çizelge 3.32** 113. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.006	$T_2^2$	0.7917	$T_3^2$	1.9361	$T_4^2$	3.1818
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	2.0555	$T_7^2$	0.0897		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğundan ikili koşullu terimler incelenmelidir. Çizelge 3.33 ile verilen ikili koşullu terimler de kritik değerden küçüktür. Algoritma gereği üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

**Çizelge 3.33** 113. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0128	$T_{2,1}^2$	0.7985	$T_{3,1}^2$	1.932	$T_{4,1}^2$	3.2132	$T_{5,1}^2$	0.2767
$T_{1,3}^2$	0.0019	$T_{2,3}^2$	0.6202	$T_{3,2}^2$	1.7646	$T_{4,2}^2$	2.7161	$T_{5,2}^2$	0.2242
$T_{1,4}^2$	0.0375	$T_{2,4}^2$	0.326	$T_{3,4}^2$	0.2185	$T_{4,3}^2$	1.4641	$T_{5,3}^2$	0.6518
$T_{1,5}^2$	0.0258	$T_{2,5}^2$	0.7591	$T_{3,5}^2$	2.3311	$T_{4,5}^2$	4.0524	$T_{5,4}^2$	1.1275
$T_{1,6}^2$	0.0034	$T_{2,6}^2$	0.6266	$T_{3,6}^2$	0.3504	$T_{4,6}^2$	1.1928	$T_{5,6}^2$	1.1863
$T_{1,7}^2$	0.0021	$T_{2,7}^2$	0.7477	$T_{3,7}^2$	1.8516	$T_{4,7}^2$	3.1171	$T_{5,7}^2$	0.533
$T_{6,1}^2$	2.0528	$T_{7,1}^2$	0.0857						
$T_{6,2}^2$	1.8903	$T_{7,2}^2$	0.0457						
$T_{6,3}^2$	0.4698	$T_{7,3}^2$	0.0051						
$T_{6,4}^2$	0.0665	$T_{7,4}^2$	0.025						
$T_{6,5}^2$	2.9849	$T_{7,5}^2$	0.3658						
$T_{6,7}^2$	1.9763	$T_{7,6}^2$	0.0105						

**115. gözlem için :**

**Çizelge 3.34** 115. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	1,5948	$T_2^2$	0,9932	$T_3^2$	0,6588	$T_4^2$	0,156
$T_5^2$	0,807	$T_6^2$	1,6	$T_7^2$	5,9497		

Çizelge 3.34 ile verilen koşulsuz terimler kritik değerden küçüktür. İkili koşullu terimler incelenmelidir. Çizelge 3.35 ile verilen ikili koşul terimlerde kritik değerden küçük olduğundan üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla hata kaynağı bulunamamıştır.

**Çizelge 3.35** 115. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	1.4985	$T_{2,1}^2$	0.897	$T_{3,1}^2$	0.7107	$T_{4,1}^2$	0.0985	$T_{5,1}^2$	0.4982
$T_{1,3}^2$	1.6466	$T_{2,3}^2$	0.8804	$T_{3,2}^2$	0.546	$T_{4,2}^2$	0.0463	$T_{5,2}^2$	0.7417
$T_{1,4}^2$	1.5373	$T_{2,4}^2$	0.8835	$T_{3,4}^2$	0.5085	$T_{4,3}^2$	0.0057	$T_{5,3}^2$	1.1805
$T_{1,5}^2$	1.286	$T_{2,5}^2$	0.928	$T_{3,5}^2$	1.0324	$T_{4,5}^2$	0.4633	$T_{5,4}^2$	1.1142
$T_{1,6}^2$	1.9281	$T_{2,6}^2$	0.8289	$T_{3,6}^2$	0.001	$T_{4,6}^2$	0.4739	$T_{5,6}^2$	2.0845
$T_{1,7}^2$	0.0984	$T_{2,7}^2$	1.5385	$T_{3,7}^2$	2.2832	$T_{4,7}^2$	1.0977	$T_{5,7}^2$	0.0717
$T_{6,1}^2$	1.9334	$T_{7,1}^2$	4.4533						
$T_{6,2}^2$	1.4357	$T_{7,2}^2$	6.4949						
$T_{6,3}^2$	0.9422	$T_{7,3}^2$	7.574						
$T_{6,4}^2$	1.9178	$T_{7,4}^2$	6.8913						
$T_{6,5}^2$	2.8775	$T_{7,5}^2$	5.2144						
$T_{6,7}^2$	4.0832	$T_{7,6}^2$	8.4329						

**121. gözlem için :****Çizelge 3.36** 121. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.0166	$T_2^2$	0.1537	$T_3^2$	3.8857	$T_4^2$	1.696
$T_5^2$	0.0698	$T_6^2$	4.5908	$T_7^2$	0.0043		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.37** 121. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0129	$T_{2,1}^2$	0.1499	$T_{3,1}^2$	3.8756	$T_{4,1}^2$	1.6814	$T_{5,1}^2$	0.0609
$T_{1,3}^2$	0.0065	$T_{2,3}^2$	0.2933	$T_{3,2}^2$	4.0253	$T_{4,2}^2$	1.5663	$T_{5,2}^2$	0.0623
$T_{1,4}^2$	0.002	$T_{2,4}^2$	0.024	$T_{3,4}^2$	10.7249	$T_{4,3}^2$	8.5352	$T_{5,3}^2$	0.0197
$T_{1,5}^2$	0.0077	$T_{2,5}^2$	0.1461	$T_{3,5}^2$	3.8356	$T_{4,5}^2$	2.0682	$T_{5,4}^2$	0.442
$T_{1,6}^2$	0.0055	$T_{2,6}^2$	0.2949	$T_{3,6}^2$	0.5483	$T_{4,6}^2$	15.4362	$T_{5,6}^2$	0.2854
$T_{1,7}^2$	0.0287	$T_{2,7}^2$	0.1501	$T_{3,7}^2$	4.2524	$T_{4,7}^2$	1.7665	$T_{5,7}^2$	0.111
$T_{6,1}^2$	4.5796	$T_{7,1}^2$	0.0164						
$T_{6,2}^2$	4.732	$T_{7,2}^2$	0.0008						
$T_{6,3}^2$	1.2534	$T_{7,3}^2$	0.371						
$T_{6,4}^2$	18.331	$T_{7,4}^2$	0.0748						
$T_{6,5}^2$	4.8064	$T_{7,5}^2$	0.0455						
$T_{6,7}^2$	5.0584	$T_{7,6}^2$	0.4719						

Çizelge 3.37 ile verilen ikili koşulu terimlerden  $T_{6,4}^2, T_{3,4}^2$  ve  $T_{4,6}^2$  kritik değeri aşmaktadır. Bu durumda 3, 4 ve 6. değişkenler veri setinden çıkarılacak ve kalan değişkenler (1,2,5,7) için  $T^2$  değeri hesaplanacaktır. Kalan değişkenler için  $T^2 = 0,2653 < \text{ÜKS} = 16.2512$  olduğundan sinyal vermeyecektir. Bu durumda  $T_{6,4}^2, T_{3,4}^2$  ve  $T_{4,6}^2$  terimleri hata kaynağını işaret etmektedir. 3, 4 ve 6. değişkenlerinin gözlem değerlerinin sırasıyla 0.0400, 0.0700 ve 0.2000 olduğu bilinmektedir. Çizelge 3.4'de verilen istatistiksel özet tablo ve korelasyon yapıları incelendiğinde 3. değişkenini min- maks sınırları arasında ve ortalamanın altında olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 4. değişken de min- maks sınırları arasında ancak ortalamanın altındadır. 6. değişken ise min-maks sınırları arasında ve ortalamanın üstünde yer almaktadır. Ayrıca korelasyon yapısı incelendiğinde (3-4), (3-6), (4-6) değişkenleri arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Değişkenler arasında pozitif ilişki varken 3. ve 4. değişkenin ortalama altında ve 6. değişkenin ortalama üstünde olması hata kaynağına işaret etmektedir.

### 136. gözlem için :

**Çizelge 3.38** 136. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	2.1296	$T_2^2$	0.2944	$T_3^2$	0.6588	$T_4^2$	1.696
$T_5^2$	2.9471	$T_6^2$	0.3478	$T_7^2$	0.0137		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçüktür. Çizelge 3.39 ile verilen ikili koşullu terimlerin de kritik değerden küçük olduğu görülmektedir. Bu durumda üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla bir hata kaynağına rastlanmamıştır.

**Çizelge 3.39** 136. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	2.1966	$T_{2,1}^2$	0.3614	$T_{3,1}^2$	0.6022	$T_{4,1}^2$	1.465	$T_{5,1}^2$	2.2593
$T_{1,3}^2$	2.073	$T_{2,3}^2$	0.2333	$T_{3,2}^2$	0.5977	$T_{4,2}^2$	2.0354	$T_{5,2}^2$	3.0223
$T_{1,4}^2$	1.8986	$T_{2,4}^2$	0.6338	$T_{3,4}^2$	3.5013	$T_{4,3}^2$	4.5385	$T_{5,3}^2$	2.5108
$T_{1,5}^2$	1.4418	$T_{2,5}^2$	0.3697	$T_{3,5}^2$	0.2225	$T_{4,5}^2$	3.5045	$T_{5,4}^2$	4.7556
$T_{1,6}^2$	1.9878	$T_{2,6}^2$	0.2527	$T_{3,6}^2$	0.3161	$T_{4,6}^2$	5.7801	$T_{5,6}^2$	2.5999
$T_{1,7}^2$	2.3752	$T_{2,7}^2$	0.2849	$T_{3,7}^2$	0.6555	$T_{4,7}^2$	1.896	$T_{5,7}^2$	3.5276
$T_{6,1}^2$	0.206	$T_{7,1}^2$	0.2592						
$T_{6,2}^2$	0.306	$T_{7,2}^2$	0.0041						
$T_{6,3}^2$	0.0051	$T_{7,3}^2$	0.0103						
$T_{6,4}^2$	4.4319	$T_{7,4}^2$	0.2136						
$T_{6,5}^2$	0.0005	$T_{7,5}^2$	0.5941						
$T_{6,7}^2$	0.3365	$T_{7,6}^2$	0.0024						

**142. gözlem için :**

**Çizelge 3.40** 142. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	1.9771	$T_2^2$	6.2102	$T_3^2$	0.121	$T_4^2$	0.4694
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.0073	$T_7^2$	0.9577		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.41** 142. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	1.7108	$T_{2,1}^2$	5.9439	$T_{3,1}^2$	0.0982	$T_{4,1}^2$	0.6049	$T_{5,1}^2$	0.0819
$T_{1,3}^2$	1.9543	$T_{2,3}^2$	6.3771	$T_{3,2}^2$	0.2878	$T_{4,2}^2$	1.355	$T_{5,2}^2$	0.1704
$T_{1,4}^2$	2.1127	$T_{2,4}^2$	7.0958	$T_{3,4}^2$	0.0021	$T_{4,3}^2$	0.3505	$T_{5,3}^2$	0.1983
$T_{1,5}^2$	1.8021	$T_{2,5}^2$	6.1238	$T_{3,5}^2$	0.0624	$T_{4,5}^2$	0.3177	$T_{5,4}^2$	0.1052
$T_{1,6}^2$	1.9721	$T_{2,6}^2$	6.2706	$T_{3,6}^2$	0.1507	$T_{4,6}^2$	0.7679	$T_{5,6}^2$	0.26
$T_{1,7}^2$	1.2259	$T_{2,7}^2$	6.7592	$T_{3,7}^2$	0.0085	$T_{4,7}^2$	0.2041	$T_{5,7}^2$	0.0034
$T_{6,1}^2$	0.0023	$T_{7,1}^2$	0.2064						
$T_{6,2}^2$	0.0677	$T_{7,2}^2$	1.5066						
$T_{6,3}^2$	0.037	$T_{7,3}^2$	0.8451						
$T_{6,4}^2$	0.3058	$T_{7,4}^2$	0.6924						
$T_{6,5}^2$	0.0104	$T_{7,5}^2$	0.7041						
$T_{6,7}^2$	0.0375	$T_{7,6}^2$	0.9878						

İkili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğundan üçlü koşullu terimler hesaplanmalıdır. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

**146. gözlem için :**

**Çizelge 3.42** 146. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.4343	$T_2^2$	0.0079	$T_3^2$	0.0034	$T_4^2$	0.3018
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.0636	$T_7^2$	0.9577		

Çizelge 3.42 ile verilen koşulsuz terimler kritik değerden küçüktür. Çizelge 3.43 ile verilen ikili koşullu terimlerin de kritik değerden küçük olması üçlü koşullu terimlerin hesaplanmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

**Çizelge 3.43** 146. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.4304	$T_{2,1}^2$	0.0039	$T_{3,1}^2$	0.0017	$T_{4,1}^2$	0.2578	$T_{5,1}^2$	0.1655
$T_{1,3}^2$	0.4327	$T_{2,3}^2$	0.0087	$T_{3,2}^2$	0.0042	$T_{4,2}^2$	0.294	$T_{5,2}^2$	0.2538
$T_{1,4}^2$	0.3904	$T_{2,4}^2$	0.0002	$T_{3,4}^2$	0.198	$T_{4,3}^2$	0.4964	$T_{5,3}^2$	0.2557
$T_{1,5}^2$	0.343	$T_{2,5}^2$	0.0048	$T_{3,5}^2$	0.0021	$T_{4,5}^2$	0.5252	$T_{5,4}^2$	0.4803
$T_{1,6}^2$	0.4705	$T_{2,6}^2$	0.0051	$T_{3,6}^2$	0.0894	$T_{4,6}^2$	0.2727	$T_{5,6}^2$	0.4078
$T_{1,7}^2$	0.0853	$T_{2,7}^2$	0.0342	$T_{3,7}^2$	0.0434	$T_{4,7}^2$	0.6796	$T_{5,7}^2$	0.0034
$T_{6,1}^2$	0.0998	$T_{7,1}^2$	0.6087						
$T_{6,2}^2$	0.0608	$T_{7,2}^2$	0.984						
$T_{6,3}^2$	0.1497	$T_{7,3}^2$	0.9977						
$T_{6,4}^2$	0.0346	$T_{7,4}^2$	1.3355						
$T_{6,5}^2$	0.2145	$T_{7,5}^2$	0.7041						
$T_{6,7}^2$	0.297	$T_{7,6}^2$	1.191						

**162. gözlem için :**

**Çizelge 3.44** 162. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.9935	$T_2^2$	0.0003	$T_3^2$	0.121	$T_4^2$	0.4951
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.0636	$T_7^2$	0.1857		



Çizelge 3.44’de verilen koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir. Benzer şekilde Çizelge 3.45’de verilen ikili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğu için üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

**Çizelge 3.45** 162. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.9966	$T_{2,1}^2$	0.0033	$T_{3,1}^2$	0.1046	$T_{4,1}^2$	0.4102	$T_{5,1}^2$	0.1241
$T_{1,3}^2$	0.9771	$T_{2,3}^2$	0.0001	$T_{3,2}^2$	0.1207	$T_{4,2}^2$	0.5174	$T_{5,2}^2$	0.2579
$T_{1,4}^2$	0.9086	$T_{2,4}^2$	0.0226	$T_{3,4}^2$	0.8121	$T_{4,3}^2$	1.1862	$T_{5,3}^2$	0.1983
$T_{1,5}^2$	0.8608	$T_{2,5}^2$	0.0014	$T_{3,5}^2$	0.0624	$T_{4,5}^2$	0.7846	$T_{5,4}^2$	0.5464
$T_{1,6}^2$	1.051	$T_{2,6}^2$	0.0013	$T_{3,6}^2$	0.4695	$T_{4,6}^2$	0.5454	$T_{5,6}^2$	0.4078
$T_{1,7}^2$	0.8091	$T_{2,7}^2$	0.0006	$T_{3,7}^2$	0.0588	$T_{4,7}^2$	0.7062	$T_{5,7}^2$	0.1197
$T_{6,1}^2$	0.121	$T_{7,1}^2$	0.0012						
$T_{6,2}^2$	0.0646	$T_{7,2}^2$	0.1859						
$T_{6,3}^2$	0.4121	$T_{7,3}^2$	0.1234						
$T_{6,4}^2$	0.1139	$T_{7,4}^2$	0.3967						
$T_{6,5}^2$	0.2145	$T_{7,5}^2$	0.0485						
$T_{6,7}^2$	0.1497	$T_{7,6}^2$	0.2717						

**174. gözlem için :**

**Çizelge 3.46** 174. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.0282	$T_2^2$	1.2772	$T_3^2$	0.0034	$T_4^2$	0.0494
$T_5^2$	0.0264	$T_6^2$	0.8637	$T_7^2$	0.2323		

Çizelge 3.46’da verilen koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir. Benzer şekilde Çizelge 3.47’de verilen ikili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğu için üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

**Çizelge 3.47** 174. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0151	$T_{2,1}^2$	1.2641	$T_{3,1}^2$	0.0029	$T_{4,1}^2$	0.0545	$T_{5,1}^2$	0.0368
$T_{1,3}^2$	0.0277	$T_{2,3}^2$	1.2943	$T_{3,2}^2$	0.0205	$T_{4,2}^2$	0.1917	$T_{5,2}^2$	0.0422
$T_{1,4}^2$	0.0333	$T_{2,4}^2$	1.4195	$T_{3,4}^2$	0.0066	$T_{4,3}^2$	0.0526	$T_{5,3}^2$	0.0317
$T_{1,5}^2$	0.0385	$T_{2,5}^2$	1.293	$T_{3,5}^2$	0.0087	$T_{4,5}^2$	0.0787	$T_{5,4}^2$	0.0557
$T_{1,6}^2$	0.0065	$T_{2,6}^2$	1.4352	$T_{3,6}^2$	0.5483	$T_{4,6}^2$	0.3613	$T_{5,6}^2$	0.2792
$T_{1,7}^2$	0.1547	$T_{2,7}^2$	1.1844	$T_{3,7}^2$	0.037	$T_{4,7}^2$	0.1268	$T_{5,7}^2$	0.0049
$T_{6,1}^2$	0.842	$T_{7,1}^2$	0.3589						
$T_{6,2}^2$	1.0217	$T_{7,2}^2$	0.1396						
$T_{6,3}^2$	1.4086	$T_{7,3}^2$	0.266						
$T_{6,4}^2$	1.1757	$T_{7,4}^2$	0.3097						
$T_{6,5}^2$	1.1165	$T_{7,5}^2$	0.2108						
$T_{6,7}^2$	1.2242	$T_{7,6}^2$	0.5928						

**257. gözlem için :**

**Çizelge 3.48** 257. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	1.124	$T_2^2$	0.0079	$T_3^2$	1.4824	$T_4^2$	1.0246
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.3502	$T_7^2$	1.0603		

Çizelge 3.48’da verilen koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir. Benzer şekilde Çizelge 3.49’de verilen ikili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğu için üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

**Çizelge 3.49** 257. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	1.1333	$T_{2,1}^2$	0.0171	$T_{3,1}^2$	1.5475	$T_{4,1}^2$	1.1732	$T_{5,1}^2$	0.469
$T_{1,3}^2$	1.1892	$T_{2,3}^2$	0.0326	$T_{3,2}^2$	1.5071	$T_{4,2}^2$	1.0266	$T_{5,2}^2$	0.2538
$T_{1,4}^2$	1.2726	$T_{2,4}^2$	0.0099	$T_{3,4}^2$	4.6853	$T_{4,3}^2$	4.2275	$T_{5,3}^2$	0.0698
$T_{1,5}^2$	1.3361	$T_{2,5}^2$	0.0048	$T_{3,5}^2$	1.2953	$T_{4,5}^2$	1.4589	$T_{5,4}^2$	0.6912
$T_{1,6}^2$	1.257	$T_{2,6}^2$	0.017	$T_{3,6}^2$	1.2122	$T_{4,6}^2$	3.9985	$T_{5,6}^2$	0.1003
$T_{1,7}^2$	0.5006	$T_{2,7}^2$	0.0001	$T_{3,7}^2$	2.3873	$T_{4,7}^2$	0.603	$T_{5,7}^2$	1,2413
$T_{6,1}^2$	0.4831	$T_{7,1}^2$	0.4368						
$T_{6,2}^2$	0.3593	$T_{7,2}^2$	1.0526						
$T_{6,3}^2$	0.0801	$T_{7,3}^2$	1.9653						
$T_{6,4}^2$	3.3241	$T_{7,4}^2$	0.6387						
$T_{6,5}^2$	0.1937	$T_{7,5}^2$	2.0448						
$T_{6,7}^2$	0.8339	$T_{7,6}^2$	1.544						

**258. gözlem için :**

**Çizelge 3.50** 258. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	2.1296	$T_2^2$	0.3241	$T_3^2$	2.2723	$T_4^2$	0.156
$T_5^2$	0.0264	$T_6^2$	0.8637	$T_7^2$	1.4697		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.51** 258. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	2.1997	$T_{2,1}^2$	0.3943	$T_{3,1}^2$	2.3833	$T_{4,1}^2$	0.2406	$T_{5,1}^2$	0.0051
$T_{1,3}^2$	2.2407	$T_{2,3}^2$	0.4685	$T_{3,2}^2$	2.4166	$T_{4,2}^2$	0.0871	$T_{5,2}^2$	0.0339
$T_{1,4}^2$	2.2142	$T_{2,4}^2$	0.2553	$T_{3,4}^2$	4.3863	$T_{4,3}^2$	2.2701	$T_{5,3}^2$	0.2302
$T_{1,5}^2$	2.1083	$T_{2,5}^2$	0.3317	$T_{3,5}^2$	2.4761	$T_{4,5}^2$	0.1323	$T_{5,4}^2$	0.0027
$T_{1,6}^2$	2.4152	$T_{2,6}^2$	0.4043	$T_{3,6}^2$	1.4164	$T_{4,6}^2$	2.1494	$T_{5,6}^2$	0.2792
$T_{1,7}^2$	1.1306	$T_{2,7}^2$	0.2055	$T_{3,7}^2$	3.594	$T_{4,7}^2$	0.0082	$T_{5,7}^2$	0.206
$T_{6,1}^2$	1.1493	$T_{7,1}^2$	0.4706						
$T_{6,2}^2$	0.9438	$T_{7,2}^2$	1.351						
$T_{6,3}^2$	0.0078	$T_{7,3}^2$	2.7914						
$T_{6,4}^2$	2.8571	$T_{7,4}^2$	1.3218						
$T_{6,5}^2$	1.1165	$T_{7,5}^2$	1.6492						
$T_{6,7}^2$	1.7352	$T_{7,6}^2$	2.3411						

İkili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğundan üçlü koşullu terimler hesaplanmalıdır.

**271. gözlem için :**

**Çizelge 3.52** 271. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.1642	$T_2^2$	6.2582	$T_3^2$	0.4067	$T_4^2$	0.0494
$T_5^2$	0.807	$T_6^2$	0.8637	$T_7^2$	1.0603		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.53** 271. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0936	$T_{2,1}^2$	6.1876	$T_{3,1}^2$	0.4198	$T_{4,1}^2$	0.0386	$T_{5,1}^2$	0.9516
$T_{1,3}^2$	0.1773	$T_{2,3}^2$	6.0551	$T_{3,2}^2$	0.2036	$T_{4,2}^2$	0.0589	$T_{5,2}^2$	0.9874
$T_{1,4}^2$	0.1534	$T_{2,4}^2$	6.2678	$T_{3,4}^2$	0.385	$T_{4,3}^2$	0.0276	$T_{5,3}^2$	0.6159
$T_{1,5}^2$	0.3088	$T_{2,5}^2$	6.4386	$T_{3,5}^2$	0.2157	$T_{4,5}^2$	0.0013	$T_{5,4}^2$	0.7589
$T_{1,6}^2$	0.2453	$T_{2,6}^2$	5.9667	$T_{3,6}^2$	0.001	$T_{4,6}^2$	0.3613	$T_{5,6}^2$	0.3685
$T_{1,7}^2$	0.0001	$T_{2,7}^2$	6.8357	$T_{3,7}^2$	0.8909	$T_{4,7}^2$	0.2496	$T_{5,7}^2$	2.4226
$T_{6,1}^2$	0.9448	$T_{7,1}^2$	0.8961						
$T_{6,2}^2$	0.5722	$T_{7,2}^2$	1.6378						
$T_{6,3}^2$	0.458	$T_{7,3}^2$	1.5445						
$T_{6,4}^2$	1.1757	$T_{7,4}^2$	1.2605						
$T_{6,5}^2$	0.4252	$T_{7,5}^2$	2.676						
$T_{6,7}^2$	1.5991	$T_{7,6}^2$	1.7957						

İkili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğundan üçlü koşullu terimler hesaplanmalıdır. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

**273. gözlem için :**

**Çizelge 3.54** 273. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.1795	$T_2^2$	4.193	$T_3^2$	0.0034	$T_4^2$	6.141
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.0073	$T_7^2$	0.3763		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.55** 273. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.2556	$T_{2,1}^2$	4.2691	$T_{3,1}^2$	0.0023	$T_{4,1}^2$	6.0311	$T_{5,1}^2$	0.1979
$T_{1,3}^2$	0.1784	$T_{2,3}^2$	4.1988	$T_{3,2}^2$	0.0092	$T_{4,2}^2$	8.4389	$T_{5,2}^2$	0.3419
$T_{1,4}^2$	0.0696	$T_{2,4}^2$	6.4908	$T_{3,4}^2$	3.101	$T_{4,3}^2$	9.2387	$T_{5,3}^2$	0.2557
$T_{1,5}^2$	0.1206	$T_{2,5}^2$	4.278	$T_{3,5}^2$	0.0021	$T_{4,5}^2$	7.4952	$T_{5,4}^2$	1.6111
$T_{1,6}^2$	0.1743	$T_{2,6}^2$	4.189	$T_{3,6}^2$	0	$T_{4,6}^2$	12.6508	$T_{5,6}^2$	0.26
$T_{1,7}^2$	0.0379	$T_{2,7}^2$	3.9895	$T_{3,7}^2$	0.0117	$T_{4,7}^2$	7.4126	$T_{5,7}^2$	0.0625
$T_{6,1}^2$	0.0021	$T_{7,1}^2$	0.2347						
$T_{6,2}^2$	0.0033	$T_{7,2}^2$	0.1729						
$T_{6,3}^2$	0.0039	$T_{7,3}^2$	0.3847						
$T_{6,4}^2$	6.5171	$T_{7,4}^2$	1.6479						
$T_{6,5}^2$	0.0104	$T_{7,5}^2$	0.182						
$T_{6,7}^2$	0.0078	$T_{7,6}^2$	0.3768						

Çizelge 3.55'te verilen ikili koşullu terimlerden  $T_{4,3}^2$  ve  $T_{4,3}^2$  kritik değeri aşmaktadır. Bu durumda 3, 4 ve 6. değişkenleri veri setinden çıkarılacak ve kalan değişkenler (1,2,5,7) için  $T^2$  değeri hesaplanacaktır. Kalan değişkenler için  $T^2=4,7098 < \text{ÜKS}=16,2512$  olduğundan sinyal vermeyecektir. Bu durumda  $T_{4,3}^2$  ve  $T_{4,6}^2$  terimleri hata kaynağını işaret etmektedir. 3, 4 ve 6. değişkenlerinin gözlem değerlerinin sırasıyla 0.1900, 0.1800 ve 0.0800 olduğu bilinmektedir. Çizelge 3.4'de verilen istatistiksel özet tablo ve korelasyon yapıları incelendiğinde 3. değişkenini maks değerden ve ortalamadan büyük olduğu, 4. değişkeninin min- maks sınırları arasında ve ortalamanın üstünde olduğu, 6. değişken ise min- maks sınırları arasında ve ortalamanın üstünde olduğu görülmektedir. Ayrıca korelasyon yapısı incelendiğinde (3-4), (3-6), (4-6) değişkenleri arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir.

### 286. gözlem için :

**Çizelge 3.56** 286. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	2.041	$T_2^2$	0.0914	$T_3^2$	0.121	$T_4^2$	0.3018
$T_5^2$	0.0698	$T_6^2$	0.1772	$T_7^2$	0.2323		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir.

**Çizelge 3.57** 286. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	2.0788	$T_{2,1}^2$	0.1292	$T_{3,1}^2$	0.1468	$T_{4,1}^2$	0.4137	$T_{5,1}^2$	0.0013
$T_{1,3}^2$	2.0668	$T_{2,3}^2$	0.1085	$T_{3,2}^2$	0.1381	$T_{4,2}^2$	0.2522	$T_{5,2}^2$	0.0761
$T_{1,4}^2$	2.1529	$T_{2,4}^2$	0.0419	$T_{3,4}^2$	0.6335	$T_{4,3}^2$	0.8142	$T_{5,3}^2$	0.1172
$T_{1,5}^2$	1.9725	$T_{2,5}^2$	0.0977	$T_{3,5}^2$	0.1684	$T_{4,5}^2$	0.2444	$T_{5,4}^2$	0.0125
$T_{1,6}^2$	1.9463	$T_{2,6}^2$	0.0748	$T_{3,6}^2$	0.6951	$T_{4,6}^2$	0.1271	$T_{5,6}^2$	0.015
$T_{1,7}^2$	1.8181	$T_{2,7}^2$	0.0658	$T_{3,7}^2$	0.243	$T_{4,7}^2$	0.195	$T_{5,7}^2$	0.002
$T_{6,1}^2$	0.0825	$T_{7,1}^2$	0.0095						
$T_{6,2}^2$	0.1607	$T_{7,2}^2$	0.2067						
$T_{6,3}^2$	0.7513	$T_{7,3}^2$	0.3544						
$T_{6,4}^2$	0.0026	$T_{7,4}^2$	0.1255						
$T_{6,5}^2$	0.1223	$T_{7,5}^2$	0.1645						
$T_{6,7}^2$	0.0894	$T_{7,6}^2$	0.1445						

İkili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğundan üçlü koşullu terimler hesaplanmalıdır. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

### 295. gözlem için :

**Çizelge 3.58** 295. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.0317	$T_2^2$	1.4647	$T_3^2$	0.2723	$T_4^2$	1.3179
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.007	$T_7^2$	0.0043		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğu için ikili koşullu terimler incelenmelidir. Çizelge 3.59 incelendiğinde ikili koşullu terimlerin de kritik değerden

küçük olduğu görülmektedir. Algoritma gereği üçlü koşullu terimler incelenmelidir.

Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

**Çizelge 3.59** 295. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0169	$T_{2,1}^2$	1.4499	$T_{3,1}^2$	0.277	$T_{4,1}^2$	1.3502	$T_{5,1}^2$	0.2349
$T_{1,3}^2$	0.0365	$T_{2,3}^2$	1.3791	$T_{3,2}^2$	0.1867	$T_{4,2}^2$	1.9454	$T_{5,2}^2$	0.2129
$T_{1,4}^2$	0.064	$T_{2,4}^2$	2.0922	$T_{3,4}^2$	2.0021	$T_{4,3}^2$	3.0478	$T_{5,3}^2$	0.3923
$T_{1,5}^2$	0.0097	$T_{2,5}^2$	1.4207	$T_{3,5}^2$	0.4077	$T_{4,5}^2$	1.0957	$T_{5,4}^2$	0.0346
$T_{1,6}^2$	0.0349	$T_{2,6}^2$	1.4577	$T_{3,6}^2$	0.3864	$T_{4,6}^2$	2.8587	$T_{5,6}^2$	0.3297
$T_{1,7}^2$	0.0274	$T_{2,7}^2$	1.4944	$T_{3,7}^2$	0.3126	$T_{4,7}^2$	1.3679	$T_{5,7}^2$	0.2895
$T_{6,1}^2$	0.0101	$T_{7,1}^2$	0						
$T_{6,2}^2$	0	$T_{7,2}^2$	0.0341						
$T_{6,3}^2$	0.1211	$T_{7,3}^2$	0.0447						
$T_{6,4}^2$	1.5477	$T_{7,4}^2$	0.0543						
$T_{6,5}^2$	0.0798	$T_{7,5}^2$	0.037						
$T_{6,7}^2$	0.0112	$T_{7,6}^2$	0.0086						

### 296. gözlem için :

**Çizelge 3.60** 296. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.0918	$T_2^2$	0.0156	$T_3^2$	0.6588	$T_4^2$	3.116
$T_5^2$	0.0264	$T_6^2$	0.3478	$T_7^2$	0.4417		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğundan üçlü koşullu terimler hesaplanmalıdır. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

**Çizelge 3.61** 296. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0889	$T_{2,1}^2$	0.0128	$T_{3,1}^2$	0.6472	$T_{4,1}^2$	3.06	$T_{5,1}^2$	0.0134
$T_{1,3}^2$	0.0801	$T_{2,3}^2$	0.0348	$T_{3,2}^2$	0.678	$T_{4,2}^2$	3.1419	$T_{5,2}^2$	0.025
$T_{1,4}^2$	0.0357	$T_{2,4}^2$	0.0415	$T_{3,4}^2$	4.783	$T_{4,3}^2$	7.2402	$T_{5,3}^2$	0
$T_{1,5}^2$	0.0787	$T_{2,5}^2$	0.0141	$T_{3,5}^2$	0.6324	$T_{4,5}^2$	3.5754	$T_{5,4}^2$	0.4858
$T_{1,6}^2$	0.0617	$T_{2,6}^2$	0.0278	$T_{3,6}^2$	0.3161	$T_{4,6}^2$	9.3204	$T_{5,6}^2$	0.0026
$T_{1,7}^2$	0.0016	$T_{2,7}^2$	0.0364	$T_{3,7}^2$	0.4347	$T_{4,7}^2$	3.9962	$T_{5,7}^2$	0.0275
$T_{6,1}^2$	0.3177	$T_{7,1}^2$	0.3515						
$T_{6,2}^2$	0.3599	$T_{7,2}^2$	0.4624						
$T_{6,3}^2$	0.0051	$T_{7,3}^2$	0.2175						
$T_{6,4}^2$	6.5522	$T_{7,4}^2$	1.3218						
$T_{6,5}^2$	0.324	$T_{7,5}^2$	0.4427						
$T_{6,7}^2$	0.1781	$T_{7,6}^2$	0.2719						

Çizelge 3.61’de verilen koşullu terimler incelendiğinde  $T_{4,6}^2$  teriminin kritik değeri aştığı görülmektedir. 4. ve 6. değişkenler veri setinden çıkarılarak kalan değişkenler için  $T^2$  değeri hesaplanır.  $T^2 = 0.9965 < \text{ÜKS} = 18.2051$  olduğundan sinyal oluşmayacaktır. Bu durumda  $T_{4,6}^2$  sinyal kaynağıdır. Bu gözlemde 4. ve 6. değişkenlerin değerleri sırasıyla 0.3200 ve 0.0200 olduğu bilinmektedir. Çizelge 3.4’de verilen istatistiksel özet tablo ve korelasyon yapıları incelendiğinde 4. değişkenin maks değerden daha fazla olduğu, 6. değişken min- maks arasında ve ortalamanın altında olduğu görülmektedir. Ayrıca korelasyon yapısı incelendiğinde (4-6) değişkenleri arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğu dikkat çekmektedir. 4. değişken ortalamasının üstünde iken aralarında pozitif ilişki bulunan 6. değişkenin ortalamasının altında olması hata kaynağıdır.



**297. gözlem için :**

**Çizelge 3.62** 297. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0	$T_2^2$	0.0051	$T_3^2$	0.0034	$T_4^2$	0.4694
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.3478	$T_7^2$	0.0137		

**Çizelge 3.63** 297. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0	$T_{2,1}^2$	0.0051	$T_{3,1}^2$	0.0034	$T_{4,1}^2$	0.4708	$T_{5,1}^2$	0.2646
$T_{1,3}^2$	0.0001	$T_{2,3}^2$	0.0045	$T_{3,2}^2$	0.0028	$T_{4,2}^2$	0.4673	$T_{5,2}^2$	0.26
$T_{1,4}^2$	0.0015	$T_{2,4}^2$	0.0031	$T_{3,4}^2$	0.1578	$T_{4,3}^2$	0.6238	$T_{5,3}^2$	0.2557
$T_{1,5}^2$	0.0078	$T_{2,5}^2$	0.0082	$T_{3,5}^2$	0.0021	$T_{4,5}^2$	0.3177	$T_{5,4}^2$	0.1052
$T_{1,6}^2$	0.0025	$T_{2,6}^2$	0.0128	$T_{3,6}^2$	0.3553	$T_{4,6}^2$	2.3691	$T_{5,6}^2$	0.5888
$T_{1,7}^2$	0.002	$T_{2,7}^2$	0.0069	$T_{3,7}^2$	0.0085	$T_{4,7}^2$	0.5459	$T_{5,7}^2$	0.4021
$T_{6,1}^2$	0.3503	$T_{7,1}^2$	0.0156						
$T_{6,2}^2$	0.3555	$T_{7,2}^2$	0.0155						
$T_{6,3}^2$	0.6998	$T_{7,3}^2$	0.0188						
$T_{6,4}^2$	2.2476	$T_{7,4}^2$	0.0902						
$T_{6,5}^2$	0.6797	$T_{7,5}^2$	0.1588						
$T_{6,7}^2$	0.3365	$T_{7,6}^2$	0.0024						

Çizelge 3.62 ve Çizelge3.63'te verilen koşulsuz ve ikili koşullu değerleri kritik değerden küçük olduğundan üçlü koşullu değerler hesaplamalıdır.

**298. gözlem için :**

**Çizelge 3.64** 298. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	3.5611	$T_2^2$	7.7606	$T_3^2$	6.9588	$T_4^2$	1.696
$T_5^2$	1.3833	$T_6^2$	0.0073	$T_7^2$	1.8057		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçük olduğundan ikili koşullu terimler hesaplanmalıdır.

**Çizelge 3.65** 298. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	3.1601	$T_{2,1}^2$	7.3595	$T_{3,1}^2$	7.2105	$T_{4,1}^2$	2.0377	$T_{5,1}^2$	0.7856
$T_{1,3}^2$	3.8128	$T_{2,3}^2$	6.7342	$T_{3,2}^2$	5.9324	$T_{4,2}^2$	3.4115	$T_{5,2}^2$	1.1481
$T_{1,4}^2$	3.9028	$T_{2,4}^2$	9.4761	$T_{3,4}^2$	16.663	$T_{4,3}^2$	11.4002	$T_{5,3}^2$	3.0641
$T_{1,5}^2$	2.9634	$T_{2,5}^2$	7.5254	$T_{3,5}^2$	8.6396	$T_{4,5}^2$	1.0157	$T_{5,4}^2$	0.703
$T_{1,6}^2$	3.5625	$T_{2,6}^2$	7.8321	$T_{3,6}^2$	12.8792	$T_{4,6}^2$	3.032	$T_{5,6}^2$	1.5035
$T_{1,7}^2$	2.1687	$T_{2,7}^2$	8.5895	$T_{3,7}^2$	9.6361	$T_{4,7}^2$	0.9882	$T_{5,7}^2$	0.3871
$T_{6,1}^2$	0.0087	$T_{7,1}^2$	0.4132						
$T_{6,2}^2$	0.0788	$T_{7,2}^2$	2.6345						
$T_{6,3}^2$	5.9277	$T_{7,3}^2$	4.483						
$T_{6,4}^2$	1.3433	$T_{7,4}^2$	1.0979						
$T_{6,5}^2$	0.1275	$T_{7,5}^2$	0.8095						
$T_{6,7}^2$	0.0894	$T_{7,6}^2$	1.8878						

İkili koşullu terimler incelendiğinde  $T_{2,4}^2, T_{3,4}^2, T_{3,6}^2, T_{3,7}^2, T_{4,3}^2$  terimlerinin kritik değerden büyük olduğu gözlenmektedir. 2, 3, 4, 6 ve 7. değişkenler veri setinden atılarak kalan (1. ve 5.) değişkenleri için  $T^2 = 3.9744$  olarak hesaplanır. ÜKS = 11.8290 ile karşılaştırıldığında küçük olduğundan  $T_{2,4}^2, T_{3,4}^2, T_{3,6}^2, T_{3,7}^2, T_{4,3}^2$  terimlerinin sinyal kaynağı olduğu söylenebilir. 2, 3, 4, 6 ve 7. değişkenlerin değerleri sırasıyla 1.8400, 0.2200, 0.1600, 0.1100, 0.0120 olduğu bilinmektedir. 2. değişken değeri min-maks arasında ve ortalamadan küçük, 3. değişken değeri maks değerinden büyük, 4. değişken değeri min-maks arasında ve ortalamadan büyük, 6. değişken değeri min-maks arasında ve ortalamadan küçük, 7. değişken min-maks arasında ve ortalamadan büyük olduğu görülmektedir. Bu gözlem için 2, 3, 4, 6 ve 7. değişkenler incelenmelidir.

### 300. gözlem için :

**Çizelge 3.66** 300. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.0118	$T_2^2$	5.9469	$T_3^2$	6.8067	$T_4^2$	0.0046
$T_5^2$	0.807	$T_6^2$	1.2059	$T_7^2$	3.5777		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçüktür. Bu durumda ikili koşullu terimler incelenecektir.

**Çizelge 3.67** 300. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0423	$T_{2,1}^2$	5.9774	$T_{3,1}^2$	6.7969	$T_{4,1}^2$	0.0037	$T_{5,1}^2$	0.8603
$T_{1,3}^2$	0.002	$T_{2,3}^2$	5.0583	$T_{3,2}^2$	5.9181	$T_{4,2}^2$	0.2767	$T_{5,2}^2$	0.6507
$T_{1,4}^2$	0.0109	$T_{2,4}^2$	6.219	$T_{3,4}^2$	10.2701	$T_{4,3}^2$	3.468	$T_{5,3}^2$	2.1335
$T_{1,5}^2$	0.0651	$T_{2,5}^2$	5.7906	$T_{3,5}^2$	8.1333	$T_{4,5}^2$	0.039	$T_{5,4}^2$	0.8414
$T_{1,6}^2$	0.0455	$T_{2,6}^2$	6.358	$T_{3,6}^2$	19.7241	$T_{4,6}^2$	0.9664	$T_{5,6}^2$	0.2945
$T_{1,7}^2$	0.8901	$T_{2,7}^2$	6.9465	$T_{3,7}^2$	10.3971	$T_{4,7}^2$	0.1811	$T_{5,7}^2$	0.0004
$T_{6,1}^2$	1.2396	$T_{7,1}^2$	4.456						
$T_{6,2}^2$	1.617	$T_{7,2}^2$	4.5773						
$T_{6,3}^2$	14.1233	$T_{7,3}^2$	7.168						
$T_{6,4}^2$	2.1678	$T_{7,4}^2$	3.7542						
$T_{6,5}^2$	0.6934	$T_{7,5}^2$	2.7711						
$T_{6,7}^2$	0.3564	$T_{7,6}^2$	2.7281						

İkili koşullu terimler incelendiğinde  $T_{6,3}^2$ ,  $T_{3,4}^2$ ,  $T_{3,6}^2$  ve  $T_{3,7}^2$  terimleri kritik değerden büyüktür. 3, 4, 6ve 7. değişkenlerin 300. gözleme ait değerleri sırasıyla 0.0900, 0.3400, 0.5000, 0.0020 olduğu bilinmektedir. Çizelge 3.4'de verilen özet tablo ile karşılaştırıldığında 3.değişkenin değeri min-maks arasında ve ortalamadan küçük, 4.değişkenin değeri maksimumdan büyük, 6. değişkenin değeri maksimumdan büyük, 7.değişkenin değeri min-maks arasında ve ortalamadan küçük olduğu gözlenmektedir. Ayrıca korelasyon yapısı incelendiğinde (3-6) ve (3-4) arasında güçlü pozitif yönde ilişki olduğu belirlenmektedir. Bu gözlemden değişkenler arasındaki ilişkinin tersi yönünde değerler söz konusudur.

### 301. gözlem için :

**Çizelge 3.68** 301. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.2353	$T_2^2$	1.9521	$T_3^2$	0.0034	$T_4^2$	3.6846
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	1.2059	$T_7^2$	2.9203		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçüktür. Bu durumda ikili koşullu terimler incelenecektir.

**Çizelge 3.69** 301. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.1848	$T_{2,1}^2$	1.9015	$T_{3,1}^2$	0.0021	$T_{4,1}^2$	3.8222	$T_{5,1}^2$	0.1892
$T_{1,3}^2$	0.2341	$T_{2,3}^2$	1.9754	$T_{3,2}^2$	0.0267	$T_{4,2}^2$	4.9052	$T_{5,2}^2$	0.2064
$T_{1,4}^2$	0.3729	$T_{2,4}^2$	3.1727	$T_{3,4}^2$	1.5363	$T_{4,3}^2$	5.2176	$T_{5,3}^2$	0.2557
$T_{1,5}^2$	0.1676	$T_{2,5}^2$	1.9016	$T_{3,5}^2$	0.0021	$T_{4,5}^2$	3.4297	$T_{5,4}^2$	0.002
$T_{1,6}^2$	0.1467	$T_{2,6}^2$	2.183	$T_{3,6}^2$	0.7902	$T_{4,6}^2$	2.5982	$T_{5,6}^2$	0.0153
$T_{1,7}^2$	0.0468	$T_{2,7}^2$	2.4689	$T_{3,7}^2$	0.1671	$T_{4,7}^2$	2.3607	$T_{5,7}^2$	0.1063
$T_{6,1}^2$	1.1173	$T_{7,1}^2$	2.7318						
$T_{6,2}^2$	1.4369	$T_{7,2}^2$	3.4372						
$T_{6,3}^2$	1.9928	$T_{7,3}^2$	3.0841						
$T_{6,4}^2$	0.1195	$T_{7,4}^2$	1.5964						
$T_{6,5}^2$	0.9643	$T_{7,5}^2$	2.7697						
$T_{6,7}^2$	0.4221	$T_{7,6}^2$	2.1365						

İkili koşullu terimler de kritik değerden küçük olduğundan üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır.

### 302. gözlem için :

**Çizelge 3.70** 302. Gözlem için Koşulsuz Terimler

$T_1^2$	0.1465	$T_2^2$	3.0426	$T_3^2$	0.0034	$T_4^2$	0.2818
$T_5^2$	0.2569	$T_6^2$	0.5785	$T_7^2$	1.8057		

Koşulsuz terimler kritik değerden küçüktür. Çizelge 3.71'de verilen ikili koşullu terimler incelendiğinde bunların da kritik değerden küçük olduğu gözlenmektedir. Algoritma gereği üçlü koşullu terimler incelenmelidir. Dolayısıyla bir hata kaynağı bulunamamıştır

**Çizelge 3.71** 302. Gözlem için İkili Koşullu Terimler

$T_{1,2}^2$	0.0983	$T_{2,1}^2$	2.9945	$T_{3,1}^2$	0.0024	$T_{4,1}^2$	0.31	$T_{5,1}^2$	0.2039
$T_{1,3}^2$	0.1455	$T_{2,3}^2$	3.0752	$T_{3,2}^2$	0.0359	$T_{4,2}^2$	0.7515	$T_{5,2}^2$	0.1946
$T_{1,4}^2$	0.1747	$T_{2,4}^2$	3.5124	$T_{3,4}^2$	0.0852	$T_{4,3}^2$	0.3636	$T_{5,3}^2$	0.2557
$T_{1,5}^2$	0.0935	$T_{2,5}^2$	2.9804	$T_{3,5}^2$	0.0021	$T_{4,5}^2$	0.1621	$T_{5,4}^2$	0.1372
$T_{1,6}^2$	0.0975	$T_{2,6}^2$	3.2467	$T_{3,6}^2$	0.3504	$T_{4,6}^2$	0	$T_{5,6}^2$	0.0637
$T_{1,7}^2$	0.0284	$T_{2,7}^2$	3.5507	$T_{3,7}^2$	0.0952	$T_{4,7}^2$	0.0386	$T_{5,7}^2$	0.018
$T_{6,1}^2$	0.5295	$T_{7,1}^2$	1.6876						
$T_{6,2}^2$	0.7825	$T_{7,2}^2$	2.3137						
$T_{6,3}^2$	0.9255	$T_{7,3}^2$	1.8975						
$T_{6,4}^2$	0.2967	$T_{7,4}^2$	1.5625						
$T_{6,5}^2$	0.3853	$T_{7,5}^2$	1.5667						
$T_{6,7}^2$	0.163	$T_{7,6}^2$	1.3902						

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada çok değişkenli kontrol çizelgeleri ele alınmaktadır ve pirinç üretimi gerçekleştirilen bir firmada bu çizelgelerin bir uygulaması yapılmıştır. Çeşitli hurdalar ve saf metaller kullanılarak gerçekleştirilen pirinç üretiminde kalite değişkenleri, pirinç içeriğinde bulunan metal yüzdeleri ile ifade edildiğinden süreç 7 kalite değişkeni ile tanımlanmıştır. Firmada düzenli olarak veri alınmaktadır, ancak bu verilerin istatistiksel olarak analizi yapılmamaktadır. Uygulamada çok değişkenli çizelgeleri arasında en çok tercih edilen Hotelling  $T^2$  çizelgeleri kullanılarak 3 aylık bir sürede alınan 357 adet veri analiz edilmiştir. Ayrıca kontrol dışı sinyallerin yorumlanmasında da Mason-Young-Tracy (MYT) ayrıştırma yöntemi kullanılarak kontrol dışı noktalar yorumlanmıştır.

Çalışmada, öncelikle verilerin Normal dağılıma uygunluğu Q-Q grafikleri ile analiz edilmiştir. Alüminyum dışındaki değişkenler Normal dağılım takip ederken, alüminyum değişkenine ait veriler logaritmik dönüşümle normal dağılıma dönüştürülmüştür. Herhangi bir istatistiksel proses kontrol çalışması yapılmamasına rağmen sürecin normal dağılıma uygun olması dikkat çekmektedir. Firmada amaç spesifikasyonları tutturaktır ve çalışanların iş tecrübesi ile bu amaç sağlanabilmektedir. Bu da sürekli iyileştirme politikası yerine sorun çıktıkça müdahale politikasının uygulandığını düşündürmektedir. Diğer taraftan değişkenlerin normal dağılım takip etmesi genelde gözlenen değişkenliğin genel nedenli değişkenlik olduğunu gösterir, yani süreç istatistiksel anlamda kontrol altındadır. Bu da uzun yıllara dayalı süreç uzmanlığı sayesinde kararlı çalışan bir süreç elde edilmesine bağlanmalıdır.

Veriler önce altgrup genişliği 3 alınarak analiz edilmiş ancak rasyonel alt gruplamanın gerçekleşmemesi nedeniyle alt grup genişliği 1 alınarak -tek tek gözlemler için- analiz gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada 55 gözlem alınmış, Hotelling  $T^2$  çizelgesi oluşturularak kontrol dışı noktalar belirlenmiştir. Bu noktalar veri setinden atılarak çizelge yeniden oluşturulmuştur. 50 gözlem için tüm gözlem değerleri üst kontrol sınırının altında yer almıştır, böylece referans veri setine ulaşılmış ve birinci aşama tamamlanmıştır. İkinci aşamada 302 veri için Hotelling  $T^2$  çizelgesi oluşturulmuş ve kontrol dışı noktalar belirlenmiştir.

Kontrol çizelgelerinde kontrol dışı noktaların analizi ile hata kaynakları belirlenmektedir. Kontrol dışı sinyallerin yorumlanmasında mühendislere yardımcı olacak yöntemlerden biri sinyalden sorumlu olan değişken veya değişkenlerin ortaya çıkarılmasıdır. Bu iş karmaşık kovaryans yapısı nedeniyle kolay bir şekilde gerçekleştirilemez. Bu amaçla geliştirilmiş kapsamlı bir yöntem Mason-Young-Tracy ayrıştırma yöntemidir. Bu yöntemin çalışmada elde edilen kontrol dışı sinyallere uygulanmasıyla birçok sinyal için bir ya da birden fazla sorumlu değişken saptanmıştır. Bütün sinyallerin hata kaynaklarının belirlenememesi mühendis ve ustaların daha önceden bir kontrol çizelgesi kullanma ve yorumlama deneyimine sahip olmamasına bağlanabilir.

Literatürde çok değişkenli kontrol çizelgeleri konusunda yapılmış çalışmalar daha çok teoriktir. Uygulama niteliğinde olan çalışmalarda da değişken sayısı ve veri sayısı sınırlı tutulmuştur. Ayrıca sinyallerin yorumlanmasında kontrol dışı tüm noktaların analizi yerine birkaç noktanın analizi örnek olarak verilmiştir. Oysa bu çalışmada, 7 değişkenli süreç bol veri kullanılarak analiz edilmiş ve kontrol dışı olan

tüm noktalar yorumlanmış; mühendis gözü ile, süreç bilgisi ve analiz sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

İlerde, geliştirilen kontrol çizelgelerinin reel zamanlı uygulanması (her yeni veri işaretlendiğinde olası kontrol dışı durumların araştırılması ve yorumlanması) ve kontrol dışı sinyal üzerinde beyin fırtınası gibi yöntemler kullanılarak fikir alışverişi sonucunda bu çalışma kapsamında fark edilmeyen bir çok hata kaynağının da ortaya çıkartılması beklenmektedir. Böylece bu değişkenlerin bağlantılı olabileceği hurda, hammadde ve süreçlerdeki hata kaynaklarının saptanması da mümkün olabilecektir.

Bu yöntemin sonuçlarının fabrikada faydalı olabilmesi için değişkenlerle hata kaynakları arasında ne tür ilişkilerin olduğu ilerde yapılacak ana bileşenler analizi ya da çok değişkenli regresyon analizi gibi ilave istatistiksel çalışmalarla da gerçekleştirilebilir. Ayrıca firmanın mevcut politikasının değiştirilmesi ve kalite iyileştirme yönünde çalışmalara ağırlık verilmesi, yani mevcut durumdan daha iyisinin hedeflenmesi anlamına gelecektir. Böylece amaç sadece spesifikasyonları sağlamak değil, çalışmaya söz konusu olan yedi kalite değişkenindeki değişkenlikleri azaltmak olacaktır. Bu amaç da yüksek kaliteye düşük maliyetle ulaşılarak rekabet için önemli olan kalite ve maliyet faktörlerinde gelişme sağlayacak, yüksek rekabet gücü de pazar payını arttıracaktır. Bu çalışma benzer pirinç döküm süreçlerine kolaylıkla uygulanabilir niteliktedir.



## KAYNAKLAR

1. D. C. Montgomery, "Introduction to Statistical Quality Control", 4th ed., Wiley&Sons, New York, 2001.
2. S. Wise, D. Fair, "The Control Chart Dilemma", Quality Progress, Şubat, 66(1998).
3. L. M. M. Riberio, J. A. S. Cabral, "The Use and Misuse of Statistical Tools", Journal of Materials Processing Technology, **92-93**, 288(1999).
4. J. E. Jakson, "Multivariate Quality Control", Communications in Statistics – Theory and Methods, **14(11)**, 2657(1985).
5. J. J. Pignatello, G. C. Runger, "Comparisons of Multivariate CUSUM Charts", Journal of Quality Technology, **22(3)**, 173(1990).
6. F. B. Alt, "Mutivariate Quality Control, S. Kotz and N. L. Johnson (eds.), Encyclopedia of Statistical Science, **6**, Wiley, New York, 110(1985).
7. N. Doganaksoy, F. W. Faltin, W. T. Tucker, "Identification of Out of Control Quality Characteristics in a Multivariate Manufacturing Enviroment", Communications in Statistics – Theory and Methods, **20(9)**, 2775(1991).
8. L. W. Blazek, B. Novic, D. M. Scott, "Displaying Multivariate Data Using Polyplots", Journal of Quality Technology, **19**, 69(1987).
9. C. Fuchs, Y. Benjamin, "Using MP-Charts for SPC", Proceedings of the 9th Conference of the ISQA, Jerusalem, 269(1992).

10. C. A. Lowry, W. H. Woodall, C. W. Champ, S. E. Rigdon, “A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart”, *Technometrics*, **34(1)**, 46(1992).
11. B. J. Murphy, “Selecting Out of Control Variables with the  $T^2$  Multivariate Quality Control Procedures”, *The Statistician*, **36**, 571(1987).
12. M. Chua, D. C. Montgomery, “Investigation and Characterization of a Control Scheme for Multivariate Quality Control”, *Quality and Reliability Engineering International*, **8**, 37(1992).
13. D. M. Hawkins, “Multivariate Quality Based on Regression-Adjusted Variables”, *Technometrics*, **33(1)**, 61(1991).
14. A. J. Hayter, K. L. Tsui, “Identification and Quantification in Mutivariate Quality Control Problems”, *Journal of Quality Technology*, **26(3)**, 197 (1994).
15. R. L. Mason, N. D. Tracy, J. C. Young, “Use of Hotelling’s  $T^2$  Statistics in Multivariate Control Charts”, Presented at the Joint Statistical Meetings, San Francisco, California, 1995.
16. F. Kutay, “Çok Değişkenli Kalite Kontrol”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **3**, 151(1988).
17. F. Kutay, “Çok Değişkenli Kalite Kontrolünde Önemli Bileşenlerin Kullanılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **4**, 83(1989).
18. Y. Uyar, Çok Değişkenli Kalite Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 1993.

19. S. Karaca, Çok Değişkenli Kalite Kontrol Problemlerinin Çözümüne İlişkin Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 1999.
20. M. R. Özkale, İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemleri ve Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana, 2004.
21. B. Koçer, Çok Değişkenli Kalite Kontrol ve Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya, 2004.
22. B. Koçer, B. Birgören, “İstatistiksel Proses Kontrol Çizelgelerinde Hata Teşhisine Yönelik Yaklaşımlar”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, **17(4)**, 59(2004).
23. E. Oktay, Kalite Kontrol Grafikleri, Şafak Yayınevi, Erzurum, 1998.
24. R. W. Hoyer, W. C. Ellis, “A Graphical Exploration of SPC”, Quality Progress, Mayıs, 65(1996).
25. R. W. Hoyer, W. C. Ellis, “Another Look at a Graphical Exploration of SPC”, Quality Progress, Kasım, 85(1996).
26. H. H. Fairfield, “An Aid To Revision of Quality Control Chart Limits”, Quality Engineering, **2(1)**, 45(1989-90).
27. R. W. Hoyer, W.C. Ellis, “A Graphical Exploration of SPC”, Quality Progress, Haziran, 57(1996).
28. S. J. Wierda, “Multivariate Statistical Process Control- Recent Results and Directions for Future Research”, Statistica Neerlandica, **48(2)**, 147(1994).
29. R. L. Mason, J. C. Young, “Multivariate Statistical Process Control with Industrial Applications”, ASA-SIAM, Philadelphia, 2001.

30. N. D. Tracy, J. C. Young, R. L. Mason, "Decomposition of  $T^2$  for Multivariate Control Chart Interpretation", *Journal of Quality Technology*, **27(2)**, 99(1995).
31. N. D. Tracy, J. C. Young, R. L. Mason, "Multivariate Control Charts for Individual Observations", *Journal of Quality Technology*, Nisan, 88(1992).
32. R. L. Mason, J. C. Young, "Interpretive Features of a  $T^2$  Chart in Multivariate SPC", *Quality Progress*, Nisan, 84(2000).
33. C. A. Lowry, D. C. Montgomery, "A Review of Multivariate Control Charts", *IIE Transactions*, **27**, 800(1995).
34. R. L. Mason, Y. Chou, J. H. Sullivan, Z. G. Stoumbos, J. C. Young, "Systematic Pattern in  $T^2$  Charts", *Journal of Quality Technology*, **35**, 47(2003).
35. N. D. Tracy, J. C. Young, R. L. Mason, "A Practical Approach for Interpreting Multivariate  $T^2$  Control Chart Signals", *Journal of Quality Technology*, **29(4)**, 396(1997).
36. R. L. Mason, J. C. Young, "Improving the Sensitivity of the  $T^2$  Statistic in Multivariate Process Control", *Journal of Quality Technology*, **31(2)**, 155(1999).
37. R. K. Pearson, "Exploring Process Data", *Journal of Process Control*, **11**, 179(2001).

## EK1. VERİLERİN HOTELLİNG $T^2$ DEĞERLERİ

**Çizelge 1:** İlk Veri Seti için (55 Gözlem)  $T^2$  Değerleri

<b>1</b>	10.9743	<b>21</b>	2.7234	<b>41</b>	3.5062
<b>2</b>	6.5114	<b>22</b>	4.5399	<b>42</b>	3.4613
<b>3</b>	4.0301	<b>23</b>	6.5184	<b>43</b>	2.0488
<b>4</b>	*24.2581	<b>24</b>	2.188	<b>44</b>	5.3553
<b>5</b>	5.5078	<b>25</b>	*25.4111	<b>45</b>	7.9135
<b>6</b>	2.8466	<b>26</b>	1.9874	<b>46</b>	6.9817
<b>7</b>	9.1007	<b>27</b>	*33.5086	<b>47</b>	3.9871
<b>8</b>	3.7611	<b>28</b>	20.9036	<b>48</b>	9.691
<b>9</b>	2.0982	<b>29</b>	8.9568	<b>49</b>	4.3621
<b>10</b>	6.3692	<b>30</b>	3.3436	<b>50</b>	3.5579
<b>11</b>	4.9597	<b>31</b>	1.767	<b>51</b>	5.8114
<b>12</b>	9.172	<b>32</b>	4.8712	<b>52</b>	6.0842
<b>13</b>	0.7237	<b>33</b>	3.775	<b>53</b>	6.7345
<b>14</b>	4.097	<b>34</b>	4.5923	<b>54</b>	4.1984
<b>15</b>	6.3866	<b>35</b>	8.2815	<b>55</b>	2.2502
<b>16</b>	5.3208	<b>36</b>	*32.9972		
<b>17</b>	5.351	<b>37</b>	7.4057		
<b>18</b>	5.0017	<b>38</b>	3.9347		
<b>19</b>	0.9566	<b>39</b>	1.8646		
<b>20</b>	4.0979	<b>40</b>	1.8623		

Kontrol dışı noktalar

$\bar{ÜKS} = 21.8464$

**Çizelge 2:** 51 Gözlem için  $T^2$  Değerleri

<b>1</b>	12.1504	<b>11</b>	10.1973	<b>21</b>	7.0279	<b>31</b>	7.0331	<b>41</b>	8.523
<b>2</b>	6.4795	<b>12</b>	2.3725	<b>22</b>	9.2577	<b>32</b>	10.6145	<b>42</b>	7.4887
<b>3</b>	4.6531	<b>13</b>	4.409	<b>23</b>	2.2199	<b>33</b>	11.1579	<b>43</b>	4.9644
<b>4</b>	14.3819	<b>14</b>	7.1775	<b>24</b>	1.9748	<b>34</b>	5.3693	<b>44</b>	14.4777
<b>5</b>	3.3783	<b>15</b>	6.9611	<b>25</b>	*23.1352	<b>35</b>	1.9709	<b>45</b>	7.7892
<b>6</b>	9.2671	<b>16</b>	5.4532	<b>26</b>	18.4345	<b>36</b>	2.1685	<b>46</b>	7.8622
<b>7</b>	5.8861	<b>17</b>	5.986	<b>27</b>	3.4366	<b>37</b>	5.9869	<b>47</b>	7.0317
<b>8</b>	3.3315	<b>18</b>	2.5341	<b>28</b>	2.1419	<b>38</b>	5.116	<b>48</b>	5.9771
<b>9</b>	9.4088	<b>19</b>	4.6789	<b>29</b>	11.009	<b>39</b>	3.932	<b>49</b>	7.0129
<b>10</b>	5.3906	<b>20</b>	3.1625	<b>30</b>	6.0842	<b>40</b>	6.7664	<b>50</b>	4.468
								<b>51</b>	2.2126

\*Kontrol dışı noktalar

$\bar{ÜKS} = 21.8464$

**Çizelge 3:** 50 Gözlem için  $T^2$  Değerleri

<b>1</b>	11.8745	<b>11</b>	10.5672	<b>21</b>	6.8518	<b>31</b>	12.3533	<b>41</b>	7.343
<b>2</b>	6.4153	<b>12</b>	2.3398	<b>22</b>	11.0282	<b>32</b>	11.4063	<b>42</b>	4.9165
<b>3</b>	4.7511	<b>13</b>	5.3666	<b>23</b>	2.3098	<b>33</b>	6.1923	<b>43</b>	14.0766
<b>4</b>	13.4485	<b>14</b>	7.7035	<b>24</b>	2.758	<b>34</b>	2.4442	<b>44</b>	8.0461
<b>5</b>	5.583	<b>15</b>	6.8374	<b>25</b>	19.2157	<b>35</b>	2.7685	<b>45</b>	8.8732
<b>6</b>	9.0622	<b>16</b>	6.0335	<b>26</b>	3.3857	<b>36</b>	5.7213	<b>46</b>	7.0325
<b>7</b>	6.0588	<b>17</b>	6.3587	<b>27</b>	2.2864	<b>37</b>	4.9059	<b>47</b>	7.6431
<b>8</b>	3.5125	<b>18</b>	2.3726	<b>28</b>	11.0279	<b>38</b>	4.1017	<b>48</b>	8.2617
<b>9</b>	9.3014	<b>19</b>	4.7089	<b>29</b>	5.815	<b>39</b>	6.8104	<b>49</b>	4.5126
<b>10</b>	5.3356	<b>20</b>	3.2843	<b>30</b>	8.0877	<b>40</b>	9.0035	<b>50</b>	2.5731

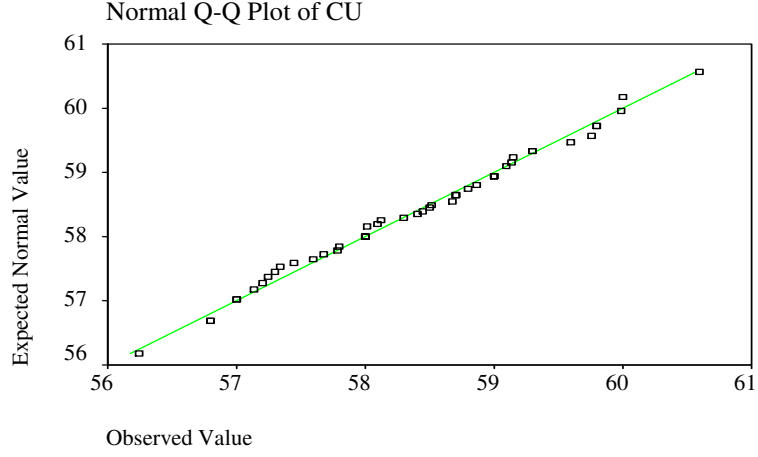
$$\bar{ÜKS} = 21.8464$$

**Çizelge 4:** İkinci Aşamada Kullanılan 302 Gözlem için  $T^2$  Değerleri

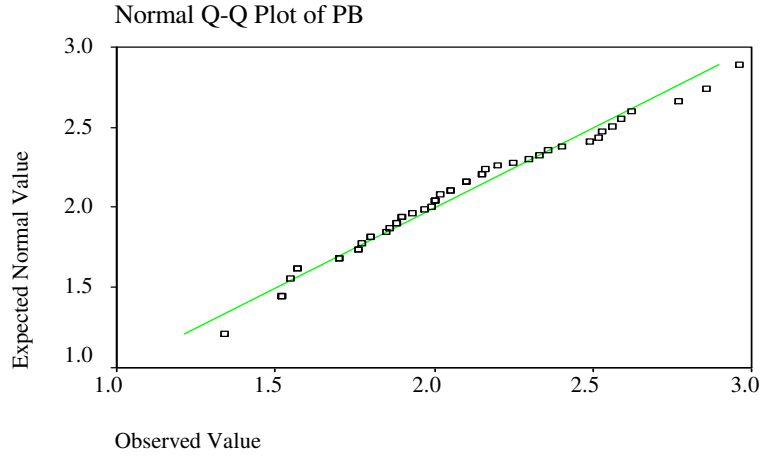
1	9.2258	51	12.8253	101	3.8491	151	9.1632	201	2.6574	251	8.8919
2	8.9258	52	2.106	102	15.2536	152	8.9039	202	8.1225	252	13.6943
3	1.7798	53	3.1395	103	41.8162	153	9.8696	203	20.1851	253	7.619
4	8.8165	54	16.1293	104	12.0529	154	11.1634	204	21.5702	254	7.1304
5	47.8732	55	17.8071	105	4.4113	155	16.2166	205	7.4782	255	18.5792
6	39.9444	56	6.7995	106	6.3489	156	10.7921	206	2.5253	256	4.1657
7	6.8626	57	2.4522	107	14.6649	157	14.0889	207	4.6624	257	36.2552
8	16.7287	58	1.6014	108	12.5312	158	9.4144	208	9.3347	258	46.7294
9	13.8717	59	3.7358	209	4.1086	159	11.2075	209	21.7083	259	4.8832
10	6.2346	60	10.6602	110	3.4283	160	10.9372	210	7.1402	260	1.556
11	164.4464	61	5.6423	111	7.6584	161	6.1328	211	1.1404	261	20.6394
12	9.0008	62	7.8901	112	114.7692	162	68.6216	212	5.3504	262	8.6002
13	9.4806	63	10.5171	113	53.9958	163	19.9184	213	8.174	263	8.4289
14	4.3548	64	11.1546	114	11.7422	164	11.7014	214	3.9917	264	2.6236
15	3.1526	65	42.8122	115	23.0673	165	7.0575	215	4.9112	265	4.676
16	5.0469	66	10.6849	116	15.7961	166	8.4949	216	17.8911	266	8.7269
17	12.0548	67	13.002	117	10.981	167	14.1031	217	5.7777	267	5.7775
18	22.9964	68	16.0503	118	15.2441	168	10.3046	218	3.5661	268	4.418
19	13.941	69	16.7506	119	6.5114	169	4.411	219	5.3129	269	9.4885
20	10.9307	70	8.6749	120	8.3712	170	5.1881	220	10.66	270	15.6205
21	1.8175	71	9.4477	121	23.8027	171	15.3649	221	13.0665	271	22.0265
22	2.5912	72	12.0409	122	5.7439	172	18.6017	222	4.8694	272	7.4091
23	3.4033	73	8.857	123	5.4853	173	11.8935	223	8.5228	273	27.4691
24	10.6376	74	108.6545	124	8.6323	174	34.1137	224	5.577	274	16.5192
25	9.5242	75	25.0021	125	4.8307	175	10.3634	225	15.7318	275	5.3641
26	12.9531	76	12.8016	126	6.949	176	0.9351	226	6.9103	276	11.3069
27	22.0585	77	2.5951	127	4.9768	177	9.2774	227	4.5811	277	8.1874
28	3.4126	78	2.8731	128	12.8306	178	13.5076	228	11.6209	278	10.1344
29	6.5064	79	3.4131	129	2.9637	179	8.064	229	5.5563	279	8.572
30	12.0079	80	3.1269	130	10.8718	180	7.0757	230	1.3393	280	11.0238
31	3.7218	81	7.7394	131	7.1743	181	13.8145	231	6.801	281	17.7336
32	34.707	82	3.5067	132	16.4805	182	6.041	232	11.7348	282	19.6134
33	35.6663	83	6.4255	133	7.2543	183	3.3185	233	3.3924	283	17.9911
34	11.9245	84	3.5227	134	13.9387	184	10.6932	234	5.6269	284	8.6297
35	6.6182	85	17.7202	135	8.9876	185	10.878	235	3.3151	285	7.3332
36	5.1087	86	12.705	136	52.2561	186	3.0788	236	12.4086	286	23.3914
37	10.7309	87	10.0988	137	18.1473	187	4.8703	237	11.0303	287	10.2999
38	7.8554	88	7.6097	138	17.4896	188	13.1716	238	11.2063	288	12.9144
39	13.8139	89	6.6377	139	10.7974	189	8.3578	239	21.0864	289	10.7941
40	30.9961	90	7.1501	140	6.657	190	4.5394	240	6.961	290	10.0072
41	12.3251	91	43.9846	141	13.7522	191	13.4107	241	9.1474	291	9.103
42	3.3251	92	12.5876	142	22.5818	192	15.2917	242	13.2548	292	11.9326
43	93.1587	93	15.5936	143	4.5426	193	6.8635	243	16.6029	293	8.5932
44	10.5055	94	8.9516	144	6.0495	194	4.7974	244	13.9357	294	6.8909
45	7.3897	95	15.7538	145	21.0398	195	4.4756	245	2.8318	295	47.5206
46	3.2953	96	18.0339	146	28.1505	196	11.4236	246	14.9346	296	46.5413
47	7.514	97	5.2987	147	17.6567	197	18.9538	247	10.7657	297	70.9009
48	15.9797	98	3.3618	148	15.017	198	14.8318	248	6.0077	298	35.1658
49	5.1296	99	3.7567	149	11.2965	199	5.3365	249	3.9253	299	20.0002
50	6.1721	100	3.9793	150	21.3996	200	6.2471	250	14.8713	300	79.8816
										301	49.0699
										302	62.3814

## EK 2. REFERANS VERİ SETİ İÇİN NORMAL Q-Q ÇİZELGESİ

50 çok değişkenli gözlemin her değişkeni için hazırlanmıştır.(Bakınız bölüm 3.2)

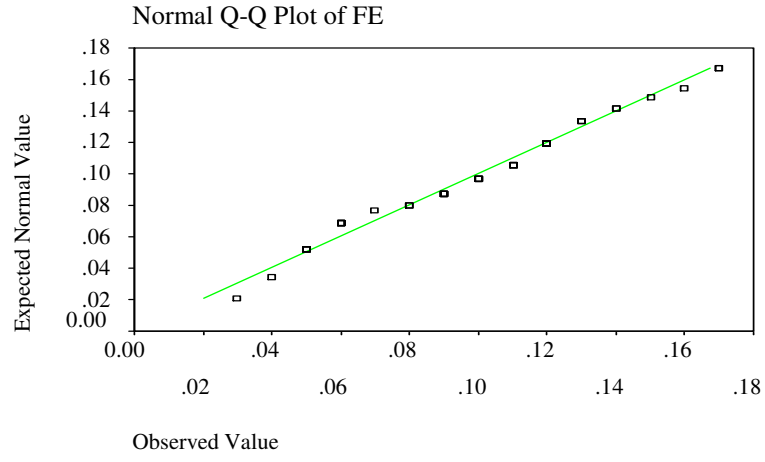


**Şekil 1:**  $x_1$  Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

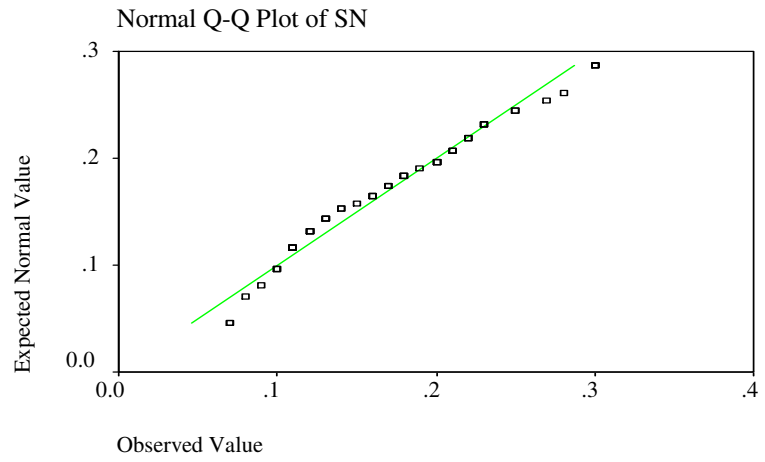


**Şekil 2:**  $x_2$  Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

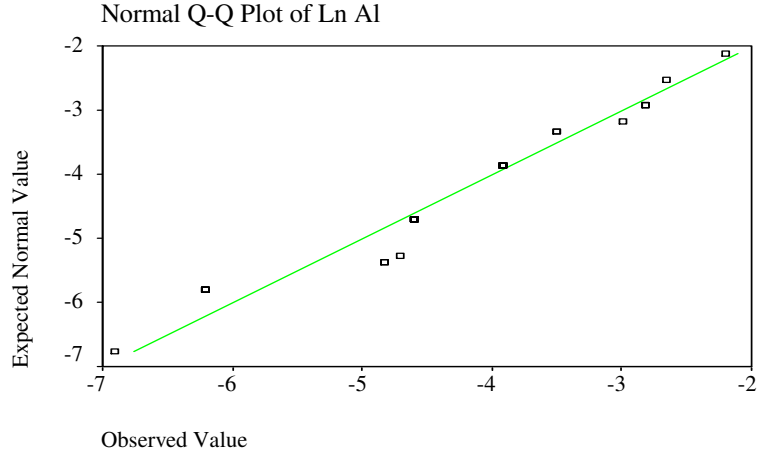




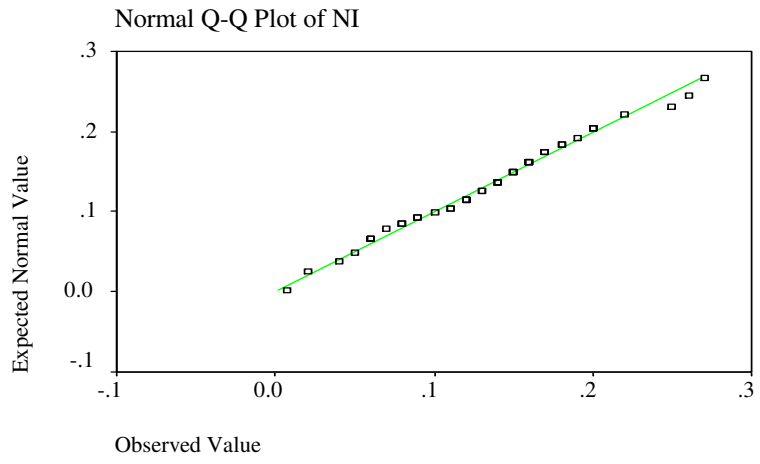
**Şekil 3:**  $x_3$  Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği



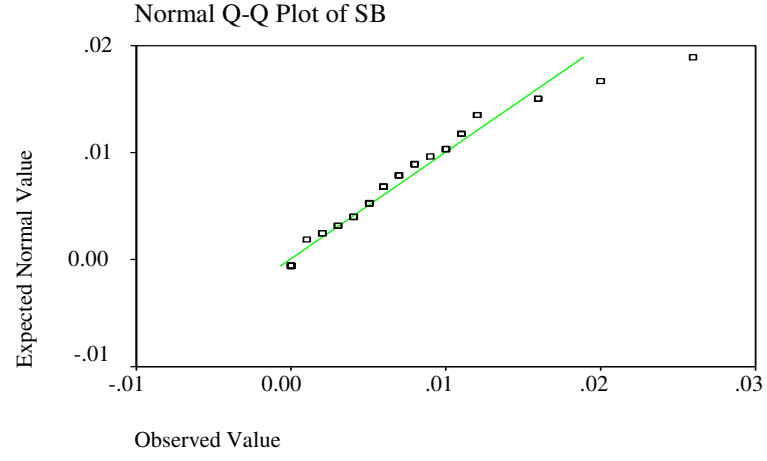
**Şekil 4:**  $x_4$  Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği



**Şekil 5:**  $x_5$  Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği



**Şekil 6:**  $x_6$  Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği



**Şekil 7:**  $x_7$  Değişkeni için Normal Q-Q Grafiği

### EK 3. İKİNCİ AŞAMADA KULLANILAN VERİLER

Tarih	Vardiya	Gözlem Sayısı	Cu	Pb	Fe	Sn	LnAl	Ni	Sb
		1	59.6000	1.8500	0.0700	0.1200	-6.9078	0.1200	0.0000
		2	59.5000	1.6500	0.0800	0.1900	-6.2146	0.1700	0.0000
	2	3	57.9000	1.8900	0.1000	0.2100	-4.6052	0.1800	0.0060
		4	56.2000	1.8300	0.0700	0.1300	-3.2189	0.0800	0.0090
		5	57.6800	1.9500	0.1600	0.1300	-2.3026	0.3800	0.0030
	3	6	60.7000	1.8100	0.1400	0.0900	-2.6593	0.2800	0.0000
		7	59.7000	2.2900	0.1000	0.1100	-3.9120	0.1400	0.0050
		8	58.6000	0.9000	0.1300	0.1500	-3.9120	0.1000	0.0140
17.09.2004	1	9	57.6000	1.8800	0.0080	0.1500	-6.2146	0.0900	0.0000
		10	59.1700	2.4400	0.0900	0.1600	-3.2189	0.1200	0.0020
		11	58.2000	2.1800	0.3100	0.2700	-1.5141	0.7100	0.0030
	2	12	56.8000	2.1200	0.1000	0.1600	-2.9957	0.2000	0.0050
		13	58.4400	1.7400	0.1100	0.1400	-6.9078	0.1600	0.0020
		14	58.1000	2.2000	0.1100	0.2800	-3.5066	0.2000	0.0060
	3	15	56.8000	2.1600	0.1100	0.2100	-3.9120	0.1600	0.0120
		16	58.4500	1.7200	0.0500	0.0600	-3.9120	0.0500	0.0050
		17	57.1400	1.6800	0.0700	0.1500	-3.5066	0.0600	0.0200
18.09.2004	1	18	58.5000	2.2000	0.0300	0.2600	-4.7105	0.0080	0.0070
		19	59.8000	1.8500	0.0700	0.2600	-6.2146	0.1000	0.0060
		20	57.0000	1.1200	0.1100	0.2200	-3.9120	0.1400	0.0120
	2	21	57.7300	2.0200	0.1000	0.1400	-3.9120	0.1200	0.0120
		22	57.4000	2.0600	0.1100	0.1300	-3.9120	0.1200	0.0090
		23	58.2100	1.6300	0.1000	0.1900	-4.6052	0.1900	0.0040
20.09.2004	1	24	59.4100	2.0200	0.1400	0.1100	-3.9120	0.1700	0.0010
		25	59.8000	1.8400	0.1500	0.1500	-4.6052	0.1900	0.0000
		26	58.7700	2.9900	0.1200	0.1900	-3.5066	0.1900	0.0010
	2	27	57.9600	2.8200	0.1000	0.0150	-3.9120	0.1400	0.0100
		28	59.7700	1.9400	0.1100	0.1400	-4.7105	0.1100	0.0040
		29	58.2000	1.6000	0.0800	0.2500	-3.9120	0.1300	0.0070
21.09.2004	1	30	58.6700	2.1000	0.0700	0.2900	-4.6052	0.1000	0.0030
		31	58.3800	2.0800	0.1000	0.2200	-3.9120	0.1000	0.0060
		32	56.5300	1.0100	0.0070	0.2600	-3.2189	0.1400	0.0140
	2	33	58.4800	1.1400	0.0080	0.1800	-3.5066	0.2000	0.0170
		34	57.9000	1.5300	0.1000	0.3000	-3.9120	0.2000	0.0160
		35	58.0000	1.4000	0.1000	0.2100	-3.9120	0.1800	0.0140
	3	36	58.8000	2.0000	0.0800	0.0600	-4.6052	0.0700	0.0000
		37	58.4500	1.8400	0.1200	0.0600	-4.6052	0.1500	0.0000
		38	58.3500	1.6300	0.0500	0.0100	-4.7105	0.0400	0.0000
22.09.2004	1	39	57.7000	2.4400	0.0700	0.0020	-6.9078	0.0300	0.0040
		40	57.7100	3.1200	0.0700	0.0000	-4.6052	0.1400	0.0000

		41	58.1800	2.5400	0.0600	0.0100	-4.6052	0.0100	0.0010
	2	42	59.6000	2.1200	0.0800	0.1100	-4.6052	0.0700	0.0040
		43	57.1700	2.2300	0.3200	0.1400	-3.9120	0.0900	0.0150
		44	58.2000	1.9300	0.1900	0.2000	-3.2189	0.2400	0.0100
	3	45	56.6000	1.8500	0.1100	0.1000	-3.9120	0.0900	0.0140
		46	57.3000	2.2500	0.0700	0.1300	-3.9120	0.1300	0.0100
		47	60.3000	1.9100	0.0400	0.0900	-4.6052	0.0600	0.0000
23.09.2004	2	48	58.8800	1.6000	0.1000	0.1100	-3.2189	0.1700	0.0190
		49	57.5000	1.8500	0.0600	0.1000	-3.9120	0.0800	0.0140
		50	58.3000	1.3300	0.0700	0.1000	-4.6052	0.0450	0.0070
	3	51	56.4000	2.3700	0.0200	0.1200	-3.9120	0.1100	0.0130
		52	58.1000	2.3100	0.0600	0.1400	-4.6052	0.0900	0.0080
		53	57.6500	2.1500	0.1100	0.1300	-4.6052	0.1300	0.0030
24.09.2004	1	54	57.5000	2.4900	0.1000	0.1900	-3.5066	0.2700	0.0030
		55	57.6700	2.0000	0.1900	0.2600	-2.8134	0.1500	0.0080
		56	57.6800	2.0900	0.1400	0.2200	-3.2189	0.1400	0.0060
	2	57	57.9000	1.9400	0.1100	0.1400	-3.9120	0.1000	0.0100
		58	57.7700	2.0200	0.1100	0.1600	-3.9120	0.1200	0.0070
		59	58.1600	1.5700	0.0600	0.0800	-4.6052	0.0700	0.0070
	3	60	56.3400	1.3300	0.0600	0.0900	-3.9120	0.0500	0.0110
		61	58.5000	1.8600	0.0500	0.0700	-3.5066	0.0600	0.0040
		62	57.1000	2.0700	0.0500	0.1000	-3.5066	0.0600	0.0160
25.09.2004	1	63	59.4500	2.0600	0.0900	0.0300	-4.6052	0.0200	0.0020
		64	58.0000	2.1700	0.1500	0.2100	-4.6052	0.0800	0.0070
		65	57.8000	2.2000	0.2500	0.3300	-2.8134	0.1400	0.0150
	2	66	57.3000	1.5000	0.1000	0.0800	-3.5066	0.0400	0.0110
		67	58.3000	1.5000	0.0900	0.0800	-3.9120	0.0600	0.0180
		68	59.0000	1.6300	0.0600	0.1000	-4.6052	0.2000	0.0070
27.09.2004	2	69	57.3800	2.0900	0.1000	0.1800	-1.8971	0.2400	0.0030
		70	59.2800	1.9400	0.1300	0.2100	-3.2189	0.2300	0.0000
		71	59.6000	2.1100	0.1600	0.2400	-3.9120	0.2500	0.0000
	3	72	57.0200	2.0700	0.1500	0.1400	-2.8134	0.1200	0.0180
		73	59.9000	1.7600	0.1000	0.1000	-3.9120	0.0500	0.0020
		74	58.7500	2.2100	0.3300	0.1100	-3.9120	0.1000	0.0000
28.09.2004	1	75	58.1000	2.6100	0.2200	0.2100	-3.9120	0.1600	0.0200
		76	57.4200	2.0000	0.1300	0.0800	-3.9120	0.0700	0.0170
		77	57.8000	1.8700	0.1100	0.1200	-3.9120	0.1200	0.0070
	2	78	57.9000	1.9800	0.1300	0.1500	-4.6052	0.1300	0.0050
		79	57.4700	2.2500	0.1200	0.1600	-4.6052	0.1200	0.0050
		80	59.1700	1.9300	0.1200	0.1900	-4.6052	0.1300	0.0000
	3	81	57.0000	2.4000	0.0800	0.1000	-3.9120	0.0500	0.0070
		82	57.3000	1.9000	0.0800	0.1600	-3.9120	0.0900	0.0060

		83	59.0000	2.3000	0.0500	0.1200	-3.9120	0.0500	0.0000
29.09.2004	1	84	59.1500	2.2000	0.1200	0.2200	-4.6052	0.2000	0.0100
		85	60.0000	1.5500	0.1400	0.0800	-3.5066	0.0900	0.0000
		86	56.7200	2.2600	0.1400	0.1200	-4.6052	0.0900	0.0040
	2	87	58.8600	<u>1.9200</u>	0.1500	0.1900	-3.9120	0.1000	0.0020
		88	58.0600	2.1200	0.0500	0.0300	-4.6052	0.0200	0.0000
		89	59.4600	2.2500	0.0500	0.0700	-4.6052	0.0200	0.0000
	3	90	57.4000	1.5900	0.0800	0.1200	-3.9120	0.0400	0.0070
		91	56.7000	1.9500	0.0700	0.4100	-4.6052	0.1100	0.0090
		92	58.0000	2.0500	0.0500	0.2300	-4.6052	0.0600	0.0000
30.09.2004	2	93	60.7400	2.0000	0.1500	0.2400	-4.6052	0.0900	0.0000
		94	57.5000	1.9700	0.0500	0.1400	-4.6052	0.0100	0.0110
		95	58.0000	2.5100	0.1000	0.2500	-4.6052	0.0400	0.0070
01.10.2004	1	96	57.1300	2.3400	0.1000	0.2700	-4.6052	0.0700	0.0180
		97	58.1000	1.6000	0.0600	0.1200	-4.6052	0.0300	0.0050
		98	58.8500	1.9400	0.0900	0.1200	-4.6052	0.0500	0.0060
	3	99	58.0600	2.0500	0.1100	0.1200	-4.6052	0.0700	0.0060
		100	58.7000	2.1400	0.0600	0.1500	-4.6052	0.1400	0.0000
		101	59.2700	1.8000	0.0600	0.1700	-4.9618	0.0800	0.0060
02.10.2004	1	102	60.7600	1.9700	0.0900	0.3300	-4.6052	0.1700	0.0000
		103	57.0000	2.4100	0.1100	0.5100	-3.9120	0.2900	0.0120
		104	60.5400	1.8000	0.1400	0.3200	-4.6052	0.1900	0.0000
05.10.2004	2	105	58.0700	2.1200	0.1400	0.2300	-3.9120	0.1400	0.0060
		106	56.7000	2.1000	0.1200	0.1600	-3.9120	0.1000	0.0140
		107	57.1000	2.0500	0.1100	0.1600	-3.9120	0.0200	0.0090
06.10.2004	2	108	59.3900	1.6800	0.1500	0.1700	-4.6052	0.0700	0.0030
		109	59.0000	1.9500	0.1400	0.2900	-3.9120	0.2200	0.0060
		110	59.0600	2.4200	0.1100	0.2000	-4.6052	0.1400	0.0000
07.10.2004	1	111	56.3700	2.1000	0.1100	0.1100	-4.6052	0.0800	0.0110
		112	59.2100	1.6600	0.3000	0.1200	-1.0217	0.0800	0.0000
		113	58.1500	2.4000	0.1800	0.0600	-1.6607	0.0400	0.0010
	2	114	58.1400	2.2700	0.0900	0.1400	-2.5257	0.0700	0.0030
		115	57.1000	2.1000	0.0800	0.0700	-2.2073	0.0400	0.0000
		116	57.9000	2.1300	0.1000	0.1200	-2.4079	0.0500	0.0030
	3	117	56.6000	2.3200	0.1200	0.1500	-3.5066	0.0700	0.0120
		118	55.5000	1.8700	0.0500	0.1100	-3.9120	0.0300	0.0160
		119	57.3000	1.6100	0.0600	0.1400	-3.9120	0.0500	0.0090
08.10.2004	1	120	59.3000	1.4500	0.0800	0.0600	-4.6052	0.0300	0.0000
		121	59.0000	2.1800	0.0400	0.0700	-5.5215	0.2000	0.0000
		122	58.8000	2.4600	0.0700	0.1400	-4.6052	0.1500	0.0000
	2	123	58.0000	2.0500	0.0700	0.1800	-3.9120	0.1600	0.0000
		124	57.7000	1.9000	0.1400	0.2600	-3.9120	0.1300	0.0060

		125	58.5400	2.0400	0.1100	0.2000	-3.9120	0.1000	0.0020
	3	126	57.5000	1.6800	0.1100	0.1300	-3.9120	0.0700	0.0050
		127	57.4000	1.4500	0.0700	0.1000	-4.6052	0.0800	0.0030
		128	56.0000	2.0100	0.1100	0.1800	-3.9120	0.1600	0.0012
09.10.2004	1	129	57.9400	1.9600	0.1000	0.1700	-4.7105	0.1500	0.0000
		130	57.2500	2.8600	0.0800	0.1400	-5.1160	0.1200	0.0000
		131	57.0000	2.4200	0.1100	0.1800	-4.6052	0.1000	0.0040
	2	132	56.1500	2.3400	0.1400	0.2100	-3.5066	0.0900	0.0110
		133	59.1700	2.1600	0.1400	0.2800	-5.8091	0.2100	0.0010
		134	57.4000	2.0800	0.1700	0.2300	-3.5066	0.1200	0.0080
11.10.2004	2	135	58.6200	2.1200	0.1400	0.2300	-3.9120	0.0900	0.0110
		136	57.4000	1.3100	0.2500	0.1700	-3.2189	0.0900	0.0150
		137	57.0000	2.0100	0.1600	0.1300	-3.9120	0.0700	0.0180
	3	138	58.4200	2.1300	0.1900	0.2500	-4.6052	0.1100	0.0100
		139	57.4500	2.0700	0.1600	0.2100	-3.9120	0.1100	0.0150
		140	56.7000	2.2200	0.0800	0.1400	-3.9120	0.0700	0.0150
12.10.2004	1	141	58.6700	1.8500	0.0500	0.1100	-3.9120	0.1800	0.0120
		142	56.9100	0.6700	0.0500	0.0600	-3.9120	0.0400	0.0160
		143	59.1600	2.1800	0.0500	0.1700	-3.9120	0.0800	0.0080
	2	144	57.1000	2.2000	0.1100	0.1500	-3.9120	0.0800	0.0140
		145	56.0000	1.6300	0.1100	0.2300	-3.2189	0.0800	0.0220
		146	57.1000	1.9000	0.2300	0.4000	-1.2040	0.2900	0.0130
	3	147	57.7000	2.2300	0.2000	0.2800	-1.6094	0.2000	0.0160
		148	58.6100	2.2600	0.1700	0.2400	-1.8971	0.1600	0.0080
		149	58.7000	2.5600	0.1000	0.1200	-2.5257	0.0800	0.0080
13.10.2004	2	150	55.5000	2.7400	0.1100	0.1700	-3.2189	0.0700	0.0220
		151	57.4000	1.6400	0.1100	0.1600	-3.5066	0.0600	0.0100
		152	57.8000	1.8700	0.1400	0.1700	-3.9120	0.0800	0.0120
14.10.2004	2	153	57.5600	1.9000	0.0400	0.0300	-3.9120	0.0100	0.0130
		154	60.3000	2.1300	0.0600	0.0600	-3.9120	0.0300	0.0060
		155	60.2500	2.8200	0.0500	0.0500	-4.6052	0.0200	0.0070
	3	156	59.0200	2.8200	0.0600	0.0700	-4.6052	0.0400	0.0000
		157	57.3300	1.3600	0.0500	0.1200	-3.9120	0.0200	0.0160
		158	60.0100	2.2000	0.0400	0.1000	-3.5066	0.0600	0.0010
15.10.2004	1	159	57.4000	2.3000	0.0400	0.0400	-3.9120	0.0200	0.0150
		160	57.7000	2.0500	0.1000	0.1300	-3.9120	0.0200	0.0140
		161	58.5000	1.8500	0.1400	0.1600	-3.9120	0.1000	0.0100
	2	162	52.0000	1.7800	0.0800	0.0900	-3.5066	0.0400	0.0390
		163	60.5000	1.5600	0.0700	0.0500	-2.6593	0.0200	0.0020
		164	60.5000	2.0000	0.0500	0.0600	-3.9120	0.0200	0.0000
16.10.2004	1	165	57.9000	2.2600	0.0700	0.1400	-2.9957	0.0600	0.0140
		166	57.3400	1.8700	0.1200	0.1700	-3.5066	0.0800	0.0160

		167	56.3200	1.8300	0.0500	0.0400	-3.9120	0.0000	0.0160
	2	168	58.7500	2.9100	0.0800	0.2500	-3.9120	0.1800	0.0140
		169	57.7300	1.8500	0.0400	0.0700	-4.2687	0.0500	0.0070
		170	57.6600	1.6300	0.0700	0.1800	-3.9120	0.1800	0.0080
25.10.2004	3	171	60.3500	1.6400	0.0800	0.3100	-4.6052	0.2000	0.0000
		172	56.8000	2.1000	0.1000	0.3200	-3.9120	0.3100	0.0090
		173	57.8000	1.7300	0.1300	0.2300	-4.6052	0.1000	0.0001
26.10.2004	2	174	57.8700	2.2100	0.1800	0.2800	-3.5066	0.0700	0.0030
		175	59.4000	2.4100	0.1200	0.2600	-3.9120	0.1100	0.0000
		176	58.6000	2.2000	0.1000	0.2000	-3.9120	0.1700	0.0080
	3	177	60.3000	1.8000	0.1100	0.2100	-3.5066	0.2100	0.0000
		178	55.7000	1.5200	0.0600	0.1600	-3.9120	0.0800	0.0150
		179	61.0000	1.9600	0.0900	0.1500	-4.6052	0.1200	0.0000
27.10.2004	1	180	58.4500	2.3600	0.1400	0.2000	-5.1160	0.1200	0.0000
		181	58.2900	2.6500	0.1000	0.1700	-2.9957	0.0900	0.0000
		182	57.8700	2.2800	0.1000	0.2100	-4.6052	0.1100	0.0000
	2	183	58.5400	2.3400	0.0900	0.1700	-4.6052	0.1000	0.0000
		184	59.6000	1.9700	0.0500	0.2300	-3.9120	0.1900	0.0030
		185	57.2000	2.3000	0.0700	0.2300	-3.9120	0.1700	0.0000
	3	186	58.9000	1.8000	0.0900	0.1700	-4.6052	0.0900	0.0000
		187	58.0000	1.6900	0.0500	0.0700	-4.6052	0.0700	0.0000
		188	60.8000	1.6300	0.0400	0.0400	-4.6052	0.0400	0.0000
01.11.2004	1	189	58.8000	2.3000	0.1200	0.3000	-3.9120	0.2300	0.0000
		190	58.0000	2.4000	0.0600	0.1800	-3.9120	0.1400	0.0040
		191	58.5000	1.7000	0.0600	0.3000	-3.9120	0.1400	0.0060
	2	192	61.5000	2.3000	0.1400	0.2100	-3.9120	0.1200	0.0000
		193	58.8000	1.6200	0.0600	0.0600	-3.9120	0.0500	0.0000
		194	59.8000	1.9800	0.0600	0.0900	-4.7105	0.0500	0.0000
	3	195	58.1000	2.0100	0.0400	0.1000	-5.5215	0.0400	0.0000
		196	57.1200	2.5000	0.0300	0.1300	-5.1160	0.0400	0.0000
		197	56.5100	2.8600	0.0500	0.2100	-4.6052	0.0400	0.0090
02.11.2004	2	198	59.2000	2.1600	0.0400	0.2800	-4.6052	0.1800	0.0010
		199	57.9600	1.9600	0.0300	0.1000	-3.9120	0.0800	0.0040
		200	58.4000	1.8000	0.0500	0.1800	-4.6052	0.0600	0.0010
	3	201	59.3600	2.1100	0.0700	0.1600	-4.6052	0.0900	0.0000
		202	58.2200	2.1900	0.0200	0.0300	-4.8283	0.0100	0.0000
		203	56.5500	1.6300	0.1300	0.0800	-4.6052	0.0100	0.0100
03.11.2004	2	204	58.2600	2.2200	0.0400	0.2400	-6.9078	0.1800	0.0060
		205	60.3000	2.1800	0.0600	0.2200	-5.1160	0.1300	0.0000
		206	58.0000	2.0500	0.0500	0.1200	-4.6052	0.0600	0.0050
	3	207	58.6300	1.7300	0.0700	0.1900	-3.9120	0.1200	0.0000
		208	59.1200	2.9900	0.1000	0.2300	-3.9120	0.1500	0.0020



		209	57.8100	2.0900	0.2200	0.3700	-3.9120	0.2300	0.0060
04.11.2004	2	210	60.6800	2.4400	0.1000	0.1800	-4.6052	0.1100	0.0000
		211	58.7000	2.0700	0.0900	0.1500	-4.6052	0.1000	0.0020
		212	57.9000	1.6100	0.0700	0.1300	-3.2189	0.0700	0.0070
	3	213	59.7500	2.7000	0.1300	0.2100	-4.8283	0.1200	0.0000
		214	57.1000	1.9000	0.1000	0.2100	-3.5066	0.1300	0.0090
		215	56.9400	2.1000	0.0700	0.1300	-3.9120	0.0700	0.0070
05.11.2004	2	216	57.8000	2.1600	0.0600	0.3000	-3.9120	0.0800	0.0080
		217	59.0000	1.6000	0.0600	0.1000	-4.6052	0.0200	0.0050
		218	58.4000	1.5800	0.0800	0.0900	-4.6052	0.0600	0.0040
	3	219	58.1400	2.4600	0.0900	0.1900	-3.5066	0.1400	0.0020
		220	58.7800	2.5900	0.0900	0.2500	-2.9957	0.1400	0.0010
		221	59.2300	2.6900	0.1000	0.2700	-2.8134	0.1700	0.0000
06.11.2004	1	222	59.8000	2.0500	0.0800	0.1600	-4.6052	0.1600	0.0000
		223	57.0000	2.0000	0.1100	0.2400	-3.9120	0.1000	0.0110
		224	57.8200	2.0300	0.1300	0.2100	-3.9120	0.1100	0.0060
	2	225	55.3000	1.6000	0.0800	0.1000	-3.5066	0.1800	0.0160
		226	58.2000	1.6100	0.0400	0.0400	-4.6052	0.0700	0.0000
		227	58.2100	1.7700	0.0600	0.0600	-3.9120	0.0600	0.0050
10.11.2004	1	228	55.7000	2.0900	0.0400	0.1400	-3.9120	0.0800	0.0110
		229	58.3500	2.0400	0.0400	0.1700	-4.6052	0.1400	0.0040
		230	57.6000	2.0700	0.1000	0.1600	-3.9120	0.1300	0.0120
	2	231	58.7500	2.4400	0.0600	0.2200	-4.6052	0.1000	0.0000
		232	60.0000	2.4400	0.0300	0.0900	-6.9078	0.0500	0.0000
		233	58.3500	2.2400	0.0600	0.1100	-4.6052	0.0600	0.0010
	3	234	57.8500	2.2000	0.0900	0.1500	-3.9120	0.0600	0.0040
		235	58.4800	1.8700	0.0500	0.1300	-4.6052	0.0600	0.0010
		236	58.5000	2.4700	0.0400	0.2100	-3.2189	0.1300	0.0000
11.11.2004	1	237	60.7000	2.1800	0.0400	0.1000	-3.9120	0.0500	0.0000
		238	57.4000	2.3200	0.1000	0.0800	-3.2189	0.0500	0.0070
		239	56.5000	2.7000	0.1200	0.1000	-3.2189	0.0500	0.0070
	2	240	60.4000	2.0100	0.0800	0.0900	-4.8283	0.0600	0.0000
		241	58.7400	2.1000	0.0800	0.0300	-4.6052	0.0200	0.0000
		242	60.2200	2.1000	0.0700	0.0100	-4.7105	0.0100	0.0000
12.11.2004	1	243	57.5000	2.1000	0.0400	0.2100	-4.9618	0.0080	0.0050
		244	61.0000	2.3400	0.0200	0.0700	-4.9618	0.0200	0.0000
		245	58.2000	2.1300	0.0600	0.1000	-4.6052	0.0600	0.0020
	3	246	58.6000	1.0500	0.0600	0.0700	-2.9957	0.0200	0.0070
		247	59.9300	2.1700	0.0400	0.1900	-3.2189	0.1100	0.0000
		248	58.2700	2.2400	0.0400	0.1800	-3.9120	0.0900	0.0030
18.11.2004	2	249	57.8000	2.0500	0.0700	0.1100	-3.9120	0.0500	0.0060
		250	59.4000	2.3500	0.0800	0.2800	-3.9120	0.0600	0.0080

		251	57.4000	2.4000	0.1000	0.1800	-3.9120	0.0700	0.0040
	3	252	58.2000	1.9100	0.1400	0.1400	-3.9120	0.0400	0.0090
		253	57.4500	1.7300	0.0500	0.0200	-4.6052	0.0100	0.0050
		254	59.3000	1.8600	0.0700	0.0800	-3.9120	0.0200	0.0040
19.11.2004	1	255	57.9200	2.0700	0.1100	0.1700	-2.6593	0.0200	0.0080
		256	58.1300	2.4200	0.0800	0.1400	-4.6052	0.0600	0.0030
		257	57.6000	2.0500	0.1100	0.4100	-3.9120	0.1100	0.0070
	3	258	57.0000	1.7000	0.1800	0.3300	0.0010	0.0900	0.0000
		259	58.9000	1.6900	0.0700	0.1100	-3.9120	0.0600	0.0100
		260	59.5000	2.1500	0.1000	0.1900	-4.6052	0.1400	0.0060
20.11.2004	1	261	60.4200	2.2300	0.1800	0.3300	-2.9957	0.1500	0.0070
		262	58.7000	2.1300	0.1100	0.2800	-4.6052	0.1100	0.0030
		263	60.2100	2.3700	0.1200	0.2700	-4.6052	0.1300	0.0000
22.11.2004	2	264	59.1500	2.0300	0.0800	0.1500	-4.6052	0.0600	0.0050
		265	57.2200	1.7000	0.0700	0.1600	-4.6052	0.0800	0.0050
		266	57.1500	1.5900	0.0500	0.1300	-3.9120	0.0300	0.0080
	3	267	58.7900	2.6600	0.0800	0.2000	-4.6052	0.1100	0.0000
		268	58.2200	2.4100	0.0800	0.1900	-4.6052	0.1100	0.0000
		269	58.6500	2.1700	0.1500	0.3100	-3.9120	0.1900	0.0010
23.11.2004	1	270	57.4200	2.3800	0.0800	0.2400	-3.2189	0.1000	0.0000
		271	57.5000	2.4200	0.0700	0.3500	-3.9120	0.1200	0.0090
		272	56.5000	2.1500	0.0900	0.1800	-3.9120	0.0800	0.0130
	2	273	57.7500	2.6000	0.1900	0.1800	-4.6052	0.0800	0.0020
		274	57.9600	2.2200	0.1000	0.1800	-3.9120	0.0160	0.0180
		275	58.0000	1.8300	0.0900	0.1400	-4.6052	0.0400	0.0050
	3	276	56.2800	2.1300	0.0500	0.0700	-4.6052	0.0060	0.0060
		277	58.9600	2.3600	0.0500	0.1200	-4.6052	0.0050	0.0000
		278	59.2400	2.0300	0.1100	0.0800	-4.6052	0.0300	0.0000
24.11.2004	1	279	57.5500	1.9000	0.0100	0.0900	-3.9120	0.0500	0.0040
		280	58.4700	1.2600	0.0500	0.1300	-3.9120	0.0200	0.0030
		281	57.3000	2.4500	0.1100	0.1800	-3.9120	0.0200	0.0060
	2	282	57.5000	1.5700	0.0800	0.1800	-2.9957	0.0100	0.0060
		283	56.4000	1.8400	0.0800	0.1200	-3.5066	0.0300	0.0230
		284	56.4000	2.1000	0.0700	0.1100	-3.9120	0.0400	0.0100
	3	285	57.8600	2.0200	0.0500	0.1200	-4.6052	0.0100	0.0020
		286	58.6000	2.7000	0.0700	0.2500	-4.6052	0.0100	0.0000
		287	57.1000	1.7800	0.0600	0.1300	-4.6052	0.0070	0.0050
25.11.2004	1	288	58.6000	2.3000	0.0500	0.3000	-3.9120	0.1700	0.0060
		289	58.2500	2.4000	0.0800	0.3100	-3.9120	0.1900	0.0030
		290	58.8000	1.1800	0.0500	0.1200	-4.6052	0.0700	0.0100
	2	291	59.0000	2.2400	0.0200	0.0700	-3.9120	0.0300	0.0000
		292	60.5000	1.6000	0.0500	0.1500	-4.8283	0.0110	0.0000

		293	58.1700	1.8600	0.0300	0.1200	-4.6052	0.0020	0.0010
	3	294	58.4000	2.2000	0.0400	0.0700	-4.6052	0.0010	0.0010
		295	60.5600	3.0100	0.0400	0.3500	-4.6052	0.0030	0.0000
		296	62.5800	2.4100	0.0400	0.3200	-6.9078	0.0200	0.0000
26.11.2004	2	297	57.0000	2.3000	0.3400	0.2600	-2.8134	0.2700	0.0090
		298	56.0700	1.8400	0.2200	0.1600	-3.6119	0.1100	0.0120
		299	57.5000	1.6500	0.1700	0.1500	-4.6052	0.0600	0.0070
27.11.2004	2	300	59.1000	2.0200	0.0900	0.3400	-3.9120	0.5000	0.0020
		301	58.1500	2.5900	0.2800	0.2200	-2.3026	0.2000	0.0100
		302	59.2000	2.5200	0.2700	0.1600	-3.2189	0.1000	0.0050